

НАУКОВІ НОТАТКИ

**Міжвузівський збірник
(за галузями знань «Машинобудування та
металообробка», «Інженерна механіка»,
«Металургія та матеріалознавство»)**

**Випуск 43
(жовтень-грудень)**

2013

Луцьк 2013

РЕДАКЦІЙНА РАДА

Божидарнік В.В., ректор, Луцький НТУ, д.т.н., професор; Заболотний О.В., декан ТФ, Луцький НТУ, к.т.н., доцент; Пустюльга С.І., декан МБФ, Луцький НТУ, д.т.н., професор; Рудь В.Д., зав. кафедри, Луцький НТУ, д.т.н., професор; Шваб'юк В.І., керівник відділу, Луцький НТУ, д.т.н., професор.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Рудь В.Д., зав.кафедри, професор, д.т.н., Луцький НТУ (відповідальний редактор); Пустюльга С.І., професор, д.т.н., Луцький НТУ (заступник відповідального редактора); Заболотний О.В., доц., к.т.н., Луцький НТУ (відповідальний секретар); Бобир М.І., директор інституту, професор, д.т.н., НТУ України "КПІ"; Божидарнік В.В., ректор, проф., д.т.н., Луцький НТУ; Гавриш А.П., професор, д.т.н., НТУ України "КПІ"; Гевко Б.М., зав. кафедри, професор, д.т.н., Тернопільський НТУ; Лотиш В.В., доц., к.т.н., Луцький НТУ; Майстренко А.Л., зав. відділом, член-кореспондент НАН України, д.т.н., Інститут надтвердих матеріалів; Максимович В.М., зав. кафедри, професор, д.ф.-м.н., Луцький НТУ; Пальчевський Б.О., зав. кафедри, професор д.т.н., Луцький НТУ; Петраков Ю.В., зав. кафедри, професор, д.т.н., НТУ України "КПІ"; Петровський В.Я., зав. відділом, проф., д.т.н., Інститут проблем матеріалознавства НАН України; Повстяной О.Ю., доц. к.т.н., Луцький НТУ; Струтинський В.Б., зав. кафедри, професор, д.т.н., НТУ України "КПІ"; Шваб'юк В.І., зав. відділом, професор, д.т.н., Луцький НТУ; Штерн М.Б., зав. відділом, член-кореспондент НАН України, с.н.с., д.т.н., Інститут проблем матеріалознавства НАН України; Ярошевич М.П., зав. кафедри, професор, д.т.н., Луцький НТУ.

Рекомендовано до друку Вченою радою Луцького національного технічного університету, протокол № 10 від 30.05.2013 р.

Свідоцтво Міністерства юстиції України про державну реєстрацію:

Серія КВ №15901-4373ПР від 13.11.2009р

Друкується без редакційної правки видавництва

ISSN: 978-617-672-039-3

ШАНОВНІ ДОПISУВАЧІ, КОЛЕГИ!

Постановою президії ВАК України від 10.02.2010р №1-05/1 затверджено Міжвузівський збірник наукових праць «НАУКОВІ НОТАТКИ», що видається Луцьким національним технічним університетом як наукове фахове видання України.

Тематична спрямованість збірника – висвітлення досягнень співробітників вищої школи та наукових установ України в розробках теоретичного та експериментального спрямування за галузями знань «Машинобудування та металообробка» і «Інженерне матеріалознавство».

Із зазначених галузей знань друкуються статті закордонних авторів англійською або російською мовою.

У даному збірнику наведені матеріали, що рекомендовані до друку Оргкомітетом IV Міжнародної науково-практичної конференції «Теоретичні та експериментальні дослідження в технологіях сучасного матеріалознавства і машинобудування».

Довідки за тел. (0332) 26-25-19 e-mail: notatki@meta.ua

Наша адреса:

43018, м. Луцьк, вул. Потебні, 56

Луцький національний технічний університет,
редакція міжвузівського збірника “Наукові нотатки”

З повагою,

*Голова редакційної ради,
ректор Луцький НТУ, професор*

В. В. Божидарнік

*Відповідальний редактор,
професор Луцький НТУ*

В.Д.Рудь

Ціна договірна

Колектив авторів

Наукові нотатки

Міжвузівський збірник

**(за галузями знань «Машинобудування та металообробка»,
«Інженерна механіка», «Металургія та матеріалознавство»)**

Комп'ютерний набір та верстка: Н.М. Гулієва

Редактор: О. Гордіюк

Наклад **300 прим. Зам. №** від ____ .2013 р.

Адреса редакції: 43018, м. Луцьк, вул. Потебні, 56.

Редакційно-видавничий відділ

Луцького національного технічного університету

43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75.

Свідоцтво Держкомтелерадіо України ДК № 4123

від 28.07.2011 р.

ЗМІСТ

Зміст	4
Азізов Т.Н., Вільданова Н.Р. Дослідження НДС просторових систем на прикладі мостової прогонової будови	6
Алексеевко В.Н. Перепрофилирование торговых зданий Южного берега Крыма в офисные центры с жилыми помещениями	13
Базаров Б.И., Калауов С.А., Васидов А.Х. Методология выбора и использования альтернативных моторных топлив	18
Білик С.Г., Драган А.П., Диня В.І., Фльонц І.В., Клендй М.І. Результати експериментальних досліджень формоутворення гвинтових гофрованих заготовок	22
Бодак В.І. Аналіз параметрів шнекових насосів при добуванні сапропелів.....	26
Букетов А.В., Скирденко В.О. Вплив природи наповнювачів, що є відходами промислового виробництва, на фізико-механічні і теплофізичні властивості епоксидних композитних матеріалів	28
Бухун Ю.В. Аналіз міжнародної інвестиційної діяльності підприємств космічної галузі	34
Вдовиченко О.В. Експериментальні дослідження нелінійної поведінки пористого оксиду алюмінію в процесі пружних коливань.....	41
Гарост А.И. Создание физико-химических основ технологии легирования, модифицирования и упрочнения железоуглеродистых сплавов промышленными отходами и полупродуктами смежных производств	46
Гевко Б.М., Дячун А.Є, Диня В.І., Фльонц І.В. Заболотний Б.А. Особливості конструкцій гвинтових екструдерів для виготовлення кормових брикетів	52
Гевко Б.М., Дячун А.Є, Диня В.І., Фльонц І.В. Навроцька Т.Д. Особливості конструкцій гвинтових екструдерів для виготовлення кормових брикетів	56
Гевко І.Б., Диня В.І., Босюк П.В. Технологічне свердлильне оснащення підвищеної точності і експлуатаційної надійності і довговічності.....	60
Гевко І.Б., Комар Р.В., Кучвара І.М. Технологічні передумови профілювання кожухів гвинтових конвєсерів.....	65
Грабовець В.В., Шарибура А.О., Луб П.М. Визначення енергозатрат на зневоднення озерних сапропелів.....	70
Деркач В.Л. Аналіз використання передпускового підігріву для автомобільного транспорту...	75
Драган А.П. Результати експериментальних досліджень розточування гвинтових гофрованих заготовок	79
Кищун В.А., Лісовський О.В. Діагностика форсунок за допомогою амплітудно-фазових характеристик тиску впорскування	84
Кім Г.В. Використання модульних сіток при розробці ВЕБ-сайтів.....	90
Клименко Е.В., Чернева Е.С., Довгань А.Д., Исмаел А.М. Влияние факторов поврежденности тавровых балок на величину их разрушающей нагрузки	94
Коменда Т.І., Коровицький А.М., Горбатко О.О. Морфометричні дослідження текстильних композиційних матеріалів зі скляними волокнами	98
Коменда Н.В. Реалізація морфометричної моделі графіка електричного навантаження системи електропостачання на прикладі цеху промислового підприємства	105
Коменда Н.В. Формалізація моделі управління добовим графіком електроспоживання регіону	111
Кормош М.М. Компьютеризированная система управления фрезерным станком	115
Корниенко Ю.В. Компьютерная реализация алгоритмов численно-аналитического метода граничных элементов	118
Кочевих М.О., Смілянець Є.Ю., Стригун Д.С. Підвищення тріщиностійкості бетонних елементів брукування	122
Кравцова Л.В., Пирог А.П., Букетов А.В. Определение вероятностей восстановления и разрушения полимерных композитных материалов под действием статической нагрузки	126
Крисак Ф.М. Дослідження гідродинаміки тонких водяних струменів високого тиску ...	134
Кузьмов А.В., Штерн М.Б. Комп'ютерне моделювання виникнення розшарувальних смуг при обробці тиском пористих матеріалів	138
Лебедев В.Г., Чумаченко Т.В., Марчук С.В. Охлаждение воздушной и воздушнокапельной струей при шлифовании керамических покрытий	144

<i>Ліщина Н.М.</i> Ефективність логіки в комп'ютерних науках.....	149
<i>Марчук О.В., Шемет В.Я., Смітюх О.В., Гулай Л.Д.</i> Система CoS – Er ₂ S ₃ – GeS ₂ за температури 770 К	153
<i>Павленко И.В.</i> К расчету ортотропных пластин методом граничных элементов	156
<i>Пахомова И.Н.</i> Использование информационных технологий при разработке спецкурса по физике «Основы дислокационной теории».....	159
<i>Петрина Д.Ю.</i> Зв'язок в'язкості руйнування з мікробудовою зломів зразків високоміцних долотних сталей	165
<i>Пилипець М.І., Драган А.П., Дячун А.Є., Кучвара І.М.</i> Математична модель формоутворення навивних заготовок	172
<i>Придальний Б.І.</i> Дослідження роботи привода затиску з геометричним замиканням на високих частотах обертання	178
<i>Придальний Б.І.</i> Дослідження тенденцій розвитку конструкції механізму затиску токарних автоматів	184
<i>Сапронов О.О.</i> Дослідження природи хімічних і фізичних зв'язків епоксидних наноккомпозитів методом ІЧ-, ЕПР-спектрального аналізу та оптичної мікроскопії	187
<i>Середа В.В.</i> Анализ современных карт режимов течения двухфазного потока при конденсации в горизонтальных трубах теплообменных аппаратов	199
<i>Сторчак Н.А.</i> Применение системы КОМПАС-3D в преподавании инженерных дисциплин	206
<i>Сурьянинов Н.Г., Слабенко Е.В.</i> Преобразование внешней нагрузки в задаче изгиба длинной цилиндрической оболочки	210
<i>Фльонц І.В.</i> Методика та результати експериментальних досліджень процесу збирання коренеплодів	217
<i>Фльонц І.В.</i> Стендове оснащення для проведення експериментальних досліджень з визначення дальності польоту коренеплодів на пруткове полотно.....	223
<i>Чапюк О.С.</i> Вплив повторних навантажень на межу зчеплення арматури серповидного профілю класу А500 з бетоном	228
<i>Чернега С.М., Медова І.Ю.</i> Характеристика боридних покриттів легованих кремнієм на сталі 45	235
<i>Четверзук Т.І.</i> Вплив якості поверхневого шару на експлуатаційні характеристики деталей і вузлів верстатів	241

УДК 624.012.45

Т.Н. Азізов, Н.Р. Вільданова
ДОСЛІДЖЕННЯ НДС ПРОСТОРОВИХ СИСТЕМ НА ПРИКЛАДІ МОСТОВОЇ
ПРОГОНОВОЇ БУДОВИ

Просторова робота залізобетонних конструкцій з урахуванням нелінійних процесів бетону досліджується у статті.

Ключові слова: просторова робота, крутильна жорсткість, деформації пластичності, діаграма зсуву бетону, чисте кручення.

Рис. 11. Табл. 3. Літ. 13.

Т.Н. Азізов, Н.Р. Вільданова
ИССЛЕДОВАНИЕ НДС ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ МОСТОВОГО
ПРОЛЕТНОГО СООРУЖЕНИЯ

В статье исследуется пространственная работа железобетонных конструкций с учетом нелинейных процессов бетона.

Ключевые слова: пространственная работа, крутильная жесткость, деформации пластичности, диаграмма сдвига бетона, чистое кручение.

T.N. Azizov, N.R. Vildanova
RESEARCH STRAIN-STRESS STATE SPATIAL SYSTEMS ON THE EXAMPLE OF
THE BRIDGE SPAN STRUCTURES

The article investigates spatial work of reinforced concrete structures based on nonlinear processes concrete.

Keywords: spatial work, the torsional rigidity of reinforced, plastic deformation, concrete shear diagram, pure torsion.

Сучасна нормативна база передбачає розрахунок конструкцій за пружними жорсткісними характеристиками – а залізобетонні елементи не є суцільними пружними тілами, – тому завжди є ресурс для більш детального вивчення роботи матеріалів і конструкцій з метою підвищення ефективності їх роботи, виявлення економічних і технічних переваг. Але головна причина необхідності подібних досліджень полягає у тому, що в ряді випадків [1-3] неврахування просторової роботи конструкцій, нелінійних властивостей матеріалів, у тому числі при крученні (що обов'язково має місце при перерозподілі зусиль під час просторової роботи конструкції), призводить не просто до нераціонального використання матеріалів, але, що найважливіше, до невірних висновків щодо роботи конструкцій, розподілення внутрішніх зусиль у часі, характеру розвитку деформацій – і, внаслідок цього, до непередбачуваного руйнування конструкцій, утворення незапланованих тріщин тощо. Тому у даній роботі наведені результати чисельних досліджень просторової роботи мостової прогонової будови, що є продовженням досліджень Т.Н.Азізова [1] і його учнів.

Прийняті у найбільш значущих нормативних документах різних країн методи розрахунку залізобетонних конструкцій на кручення, істотно відрізняються між собою. Подібні розбіжності призводять до різних результатів розрахунку і вимагають детального дослідження даного процесу, вдосконалення існуючих методів розрахунку залізобетонних елементів як при дії чистого кручення, так і при комбінації інших зусиль з крученням. Вже відомі результати детального вивчення і порівняльного аналізу процесів, що мають місце при розвитку внутрішніх зусиль від згинальних моментів, поздовжніх і поперечних сил науковцями (В.С.Дорофєєвим, О.С.Залесовим, М.І.Карпенком, В.М.Кобринцем, Т.А.Мухамедієвим, В.М.Совгірою, Т.П.Чистовою, О.Ф.Яременком, Н.Н.Ячменевою, В.Е.Ящуком та ін.), інтенсивно проводяться дослідження міцнісних характеристик матеріалів при різного роду впливах, а також вивчення впливу згинальної жорсткості на НДС конструкцій. Розробляються і вдосконалюються дво- і трилінійні діаграми стиску бетону, в той же час кручення залишається значно менш дослідженим і ще менше освітленим у науковій літературі (вже не кажучи про навчальну, нормативну і науково-популярну). Тому роботи [4-5] присвячені дослідженню деформативних характеристик бетону при крученні і залежності напруження-деформації, їх результати і підтверджені залежності також використані і у даній роботі.

Стисло оглянемо методи та основні принципи і теоретичні передумови чисельних досліджень.

Просторова робота конструкцій. Системи, що деформуються просторово, є багаторазово статично невизначеними, що впливає на методики їх розрахунку і вимагає прийняття в інженерній практиці наближених методів [1]. Просторову роботу ребристих систем, якими є прольотні мостові будови, перекриття тощо, детально досліджували вітчизняні вчені А.І. Лантух-Лященко, Б.Е. Улицький, І.А. Тріфонов, Б.П. Назаренко, Л.Д. Проскуряков, П.Л. Пастернак, М.Е. Гібшман та ін.; але в розроблених методах [3] не враховується робота конструкції як єдиного цілого перерізу, внаслідок чого при малій кількості головних балок і різних значеннях їх жорсткості значення, отримані за цими методами, не можуть бути достовірними через неможливість рівномірно розподілити головні балки, які виконують роль пружної основи залізобетонної пластини, зімітованої прольотною системою. Навіть при рівній жорсткості ребер при нерівномірному завантаженні ребристої системи після утворення тріщин розрахунок вже не буде достовірним. Також сучасні реалії вимагають використання не емпіричних методів розрахунку хоча б внаслідок непродуктивності через значну різноманітність форм залізобетонних конструкцій, які неможливо оцінити через експерименти, а вимагають розробки методів розрахунку залізобетону на основі загальних законів будівельної механіки і єдиних розрахункових моделей.

Для врахування перерозподілу зусиль у залізобетонних елементах у [6] рекомендовано виконувати розрахунок за деформаційними моделями, оскільки це дозволяє зменшувати зусилля в зонах концентрації зусиль і більш рівномірно розподіляти арматуру в залізобетонних елементах. Автор [7] підкреслює, що розрахунок конструктивної системи в цілому не менше важливий, ніж розрахунок окремих залізобетонних елементів, оскільки також вимагає врахування особливостей залізобетону (непружні деформації, розвиток тріщин), – а ці правила не відображені в основних нормативних документах. Чисельні розрахунки методом МСЕ не лише містять ряд умовностей при моделюванні окремих ЗБЕ, але і є доволі трудомісткими і складними для повсякденних інженерних вишукувань, тому дослідники [1-3, 6-8, 11, 13] рекомендують застосування інших, спрощених, розрахункових моделей (наприклад, стрижньової [6] тощо). У [13] наголошується, що визначення внутрішніх зусиль в прогоновій будові недостатньо, оскільки у просторовому розрахунку необхідно знання внутрішніх зусиль в кожному із елементів прогонової будови, тому що проектується саме елементи прогонової будови (у мостових конструкціях це балки головні та допоміжні, діафрагми, плита проїзної частини). Тому **задачею просторового розрахунку** є визначення внутрішніх зусиль від рухомого навантаження в кожному із елементів прогонової будови.

Отже, просторовий розрахунок вимагає єдиного підходу, хоча вищезазначені методи переважно дають вирішення для відносно вузького кола задач. Крім того, вони не дозволяють враховувати або враховують частково жорсткісні параметри елементів з тріщинами [3], сумісну роботу полиць з ребрами та інші фактори, які іноді істотно впливають на просторову роботу прольотних будівель і перекриттів. Т.Н.Азізовим [1-3] розроблений метод розрахунку ребристих систем, окремими випадками якого є монолітні, збірні, збірно-монолітні суцільні і ребристі системи прольотних будов і перекриттів, враховуючи тріщиноутворення і різні схеми опирання і завантаження.

Сучасний інженер виконує розрахунок залізобетонних елементів спираючись на *лінійний закон розподілення деформацій за нормальним перерізом* і на діаграму деформування, за якою напруження в бетоні і арматурі пропорційні деформаціям (тобто стиснута зона бетону має трикутну епюру напружень) [8]. Але при просторовій роботі конструкції *деформації у перерізі не розподіляються лінійно*, що видно навіть з прийнятої відомої схеми зусиль у просторовому перерізі (рис. 1).

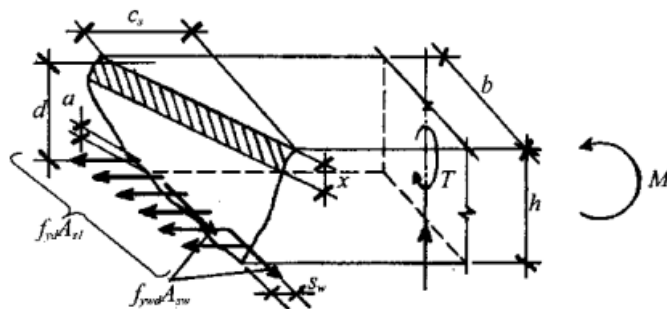


Рис. 1. Схема зусиль при розрахунку на міцність у просторовому перерізі залізобетонного елемента, що працює на крученні зі згином

В реальній роботі епюра крутних моментів розподіляється не лінійно, як прийнято для спрощення у практичних розрахунках: вона «насичується» (рис.1), оскільки характер деформації не лише залежить від природи матеріалу, але і впливає на зміну його механічних характеристик, а отже, і на характер роботи і деформування тіла у подальшому. За допомогою МСЕ, за методикою Б.Е.Улицького [1,3] можливо отримати більш точні значення, які необхідні для детального дослідження крутильної жорсткості елемента перехресно-ребристої системи. Але більш простим є наближений метод Т.Н.Азізова [1-3].

На рис.2 наведено реальне перерозподілення епюри крутних моментів; отримані за допомогою МСЕ (ПК «Лира») результати чисельних розрахунків, що підтверджують даний процес, наведені далі.

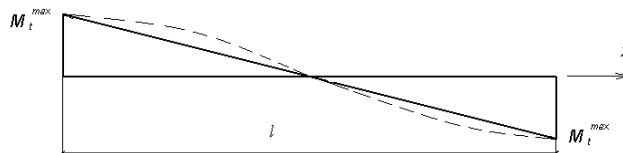


Рис. 2. Епюра крутильних моментів за довжиною плити [2]: штрихова лінія показує реальне розподілення, безперервна – наближені значення (лінійну апроксимацію)

При дослідженні напружено-деформованого стану статично невизначених конструкцій, якими є перекриття і мости, що деформуються просторово, необхідним є як процес внутрішніх ітерацій – для уточнення жорсткостей, – так і зовнішніх, для уточнення за даними жорсткостями закону розподілення зусиль. Сутність поєднання процесів внутрішніх і зовнішніх ітерацій [2] полягає в наступному. На нульовій ітерації визначаються внутрішні зусилля, після чого за допомогою внутрішнього процесу ітерацій уточнюємо жорсткості; далі за новим законом змінення жорсткостей повторюємо статичний розрахунок системи, уточнюючи цим епюри розподілення зусиль вздовж осей системи (перше наближення), і потім за зусиллями першої ітерації знову уточнюємо розрахункові жорсткості, знаходячи за ними епюри другого наближення і т.д. до збіжності. У подібних ітераційних розрахунках при нульовій ітерації у перерізах з максимальними зусиллями в першому наближенні приймається найменша жорсткість, тому у другому наближенні співвідношення жорсткостей різко змінюється і розрахункові зусилля значно збільшуються. Таким чином можна порівняти дані обчислення без урахування змінення крутильної жорсткості внаслідок перерозподілу зусиль у часі з розрахунком за вищенаведеною методикою.

У [7] зазначено, що не лише для перевірки прогинів згинаних ЗБЕ і для оцінки стійкості стиснуто-згинаних елементів, але і для врахування перерозподілу зусиль у залізобетонних елементах доцільно проводити *прямий деформативний розрахунок*. Це дозволяє зменшувати зусилля в зонах їх концентрації і більш рівномірно розподіляти арматуру в залізобетонних елементах.

Деформаційна модель. Дослідниками різних країн вже запропоновано робочі методики розрахунку ЗБК за деформаційними моделями при одно- і двовісному НДС при дії згинальних і крутильних моментів, поздовжніх сил [6]. Ці моделі містять повні діаграми деформування матеріалів, взаємні залежності і умови роботи бетону і арматури, базуючись на гіпотезі плоских перерізів, внаслідок чого не відображають повною мірою реальний фізичний характер деформування перерізів елементів з тріщинами (тріщини враховуються шляхом визначення стиснутої зони бетону над тріщиною і розтягнутої арматури у тріщині); однак результати обчислень за таким розрахунковим апаратом наближуються до експериментальних даних.

Тому діаграму зсуву бетону, що встановлює залежність між напруженнями і кутовими деформаціями бетону при короткочасній дії одноразово прикладеного навантаження до граничних руйнуючих значень, доцільно також розглядати і використовувати як узагальнену характеристику механічних властивостей бетону, подібно діаграмам стиску-розтягу (рис. 3).

На сьогодні методики розрахунку характеристик жорсткості елементів з урахуванням тріщин і непружних деформацій не розроблені в достатній мірі для стабільного впровадження в інженерну практику [7], внаслідок чого в розрахунку приймаються зниженні характеристики згинальної жорсткості залізобетонних елементів через визначальний вплив на загальну деформативність конструктивної схеми і її елементів. Зміну ж крутильної жорсткості [1-3] не враховують взагалі.

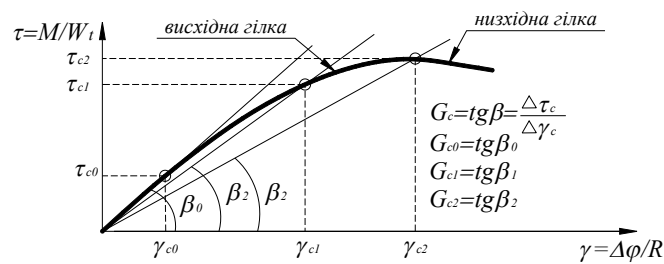


Рис. 3. Загальний вигляд деформування бетону при чистому короточасному крученні

Тому метою роботи є дослідження впливу крутильної жорсткості на перерозподіл зусиль у прогоновій мостовій будові.

Новизна роботи полягає в дослідженні безпосереднього впливу зміни модуля зсуву бетону з урахуванням деформацій пластичності як складової крутильної жорсткості конструкцій на просторову роботу, що дозволить використовувати більш точну діаграму роботи бетону при зсуві у практичних розрахунках, підвищуючи точність і економічність проектів.

Чисельний розрахунок прогонової мостової будови. При просторовому розрахунку прогонової будови моста задача визначення зусиль в балкових прогонових будовах вирішується сьогодні за допомогою МСЕ як універсальної точної моделі, проте інша перевірена, класична, значно простіша і швидша у використанні, хоч і менш точна модель продовжує застосовуватись. Застосування коефіцієнту поперечного розподілу дозволяє вирішити задачу просторового розрахунку моста. Коефіцієнт поперечного розподілу є безрозмірною величиною, що показує, яка частина рухомого навантаження, встановленого на прогоновій будові, приходить на i елемент (балку) поперечного перерізу [13]. Причому, для визначення КПР існує ряд методів, які варіюються переважно засобами віднаходження ординат ліній впливу різної складності і точності.

Лінії впливу нерозрізних конструкцій будують за правилами будівельної механіки різними методами [2, 9-13] – скінчених елементів при точних розрахунках, визначаючи ординати за спеціальними таблицями [10], за допомогою програмних комплексів [11] для врахування нелінійних явищ в системі і за спрощеними моделями методами важеля, сил, позацентрового стиску тощо.

Для підтвердження важливості врахування реальної крутильної жорсткості шляхом застосування актуального модуля зсуву, в залежності від величини діючого у перерізі внутрішнього зусилля, як приклад, наведемо результати чисельних експериментів прогонової будови за допомогою ПК «Лира».

У даному випадку розрахунок проведено у пружній постановці, без урахування утворення тріщин. При цьому у процесі зовнішніх ітерацій завдяки розрахункам у ПК «Лира» ми отримували значення крутильних моментів, за деформаційними залежностями [14] обчислювали значення модуля зсуву і за значеннями нових жорсткостей розраховували систему у ПК «Лира», і так до збіжності (відносна похибка між значеннями поточної і попередньої ітерацій δ не перевищувала 10^{-7} %).

Розглянуто перехресно-ребристу систему: балки розділені на 20 кінцевих елементів за довжиною, плити – на 5; зміну величин жорсткостей і моментів ми прослідкували за довжиною балок. Вихідні дані: ребра перерізом 25x25см, плити – 15x5см, клас бетону С16/20; довжина балок складає 3м, прольот – 1м. Схема прольотної будови наведена на рис.4. Рівномірно розподілене навантаження $q=5\text{кН/см}$ було прикладене до кожної з трьох балок почергово (до крайньої – 1-ї або 5-ї, до 2-ї або 4-ї і до 3-ї – центральної).

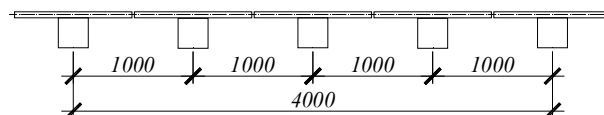


Рис. 4. Схема мостової прогонової будови

Максимальні крутильні моменти розвиваються у крайніх елементах; епюри в елементах балки однієї половини і іншої є зворотно симетричними, тому наводимо значення внутрішніх зусиль для елементів однієї половини балки. Епюри перерозподілу внутрішніх зусиль M_t (кНсм) при врахуванні змінення модуля зсуву бетону як складової крутильної жорсткості K_E при

розрахунку МКЕ у пружній постановці (у ПК «Лира» без утворення тріщин) представлені на рис. 5.

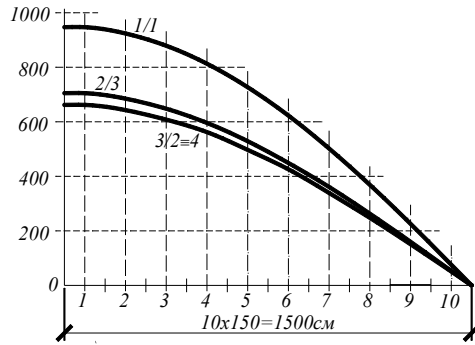


Рис. 5. Порівняння максимальних епюр Mt при 3-х випадках навантаження (для половини ребра за довжиною)

На рис. 5 у чисельнику позначено номер навантаженої балки (1-ша, 2-га або 3-тя), у знаменнику – номер балки, для якої побудовано епюру.

Відносна похибка між значеннями модуля зсуву i , відповідно, крутильної жорсткості (оскільки розрахунок проведено як пружний) досягала 8-13% у різних випадках навантаження. При завантаженні крайньої балки рівномірно розподіленим навантаженням у крайніх елементах стрижня спостерігався максимальний перерозподіл зусиль 13.06%.

У нижченаведених результатах розрахунку КІР зазначеної прогонової будови ординати ліній впливу визначено за допомогою ПК «Лира», КІР – як відношення діючого в кожній балці зусилля до максимально можливого у даному елементі.

Таблиця 1. Навантаження на 1-шу балку

№ балки	1	2	3	4	5
f_{max}	-6.096	-6.096	-6.096	-6.096	-6.096
$y(i)$	-3.952	-1.664	-0.432	-0.062	0.014
КІР	0.64832	0.27295	0.07091	0.0102	-0.0024

При навантаженні на першу балку маємо (табл. 1, рис. 6-7):

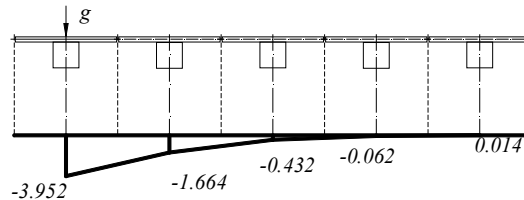


Рис. 6. Лінія впливу при навантаженні першої балки

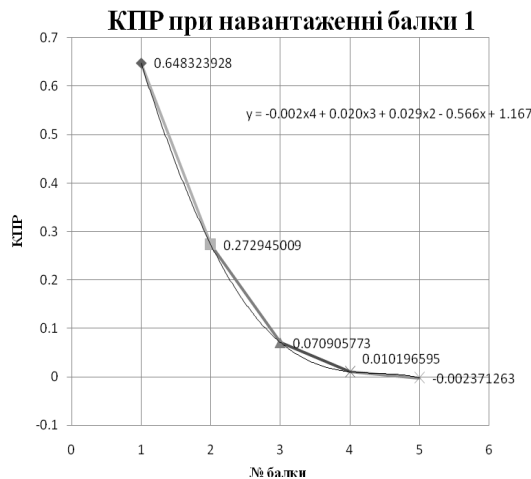


Рис. 7. Розподілення КІР при навантаженні першої балки

Як видно з рис. 1, наведена методика розрахунку дозволяє достатньо точно відобразити нелінійний характер перерозподілу зусиль у ребрах нерозрізної прогонової будови: нелінійне рівняння кривої четвертого ступеня збігається з розрахунковими значеннями.

При навантаженні на другу балку спостерігаємо (табл. 2, рис. 8-9):

Таблиця 2. Навантаження на 2-гу балку

№ балки	1	2	3	4	5
f_{max}	-6.096	-6.096	-6.096	-6.096	-6.096
$y(i)$	-1.664	-2.595	-1.368	-0.407	-0.062
КІР	0.27294	0.42574	0.22433	0.06679	0.0102

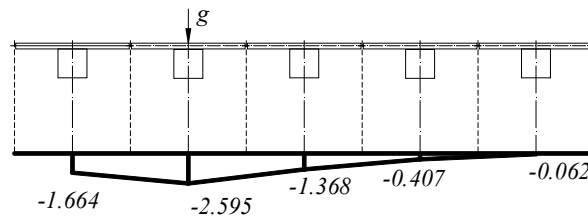


Рис. 8. Лінія впливу при навантаженні другої балки

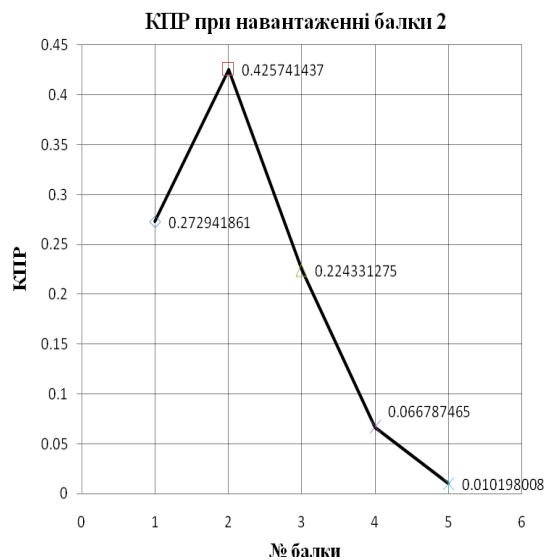


Рис. 9. Розподілення КІР при навантаженні другої балки

КІР при навантаженні на третю балку (табл. 3, рис. 10-11):

Таблиця 3. Навантаження на 3-тю балку

№ балки	1	2	3	4	5
f_{max}	-6.096	-6.096	-6.096	-6.096	-6.096
$y(i)$	-0.432	-1.368	-2.497	-1.368	-0.432
КІР	0.07091	0.22433	0.40953	0.22433	0.07091

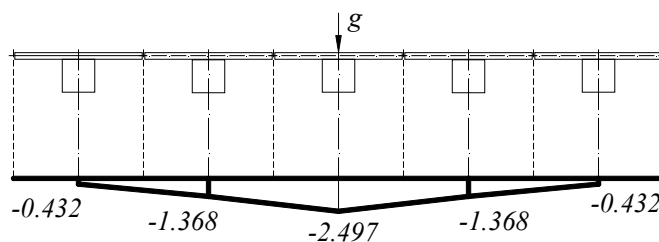


Рис. 10. Лінія впливу при навантаженні третьої балки

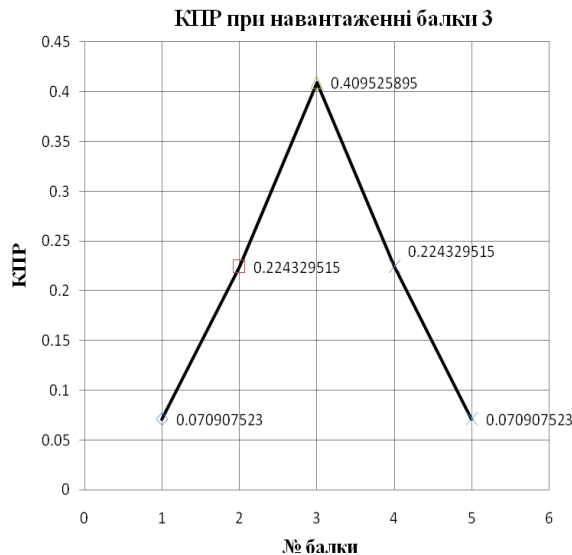


Рис. 11. Розподілення КІР при навантаженні третьої балки

Висновки і перспективи досліджень.

1. Перерозподіл зусиль в системах, що деформуються просторово, залежить від крутильної жорсткості, яка недостатньо досліджена при наявності в елементах нормальних тріщин і ігнорується зазначення нею впливу від зміни модуля зсуву на різних етапах роботи конструкції, що накладає відбиток на нормативні розрахунки і моделі роботи залізобетону, закладені у програмні комплекси.

2. Застосування деформаційних моделей підвищує точність розрахунків, але значно збільшує і трудомісткість, внаслідок чого необхідно розвивати і спрощені методики для застосування в інженерній практиці.

3. Розглянута методика відрізняється точністю і легкістю, що дозволяє вирішувати задачу просторового розрахунку конструкції завдяки нескладному визначенню внутрішніх зусиль від навантаження в кожному з елементів прогонової будови, а також більш детально досліджувати роботу матеріалу і враховувати при проектуванні вплив модуля зсуву бетону в залежності від деформацій пластичності як складової крутильної жорсткості ЗБЕ.

4. Доведена важливість прийняття до уваги при дослідженні НДС конструкції не лише змінення моменту інерції як складової крутильної жорсткості, але і змінювання модуля зсуву матеріалів конструкції в залежності від перерозподілу внутрішніх зусиль в елементах за довжиною балки.

1. Азизов Т.Н. Теория пространственной работы перекрытий. – К: Науковий світ, 2001. – 276 с.
2. Азизов Т.Н. Расчет железобетонных перекрытий и пролётных строений мостов. – Одеса: ОГАСА, 2009. – 192 с.
3. Азизов Т.Н. Пространственный расчёт железобетонных пролётных строений мостов// Дороги і мости. Збірник наукових праць. Вип. 7. – К.: ДерждорНДІ, 2007. – С. 8-21.
4. Азизов Т.Н. Экспериментальне дослідження діаграми зсуву бетону// Азизов Т.Н., Вільданова Н.Р. – Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип. 50 – Одеса: ОДАБА, 2013. – С. 3-9.
5. Азизов Т.Н. Экспериментальное определение нелинейной диаграммы сдвига бетона// Азизов Т.Н., Вільданова Н.Р. – Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип. 46 – Одеса: ОДАБА, 2012. – С. 3-8.
6. Залесов А.С., Мухамедиев Т.А. Настоящее и будущее расчета железобетона// Бетон и железобетон. – 2005. – №4. – С. 3–6.
7. Залесов А.С. Краткие заметки о расчете железобетонных конструкций монолитных зданий. – М., 2007. – 63 с.
8. Залесов А.С. Краткие заметки о расчете железобетонных конструкций на действие изгибающих моментов и продольных сил. – М., 2008. – 17 с.
9. Кваша В.Г. Розрахунок головної балки розрізної сталезалізобетонної прольотної будови автодорожнього моста: Методичний посібник. – Львів: Видавництво Національного ун-ту «Львівська політехніка», 2003. – 33 с.
10. Лившиц Я.Д., Онищенко М.М., Шкуратовский А.А. Примеры расчёта железобетонных мостов. – К.: Вища школа, 1986. – 263 с.
11. Лучко Й.Й., Коваль П.М., Корнієв М.М., Лантух-Лященко А.І., Харкаліс М.Р. Мости: конструкції та надійність. – Львів: Каменяр, 2005. – 989 с.
12. Розрахунок і проектування мостів. В 2-х т. Навчальний посібник/ За ред. А.Лантуха-Лященко. – К.: НТУ, 2007. – Т.1. – 337 с.
13. Яременко О.Ф., Школа Ю.О. Несуча здатність та деформативність залізобетонних стержневих елементів в складному напруженому стані. – Одеса: ОДАБА, 2010. – 136 с.

Стаття надійшла до редакції 24.09.2013.

УДК 624.9

В.Н. Алексеенко
ПЕРЕПРОФИЛИРОВАНИЕ ТОРГОВЫХ ЗДАНИЙ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА В
ОФИСНЫЕ ЦЕНТРЫ С ЖИЛЫМИ ПОМЕЩЕНИЯМИ

Представлены основные результаты исследования технического состояния существующего торгового здания в г. Алуште. Предложены технические мероприятия по усилению несущих конструкций для реконструкции здания с последующей надстройкой.

Ключевые слова: здание, усиление, реконструкция.

Рис. 4. Лит. 5.

В.М. Алексеенко
ПЕРЕПРОФІЛЮВАННЯ ТОРГІВЕЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ ПІВДЕННОГО БЕРЕГА
КРИМУ В ОФІСНІ ЦЕНТРИ З ЖИТЛОВИМИ ПРИМІЩЕННЯМИ

Представлені основні результати дослідження технічного стану існуючої торгівельної будівлі у м. Алушті. Запропоновані технічні заходи з посилення несучих конструкцій для реконструкції будівлі з подальшою надбудовою.

Ключові слова: будівля, посилення, реконструкція.

V.N. Alekseenko
CONVERSION OF COMMERCIAL BUILDINGS SOUTHERN COAST OF CRIMEA IN
OFFICE CENTER WITH LIVING QUARTERS

The basic results of research of the technical state of the existing commercial building in Alushta were presented. Technical measures to strengthen structures for reconstruction of the building, followed by the superstructure were proposed.

Keywords: building, strengthening, reconstruction.

Перепрофилирование торговых зданий, расположенных на прибрежных территориях Крыма в офисные центры с жилыми помещениями и последующей надстройкой является актуальной задачей. При этом оценка технического состояния несущих конструкций выявляет необходимость разработки инженерных решений по их усилению.

Строительная площадка находится в г. Алуште по ул. Партизанской.

Здание расположено на террасированном участке склона. Рельеф изменён в процессе освоения искусственными подрезками с закреплением склона выше здания подпорной стеной высотой ~ 3-3.5 м.

Строительная площадка находится в климатическом районе со следующими характеристиками [1]: по весу снегового покрова – 85 кг/м²; по ветровому давлению – 47 кг/м². Глубина промерзания грунтов - 0,6 м.

Участок, на котором расположено здание, по карте А отнесён к району с расчётной сейсмичностью 8-баллов [2].

Здание одноэтажное с цокольным этажом (рис. 1), прямоугольное в плане. Габариты плана здания в 13,54x15,03 м (рис. 2, 3).



Рис. 1. Перепрофилируемое здание в г. Алуште

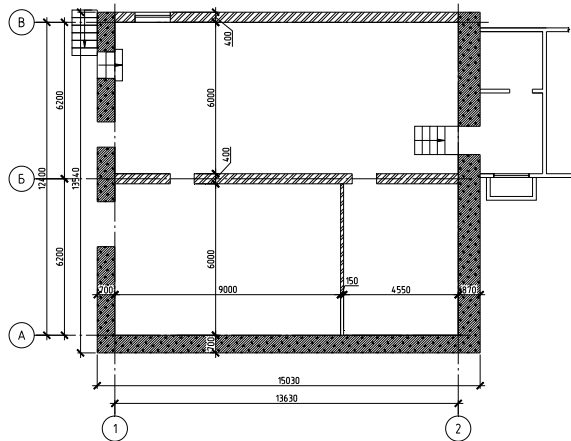


Рис. 2. План цокольного этажа

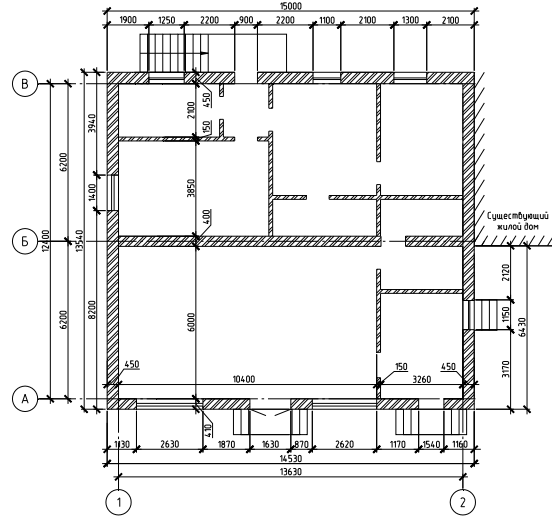


Рис. 3. План 1-го этажа

Конструктивная схема – бескаркасная с несущими продольными стенами, расположенными вдоль буквенных осей.

Обследуемый объект был построен в 1968 г. и соответствовал коду 1230.1 (магазин «Фрукты-овощи»), в настоящее время эксплуатируется в соответствии с кодом 1220.9 (Будівлі для конторських та адміністративних цілей інші) [3].

Фундаменты – ленточные бутобетонные. Глубина заложения и ширина сечения фундаментов несущих стен определена при помощи зондирования. Глубина заложения на 300 мм ниже уровня пола цокольного этажа. Ширина сечения фундамента наружных и внутренних несущих стен различная (600 мм и 700 мм). Прочность бетона бутобетонных фундаментов соответствует классу по прочности С 8/10 (В 10). Техническое состояние фундаментов – удовлетворительное. При этом необходимо отметить отсутствие гидроизоляции, что сопровождается фрагментарным увлажнением стен цокольного этажа.

Стены цокольного этажа (ширина 700 мм), контактирующие с грунтом, выполнены из монолитного бетона, установлены зоны стен из грунтобетона и шлакобетона на угольном шлаке. Прочность бетона зон из грунтобетона и шлакобетона достигает В 7.5 – С 8/10 (В 10). Прочность участков стены из бетона на морском песке и природной гальке достигает прочности В 12.5 – С 12/15 (В 15). Остальные стены цокольного этажа (ширина сечения стен – 400 мм) выполнены из мелкоштучных камней пильного известняка [4]. Камни Евпаторийского месторождения прочностью соответствующей марке М 15 и Альминского месторождения прочностью М 75 сложены на растворе соответствующей марке по прочности на сжатие М 50. Наблюдаются фрагменты кладки из глиняного кирпича прочностью соответствующей марке по прочности на сжатие М 75, кладочный раствор применен такой же прочности как и для кладки из мелкоштучных камней пильного известняка и соответствует классу по прочности на сжатие М 50. Техническое состояние стен цокольного этажа классифицируется как удовлетворительное. При этом следует подчеркнуть, что штукатурка требует капитального ремонта, отсутствие гидроизоляции способствует проявлению следов переувлажнения, стена здания примыкает к существующему жилому многоэтажному дому без антисейсмического шва. Конструкция пола цокольного этажа выполнена из монолитного железобетона армированного одной сеткой. При устройстве в цокольном этаже офисных помещений необходимо выполнить ремонт пола с устройством дополнительного армирования для предотвращения трещинообразования и разрушения будущего плиточного покрытия.

Стены надземного этажа (ширина сечения стен – 400 мм.) выполнены из мелкоштучных камней пильного известняка. Камни Евпаторийского месторождения прочностью соответствующей марке М 15 и Альминского месторождения прочностью М 75 сложены на растворе соответствующей марке по прочности на сжатие М 50. Наблюдаются фрагменты кладки из глиняного кирпича прочностью соответствующей марке по прочности на сжатие М 75, кладочный раствор применен такой же прочности, как и для кладки из мелкоштучных камней пильного известняка и соответствует классу по прочности на сжатие М 50. Перемычки дверных проемов в стенах надземного этажа выполнены из досок, оштукатуренных по сетке рабица, что не

рекомендується сучасними нормами будівництва в сейсмічних районах. Все такі перемички необхідно усилити. Технічне стан стін надземного етаж класифікується як задовільний, однак залізобетонні вертикальні сердечники, підвищують сейсмостійкість кладки стін, і залізобетонні антисейсмічні пояса, вимагані сучасними нормами, відсутні.

Перегородки виконані з цегли. Ширина сечення 120 мм. Прочність цегли відповідає марці по прочності на стиск М 75. Кладочний розчин – М 50. Армування і кріплення до покриттів і стінам відсутні. Технічне стан – задовільний.

Покриття над підвалом – монолітне залізобетонне. Висота сечення 160-180 мм. Бетон монолітного покриття виконаний на морському піску. Прочність відповідає класу по прочності на стиск С 8/10 (В 10) – В 12.5. Армування робочими стержнями \varnothing 16 АІІ з кроком 120-150 мм. Крок поперечної арматури до 450 мм. Корозія арматури на значній площі покриття досягає 40%. Монолітне покриття підвала в зоні вікна стіни по осі «В» опирається без перемички. Необхідно посилення зони опори або закладка вікна проема. Покриття підвала в осях «А»-«Б»/«1»-«2» виконані з збірних багатопорожнистих плит покриттів габаритними розмірами 1200х6300 мм. Технічне стан покриття над підвалом з збірних залізобетонних багатопорожнистих плит покриттів висотою сечення 220 мм в осях «А»-«Б»/«1»-«2» – задовільний. Технічне стан монолітного залізобетонного покриття над підвалом в осях «Б»-«В»/«1»-«2» – не придатне для подальшої експлуатації без посилення.

Покриття надземного етаж виконані з збірних залізобетонних багатопорожнистих плит покриттів габаритними розмірами 1200х6300 мм, висотою сечення 220 мм. Монолітні вставки покриття надземного етаж в результат багаторічного протікання даху пошкоджені корозією арматури (до 40%), спостерігається руйнування захисного шару. Все такі пошкоджені зони монолітних вставок слід видалити і виконати нові. Технічне стан покриття надземного етаж з збірних залізобетонних багатопорожнистих плит покриттів висотою сечення 220 мм задовільний.

Дах рулонний з теплоізоляцією - при реконструкції з надбудовою необхідно демонтувати.

По результатах обстеження для оцінки сейсмостійкості об'єкта виконаний аналіз просторової несучої системи будівлі в відповідності вимогам норм проектування [2]. При цьому враховані прийняті архітектурно-планувальні і конструктивні рішення, параметри конструкцій і фактичні характеристики матеріалів.

На основі цього при розробці проекту реконструкції з надбудовою необхідно передбачити наступне.

Вікна проєми в підвалі в стіні усилити постановкою парних рамок з кутової сталі 100х100х7 по ГОСТ 8509-86, або закласти цегляною кладкою з каменів маркі по прочності на стиск М75 на цементно-піщаному розчині маркі на стиск М50.

Покриття підвала в осях «А»-«Б»/«1»-«2» усилити постановкою балок (вдоль цифрових осей) в середині прольоту з спарених швеллерів №20 (по ГОСТ 8240-89), на металевих стійках і власних залізобетонних фундаментах з кроком від 3.5 до 4.0 м (Рис. 4). Таким чином, буде не тільки усилена покриття, не придатне для подальшої експлуатації, але і значно розвантажено фундаменти стін по осях «Б» і «В». Для вирівнювання тисків під існуючими фундаментами, а також не допущення нерівномірних осадок будівлі при реконструкції з надбудовою мансарди рекомендується встановити аналогічну стовпочно-балочну систему (Рис. 4) під плитами покриття підвала в осях «А»-«Б»/«1»-«2». При реалізації рекомендуваного технічного рішення будуть зменшені навантаження від власного ваги покриття підвала, перегородок надземного етаж і корисної навантаження надземного етаж на несучі стіни підвала і відповідно фундаменти несучих стін в два рази. Це дозволить виконати надбудову мансардного етаж практично без збільшення гравітаційної складової навантаження на основи існуючих фундаментів. Таким чином уникнути ризику нерівномірних осадок існуючого будівлі. І не вносити додаткових силових факторів в існуючу складну статичну систему, створену обстежувані об'єктом і сусіднім будівлі розташуваним без антисейсмічного шва багатоповітряним житловим будівлі.

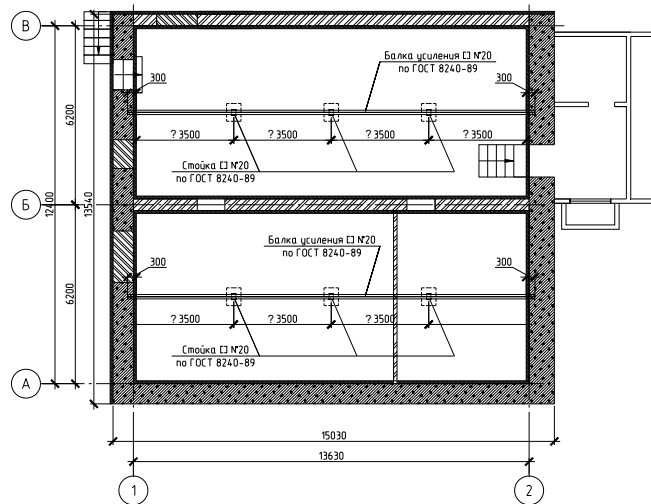


Рис. 4. Схема расположения стоечно-балочной системы в цокольном этаже

Поскольку стены здания и сборные железобетонные перекрытия не имеют антисейсмического конструктивного вооружения, регламентируемого нормами [2, п.п. 3.3.2, 3.10.9], необходимо выполнить эквивалентную этому замену. Наиболее экономичным решением в данной ситуации является устройство по стенам двухсторонних торкретбетонных армированных рубашек толщиной сечения 50 мм и антисейсмического пояса из стального прокатного швеллера. Такое усиление стен позволит решить несколько задач:

- устранил накопленные дефекты кладки стен (пустошовку, раковины, зоны размораживания поверхностных слоев и т.п.);
- послужит каменной кладке надёжной железобетонной обоймой, повысив тем самым её несущую способность и, следовательно, обеспечит возможность восприятия дополнительных нагрузок от надстройки;
- стянутые стальными шпильками между собой через стену швеллера, во-первых, будут работать аналогично антисейсмическому поясу, во-вторых, увеличат площадку опирания плит покрытий.

Сопряженные с обрезами фундаментов рубашки стен значительно повысят жёсткость здания при восприятии горизонтальных нагрузок, в т. ч. сейсмических.

Железобетонный козырёк (консольный элемент) над входом в стене по оси «А» - обрезать угло-шлифовальной машиной с абразивным кругом без нарушения целостности балочного элемента козырька находящегося в кладке.

Оконные проемы надземного этажа усилить постановкой стальных стоек.

Наружную лестницу на мансардный этаж выполнить на собственных стальных опорах у стены по оси «А».

Дверные и оконные проемы надземного этажа с перемычками из древесины усилить постановкой парных рамок из угловой стали.

Демонтировать элементы мягкой кровли, прочистить дефектные швы между плитами покрытия и зачеканить их мелкозернистым бетоном класса С 12/15.

Связать многпустотные плиты покрытия между собой при помощи внутренних анкеров из стержней арматурного проката $\varnothing 12$ А 400С, замоноличенных бетоном С 12/15 в пустоты плит на стене по оси «Б».

Мансардный этаж устраивать с возможностью прохода вдоль стены смежного жилого дома для обслуживания газопровода. В надстраиваемом мансардном этаже необходимо предусмотреть облегчённые полы и перегородки.

Выводы:

1. С учетом сложившегося в курортных городах и поселках Крыма дефицита офисных помещений, а также неумывающейся с годами сезонной потребностью в жилых помещениях, целесообразно перепрофилирование ряда торговых зданий, построенных в прошлом веке и не соответствующих предъявляемым к объектам торговли современным технологическим и эстетическим требованиям.

2. Снижение расчетной нагрузки на перекрытия (при перепрофилировании здания с изменением его функционального назначения) как правило выявляет запасы несущей способности грунтов оснований, позволяющих выполнить надстройку без усиления фундаментов.

3. При принятии решения о надстройке возникает необходимость решения технических проблем связанных с увеличением сейсмовооруженности здания в целом, а также весьма бережного отношения к недопущению неравномерных осадок фундаментов, даже при имеющихся солидных расчетных запасах несущей способности грунтов оснований.

1. ДБН В. 1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. К.: Мінбуд України. 2006. – 60 с.
2. ДБН В.1.1-12:2006. Строительство в сейсмических районах Украины. К.: Мінбуд України. 2006, – 49 с.
3. Державний класифікатор будівель та споруд ДК 018-2000, затвердженим наказом Держстандарту України від 17.08.2000 N 507.
4. ДБН В.1.1-1-94 «Проектирование и строительство гражданских зданий из блоков и камней пыльных известняков крымских месторождений в сейсмических районах», КиевЗНИИЭП, К.: 1995, – 36 с.
5. Алексеенко В.Н., Жиленко О.Б. Техническое заключение по результатам обследования несущих конструкций нежилого здания с разработкой рекомендаций по реконструкции с надстройкой по адресу: г. Алушта, ул. Партизанская, 23. / НПП Южсейсмострой – Симферополь, 2013 г., – 58 с.

Стаття надійшла до редакції 27.08.2013.

УДК 621.433.03: 629.114.4

Б.И. Базаров, С.А. Калауов, А.Х. Васидов
**МЕТОДОЛОГИЯ ВЫБОРА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ МОТОРНЫХ
ТОПЛИВ**

В статье рассмотрены методологические подходы к выбору и использованию альтернативных моторных топлив вместо бензинов и дизельного топлива с учетом различных факторов. Сделана попытка выполнить классификационное технологически-стоимостное сравнение показателей альтернативных моторных топлив.

Ключевые слова: автотранспортное средство, двигатели внутреннего сгорания, энергоэкологическая оценка, альтернативное топливо.

Табл. 2. Форм. 3. Лит. 3.

Б.І. Базаров, С.А. Калауов, А.Х. Васідов
**МЕТОДОЛОГІЯ ВИБОРУ ТА ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ
МОТОРНИХ ПАЛИВ**

В статті розглянуті методологічні підходи до вибору та використання альтернативних моторних палив замість бензину і дизельного палива з врахуванням різних факторів. Зроблена спроба виконати класифікаційне технологічно-вартісне порівняння показників альтернативних моторних палив.

Ключові слова: автотранспортний засіб, двигуни внутрішнього згорання, енергоекологічна оцінка, альтернативне паливо.

B.I. Bazarov, S.A. Kalayov, A.H. Vasidov
**METHODOLOGY FOR THE SELECTION AND USE OF ALTERNATIVE MOTOR
FUELS**

The article describes the methodological approaches to the selection and use of alternative motor fuels instead of gasoline and diesel fuel, including various factors. An attempt was made to perform a classification of technologically-cost comparison of indicators alternative motor fuels.

Key words: vehicle, internal combustion engine, energy environmental assessment, alternative fuel.

В настоящее время значимость замены моторных топлив нефтяного происхождения другими альтернативными топливами занимает ведущее место в обеспечении энергетической и экологической безопасности многих стран.

При разработке и использовании топлив-заменителей оценочными критериями могут являться: природные ресурсы топлив-заменителей; суммарные (за весь жизненный цикл) отрицательные воздействия на окружающую среду; технологическая (энергетическая) совместимость; теплотворность и пределы воспламеняемости горючей смеси; детонационная стойкость или воспламеняемость; энергозатраты производства и использования; длительность хранения, КПД получения и использования; коррозионная активность; безопасность и длительность эксплуатации и др.

В этой связи ниже представлены материалы, связанные с разработкой методологических основ выбора и использования альтернативных моторных топлив.

С учетом указанных выше оценочных критериев для Узбекистана наиболее значимыми топливами-заменителями являются природный газ (в сжатом (СПГ) и сжиженном видах (СжПГ)), сжиженный нефтяной газ (СНГ), композиционные жидкие топлива с использованием многофункциональной спиртоэфировой смеси, биотоплив (биодизель и биогаз), синтетические топлива, включая диметиловый эфир (ДМЭ), воднотопливные эмульсии (ВТЭ) и др.

Первичными энергетическими ресурсами для получения композиционных топлив являются нефть, уголь, природный газ, горючие сланцы, а для получения биотоплив – природный газ, масляная растительность (биомасса), минералы, органические отходы, которые в Узбекистане имеются в достаточном количестве.

С другой стороны современные экологические требования ставят перед исследователями требования, связанные с разработкой новых методологических решений по их выбору и использованию с соответствующими оценочными критериями во всех стадиях жизненного цикла (добыча, переработка, хранение, транспортировка, эксплуатация, утилизация).

При этом следует помнить о том, что выбор и использование различных моторных топлив в свою очередь обуславливает также соответствующие конструктивно-технологические решения по системам питания, зажигания, а также по программам управления двигателя в целом.

В целом выполнение современных энергоэкологических требований к альтернативным топливам должны базироваться на применении методов:

- разработки научно-обоснованных экологически чистых заменителей/добавок моторных топлив с учетом влияния всевозможных факторов;
- комплексной/интегральной оценки возможных конструктивно-технологических решений полной/частичной замены моторных топлив.

Данные материалы будут методологической основой (научная сущность, используемые методы и методика, принципы исследований) данного научного направления.

Обычно исследования данного направления связаны с неполной постановкой задачи, т.е. дается объект исследования и условия выбора (решений) и при этом требуется определить или установить правила выбора, которые отличаются от исследований с полной постановкой задач, где даются объект, условия и правила выбора, а требуется только осуществить выбор.

Основу таких исследований составит системный анализ, который рассматривается по четырем основным характеристикам: назначению, (согласование с ОС), функции (преобразование назначения в действие), потоку (движения материи/энергии и информации) и структуре (общий план по достижению наиболее вероятного и желаемого результата с обратной связью, оценки результатов)

Применение метода анализа иерархии – иерархическое представление изучаемой проблемы является доступным методом для изучения данной проблемы, где поставленные задачи решаются поэтапно с соответствующими приоритетными оценочными критериями.

Например, на первом этапе (этап «Топливо»), исследуемое топливо проходит следующий перечень испытаний:

- поисковые (предварительно-оценочные), предназначенные для оценки выбранных эксплуатационных показателей;
- лабораторные, предназначенные для оценки физико-химических показателей;
- стендовые, предназначенные для определения энергетических, экологических и других показателей энергетических установок;
- полигонные, предназначенные для получения тягово-скоростных и топливно-экологических показателей транспортного средства, а также подтверждения полученных результатов стендовых испытаний;
- эксплуатационные, предназначенные для установления особенностей использования альтернативного топлива в условиях эксплуатации, оценки его влияния на надежность техники, установления возможных изменений в периодичности и в объеме выполняемых технических обслуживаний.

Если выполнение второго и третьего этапов базируется на требования существующей нормативной документации, то выполнение первого, четвертого и пятого этапов требует разработки соответствующих методик и программ.

Поэтапное выполнение работ по выбору того или иного вида альтернативного моторного топлива должно сопровождаться комплексной (с учетом нескольких свойств) или интегральной (отношения суммарного полезного эффекта к суммарным затратам) оценкой.

Комплексным критерием энергоэкологической эффективности может служить оценка снижения энергозатрат и выбросов вредных веществ с отработавшими газами на выполнение конкретной работы

$$\left[\frac{Q \cdot C_m}{L} + Y \right]_{БАЗ} \geq \left[\frac{Q \cdot C_m}{L} + Y \right]_{АТ} \quad (1)$$

где Q – расход топлива для базового и альтернативного видов топлива;

C_m – стоимость базового и альтернативного видов топлива;

L – объем выполненной работы;

Y – экологический ущерб при использовании базового и альтернативного видов топлив.

Заслуживает внимание также расчет стоимости энергии за весь период срока службы энергетической установки, работающей на тех или иных видах топлив

$$C_3 = \frac{2C_d + C_{ЭМ} + C_{до}}{K_p \cdot N_e \cdot 2M}, \quad \frac{y.e.}{кВт \cdot ч} \quad (2)$$

где $2C_0$ – стоимость нового и капитально отремонтированного двигателя;

$C_{ЭМ}$ – стоимость топлива и смазочных материалов;

$C_{до}$ – стоимость дополнительных оборудований, необходимых для работы на альтернативном топливе;

K_{Ne} – коэффициент использования эффективной мощности двигателя;

N_e – эффективная мощность двигателя;

$2M$ – удвоенный моторесурс (до или после капитального ремонта).

Расчет коэффициента эффективности работы транспортного средства

$$\eta_{\varepsilon} = \frac{q \cdot v_{cp}^2}{Q_{cp} \cdot \rho} \cdot c, \quad \% \quad (3)$$

где q – перевозимая полезная нагрузка;

v_{cp} – средняя скорость движения;

Q_{cp} – средний эксплуатационный расход топлива;

ρ – плотность топлива;

c – коэффициент, зависящий от теплотворной способности используемого топлива.

По результатам вышеуказанных исследований также могут быть получены обобщенные сравнительные энергоэкологические показатели двигателя получить в виде таблицы (табл. 1).

Таблица 1. Сравнительные энергоэкологические показатели двигателей, работающих на различных топливах

№	Показатели	Среднее значение, %					
		двигатели с искровым зажиганием			дизели		
		бензин	СНГ	СПГ	Дизельное топливо	СНГ ²	СПГ ²
1	Мощность максимальная	100	93(98 ¹)	85(97 ¹)	100	98	96
2	Соотношения M_{max} к P_{Mmax}	100	105	112	100	102	104
3	Расход топлива:						
	– по объему	100	119	132	100	110	122
	– по теплу	100	93(97 ¹)	89(95 ¹)	100	98	94
4	Валовые выбросы:						
	– оксида углерода	100	34	20	100	104	106
	– углеводородов	100	58	42	100	105	107
	– окислов азота	100	100	96	100	100	100
	– сажи	–	–	–	100	–	–
	– двуокиси углерода	100	112	118	100	102	106

1- для двигателей с инжекторной газовой системой питания;

2- для газовых двигателей на базе дизеля.

Существенную ясность в этом вопросе также может вносить классификационное технологически-эксплуатационное сравнение показателей рассматриваемых альтернативных топлив (табл. 2).

Таблица 2. Классификационное технологически-эксплуатационное сравнение показателей альтернативных топлив

№	Альтернативное топливо	Основное топливо	Топливная добавка	Улучшаемые эксплуатационные показатели	Ограничиваемые показатели	Показатели для дополнительных исследований
1	Природный газ	Природный газ	–	Ресурсные, экологические	Тепловая напряженность (газовый двигатель на базе дизеля), уменьшение полезной нагрузки	Показатели рабочего процесса, несгоревшие углеводороды, двуокиси углерода
2	Композиционное	Бензин	Спирто-эфировая смесь (метанол, этанол, бутанол)	Пусковые, ресурсные, экологические	Теплотворная способность топлива, содержание ароматических углеводородов	Затраты на ТО и Р, выбросы двуокиси углерода, длительность хранения
3	Композиционное	Дизельное топливо	Спирто-эфировая смесь	Температура помутнения, пусковые, ресурсные, экологические	Цетановое число, стоимость получения	Затраты на ТО и Р, выбросы двуокиси углерода
4	Композиционное	Дизельное топливо/ДМЭ	ДМЭ/–	Воспламеняемость, пусковые, экологические	Вязкость, теплотворная способность топлива, стоимость получения	Ресурсные, безопасность эксплуатации
5	Биотопливо	Биодизельное топливо	–	Содержание серы, воспламеняемость, ресурсные, экологические	Плотность, вязкость, температура помутнения, теплотворная способность, содержание глицерина, фосфора, йодное число	Затраты ТО и Р, фильтруемость, длительность хранения, выбросы двуокиси углерода
6	Биотопливо	Дизельное топливо	Биодизельное топливо	Содержание серы, воспламеняемость, ресурсные, экологические	Плотность, вязкость, температура помутнения, стоимость получения	Затраты ТО и Р, фильтруемость, выбросы двуокиси углерода
7	Биотопливо	Биогаз	СПГ, водород	Экологические	Теплотворная способность топлива	Выбросы двуокиси углерода, безопасность эксплуатации, затраты получения
8	Биотопливо	Биогаз	–	Экологические	Теплотворная способность топлива	Выбросы двуокиси углерода
9	Воднотопливные эмульсии	Воднотопливные эмульсии	–	Экологические	Теплотворная способность топлива, воспламеняемость	Затраты ТО и Р

В заключение следует отметить, что только подробная разработанная методология позволяет выявить полную информацию о возможности выбора и использования тех или иных видов альтернативных моторных топлив для конкретных условий эксплуатации.

1. Лютко В., Луканин В.Н., Хачиян А.С. Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания. – М.: МАДИ, 2000. – 311 с.
2. Базаров Б.И., Васидов А.Х., Калауов С.А. Особенности перевода дизелей на питание сжатым природным газом // АГЗК+АТ, 2011, №6. – С. 32-38.
3. Базаров Б.И. Экологическая безопасность автотранспортных средств – Ташкент: Chinog ENK, 2012. – 216 с.

Стаття надійшла до редакції 26.09.2013.

УДК 621.81

С.Г. Білик, А.П. Драган, В.І. Диня, І.В.Фльонц, М.І. Клендій
РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ФОРМОУТВОРЕННЯ
ГВИНТОВИХ ГОФРОВАНИХ ЗАГОТОВОК

Приведені результати експериментальних досліджень виготовлення гвинтових гофрованих заготовок на оправку з сталевих і алюмінієвих матеріалів на спеціально виготовленому пристрої. Представлені графічні залежності величин зусиль навивання гвинтових гофрованих заготовок від ширини і товщини стрічки, радіусів спіралі і висоти гофр.

Ключові слова: гвинтові гофровані заготовки, технологічний процес.

Рис. 5. Літ. 5.

С.Г. Билык, А.П. Драган, В.И. Дыня, И.В.Фльонц, М.И. Клендий
РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ВИНТОВОЙ ГОФРИРОВАННОЙ ЗАГОТОВОК

Приведены результаты экспериментальных исследований изготовления винтовых гофрированных заготовок на оправку с стальных и алюминиевых материалов на специально изготовленном устройстве. Представлены графические зависимости величин усилий навивки винтовых гофрированных заготовок от ширины и толщины ленты, радиусов спирали и высоты гофр.

Ключевые слова: винтовые гофрированные заготовки, технологический процесс.

S.G. Bilyk, A.P. Dragan, V.I. Dynja, I.V. Flonts, M.I. Klendiy
RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES FORMATION SPIRAL CORRUGATED
BLANKS

The results of experimental studies of manufacturing helical corrugated blanks on the mandrel with steel and aluminum materials for specially manufactured device. Presented graphic dependences of effort navyvannya spiral corrugated pieces of tape width and thickness, radius and height of the spiral corrugated.

Keywords: spiral corrugated blanks, process.

Постановка питання: Машинобудування має першочергове значення для технічного переозброєння всього народного господарства країни. Тому сучасний стан його розвитку вимагає пошуку нових шляхів покращення експлуатаційних та технологічних параметрів деталей машин, які б дали змогу покращити якість продукції, зменшити собівартість її виготовлення та ремонту. У машинобудуванні важливе місце посідає задача розроблення прогресивних технологічних процесів (ТП) виготовлення транспортних засобів, прогресивного технологічного оснащення, різального та вимірювального інструментів і відпрацювання на технологічність конструкцій гофрованих робочих органів. Незважаючи на значну кількість наукових праць, які присвячені технології виготовлення гвинтових гофровок робочих органів., рівень технологічного забезпечення залишається недостатньо високим, а наукова база для його створення не завжди відповідає сучасним вимогам за матеріало- та енергомісткістю та іншими параметрами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми виготовлення гвинтових гофрованих заготовок ГЗ присвячені праці вчених [1,2,3,4,5]. Не зважаючи на значну кількість наукових праць з виготовлення гвинтових заготовок, рівень технологічного забезпечення залишається недостатньо високими, а наукова база для їх створення не завжди відповідає сучасним вимогам.

Мета роботи: проведення експериментальних досліджень і встановлення залежностей величини навивних моментів від різних параметрів, марок матеріалів заготовок і режимів їх навивання.

Реалізація роботи: Пристрій для виготовлення гофрованих гвинтових заготовок (пат. № 65124) зображено на рис. 1. Його виконано у вигляді ступінчастої оправки 1 із торцевим виступом 2, який виконано з кроком рівним товщині заготовки 3 з гофрами. Ступінчата оправка має осьовий паз 4 для закріплення кінця заготовки і привід обертаня від шпинделя верстату. Притискування заготовки до торцевого виступу 2 ступінчастої оправки зверху здійснюється притискним роликком 5 з гофрованими поверхнями 6. Притискний ролик центральним отвором встановлений на вісь 7, яка паралельна осі ступінчастої оправки, з можливістю вільного обертаня. З правої сторони ступінчата оправка переходить в менший діаметр 8 на який навивається гвинтова гофрована заготовка 3, а вільний кінець ступінчастої оправки підтискується піноллю задньої бабки 9. Знизу під меншим діаметром 8 розміщений формуючий ролик 10, який виконано ступінчатим, верхня його ступиця виконана з гофрами по всій висоті, які є аналогічними з гофрами притискного ролика 5.

© С.Г. Білик, А.П. Драган, В.І. Диня, І.В.Фльонц, М.І. Клендій

Формуючий ролик 10 з можливістю вільного обертання встановлено на осі яка перпендикулярна до осі ступінчатої оправки і лежить з нею в одній вертикальній площині, він торцевою поверхнею 11 більшої ступиці є в контакт з ребром заготовки і притискує її до торцевого виступу 2 ступінчатої оправки знизу. Горизонтальне притискування заготовки 3 до ступінчатої оправки здійснюється торцевою гофрованою поверхнею меншої ступиці формуючого ролика 10. Останній встановлено на підшипниковій втулці 12, яка вільно обертається на осі 13 закріпленій в кронштейні 14, який встановлений на супорті верстата 15 з можливістю переміщення паралельно осі ступінчатої оправки з подачею на оберт рівною товщині заготовки з гофрами. Для підвищення жорсткості пристрою формуючий ролик 10 спирається на кронштейн 14 через прокладку 16 і підшипник 17. Він закритий кожухом 18 для захисту механізму від забруднення.

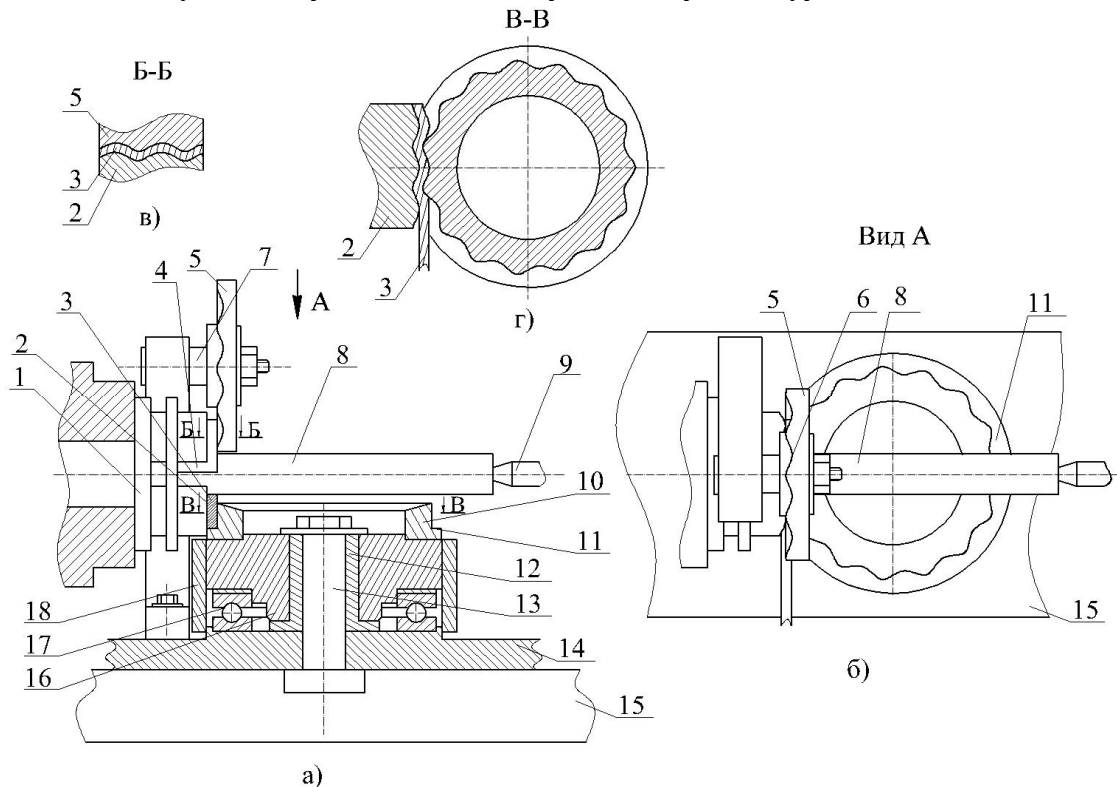


Рис. 1. Пристрій для виготовлення гвинтових гофрованих заготовок:
а) загальний вигляд; б) вид А; в) січення по Б-Б; г) січення по В-В

Технологічний процес навівання гофрованих гвинтових заготовок здійснюється наступним чином. Формуючий ролик 10 і притискний ролик 5 відводяться з зони формоутворення. Кінець заготовки 3 згинається під кутом 90° і вводиться в паз 4 де фіксується відомими способами. Після чого формуючий ролик 10 підтискує заготовку 3 до торцевого виступу 2 і меншого діаметра 8 і здійснюється навівання одного витка. Після цього притискний ролик 5 підводять до заготовки, включають верстат і здійснюють процес навівання гофрованих заготовок. Після завершення навівання гофрованої гвинтової заготовки верстат зупиняють. Відводять піноль задньої бабки 9 вправо, а притискний 5 і формуючий 10 ролики теж відводять з зони формоутворення, відпускають кінець заготовки і знімають її з оправки.

Навівання наступної заготовки здійснюється аналогічно.

До переваг запропонованого пристрою відноситься розширення технологічних можливостей і можливість навівання гофрованих гвинтових заготовок різних типорозмірів.

Для виготовлення ГГЗ запропоновано раціональну технологію з проведенням експериментальних, статичних і динамічних досліджень та вимірювань технологічних, силових і конструктивних параметрів, а також випробування заготовок у лабораторних та виробничих умовах з метою забезпечення необхідних показників точності, надійності та їх відповідності технічним умовам експлуатації.

Проведено комплекс експериментальних досліджень процесів навівання ГГЗ із внутрішніми діаметрами 25 - 80 мм з стрічки товщиною 0,5 - 3 мм, що дозволило з більшою точністю встановити закономірності та особливості процесів формоутворення гвинтових і кільцевих ГЗ. У

якості заготовок використовували стрічки з матеріалів: сталь 08 кп ($\sigma_{TO}=276$ МПа, $P=483$ МПа), Ст 3 ($\sigma_{TO}=368$ МПа, $P=526$ МПа), алюмінієві сплави.

Момент навівання у всіх випадках визначали методом тензометрування. Навівання заготовок здійснювали за технологічними схемами, описаними в розділі 3, на пристроях з формувальними роликми, вісі яких розміщено відносно вісі оправи перпендикулярно.

На рис. 2 наведено результати експериментальних досліджень моменту навівання стрічок з матеріалу Ст 3 товщиною 1 - 3 мм залежно від ширини стрічки на оправу діаметром 100 мм.

Експерименти підтвердили, що оптимальні значення попереднього радіального притискання не повинні перевищувати 200 Н.

Зусилля визначали динамометром ДОС-05, який встановлювали в рамі вимірювального пристрою, закріпленого у супорті токарно-гвинторізного верстату 16К20. Осьову силу притискання визначали динамометром за умови рівності моментів, створених силами згинання P та притискання Q .

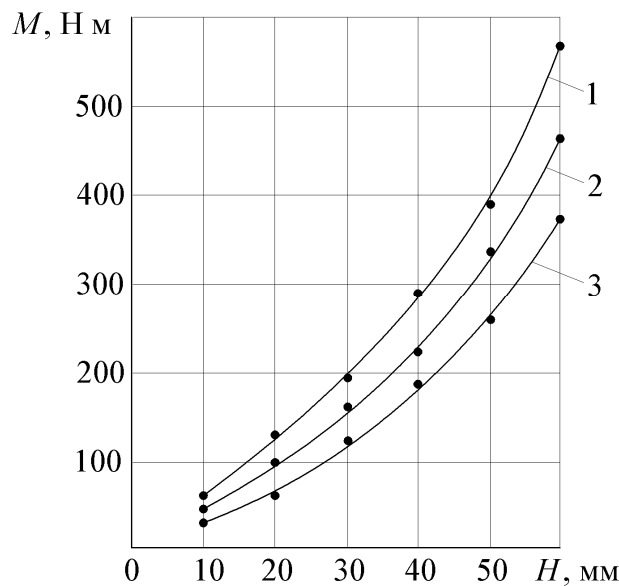


Рис. 2. Залежність величини моменту навівання ГГЗ від ширини стрічки ($r=100$ мм; $m=15$ мм; сталь 08кп): 1- $S=3$ мм; 2- $S=2$ мм; 3- $S=1$ мм

На рис. 3 - 5 наведено залежності зміни сили навівання гофрованої стрічки від конструктивних параметрів заготовки і обладнання.

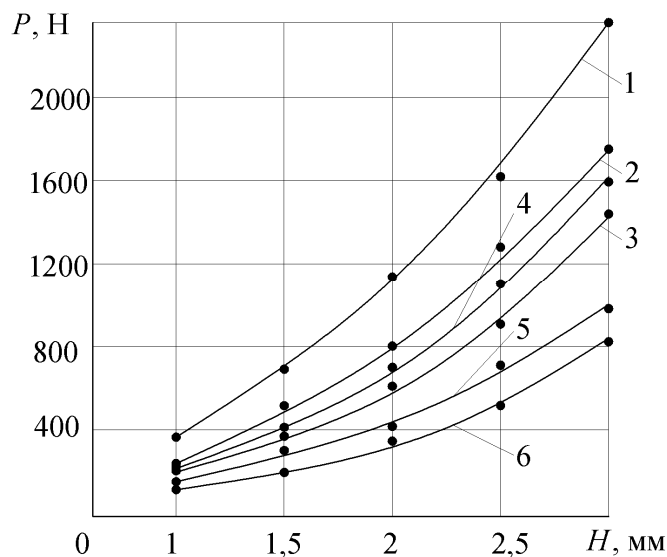


Рис. 3. Залежність сили навівання ГГЗ від товщини стрічки ($r=100$ мм; $R=170$ мм): сталь 08кп – 1) $m=10$ мм; 2) $m=15$ мм; 3) $m=20$ мм; алюміній Д16М – 4) $m=10$ мм; 5) $m=15$ мм; 6) $m=20$ мм

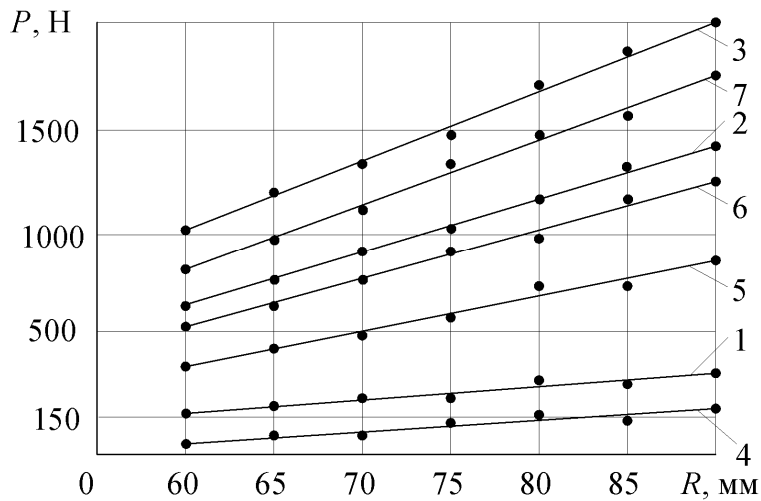


Рис. 4. Залежність сили навівання ГГЗ від зовнішнього радіуса спіралі ($r=100$ мм; $m=15$ мм): сталь 08кп – 1) $H=1$ мм; 2) $H=2$ мм; 3) $H=2,5$ мм; алюміній Д16М – 4) $H=1$ мм; 5) $H=2$ мм; 6) $H=2,5$ мм; 7) $H=3$ мм

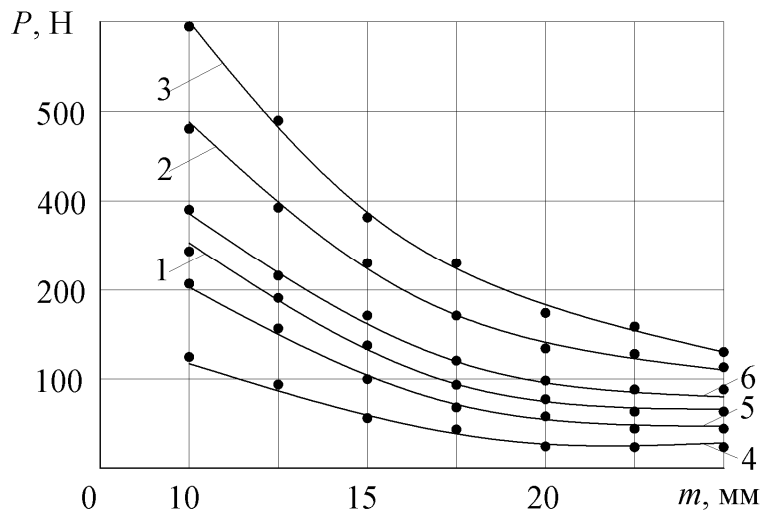


Рис. 5. Залежність сили навівання ГГЗ від висоти гофра ($r=100$ мм; $H=1$ мм): сталь 08кп – 1) $R=160$ мм; 2) $R=170$ мм; 3) $R=180$ мм; алюміній Д16М – 4) $R=160$ мм; 5) $R=70$ мм; 6) $R=80$ мм

З графіків (рис. 3 - 5) видно, що із збільшенням ширини стрічки в межах 10-60 мм момент навівання ГГЗ зростає в межах 54-574 Нм. Зусилля навівання із збільшенням товщини і ширини стрічки збільшується, а із збільшенням висоти гофра зменшується.

На основі проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

Приведені результати експериментальних досліджень навівання гвинтових гофрованих заготовок на оправку спеціально виготовленого пристрою зі сталевих і алюмінієвих заготовок.

Представлені графічні залежності зміни величини згинного моменту навівання гвинтових гофрованих заготовок від ширини і товщини стрічок, радіусів згину спіралей і висоти гофра.

1. Гевко Б.М. та і нші. Технологія сільськогосподарського машинобудування. К.: Кондор, 2006. – 490 с.
2. Жолобов О.О. Кирилович В.А. Мельничук П.П./ Технологія автоматизованого виробництва: Підручник Житомир. – 2006. – 290 с.
3. Пилипець М.І., Васильків В.В. Проектування секційних гвинтових заготовок. / Тернопіль – 201 Зр 180 с.
4. Драган А.П. Теоретичні передумови технологічного процесу виготовлення гвинтових гофрованих заготовок. автореферат канд. техн. наук., Тернопіль ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2007. – 20 с.
5. Васильків В.В., Радик Д.Л., Прогресивна технологія виробництва гвинтових елементів транспортно-технологічних систем сільськогосподарських машин // Наукові нотатки. – Луцьк: Ред. – вид. відділ ЛДТУ. – 2002. – Вип. 11. – С. 39-44.

Стаття надійшла до редакції 04.09.2013.

© С.Г. Білик, А.П. Драган, В.І. Диня, І.В. Фльонц, М.І. Клендій

В.І. Бодак

АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ ШНЕКОВИХ НАСОСІВ ПРИ ДОБУВАННІ САПРОПЕЛЕЙ

У статті представлені рівняння для визначення демпферних зон та продуктивності шнекових механізмів, а також дано екологічну оцінку впливу різних конструкцій насосів на зону добування.

Ключові слова: сапропель, шнековий насос, грейферний екскаватор, земснаряд.

Літ. 2.

В.И. Бодак

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ШНЕКОВЫХ НАСОСОВ ПРИ ДОБЫЧЕ САПРОПЕЛЕЙ

В статье представлены уравнения для определения демпферных зон и производительности шнековых механизмов, а также дано экологическую оценку влияния различных конструкций насосов в зону добычи.

Ключевые слова: сапропель, шнековый насос, грейферный экскаватор, земснаряд.

V.I. Bodak

ANALYSIS OF PARAMETERS OF AUGER PUMPS AT EXTRACTION OF SAPROPEL

In the article presented equation for determining the damper areas and performance screw mechanism, and given the environmental impact assessment of different designs of pumps in the mining area.

Key words: sapropel, auger pump, grab excavator, dredger.

У зв'язку з різким зменшенням поголів'я худоби в Україні відчувається нестача органічних добрив. Цю нестачу можна компенсувати за рахунок добування природних органічних добрив – сапропелів. Внесення сапропелевих добрив покращує механічну структуру ґрунту, підвищує родючість на 3 - 4 роки, збільшує вологопоглинаючу та вологозатримуючу здатність. Крім того, сапропель не дає переходити радіонуклідам, що знаходяться в ґрунті, в рослину [1].

Нами проведено екологічна оцінка впливу робочих органів земснаряду, грейферного екскаватора та шнекових механізмів на якісний склад озерної води в зоні розробки сапропелів.

Виявлено що добувні машини при грейферному способі добування сапропелю з екологічної сторони негативно впливають на місце добування та як проходить інтенсивне змивання сапропелевої маси з ковша. В період проведення добувних робіт проходить значне збільшення біохімічної та хімічної потреби кисню (БПК та ХПК), колірності, вмісту завислих речовин, заліза, азоту, фосфатів, міді, хрому, зменшення розчинного кисню, прозорості. Через ці причини недопустимо проведення добувних робіт серійними ковшами, особливо, на малих по площі водоймах. Добування сапропелів можливе тільки ковшами, які можуть герметично закритися.

З метою зменшення впливу на оточуюче середовище необхідно створювати на об'єктах по добуванню сапропелів вертикальні захисні плівочні екрани, які б відділяли зону розробки від водойми.

Добувні машини гідро механізованого способу значно менше впливають на оточуюче середовище змінюючи вище перелічені показники. Але слід відмітити збільшення на дні в зоні розробки вмісту завислих речовин, заліза, азоту, фосфатів, хрому. При проведенні добувних робіт гідромеханізованим способом водойми викачується значна кількість води. Цей спосіб не може використовуватись на малих по площі водоймах.

При роботі шнекового насоса просочування сапропелевої маси з закритої забірної частини незначний. Як наслідок, – значно нижчі показники вмісту завислих речовин, розчинення в воді азоту, фосфатів, БПК, ХПК, більше розчинного кисню, менша зміна прозорості, не спостерігається у воді змін по вмісту міді, хрому, цинку, нікелю.

Екологічно вдалим для використання на малих та середніх по площі озерах є шнековий спосіб добування сапропелів. Проте неправильно вибрані режими роботи насосу та параметри забірної частини зумовлюють відбивання маси від гвинта та значне зростання навантаження на двигун, не контрольованість підпору насосу на ґрунт призводить до втягування озерної води в механізм.

Для синтезу раціональних форм забірної частини було проведено аналіз її можливих конструкцій, та визначено найбільш ефективні. При параболічній формі твірної кожуха, та конічній формі твірної шнека, об'єм демпферної зони визначається за формулою

$$V_{\mathbf{n}} = \pi h \left(\frac{h}{2k} - \frac{2}{3} D_2 \sqrt{\frac{h}{k} + \frac{D_2^2}{4} - \frac{d_2^2 + d_1^2 + d_2 d_1}{12}} \right)$$

При параболічній формі твірної кожуха та циліндричній формі твірної шнека об'єм демпферної зони визначається як

$$V_{\mathbf{n}} = \pi h \left(\frac{h}{2k} - \frac{2}{3} D_1 \sqrt{\frac{h}{k} + \frac{D_1^2}{4} - \frac{d^2}{4}} \right)$$

При конічній формі твірної кожуха та параболічній формі твірної шнека об'єм демпферної зони визначається згідно залежності

$$V_{\mathbf{n}} = \pi h \left(\frac{D_2^2 + D_1^2 + D_2 D_1}{12} - \frac{h}{2k} - \frac{2d_2 \sqrt{h}}{\sqrt{k}} - \frac{d_2^2}{4} \right)$$

В результаті проведених розрахунків нами зроблено висновок що об'єм демпферної зони $V_{\mathbf{n}}$ забірної частини повинен бути в межах $V_{\mathbf{n}} < 0,2 V_{\mathbf{n}}$, при швидкості обертання гвинта $n < 11$ с(-1), а при швидкості обертання гвинта $n > 11$ с(-1) $V_{\mathbf{n}}$ повинен бути в межах $0,2 V_{\mathbf{k}} < V_{\mathbf{n}} < 0,8 V_{\mathbf{k}}$, де $V_{\mathbf{k}}$ – внутрішній об'єм кожуха забірної частини.

Фактична продуктивність Q_{cp} розраховується за загальною формулою

$$Q_{cp} = \kappa_2 \cdot \kappa_3 \cdot Q_{\phi}$$

де κ_2 - коефіцієнт заповнення, який враховує частоту обертання гвинта, товщину лопатей і число заходів шнека (розраховується дослідним шляхом); κ_3 - коефіцієнт підпору, який залежить від зусилля підпору механізму на ґрунт та впливає на заповнення об'єму насоса (розраховується дослідним шляхом), Q_{ϕ} - частина об'єму насосу, через який транспортується сапропель, зайнята лопатями, які мають певну товщину; крім того, можливе неповне заповнення об'єму насосу. Враховуючи це кінцевим рівнянням за яким можна визначити продуктивність шнекового насосу є:

$$Q_v = \frac{\pi \cdot \kappa_2 \cdot \kappa_3 \cdot \omega}{16} (D+d)^2 \cdot (D-d) \cdot \frac{\sin \alpha \cdot \cos(\alpha + \varphi)}{\cos \varphi}$$

Транспортування матеріалів шнеками досліджують багато вчених [2]. Це пояснюється тим, що шнекові механізми є простими у виготовленні та надійними в роботі. Проте теоретичних досліджень шнекових механізмів при роботі з сапропелями є недостатньо.

При добуванні сапропелів шнековим способом часто користуються даними, отриманими в результаті практичних експериментів.

1. Шевчук М.Й. та ін. Ефективність сапропелізації ґрунтів в умовах радіоактивного забруднення. // Метод. посібник з організації проведення НДР в галузі сільськогосподарської радіології. – К., 1992.
2. Хайліс Г.А. Основи теорії і розрахунку сільськогосподарських машин: Навч. посібник. – К.: Вид-во УСГА, 1992. – С. 17-21.

Стаття надійшла до редакції 24.09.2013.

А.В. Букетов, В.О. Скирденко

ВПЛИВ ПРИРОДИ НАПОВНЮВАЧІВ, ЩО Є ВІДХОДАМИ ПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА, НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ І ТЕПЛОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕПОКСИДНИХ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ

Оптимізовано склад адгезійного і функціональних поверхневих шарів для формування двошарових покриттів з поліпшеними адгезійними, фізико-механічними і теплофізичними властивостями. Встановлено, що при формуванні адгезійного шару доцільно вводити частки вугільного шлаку (63 мкм) за вмісту $q = 10...15$ мас.ч. на $q = 100$ мас.ч. епоксидного олігомеру. При формуванні поверхнього шару для покриттів з поліпшеними фізико-механічними і теплофізичними властивостями необхідно використовувати як наповнювач вугільний шлак за вмісту $q = 50...80$ мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидного олігомеру ЕД-20.

Ключові слова: епоксидний композит, фізико-механічні і теплофізичні властивості, наповнювач

Рис. 4. Табл. 1. Літ. 6.

А.В. Букетов, В.О. Скирденко

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ НАПОЛНИТЕЛЕЙ, ЯВЛЯЮЩИХСЯ ОТХОДАМИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА, НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Оптимизирован состав адгезионного и функциональных поверхностных слоев для формирования двухслойных покрытий с улучшенными адгезионными, физико-механическими и теплофизическими свойствами. Установлено, что при формировании адгезионного слоя целесообразно вводить частицы угольного шлака (63 мкм) в количестве $q = 10...15$ масс.ч. на $q = 100$ масс.ч. эпоксидного олигомера. При формировании поверхностного слоя для покрытий с улучшенными физико-механическими свойствами необходимо использовать как наполнитель угольный шлак в количестве $q = 50...80$ масс.ч. на $q = 100$ масс.ч. эпоксидного олигомера ЕД-20.

Ключевые слова: эпоксидный композит, физико-механические и теплофизические свойства, наполнитель.

A.V. Buketov, V.O. Skirdenko

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF NATURE MICRODISPERSED FILLERS ON PHYSICAL, MECHANICAL AND THERMAL PROPERTIES EPOXY COMPOSITES

Optimized composition of the adhesive and the functional surface layers to form a two-layer coating with improved adhesion, physical, mechanical and thermal properties. Found that the formation of the adhesion layer is advantageously introduced coal slag particles in an amount of $q = 10...15$ m.p. for $q = 100$ m.p. epoxy oligomer. When forming the surface layer of the coating with improved physical and mechanical properties to be used as a filler in an amount of coal slag $q = 50...80$ m.p. for $q = 100$ m.p. epoxy oligomer.

Keywords: epoxy composite, physical, mechanical and thermal properties, fillers.

Постановка проблеми. Епоксидні смоли та отримані на їх основі полімерні композити на сьогодні широко використовуються у різних галузях промисловості, на транспорті, енергетиці, суднобудуванні, будівництві, машинобудуванні, сільському господарстві та ін. Їх переважно застосовують як клеї, лаки, фарби та покриття різного функціонального призначення, а також використовують у вигляді зв'язувачів для композитних матеріалів (КМ). До епоксидних низькомолекулярних олігомерів додають різноманітні модифікатори і наповнювачі, в результаті чого після зшивання отримують неплавкі та нерозчинні матриці або покриття з доброю хімічною і водостійкістю. Для характеристики епоксидних смол, як правило, використовують епоксидне число, що характеризує вміст епоксидних груп у олігомері. Зокрема, епоксидні смоли, наприклад, ЕД-20, ЕД-16 мають відповідно 19...22% та 16...18% епоксидних груп. Дослідженнями авторів [1-4] встановлено, що епоксидні композити відзначаються доброю адгезією до субстратів із різних металів, кераміки, дерева, скла та пластмас, цегли та бетону. При цьому вони є стійкими до дії кислот, лугів низької та середньої концентрації, а також до нафтопродуктів: бензину, толуолу, дизельного палива, мастила та ін. [3]. Як правило, епоксикомпозити характеризуються високою життєздатністю (від двох до десяти років), їх об'ємна усадка складає не більше 3...8 %, а тривалість гелеутворення матриці можливо регулювати відповідними технологіями у діапазоні від 2 до 100 год. При затвердженні епоксиданові смоли і, зокрема, олігомер марки ЕД-20 не виділяють летких речовин. При цьому зазначають порівняно просту технологію їх застосування у вигляді захисних покриттів на деталі зі складним профілем поверхні [3, 4]. Слід зазначити, що фізико-механічні, теплофізичні та електротехнічні властивості епоксикомпозитів у комплексі можна ефективно регулювати додаванням у вигляді наповнювачів матеріалів різної фізичної

природи. В основному при цьому використовують переважно дисперсні наповнювачі у вигляді порошкових матеріалів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведений аналіз публікацій у напрямку дослідження властивостей епоксикомпозитів вказує на необхідність введення у зв'язувач пластифікаторів, модифікаторів та наповнювачів для отримання епоксиполімерів з підвищеними експлуатаційними характеристиками. Доведено [1, 4], що введення у зв'язувач дрібно- і грубодисперсних часток, навіть за незначної кількості, забезпечує зміну швидкості перебігу фізико-хімічних процесів при структуроутворенні матеріалів. Причому важливе значення при регулюванні процесів зшивання епоксидних КМ має не лише хімічна і фізична природа, але й вміст та дисперсність часток. Як зазначено у працях [1, 3-5] для поліпшення адгезійних властивостей у зв'язувач доцільно вводити дрібнодисперсні частки (8...30 мкм), у той час як для поліпшення когезійної міцності композитів необхідно використовувати грубодисперсний наповнювач (63...120 мкм). Крім того, доцільно вводити у КМ бідисперсні добавки. Враховуючи це вважали за доцільне проведення відповідних досліджень зі встановлення впливу природи дисперсного наповнювача на фізико-механічні і теплофізичні властивості епоксидних КМ. Слід зазначити, що для зменшення вартості розроблених КМ як наповнювачі використано відходи промислового виробництва.

Мета роботи – встановити вплив природи дисперсних наповнювачів, які є відходами промислового виробництва, на фізико-механічні і теплофізичні властивості епоксидних КМ.

Матеріали та методика дослідження. Як основний компонент для зв'язувача при формуванні епоксидних КМ вибрано епоксидний діановий олігомер марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84). Для зшивання епоксидних композицій використано твердник поліетиленполіамін (ПЕПА) (ТУ 6-05-241-202-78), що дозволяє їх затверджувати при кімнатних температурах. Твердник вводили у епоксидний олігомер за співвідношення ПЕПА : ЕД-20 – 1 : 10.

Як наповнювач використано дисперсні порошки (63 мкм): Сталь 45 (ГОСТ 1050-88), пермалой 45Н (ГОСТ 10994-74) та вугільний шлак (ВШ), що є продуктом згорання кам'яного вугілля, яке, у свою чергу, подрібнювали механічним способом.

Вибір технологічних режимів формування КМ є одним з основних напрямків регулювання їхніх властивостей, тому епоксидні композити формували за такою технологією: попереднє дозування епоксидної діанової смоли ЕД-20 і наповнювача та подальше введення його у епоксидний зв'язувач; гідродинамічне суміщення олігомеру ЕД-20 і дисперсних часток; введення твердника ПЕПА і перемішування композиції упродовж часу $\tau = 5 \pm 0,1$ хв. Надалі затверджували КМ за експериментально встановленим режимом: формування зразків та їх витримання упродовж часу $\tau = 12,0 \pm 0,1$ год при температурі $T = 293 \pm 2$ К, нагрівання зі швидкістю $v = 3$ К/хв до температури $T = 393 \pm 2$ К, витримання КМ упродовж часу $\tau = 2,0 \pm 0,05$ год, повільне охолодження зразків у термошафі до температури $T = 293 \pm 2$ К. З метою стабілізації структурних процесів, що відбуваються у матриці, зразки витримували упродовж часу $\tau = 24$ год на повітрі при температурі $T = 293 \pm 2$ К, після чого проводили експериментальні випробування.

Адгезійну міцність КМ до металевої основи досліджували, вимірюючи руйнівне напруження при рівномірному відриві пари склеєних зразків («метод грибків»). Дослідження проводили згідно ГОСТ 14760-69, вимірюючи силу відривання клейових з'єднань сталевих зразків на автоматизованій розривній машині УМ-5 при швидкості навантаження $v = 10$ Н/с. Діаметр робочої частини сталевих зразків становив – $d = 25$ мм. Залишкові напруження у КМ визначали консольним методом [6]. Покриття товщиною $\delta = 0,3...0,5$ мм формували на сталевій основі. Параметри основи: загальна довжина – $l = 100$ мм; робоча довжина – $l_0 = 80$ мм; товщина – $\delta = 0,2$ мм.

Руйнівне напруження і модуль пружності при згинанні КМ визначали згідно ГОСТ 4648-71 і ГОСТ 9550-81 відповідно. Параметри зразків: довжина $l = 120 \pm 2$ мм, ширина $b = 15 \pm 0,5$ мм, висота $h = 10 \pm 0,5$ мм. Теплостійкість (за Мартенсом) КМ визначали згідно ГОСТ 21341-75. Методика дослідження полягає у визначенні температури, при якій досліджуваний зразок нагрівали зі швидкістю $v = 3$ К/хв під дією постійного згинаючого навантаження $F = 50 \pm 0,5$ Н. Внаслідок цього матеріал деформується на прийнятну за стандартом величину ($h = 6$ мм).

З метою отримання необхідної достовірності результатів дослідження було проведено серію пошукових експериментів, виконано порівняння експериментального та табличного значення коефіцієнту варіації. В результаті цього було встановлено необхідну кількість дубльованих дослідів, яка за достовірності результатів 95 % складала 6 зразків.

Результати досліджень та їх обговорення. Дослідження проводили у два етапи. На першому етапі досліджували у комплексі адгезійні властивості (міцність зчеплення адгезиву та субстрату при відриві) та залишкові напруження у покриттях, сформованих на сталій основі. На другому етапі з метою оптимізації інгредієнтів для функціонального шару досліджували у комплексі когезійні властивості, які у подальшому визначають показники фізико-механічних і теплофізичних характеристик КМ.

Дисперсні частки наповнювачів – Сталь 45, пермалой марки Н45 і вугільний шлак (ВШ) вводили у зв'язувач за вмісту від $q = 5$ мас.ч. до $q = 80$ мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидного олігомера ЕД-20 (тут і далі за текстом мас.ч. наводяться на 100 мас.ч. епоксидного олігомера ЕД-20). Такий діапазон вмісту часток вибрано з умови оптимізації інгредієнтів шарів у двошаровому покритті: адгезійного шару (де, на наш погляд, необхідно вводити незначну кількість добавок) і водночас – поверхневого шару, що, очевидно, буде містити відносно великий об'єм наповнювача.

Результати експериментальних досліджень зміни адгезійної міцності КМ при розриві залежно від вмісту у епоксидній матриці наповнювачів різної фізичної природи наведено на рис. 1. Встановлено, що за зазначених вище умов формування матеріалів адгезійна міцність при розриві епоксидної матриці становить $\sigma_a = 18,5$ МПа. Введення наповнювачів по-різному впливає на адгезійну міцність КМ. Встановлено (рис. 1), що максимальними показниками адгезійної міцності відзначаються КМ, наповнені вугільним шлаком при вмісті 15 мас.ч. Введення у зв'язувач часток ВШ при даному вмісті забезпечує підвищення показників адгезійної міцності КМ з $\sigma_a = 18,5$ МПа (для епоксидної матриці) до $\sigma_a = 56,5$ МПа. Надалі збільшення вмісту наповнювача призводить до зменшення показників адгезійної міцності, які за вмісту часток ВШ $q = 80$ мас.ч. становлять $\sigma_a = 31,0$ МПа. Встановлено (рис. 1), що критичним вмістом наповнювача ВШ для поліпшення адгезійних властивостей матеріалів є $q = 15 \dots 20$ мас.ч. На наш погляд це зумовлено тим, що навколо часток при зшиванні КМ формуються адсорбційні і зовнішні поверхневі шари, які, в основному, визначають властивості композитів. При значному вмісті часток ($q = 30 \dots 80$ мас.ч.), а також під впливом поверхні субстрату дані шари формуються, однак їхня структура не характеризується високим ступенем зшивання. Свідченням цього є зменшення показників адгезійної міцності при такому вмісті дисперсних часток. Підтвердженням наведеним вище положенням є результати дослідження впливу вмісту часток ВШ на залишкові напруження у КМ (рис. 2).

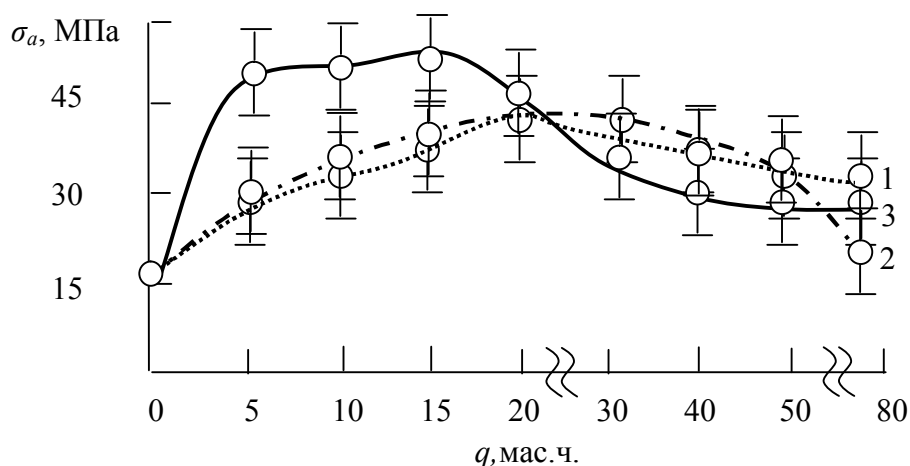


Рис. 1. Залежність адгезійної міцності при відриві (σ_a) від вмісту наповнювача (q):
1 – Сталь 45; 2 – пермалой 45Н; 3 – ВШ

Аналіз впливу вмісту часток ВШ на показники залишкових напружень у КМ підтверджує достовірність отриманих експериментальних досліджень. Встановлено, що залишкові напруження для епоксидної матриці становлять $\sigma_3 = 2,3$ МПа (рис. 2). Введення часток ВШ при $q = 5 \dots 30$ мас.ч. приводить до зменшення показників залишкових напружень до $\sigma_3 = 1,6 \dots 2,1$ МПа. При вмісті часток $q = 40 \dots 50$ мас.ч. залишкові напруження у КМ становлять $\sigma_3 = 1,1 \dots 1,2$ МПа. Тобто, в основному при збільшенні вмісту часток спостерігали монотонне зменшення залишкових напружень, що свідчить про зменшення ступеня зшивання матеріалів на межі поділу фаз «епоксидний композит – металева основа».

Аналогічно до наведених вище результатів аналізували вплив як наповнювача дисперсних часток з матеріалу – Сталь 45 на властивості КМ. Експериментально встановлено, що критичний

вміст даного наповнювача у епоксидному композиті становить $q = 20$ мас.ч. (рис. 1, рис. 2). Показано, що введення часток сталі при такому вмісті у епоксидну матрицю забезпечує, порівняно з матрицею, підвищення адгезійної міцності при відриві з $\sigma_a = 18,5$ МПа (для епоксидної матриці) до $\sigma_a = 40,7$ МПа. Залишкові напруження при цьому зменшуються в усьому досліджуваному діапазоні зміни вмісту наповнювача з $\sigma_3 = 2,3$ МПа (для епоксидної матриці) до $\sigma_3 = 1,4$ МПа. Водночас доведено, що збільшення вмісту часток зі Сталі 45 понад $q = 20$ мас.ч. зумовлює погіршення показників адгезійної міцності КМ.

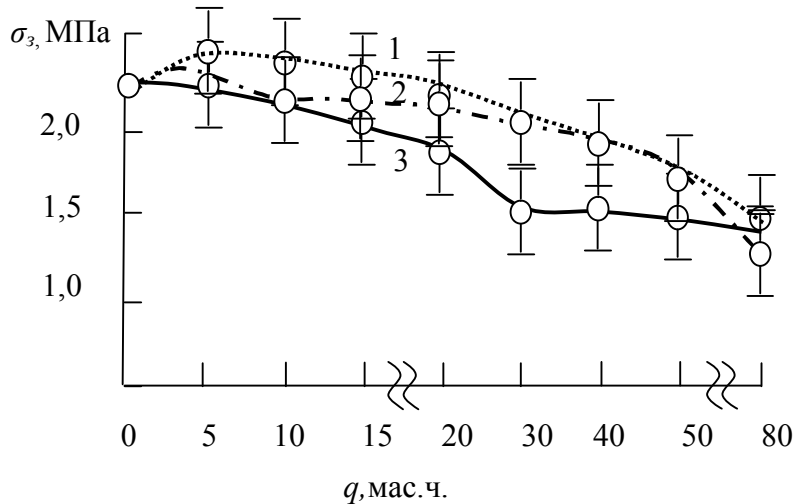


Рис. 2. Залежність залишкових напружень (σ_3) від вмісту наповнювача (q):
1 – Сталь 45; 2 – пермалою 45Н; 3 – ВШ

Аналіз зміни властивостей КМ, наповнених частками пермалою Н45, дозволив встановити, що максимальними показниками адгезійної міцності відзначаються матеріали, які містять $q = 20 \dots 30$ мас.ч. наповнювача. Введення у зв'язувач часток при такому вмісті дозволяє підвищити показники адгезійної міцності при відриві з $\sigma_a = 18,5$ МПа (для епоксидної матриці) до $\sigma_a = 38,6$ МПа. Збільшення вмісту наповнювача до $q = 80$ мас.ч. призводить до погіршення адгезійних властивостей матеріалів. Також встановлено, що залишкові напруження зі збільшенням вмісту часток зменшуються з $\sigma_3 = 2,3$ МПа (для матриці) до $\sigma_3 = 1,2$ МПа (за вмісту часток у КМ – $q = 80$ мас.ч.). Отже, на основі отриманих визначено критичний вміст часток пермалою Н45 у композиті з поліпшеними адгезійними властивостями, який становить $q = 10 \dots 20$ мас.ч. Необхідно зазначити, що показники адгезійної міцності КМ з пермалою Н45, порівняно з КМ, наповнених частками Сталі 45, є меншими, однак вони водночас характеризуються і дещо нижчими показниками залишкових напружень.

Підсумовуючи наведені вище результати експериментальних досліджень, можна стверджувати, що при формуванні адгезійного шару для захисних покриттів доцільно вводити незалежно два види наповнювачів: частки вугільного шламу за вмісту $q = 15 \dots 20$ мас.ч. або частки Сталі 45 за вмісту $q = 20 \dots 30$ мас.ч. на $q = 100$ мас.ч. епоксидного олігомеру. Аналіз результатів дослідження вказує на кореляцію показників адгезійної міцності і залишкових напружень залежно від вмісту та природи наповнювача у КМ.

На другому етапі досліджували вплив фізичної природи наповнювачів і їх кількісного вмісту на когезійні властивості КМ, які, відповідно, визначають показники їх фізико-механічних та теплофізичних характеристик. Встановлено, що максимальними показниками модуля пружності при згинанні характеризуються КМ, наповнені частками ВШ (рис. 3). Показано, що збільшення вмісту часток ВШ у епоксидному олігомері приводить до зростання модуля пружності КМ і за вмісту наповнювача $q = 15 \dots 20$ мас.ч. отримали максимальне підвищення показників з $E = 2,8$ ГПа (для епоксидної матриці) до $E = 4,9 \dots 5,2$ ГПа (рис. 4). Надалі збільшення вмісту часток до $q = 80$ мас.ч. зумовлює зменшення показників модуля пружності при згинанні до $E = 2,5$ ГПа. Порівняльний аналіз кривих залежності руйнівного напруження при згинанні від вмісту наповнювачів дозволяє констатувати, що найкращими властивостями відзначаються також матеріали, наповнені частками ВШ (рис. 5). Однак, оптимальний вміст наповнювача, при якому отримали максимальні показники руйнівних напружень становить $q = 40$ мас.ч. Введення часток ВШ за даного вмісту забезпечує підвищення руйнівних напружень з $\sigma_p = 47,6$ МПа (для

епоксидної матриці) до $\sigma_p = 74 \dots 80$ МПа. Надалі збільшення вмісту часток до $q = 50 \dots 80$ мас.ч. призводить до зменшення руйнівних напружень при згинанні до $\sigma_p = 49,0$ МПа.

Окрім дослідження фізико-механічних властивостей КМ додатково випробовували теплостійкість композитів. Встановлено (табл. 1), що при збільшенні вмісту наповнювача теплостійкість матеріалів монотонно зростає і при вмісті наповнювача $q = 80$ мас.ч. вона збільшується з $T = 338$ К (для епоксидної матриці) до $T = 350$ К. Отже, аналізуючи вплив вмісту наповнювача ВШ на фізико-механічні властивості і теплостійкість КМ, можна стверджувати, що для поліпшення показників згаданих вище характеристик у комплексі доцільно у епоксидну матрицю вводити дану добавку за оптимального вмісту $q = 30 \dots 50$ мас.ч.

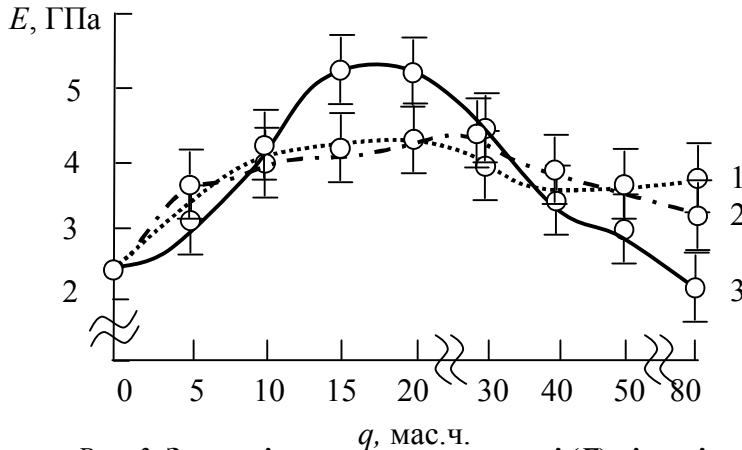


Рис. 3. Залежність модуля пружності (E) від вмісту наповнювача (q):
1 – Сталь 45; 2 – пермалой 45Н; 3 – ВШ

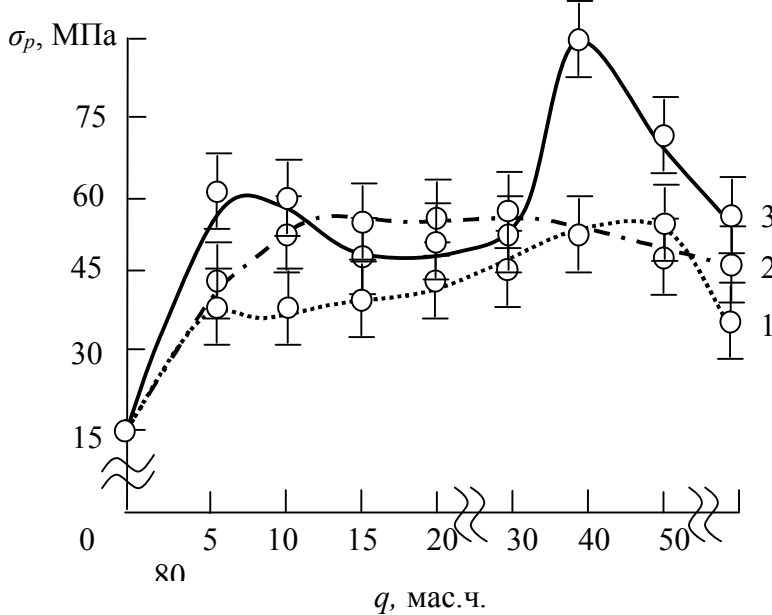


Рис. 4. Залежність руйнівних напружень (σ_p) від вмісту наповнювача (q):
1 – Сталь 45; 2 – пермалой 45Н; 3 – ВШ

Надалі аналізували вплив вмісту Сталі 45 на властивості КМ. Встановлено (рис. 3, рис. 4), що максимальними показниками фізико-механічних властивостей відзначаються КМ, наповнені частками Сталі 45 при вмісті $q = 20 \dots 40$ мас.ч. Такі композити мають показники модуля пружності при згинанні $E = 4,2 \dots 4,4$ ГПа і руйнівного напруження при згинанні $\sigma_p = 45,2 \dots 50,3$ МПа. Крім того, показано (табл. 1), що теплостійкість при збільшенні вмісту часток у КМ монотонно зростає і при $q = 40$ мас.ч. становить $T = 349$ К. Порівняльний аналіз впливу вмісту часток ВШ і Сталі 45 на фізико-механічні властивості та теплостійкість матеріалів доводить, що у епоксидний олігомер з метою поліпшення когезійної міцності композитів доцільно вводити вугільний шлак, тому що властивості КМ з даною добавкою за оптимального її вмісту суттєво покращуються.

Результати дослідження залежності когезійних властивостей КМ від вмісту часток пермалой Н45 дозволяють стверджувати про наступне. Встановлено (рис. 3, рис. 4), що при

збільшенні вмісту часток Н45 максимальними показниками модуля пружності ($E = 4,25$ ГПа) і руйнівного напруження при згинанні ($\sigma_p = 44,1$ МПа) характеризуються КМ за вмісту наповнювача $q = 20 \dots 30$ мас.ч. Дані показники є на $12 \dots 18$ % нижчими, порівняно з аналогічними показниками для КМ з частками Сталь 45 при тому ж вмісті наповнювача у композиті. Також, слід зауважити, що теплостійкість КМ, наповнених частками Н45 ($q = 80$ мас.ч.), становить $T = 338$ К, у той час як для матеріалів з наповнювачем Сталь 45 при такому ж вмісті спостерігали показники теплостійкості $T = 340$ К. Виходячи з цього, можна стверджувати, що КМ, наповнені частками Н45 недоцільно використовувати при формуванні поверхневого шару для покриттів, які експлуатуються при статичних навантаженнях та підвищених температурах.

Таблиця 1. Залежність теплостійкості (за Мартенсом) від вмісту наповнювача

Вміст наповнювача, q , мас.ч.	Теплостійкість, T , К		
	Сталь 45	Пермалой 45Н	ВШ
0		338	
5	336	337	337
10	338	339	338
15	338	339	339
20	340	342	340
30	344	349	341
40	349	349	346
50	342	346	349
80	340	338	350

Висновки. На основі результатів проведених досліджень можна сказати наступне.

1. На основі попередньо встановленого технологічного регламенту розроблено рецептури адгезійного і функціональних поверхневих шарів для формування двохшарових покриттів з поліпшеними адгезійними, фізико-механічними і теплофізичними властивостями. Зокрема, встановлено, що при формуванні адгезійного шару у зв'язувач доцільно вводити наповнювач вугільний шлак (63 мкм) за вмісту $q = 10 \dots 15$ мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидного олігомера ЕД-20. Такий матеріал відзначається наступними показниками властивостей: адгезійна міцність при відриві – $\sigma_a = 46,5 \dots 56,6$ МПа; залишкові напруження – $\sigma_s = 2,06 \dots 2,16$ МПа. Крім того, адгезійний шар можна формувати на основі композиту з наповнювачем Сталь 45 ($q = 20 \dots 30$ мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидного олігомера ЕД-20). Такий матеріал відзначається наступними показниками властивостей: адгезійна міцність при відриві – $\sigma_a = 36,7 \dots 40,6$ МПа; залишкові напруження – $\sigma_s = 2,04 \dots 2,34$ МПа.

2. Встановлено, що при формуванні поверхневого шару для покриттів з поліпшеними фізико-механічними властивостями, які експлуатуються в умовах впливу статичних і динамічних навантажень, необхідно використовувати як наповнювач вугільний шлак за вмісту $q = 15 \dots 20$ мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидного олігомера ЕД-20. Такий матеріал відзначається наступними показниками властивостей: модуль пружності при згинанні – $E = 4,9 \dots 5,21$ ГПа; руйнівне напруження при згинанні – $\sigma_{32} = 50,4 \dots 51,6$ МПа; теплостійкість – $T = 339 \dots 340$ К. При формуванні поверхневого шару для покриттів з поліпшеними теплофізичними властивостями, які експлуатуються в умовах впливу знакозмінних температур, необхідно використовувати як наповнювач вугільний шлак за вмісту $q = 50 \dots 80$ мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидного олігомера ЕД-20. Такий матеріал відзначається наступними показниками властивостей: модуль пружності при згинанні – $E = 2,5 \dots 2,9$ ГПа; руйнівне напруження при згинанні – $\sigma_{32} = 68,2 \dots 74,8$ МПа; теплостійкість – $T = 349 \dots 350$ К.

1. Букетов А.В. Властивості модифікованих ультразвуком епоксипластів / А.В.Букетов, П.Д.Стухляк, І.В.Чихіра. – Тернопіль: Крок, 2011. – 201 с.
2. Ли Х. Справочное руководство по эпоксидным смолам / Х.Ли. – М.: Энергия, 1973. – 416 с.
3. Чернин Н.Е. Эпоксидные материалы и композиции / Н.Е.Чернин. – М.:Химия, 1982. – 228 с.
4. Санжаровский А.Т. Физико-механические свойства полимерных и лакокрасочных покрытий / А.Т.Санжаровский. – М.:Химия, 1978. – 184 с.
5. Вакула В.Л. Физическая химия адгезии полимеров / В.Л.Вакула, Л.М.Притыкин. – М.: Химия, 1984. – 224 с.
6. Корякина М.И. Испытание лакокрасочных материалов и покрытий / М.И.Корякина. – М.: Химия, 1988. – 272 с.

Стаття надійшла до редакції 26.09.2013.

УДК 330.322.55

Ю.В. Бухун

АНАЛІЗ МІЖНАРОДНОЇ ІНВЕСТИЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ КОСМІЧНОЇ ГАЛУЗІ

У статті проаналізовано інвестиційну діяльність підприємств космічної галузі таких країн як Україна, США та Росія, розглянуто проблеми інвестування та шляхи залучення капіталу в галузь.

Високі ризики, притаманні цьому виду діяльності, стримують приплив капіталу в підприємства галузі. Тому страхування може стати основним елементом стимулювання інновацій та захисту інвестицій в дану сферу. Визначено пріоритетні види космічного страхування.

Ключові слова: інвестиційна діяльність, космічна галузь, перспективи, ракетно-космічний потенціал, страхування ризиків.

Літ. 10.

Ю.В. Бухун

АНАЛИЗ МЕЖДУНАРОДНОЙ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

В статье проанализированы инвестиционной деятельности предприятий космической отрасли таких стран как Украина, США и Россия, рассмотрены проблемы инвестирования и пути привлечения капитала в отрасль. Высокие риски, присущие этому виду деятельности, сдерживают приток капитала в предприятия отрасли. Поэтому страхование может стать основным элементом стимулирования инноваций и защиты инвестиций в данную сферу. Определены приоритетные виды космического страхования.

Ключевые слова: инвестиционная деятельность, космическая отрасль, перспективы, ракетно-космический потенциал, страхование рисков.

Y. Buhun

ANALYSIS OF INTERNATIONAL INVESTMENT SPACE INDUSTRY

This paper analyzes the investment space industry in countries such as Ukraine, the U.S. and Russia, the problems of investment and sources of funding in the sector. High risks inherent in this activity, hinder the inflow of capital into the industry. Therefore, insurance can be the main element to stimulate innovation and investment protection in this area. Defining the priority space security.

Keywords: investment, space, perspective, space- space potential risks.

Україна входить до п'ятірки провідних космічних держав світу, вона - активний учасник солідних міжнародних проєктів у сфері освоєння космосу. Наряду з цим в країні існує ряд проблем: відсутність коштів на реконструкцію і модернізацію устаткування; низький рівень завантаженості виробничих потужностей; неефективне управління; старіння наукових і брак кваліфікованих виробничих кадрів; громіздкість інфраструктури та нераціональний розподіл коштів держбюджету. І головне - дефіцит державного фінансування нових розробок.

Інвестиційна стратегія в космічній галузі може бути побудована на зростанні бюджетного фінансування або залучення приватних інвестицій.

Оскільки підприємства космічної галузі можна віднести до розряду стратегічних, то залучення міжнародних інвестицій практично неможливо з політичних міркувань.

В Україні Загальнодержавна цільова науково-технічна космічна програма на 2013—2017 роки визначає проблему, що потребує розв'язання, як значну диспропорцію між рівнем космічного потенціалу та його впливом на результати вирішення актуальних загальнодержавних і суспільних завдань. Найбільш оптимальним варіантом розв'язання проблеми є удосконалення механізму надання державної підтримки, забезпечення інвестиційної привабливості космічної діяльності та пропорційного залучення позабюджетних коштів, що дасть змогу створити сприятливі умови для розвитку космічних технологій, сформувати внутрішній ринок космічних послуг і підвищити рівень експортного потенціалу держави.

Проблему передбачається розв'язати шляхом удосконалення механізму формування державного замовлення, запровадження державно-приватного партнерства та забезпечення інвестиційної привабливості космічної діяльності в результаті:

- задоволення суспільних потреб у сфері дистанційного зондування Землі, а також супутникових навігаційних і телекомунікаційних послуг;
- розширення присутності вітчизняних підприємств на світовому ринку космічних послуг, забезпечення доступу в космос;

- проведення наукових космічних досліджень, прикладних наукових досліджень з питань створення перспективних зразків ракетно-космічної техніки та передових технологій, реалізації престижних національних проектів, а також виконання науково-освітніх програм;
- прискорення темпів розвитку ракетно-космічної техніки та підвищення її конкурентоспроможності;
- поглиблення міжнародного співробітництва. [1]

На початковому етапі освоєння космосу результати космічної діяльності практично не використовувалися в комерційних цілях. Це пов'язано багато в чому з тим, що такого роду діяльність була надзвичайно дорогою і під силу тільки великим високорозвиненим державам. Проте з кінця ХХ в. у США почався досить активний процес комерціалізації космічної діяльності. Держава дозволила приватному сектору інвестувати в розвиток космосу, мінімізуючи тим самим витрати бюджетних коштів і отримуючи можливість використовувати результати цієї діяльності.

Космічна індустрія перетворилася багато в чому з прикладної області в одну з найбільших галузей економіки США. У 1996 р. вперше доходи від комерційної діяльності перевищили державні витрати на космос. В даний час щорічний приріст світового космічного ринку становить \$ 30-40 млрд. [4]

Саме високотехнологічний характер такої галузі економіки, як космічна діяльність, дозволяє підвищувати її рентабельність, залучати інвестиції приватних компаній та фізичних осіб. Космічні технології, а також продукти космічної діяльності все активніше впроваджуються в багато галузей економіки різних країн. Наприклад, у сегменті супутникового зв'язку приватний сектор став основним інвестором, що говорить про поступову приватизацію всієї космічної діяльності та ліквідації монополії держави на неї.

Найбільш важливими секторами космічної діяльності стали: дистанційне зондування Землі, космічна зв'язок, космічні послуги з визначення місцезнаходження, і, супутникові можливості Інтернету, виробництво супутників і ракет-носіїв, запуск корисних навантажень, наукові дослідження та метеорологія.

Перевірка Рахункової палати засвідчила неефективність космічної галузі Росії, незважаючи на збільшення інвестицій в 2,5 рази. З'ясувалося, що в 2010-2012 роках кількість запущених на навколоремну орбіту космічних апаратів склало лише 47,1 відсотків від планових показників, а за останні роки досягнення плану виконувалося в середньому наполовину. При цьому витрати на створення і підтримку в працездатному стані вітчизняних супутників в 4 рази перевищують зарубіжні стандарти, а розробка нових носіїв типу "Ангара" триває більше 20 років. [2]

Приватні інвестори не йдуть на фінансування розвитку космічної галузі таких країн як Росія та Україна з вини законодавця. Саме закон на даний момент забороняє приватним особам фінансувати космічну галузь. Таким чином, держава намагається зробити це тільки своєю турботою, закриваючи дорогу приватним інвесторам. Але такий підхід до космічної галузі, яка дуже дорога для бюджету країни, не є вірним. Наприклад, в США приватні інвестори вкладають не малі гроші в космічні технології - це П.Ален, Р.Бренсон та інші. Уряд США має інший підхід до даної теми - ближню орбіту планети вважають справою приватних інвесторів (приватні польоти, супутники і т.д.), а саме освоєння космосу в глобальних масштабах - своїм.

Але вітчизняні інвестори не тільки стикаються з проблемами з боку держави - вони і самі не мають бажання вкладати, інвестувати гроші. Це проблема культури інвестування, яка поки у вітчизняних олігархів відсутня.

Як відомо, в космічну галузь Росії на дані момент, поза бюджетом, вносять інвестиції тільки дочірнє підприємства Газпрому (який і сам є державним).

Протягом останніх п'яти років Росія продовжувала втрачати свої конкурентні переваги в космічній діяльності. Ймовірність відмови сучасної російської космічної техніки становить понад 22%.

У СРСР в період освоєння абсолютно нової космічної техніки були аварії, в тому числі з людськими жертвами. Але ризики, за розрахунками авторів, не перевищували порогу в 4%. Нинішні втрати особливо відчутні на тлі різкого скорочення числа запусків, середнє значення яких у 1970-1990 рр.. становило близько 100 КА в рік, а в перше десятиліття ХХІ в. - трохи більше 21 апарату на рік. Особливу тривогу викликає та обставина, що аварії трапляються, як правило, з космічною технікою, яка була розроблена і освоєна більше тридцяти років тому і зараз лише неістотно модернізується.

Адміністративно-командна (планова) система економіки забезпечувала ресурсами пріоритетні інноваційні проекти. У результаті СРСР вдалося зайняти лідируючі позиції в світовому господарстві в галузі освоєння космосу та інших наукомістких сферах діяльності. Основною причиною серйозних проблем російської космонавтики є суттєве скорочення фінансування космічних програм.

Особлива небезпека недофінансування наукомістких виробництв полягає в латентності шкоди, що завдається технологічному розвитку в майбутньому: через 5-15 років [4].

З 2006 р. в Росії намітилося зростання державних асигнувань на космічну діяльність. Але коштів для відновлення галузі явно недостатньо.

Бюджет космічного агентства США NASA майже на порядок перевершує бюджет російського Федерального космічного агентства. Вирішення цієї проблеми науковці бачать у залученні інвестицій.

Аналіз інвестиційної активності російської економіки показує, що приплив капіталу в наукоємні виробництва забезпечує набагато більшу ефективність капіталовкладень, ніж у підприємства паливно-енергетичного і металургійного комплексів [7].

Для залучення капіталів в космічну промисловість Уряд РФ протягом останніх п'яти років приймав необхідні заходи щодо поліпшення інвестиційного клімату в галузі та в країні в цілому. Для такого інноваційного виду діяльності, як проектування і виробництво космічної техніки, запуск космічних апаратів і ракет, найважливішою проблемою є економічний захист інвестицій в специфічних умовах. Для інноваційних проектів у космічній діяльності особливості інституційного середовища полягають у наступному [7]:

- Підвищена секретність, пов'язана з військовою безпекою країни;
- Висока капітало- та матеріаломісткість продукції і виробництв;
- Нездатність приватного капіталу задовольнити потребу в значних фінансових ресурсах;
- Катастрофічні ризики.

Основною перешкодою на шляху інвестицій є висока ризикованість проектів, які притаманні космічній діяльності. Одним з основних елементів економічного захисту інноваційних проектів у космічній діяльності служить страхування.

Страхування стає найважливішим чинником інноваційного розвитку економіки. Такі наукомісткі види діяльності, як ядерна енергетика, авіація, космонавтика не отримали сучасного розвитку, якби не була побудована система економічного захисту від катастрофічних ризиків, які є невід'ємною частиною інноваційних проектів у цих видах діяльності. Специфікою страхування космічної діяльності можна вважати катастрофічну природу і величезні розміри наступних збитків. Збитки виникають не тільки внаслідок втрати дорогих космічних апаратів і засобів доставки їх на орбіту, а й можливих руйнувань на пускових майданчиках. У разі невдалого запуску можливий збиток:

- Населеним пунктам;
- Їх інфраструктурі;
- Екології не тільки в країні, що здійснює запуски, але і в інших державах.

Аналіз пригод космічної техніки за останні п'ять років дозволяє виявити основні причини аварій і визначити основні напрями страхування космічної діяльності.

Розглянемо їх докладніше.

Заводські дефекти. Найчастіше саме заводські дефекти є причиною багатьох серйозних аварій, які закінчилися втратами космічних апаратів (КА). Як правило, заводські дефекти виявляються на випробувальних, стартових і технічних комплексах і виправляються на підприємствах-виробниках космічної техніки. Велику небезпеку для КА представляють приховані дефекти, які проявляються після старту ракети і, як правило, призводять до втрати апарату.

Майже третина російських супутників цивільного призначення, що функціонують в даний час на орбіті, мають різні заводські дефекти, які значно знижують термін активного існування КА.

Людський фактор. Причинами багатьох аварій космічної техніки були:

- Помилки в розрахунках;
- Нехтування правилами техніки безпеки при монтажі і заправки ракети;
- Порушення правил перевезення КА і пр.

Слід зазначити, що ці проблеми характерні практично для всіх наукоємних і високотехнологічних видів діяльності. Негативний вплив людського фактора найближчим часом буде тільки посилюватися.

Вплив непереборної сили (форс-мажорні обставини). У космосі на КА здатні впливати різні сили, в тому числі і невідомої природи. Це може бути сплеск випромінювання, викликаного раптовою сонячною активністю, або зіткнення з іншими космічними об'єктами, такими як космічне сміття, астероїди, інші КА.

Катастрофічний вид ризиків, значної шкоди і неможливість точного прогнозування їх настання об'єктивно викликають необхідність страхування космічної діяльності. На стороні, що запускає лежить відповідальність за зобов'язаннями внаслідок заподіяння шкоди життю, здоров'ю або майну громадян, підприємств (третьох осіб) у випадках аварії космічної техніки, яка регулюється у відповідності з Договором Організації Об'єднаних Націй (ООН) «Про принципи діяльності держав з дослідження і використання космічного простору, включаючи Місяць і інші небесні тіла» від 19.12.1966 та Конвенцією ООН «Про міжнародну відповідальність за шкоду, заподіяну космічними об'єктами» від 29.11.1971.

Основною загрозою для громадян, підприємств і екологічної системи є падіння частин ракет (ступенів) поза розрахунковими зон падіння і КА при їх запуску або сході з орбіти. Як правило, фізичний вплив падаючих частин ракет посилюється серйозним збитком для екології.

Небезпеку становлять не тільки КА, а й підприємства космічної галузі та інфраструктура запуску.

Найважливішими функціями страхування є:

- Передача відповідальності за наслідки ризиків, яку несе страховик;
- Контрольна і попереджувальна функції.

Ці функції реалізуються у зменшенні ймовірності настання страхової події і зниженні тяжкості його наслідків. Для цього в договір включаються пункти, згідно з якими страховальник повністю або частково позбавляється страхового відшкодування в певних випадках:

- Бездіяльність в критичних ситуаціях;
- Умисне порушення технології;
- Застосування неякісних комплектуючих і т.п.

Страхові організації можуть проводити за рахунок спеціальних фондів попереджувальні заходи, що знижують вірогідність настання страхових випадків:

- Установка більш сучасної пожежно-охоронної сигналізації;
- Запровадження додаткового медичного контролю персоналу;
- Організація контролю якості вступників матеріалів, комплектуючих та ін

Розмір страхового тарифу в космічній діяльності (і не тільки) безпосередньо пов'язаний зі ступенем ризику, яка в свою чергу залежить від наступних факторів:

- Застосовувані технології та обладнання;
- Кваліфікація персоналу;
- Надійність постачальників комплектуючих і матеріалів;
- Репутація фірми.

Високі ризики (відповідно - і страхові тарифи) мають мотивувати підприємства, що беруть участь у космічній діяльності:

- Оновлювати обладнання;
- Використовувати сучасні технології;
- Навчати персонал.

Таким чином, страхування може сприяти науково-технічному прогресу в цьому виді діяльності.

В даний час розроблені пропозиції по страхуванню космічних ризиків, які застосовуються залежно від життєвого циклу космічних засобів, що включають:

- Збірку;
- Випробування на підприємствах-виробниках;
- Транспортування техніки на космодром;
- Страхування пуску та експлуатації на орбіті космічного апарату [11].

Мають місце і пропозиції від страховиків зі страхування фінансових ризиків (втрата прибутку) і відповідальності перед третіми особами. Однак існуюча практика добровільного страхування космічної діяльності передбачає страхування тільки найбільш ризикованих етапів життєвого циклу КА:

- Ризиків запусків;
- Ризиків експлуатації апарату на орбіті.

Аналіз різних несправностей, що сталися з КА за останні 10 років, показує, що найбільший збиток та ймовірність аварії виникає під час старту ракети.

Інша група проблем, яка з достатньо високою ймовірністю може виникнути після старту, пов'язана з відмовою устаткування КА або розгінного блоку:

- Програмні збої,
- Поломки в системі розкриття антен, сонячних батарей і т. п.

Ці несправності, як правило, з'являються в період тестового режиму роботи КА і протягом року з моменту запуску. Надалі ймовірність аварій знижується. У зв'язку з цим найбільшого поширення набуло комбіноване страхування - страхування запуску і першого року експлуатації на орбіті.

Страхованню підлягають фізична загибель, пошкодження, аварійний запуск космічного апарату, а також його технічні характеристики. Аварії в процесі експлуатації КА можуть істотно знизити його здатність виконувати своє призначення або скоротити термін активного існування на орбіті. За даними аналітиків Ингосстраха [2], середні страхові ставки на світовому ринку страхових послуг становлять 10-12% і мають тенденцію до зниження. Однак для російських КА і запусків ставки значно вищі. Це пояснюється:

- Високими ризиками, притаманними вітчизняній техніці;
- Низьким рейтингом російських страхових організацій і країни в цілому.

Незважаючи на зростаючий інтерес до космічного страхування за кордоном, багато російських запусків КА залишаються незастрахованими.

Проблема страхування російської космічної діяльності полягає в інституційній конструкції галузі, яка не дає можливості повністю реалізувати всі функції страхування. На початок 2012 р. в космічній галузі було зайнято більше сотні підприємств, організаційно-правова форма яких - федеральні державні унітарні підприємства (ФДУП) та акціонерні товариства за участю держави. Відповідно, якщо до кошторису фінансування не закладені витрати на добровільне страхування, то підприємства не мають мотивації витратити прибуток на страхування свого майна, перевезення космічної техніки, запуск та експлуатацію КА.

При існуючих в російській практиці досить високих ставках страхування для підприємств космічної галузі більш раціональним варіантом економічного захисту виявиться створення резервних екземплярів КА, які можна використовувати в подальших запусках. У зв'язку з останніми невдачами Роскосмос попросив у держави 1970000000 руб. на страхування своїх запусків. [7].

Разом з тим питання - на яку суму була застрахована та чи інша космічна техніка, не є пріоритетним. В умовах дефіциту засобів, що виділяються на страхування, важливо визначити, від яких ризиків повинен бути застрахований об'єкт і хто є страхувальником. На різних стадіях життєвого циклу космічного проекту загрози можуть виникати не тільки для КА і ракети-носія, а й для технологічного обладнання, будівель, споруд підприємств-виробників, а також стартових і технічних комплексів. Їх руйнування або пошкодження істотно вплине на розвиток всієї космічної галузі в цілому.

Ризики пошкодження космічної техніки виникають і при її перевезенні від підприємства-виготовлювача на космодром.

Страховий захист космічних запусків в інтересах держави в основному повинен бути спрямований проти ризиків втрати КА на орбіті, коли немає можливості розслідувати причини аварії і впевнено визначити її винуватців. Половина пригод з російської космічної технікою за останні п'ять років відбулася саме на орбіті, і причини аварій з'ясовані лише з деякою часткою вірогідності.

Одним із пріоритетів у космічному страхуванні має стати страхування відповідальності підприємств - виробників космічної техніки. На переконання деяких експертів, основними причинами аварій є різні заводські дефекти і брак. А так як в реалізації космічного проекту бере участь велика кількість виконавців, то досить складно визначити відповідальність кожного з партнерів у тій чи іншій аварії. Тому необхідно страхувати відповідальність всіх виконавців проекту за шкоду, заподіяну майну третіх осіб (в тому числі і власника КА), при здійсненні запуску, випробувань та експлуатації космічного апарату. У випадку аварії від фінансових втрат буде захищений не тільки страхувальник, але і постраждала (третя) сторона, так як у винуватця аварії може не бути достатньо коштів, необхідних для відшкодування збитку.

Свою відповідальність повинні застрахувати:

- Підприємства, що експлуатують небезпечні виробничі об'єкти космічної галузі;

- Підприємства - розробники КА;
- Підприємства, що забезпечують підготовку і запуск ракетно-космічної техніки.

Особливістю страхового ринку космічної діяльності в Росії є підвищена секретність, огорожувальна всі стадії життєвого циклу космічного проекту. Це не дає можливості страховим компаніям досконально вивчити всі особливості проектування, виробництва і експлуатації космічної техніки. Брак інформації призводить до помилок в оцінці ризиків. У сформованій ситуації, коли на підприємствах космічної промисловості одночасно можуть виготовлятися, випробовуватися і проектуватися наукові, комерційні та військові КА, допуск для аналізу ризиків представників різних страхових організацій може бути передчасним. Для вирішення цієї проблеми має сенс залучати ліцензованих страхових посередників, які мають допуск до державної таємниці.

На страховому ринку діють посередники між страховою організацією (страховиком) і клієнтом (страхувальником) - страхові агенти і брокери.

На закордонних ринках страхових послуг спостерігається вельми активна діяльність брокерів, які представляють інтереси страхувальника. Світова практика показує, що в страхуванні великих ризиків беруть участь кілька компаній, і для організації страхування клієнт (страхувальник) звертається до брокерів. Страховий брокер оцінює можливість ймовірного збитку і підбирає страхові організації, які хотіли б взяти на свою відповідальність певні частки цього ризику. Брокер може сприяти створенню так званого страхового пулу - угоди між страховими організаціями з метою забезпечення фінансової стійкості на умовах солідарної відповідальності його учасників за виконання зобов'язань за договорами страхування, укладених від імені учасників пулу.

Страховий брокер є представником страхувальника. Це, як правило, федеральні державні підприємства (ФДУП) або акціонерні товариства за участю держави, яким виділено бюджетні кошти на організацію страхового захисту. Тому слід очікувати, що організаційно-правова форма посередника, котрий представляє державні інтереси, – це підприємство або агентство, контрольоване державою. Співробітники підприємства повинні мати відповідну кваліфікацію та допуск до державним і військовим секретів.

В умовах дефіциту державних коштів, що виділяються на космічне страхування, найбільш пріоритетними напрямками страхування мають стати:

- Захист КА під час їх експлуатації на орбіті;
- Відповідальність підприємств космічної галузі.

Ці пропозиції дозволять істотно поліпшити інноваційний та інвестиційний клімат, що буде сприяти широкому залученню капіталу в космічну діяльність таких країн як Росія та Україна.

За відсутності внутрішньої державної і комерційного фінансування на перший план виходить можливість залучення інвестицій за рахунок комерціалізації наукових розробок у космічній галузі України. На неї і треба робити основну ставку, щоб забезпечити інноваційний шлях розвитку галузі. Причому комерціалізація не обов'язково має бути зовнішня, міжнародна. Йдеться про встановлення зв'язків між наукою, виробництвом і ринком, внаслідок чого формуються найбільш прибуткові способи втілення ідеї в кінцевий продукт і подання його на ринку в певний час.

Зараз масштабні проекти комерціалізації є в Європі, США, Росії, Індії та інших країнах. Виробниками є університети, дослідницькі та аналітичні центри, конструкторські бюро і промислові підприємства. А споживачі - це самі інвестори (вітчизняні та зарубіжні), світовий космічний ринок, світовий і внутрішній ринки високих технологій.

У 2007 році Європа інвестувала 1,5 млн євро на проект створення Українського центру комерціалізації космічних технологій. Але для максимізації економічної та політичної вигоди українському космічному комплексу слід розширити джерела і форми інвестування. Інвесторами можуть стати комерційні вітчизняні та закордонні структури, міжнародні організації, фінансові установи та уряд України. Можливі форми інвестування - приватно-державне партнерство, пряме фінансування окремих проектів, портфельне інвестування і створення спільних підприємств.

1. Международная аэрокосмическая смена «Объединенные космосом» в ВДЦ «Орленок». // Аерокосмічний портал України. – <http://www.space.com.ua>
2. Главная страница / Архив Бюллетеня Счетной палаты / 2000 / №6 – <http://www.ach.gov.ru>
3. Авдонин Б.Н., Хрусталёв Е.Ю. Методология организационно-экономического развития наукоемких производств. М.: Наука. 2010. Крылов А. Сравнительный анализ финансирования гражданских космических программ России, Китая, Индии и США. Специализированный справочник «Спутниковая связь и вещание». М.: Гротек. 2012.

4. Лукшин Б.С. Анализ космической стратегии США и ее соответствие тенденции регионального развития Электронный научный журнал «Россия и Америка в XXI веке» <http://www.rusus.ru/?act=read&id=165>
5. Медведчиков Д. А. Рынок страхования космических рисков: история, динамика развития, виды страхования, краткосрочные перспективы. 2005. URL: <http://www.iNsurINfo.ru/aNealysis/263>.
6. Славянов А.С. Проблемы экономической защиты инвестиций в институциональной среде российской экономики. Теория и практика институциональных преобразований. Сборник научных трудов / под ред. Б. А. Ерзнкяна. М.: ЦЭМИ РАН. 2011.
7. Страхование как инструмент стимулирования инновационной и инвестиционной деятельности в ракетно-космической промышленности <http://www.insur-info.ru/press/82915/>
8. Украина входит в пятерку ведущих космических держав мира <http://www.tehnychka.com/>
9. Хрусталёв Е.Ю., Макаров Ю.Н. Основы экономического анализа космической деятельности России // Экономический анализ: теория и практика. 2011. № 29.
10. Хрусталёв Е.Ю., Славянов А. С. Методология формирования инвестиционной стратегии инновационно ориентированного экономического роста // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2010. № 15.

УДК 534.2:620.22:620.179

О.В. Вдовиченко
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЛІНІЙНОЇ ПОВЕДІНКИ ПОРИСТОГО
ОКСИДУ АЛЮМІНІЮ В ПРОЦЕСІ ПРУЖНИХ КОЛИВАНЬ

В роботі досліджена поведінка зразків оксиду алюмінію, що містили об'ємні пори і тріщиноподібні дефекти, в процесі поздовжніх коливань стержня за першою модою. Встановлено, що наявність об'ємних пор не викликала спотворення форми коливань, натомість тріщиноподібні дефекти були причиною відхилення функції переміщень та похідної функції переміщень від гармонічного закону. Поведінка матеріалу, що містив тріщини, може бути описана моделлю матеріалу з різним опором розтягуванню та стисканню.

Ключові слова: оксид алюмінію, пористі матеріали, нелінійні коливання, стабільність дефектів.

Табл. 1. Рис. 4. Літ. 11.

А.В. Вдовиченко
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНОГО ПОВЕДЕНИЯ
ПОРИСТОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ В ПРОЦЕССЕ УПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ

В работе исследовано поведение образцов оксида алюминия, содержащих объемные поры и трещиноподобные дефекты, в процессе продольных колебаний стержня по первой моде. Установлено, что наличие объемных пор прямо не вызывает искажения формы колебаний, тогда как трещиноподобные дефекты являются причиной отклонения функции перемещений и производной функции перемещений от гармонического закона. Поведение материала, содержащего трещины, может быть описано моделью материала с разным сопротивлением растяжению и сжатию.

Ключевые слова: оксид алюминия, пористые материалы, нелинейные колебания, стабильность дефектов

O.V. Vdovychenko
EXPERIMENTAL STUDIES OF NONLINEAR BEHAVIOR OF POROUS ALUMINA
DURING ELASTIC OSCILLATIONS

The behavior of samples of alumina containing volumetric pores and crack-like defects was studied during longitudinal oscillation of the bar on fundamental mode. It was found that waveform distortions are insensitive to volumetric pores while crack-like defects result in deviation of the displacement function and the derivative of this function from harmonic law. The behavior of materials with cracks may be defined by the model of the material with different tensile and compressive properties.

Key words: alumina, porous materials, nonlinear oscillations, stability of defects

Вступ. Вироби з пористого оксиду алюмінію застосовують в багатьох галузях промисловості та в медицині. Проте при виготовленні виробів за порошковими технологіями часто утворюються дефекти типу щілин або тріщин, які катастрофічно погіршують їх механічні властивості. Для виявлення таких дефектів застосовують неруйнівні ультразвукові методи [1, 2]. Зокрема, методика Скорохода - Фрідмана [1] дозволяє визначати вміст пор та інших дефектів за вимірною швидкістю поширення пружної хвилі з використанням відомих залежностей характеристик пружності від пористості у припущенні, що пружна поведінка матеріалу контролюється законом Гука. Втім, класичні ультразвукові методи не дозволяють ідентифікувати вид дефектів (пора чи тріщина).

Численні експериментальні дані свідчать про нелінійну поведінку матеріалів з дефектами, зокрема порошкових металевих і керамічних матеріалів, в статичних [3, 4] і динамічних [5, 6] експериментах, яка проявляється відмінності пружної поведінки частково спечених порошкових матеріалів при розтягуванні та при стисканні, залежності резонансної частоти від амплітуди коливань, генеруванні гармонік тощо. Додаткова інформація про структуру матеріалів, зокрема наявність дефектів типу щілин, може бути одержана за результатами вимірювання нелінійних параметрів акустичних коливань. Останнім часом запропоновані моделі деформування тіла з щілинними дефектами, в яких нелінійна поведінка моделюється на основі концепції різної пружної поведінки при розтягуванні і стисненні [7, 8]. Втім, результати, що прямо підтверджують різноопорність порошкових матеріалів при акустичних коливаннях, а відтак розроблені теоретичні моделі, в наявній літературі не виявлені.

Дана робота присвячена експериментальному дослідженню поведінки зразків, спечених з порошку оксиду алюмінію під час пружних коливань з метою вивчення можливості застосування нових акустичних методів для неруйнівного контролю дефектності керамічних матеріалів.

Об'єкт та метод досліджень. Зразки були виготовлені з порошку А-1000 SG (Alcoa), що містив 99,8% оксиду алюмінію (95% α - Al_2O_3). Частинки мали форму близьку до рівновісної з

питомою площею поверхні $8,4 \text{ м}^2/\text{г}$ і розподілом за розміром: $10\% < 160 \text{ нм}$, $50\% < 400 \text{ нм}$, $90\% < 1500 \text{ нм}$. Виготовлення відбувалось в декілька етапів [9]: 1) розчинення порошку поліетиленгліколю (ПЕГ), структурна формула $\text{HO}-(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_n-\text{H}$ в етиловому спирті; 2) додавання до розчину порошку кераміки з наступним випарюванням розчинника; 3) пресування суміші в закритій пресформі; 4) випалювання полімерної зв'язки; 5) остаточне спікання на повітрі. Спікання проводили при різних температурах, щоб одержати зразки з різним вмістом дефектів. Після спікання зразки мали форму стрижнів довжиною $52...59 \text{ мм}$ і поперечними розмірами $4,2...5,2 \text{ мм}$ (Рис. 1). Різні розміри зразків після спікання зумовлені різною залишковою пористістю. Технологічні параметри та визначена пористість зразків наведені в Таблиці.

Густину матеріалу, а також пористість визначали методом гідростатичного зважування в дистильованій деіонізованій воді за стандартом ASTM [10]. Вагу сухого зразка вимірювали безпосередньо після спікання за температури зразка більшої за 373 К для запобігання конденсації вологи з повітря на поверхнях відкритих пор. Оскільки дані про наявність склофазі відсутні, густину твердої фази кераміки вважали рівною $3980 \text{ кг}/\text{м}^3$. Відносна похибка визначення густини матеріалу не перевищувала $0,1\%$.

Таблиця 1. Пористість досліджуваних зразків

№ зразка	Об'ємний вміст ПЕГ	Температура спікання, К	Пористість після випалювання ПЕГ	Пористість після спікання	
				загальна	відкрита
1(27)	0,04	1848	0,452	0,024	-
2(33)		1673	0,488	0,236	0,200
3(39)		1623	0,464	0,299	0,253
4 (203)	0,16	1823	0,491	0,098	0,059

Акустичні вимірювання проводили на повітрі за кімнатної температури в діапазоні частот $5 \cdot 10^4 \dots 2 \cdot 10^5 \text{ Гц}$ методом резонансної спектроскопії. Схема вимірювань зображена на Рис.2.

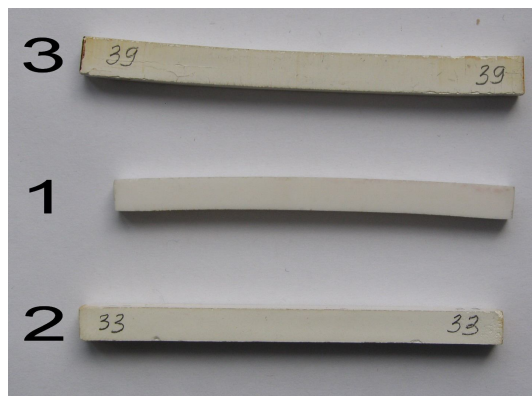


Рис. 1. Зразки для акустичних досліджень, спечені за температур 1848 К (1), 1673 К (2) і 1623 К (3)

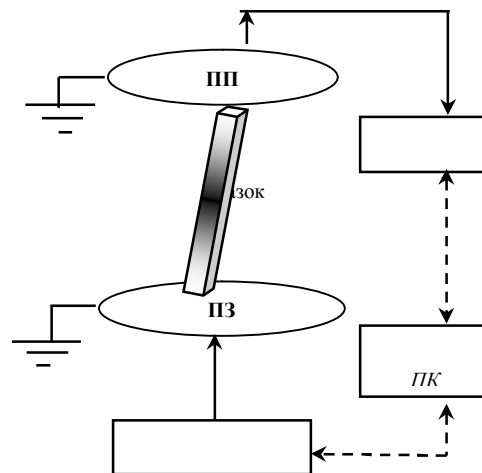


Рис. 2. Схеми експериментальної установки та розподілу деформацій по довжині стрижня під час власних поздовжніх коливань за першою модою (позначені відтінками сірого)

Зразок встановлювали між двома п'єзоелектричними перетворювачами ПІПЗ з робочим діапазоном частот від 20 до 200 кГц так, що контакт зразка з перетворювачами відбувався в двох точках – кутах зразка, що належали його найдовшій діагоналі. Таке закріплення мінімально впливало на форми і частоти власних коливань зразка, тому що вся його поверхня, за винятком двох точок контакту, залишалась вільною. Електричний синусоїдальний сигнал надходив з цифрового генератора (PCG10AU, Velleman) на перетворювач ПЗ, який збудовував в зразку поздовжні резонансні коливання за першою модою. Внаслідок коливань зразка в приймальному

перетворювачі ПП виникав електричний сигнал тієї ж форми, що й механічні коливання зразка, який для подальшого аналізу надходив на пов'язаний з комп'ютером (ПК) цифровий осцилоскоп PCS500, Velleman. Амплітуду сигналу збурення $U_{вх}$ змінювали в діапазоні 0,5 ... 10 В. Відносні максимальні циклічні деформації, що виникали в зразку, мали амплітуди порядку $10^{-8} \dots 10^{-6}$. Вимірювали параметри електричного сигналу, що надходив на перетворювач ПП, який викликався переміщенням вільного кінця зразка під час коливань за першою формою власних поздовжніх коливань стрижня. Під час коливань за цією формою весь об'єм зразка (за винятком моменту часу, коли стрижень є недеформованим) перебував або в стані розтягу, або в стані стиснення. На вільних кінцях зразка деформації відсутні, а в середньому перерізі виникали максимальні циклічні деформації розтягу або стиснення.

Результати та їх обговорення. На Рис.3 наведені результати вимірювання в координатах час – електрична напруга з виходу приймального перетворювача після аналого-цифрового перетворення. Також на рисунку наведені гармонічні функції тієї ж амплітуди і частоти, що і зареєстровані коливання.

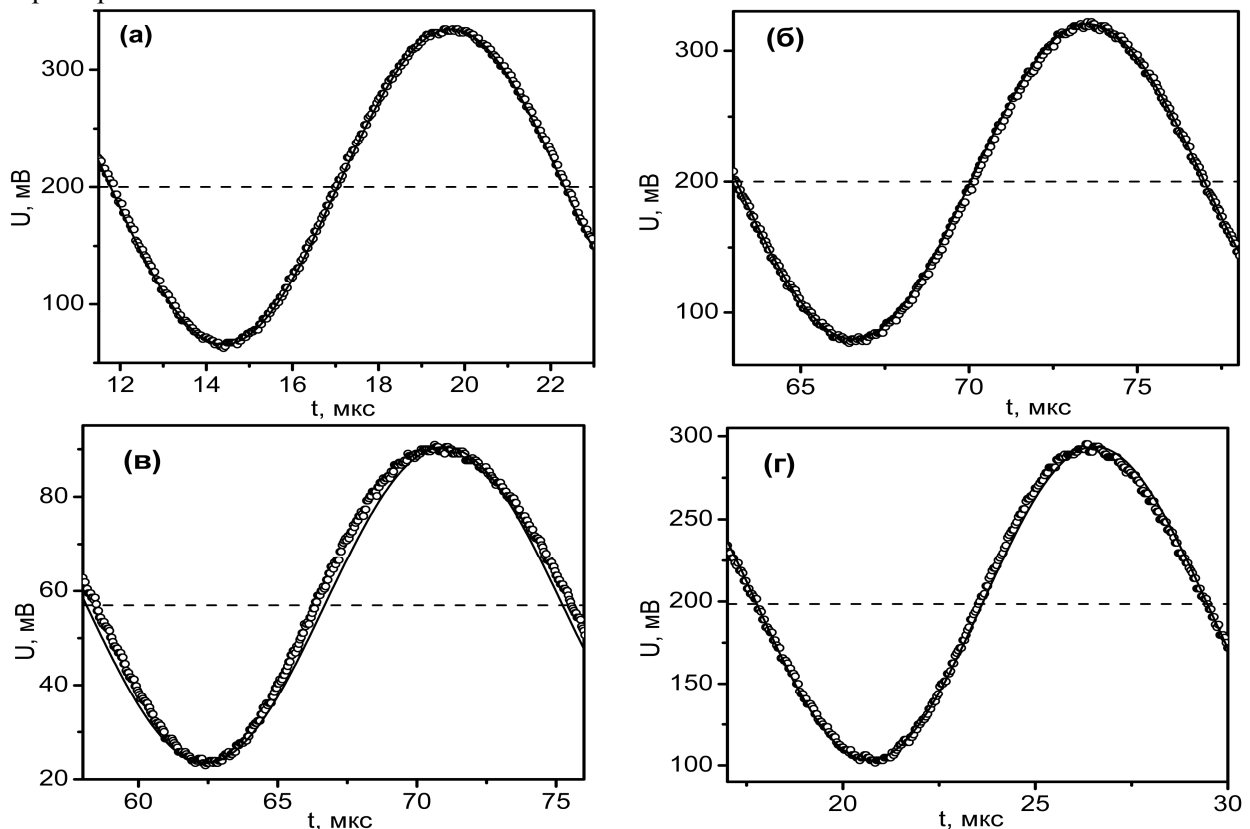


Рис. 3. Експериментальні результати (позначені точками) вимірювань залежності переміщень від часу кінців зразків: 1 – (а), 2 – (б), 3 – (в) та 4 – (г). Суцільною лінією позначена гармонічна функція тієї ж частоти, переривана лінія вказує рівень половини розмаху сигналу

Вимірювання показали, що переміщення вільних кінців зразків 1 і 2 (Рис. 3, а, б) в часі достатньо добре описувались гармонічною функцією, що властиво конденсованим матеріалам без макродефектів, причому істотна об'ємна пористість зразка 2 ($\theta = 0,236$) не вплинула на форму функції переміщень. Натомість переміщення зразка 3 (Рис.3, в) і, в меншій мірі, зразка 4 (Рис.3, г) помітно відхиляються від синусоїдального, тобто рух цих зразків не може бути описаний класичними лінійними диференціальними рівняннями. Резонансні дослідження характеристик пружності та порівняння їх результатів з мікроструктурою, описані в роботі [6], також показали, що досліджувані зразки демонструють нелінійну поведінку, пов'язану з наявними дефектами типу тріщин. У відповідності до цієї моделі [11], при розтягуванні стрижня щільні дефекти відкриваються, модуль Юнга набуває меншого значення, ніж при стисненні і, як наслідок, при поздовжніх коливаннях стрижня частина періоду, коли зразок перебуває в розтягнутому стані більша ніж частина періоду, коли зразок є стисненим. Крім того, за цією моделлю, найбільші відхилення точки зразка від її положення при недеформованому стані зразка (амплітуда коливань)

в частині періоду, протягом якої зразок є розтягненим є більшими, ніж найбільші відхилення тієї самої точки в частині періоду, протягом якої зразок є стисненим.

Результати наведені на Рис 3, в, наочно демонструють, що нелінійна поведінка, яка спостерігається нами, відповідає моделі матеріалу, що має різний опір деформування розтягу і стисненню – частина періоду, протягом якої зразок є розтягнутим більша за частину стиснення навіть якщо їх порівнювати на рівні половини розмаху (різниця між найбільшими переміщеннями при розтягуванні і при стисканні).

Моменти часу, в які зразки перебували в недеформованому стані, визначали з принципу збереження енергії враховуючи, що в при коливаннях в ці моменти швидкості точок зразка є максимальними за величиною. Для цього, за допомогою розробленої програми, визначали значення похідної функції переміщень зразків. На Рис. 4 зображений інтерфейс програми після визначення похідної функції переміщень зразків 2 (Рис.4, а) і 3 (Рис.4, б).

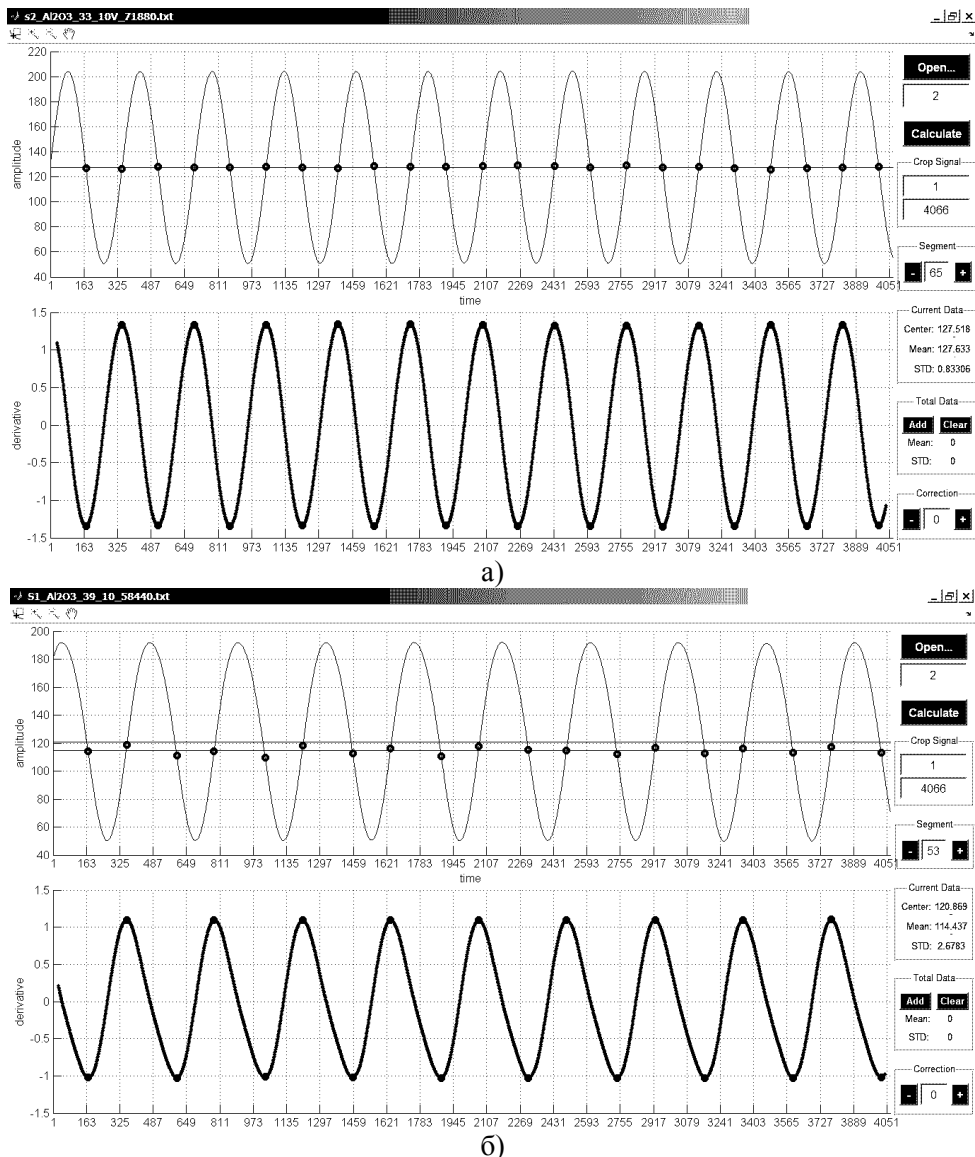


Рис.4. Результати визначення похідної функції переміщень (нижні екрани) та значення функції переміщень (верхні екрани), в яких її похідна набуває екстремальних значень (точки на верхньому екрані) для зразків: 2 – (а) та 3 – (б). По осях абсцис – час (в кроках квантування), по осях ординат: на верхніх екранах – переміщення (в кроках квантування напруги сигналу), на нижніх екранах – його похідна за часом

Обробка сигналу відбувалась за таким алгоритмом: 1) записаний в цифровому вигляді сигнал з приймального перетворювача фільтрували фільтром низьких частот, 2) розраховували масив похідних для кожного моменту часу, 3) знаходили локальні максимуми та мінімуми масиву

похідних, 4) визначали відповідні їм моменти часу, 5) визначали значення функції переміщень в ці моменти часу, 5) обчислювали математичне сподівання та середнє квадратичне відхилення результатів вимірювання.

Було визначено, що для зразка 2 значення функції переміщень, за яких похідна мала екстремум, з довірчою ймовірністю 0,95 дорівнювало $127,63 \pm 0,36$ кроків квантування напруги, що відповідає $U_0 = 199,43 \pm 0,56$ мВ. Це збігається з половиною розмаху функції переміщень, яка становить 199,25 мВ, тобто коливання зразка є симетричними відносно положення зразка в недеформованому стані (Рис.4, б). Натомість для зразка 3 значення вищезгаданої функції з тією самою довірчою ймовірністю дорівнювало $U_0 = 53,64 \pm 0,62$ мВ, що істотно нижче за рівень половини розмаху функції переміщень 56,66 мВ (Рис. 4, б). Це означає, що коливання є несиметричними відносно положення, в якому зразок перебуває в недеформованому стані – в процесі поздовжніх коливань стрижня за першою формою частина циклу стиснення є коротшою за частину циклу розтягу, а амплітуда при стисненні є меншою, ніж при розтягу зразка. Про те, що коливання в під час стиснення і під час розтягу відбуваються за різними законами свідчить також відхилення зміни функції похідної в часі від гармонічного закону (Рис. 4, б, нижній екран).

Висновки. Аналіз наведених даних показує, що, по-перше, збільшення загальної пористості з 0,024 до 0,236 (зразки 1 та 2) не внесло значних відхилень від лінійної поведінки зразків під час пружних коливань, натомість функція переміщень зразка 4 ($\theta = 0,098$) під час коливань помітно відрізнялась від гармонічної функції, тобто пористість прямо не впливала на форму коливань зразків оксиду алюмінію. По-друге, матеріал, що містить щілинні (тріщино подібні) макродефекти по-різному поводить себе в частині розтягу і в частині стиснення періоду пружних коливань, тобто його коливання не є симетричними відносно положення точок в недеформованому зразку. Це свідчить про нестабільність властивостей матеріалу під дією напружень, що є істотно меншими за руйнівні напруження, і яка спричиняється нестабільністю наявних дефектів. Для опису руху такого матеріалу можна скористатися моделлю матеріалу, який має різні характеристики пружності при розтягуванні і при стисненні. Одержані результати свідчать, що параметри, які характеризують відхилення форми коливань від гармонічного закону, можуть бути критерієм наявності щілинних макродефектів в матеріалах такого типу і можуть бути використані при неруйнівному контролі виробів з них.

1. Роман О.В. Ультразвуковой и резистометрический контроль в порошковой металлургии / Роман О.В., Скороход В.В., Фридман Г.Р. – Минск: Выш. шк., 1989. – 182 с.
2. Ren F. Resonant ultrasound spectroscopy measurement of Young's modulus, shear modulus and Poisson's ratio as a function of porosity for alumina and hydroxyapatite / Ren F., Case E.D., Morrison A. [et al.] // Phil. Mag. – 2009. – V.89. – P. 1163 – 1182.
3. Musalek R. Non-linear mechanical behavior of plasma sprayed alumina under mechanical and thermal loading / R. Musalek, J. Matejicek, M. Vilemova, O. Kovarik // J. Therm. Spray Technol. – 2010. – V.19. – N1-2. – P.422 – 428.
4. Liu Y. Non-linear elastic properties of plasma-sprayed zirconia coatings / Y. Liu, T. Nakamura, V. Srinivasan [et al.] // Acta Mater. – 2007. – V.55. – P. 4667 – 4678.
5. Вдовиченко А.В. Исследование эволюции межчастичных границ в высокоплотных прессовках из железного порошка методом механической резонансной спектроскопии / Вдовиченко А.В., Подрезов Ю.Н., Скороход В.В. // Порошковая металлургия. – 2008. – №5/6. – С. 366-372.
6. Вдовиченко О.В. Вплив макродефектів структури оксиду алюмінію на нелінійність резонансних механічних коливань // Современные проблемы физического материаловедения: сб. науч. труд. – К.: ИПМ НАН Украины, 2012. – 21. – С. 89 – 100.
7. Ломакин Е.В. Механика сред с зависящими от вида напряженного состояния свойствами // Физическая мезомеханика. – 2007. – т.10. - №5. – С.41 – 52.
8. Штерн М.Б. Модель упругого деформирования изотропных порошковых материалов, характеризующихся различными свойствами при растяжении и сжатии // Порошковая металлургия. – 2009. – № 5/6. – С.14 – 27.
9. Vdovychenko O.V. Effect of polyethylene glycol content in compacts on structure of porous sintered alumina / Vdovychenko O.V., Baumann M.J. // Ceramics – 2008. – 101. – P. 99 – 106.
10. Annual Book of ASTM Standards, Vol. 19.01. Refractories, Activated Carbon, Advanced Ceramic, 2000, – P. 830-93.
11. Vdovychenko O.V. On the estimation of defect containing materials using extended non-linear theory of elasticity / Vdovychenko O.V., Skorokhod V.V., Shtern M.B. // Proc. E-MRS Fall Meeting, Warsaw, Poland, 2008. – P. 70 – 75.

Стаття надійшла до редакції 24.09.2013.

А.И. Гарост

**СОЗДАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ОСНОВ ТЕХНОЛОГИИ ЛЕГИРОВАНИЯ,
МОДИФИЦИРОВАНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ
ПРОМЫШЛЕННЫМИ ОТХОДАМИ И ПОЛУПРОДУКТАМИ СМЕЖНЫХ
ПРОИЗВОДСТВ**

Важным направлением в экономии металлов, используемых в составе легирующих и модифицирующих присадок, при выплавке легированных сплавов является извлечение их из отходов и полупродуктов смежных производств. При реализации технологии в качестве восстановителей используются нетрадиционные для металлургического передела материалы, а именно: углеродсодержащие органические высокомолекулярные полимерные материалы (ВМС) синтетического происхождения, в том числе биологически поврежденные, и подвергнутые старению и непригодные для переработки материалы из пластических масс, а также непригодных к регенерации эластомеры.

Ключевые слова: металлы, присадки, сплавы, отходы, полупроводники.

Табл. 3. Літ. 2.

А.І. Гарост

**СТВОРЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ОСНОВ ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГУВАННЯ,
МОДИФІКУВАННЯ І ЗМІЦНЕННЯ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ ПРОМИСЛОВИХ
ВІДХОДІВ І НАПІВПРОДУКТУ СУМІЖНИХ ВИРОБНИЦТВ**

Важливим напрямком в економії металів, що використовуються в складі легуючих і модифікуючих присадок, при виплавці легуваних сплавів є витяг їх з відходів та напівпродуктів суміжних виробництв. При реалізації технології як відновників використовуються нетрадиційні для металургійного переделу матеріали, а саме: вуглецеві органічні високомолекулярні полімерні матеріали (ВМС) синтетичного походження, в тому числі біологічно пошкоджені і піддані старінню та непридатні для переробки матеріали з пластичних мас, а також непридатних до регенерації еластомери.

Ключові слова: метали, присадки, сплави, відходи, напівпровідники.

A.I. Garost

**CREATING PHYSICOCHEMICAL BASES DOPING TECHNOLOGY, MODIFICATION
AND STRENGTHENING IRON ALLOYS AND SEMI-INDUSTRIAL WASTE RELATED
INDUSTRIES**

An important direction in the economy of metals, which are used in the composition of alloying and modified additives, in the smelting of doped alloys is the extraction them from waste and semiproducts of related industries. Non-traditional for metallurgical conversion materials, such as carbon-containing organic high molecular polymers synthetic origin (HMS), including biologically damaged, subjected to age and unsuitable plastic materials for recycling, and also unsuitable elastomers for regeneration, are used as reducing agents for technology implementing.

Keywords: metals, additives, alloys, waste semiconductors.

Постановка задачі. Современный научно-технический прогресс неразрывно связан с созданием эффективных энерго- и ресурсосберегающих технологий, обеспечивающих комплексное использование сырья, материалов и снижение вредного воздействия на окружающую природную среду. Применение техногенных отходов и полупродуктов смежных производств как наиболее дешевых и доступных добавок может в значительной степени изменить технологию получения высококачественных железоуглеродистых сплавов на всех стадиях металлургического передела, в том числе на стадии доводки расплавов и термического упрочнения изделий.

В настоящее время наука располагает данными о практической возможности обеспечения требуемых характеристик литейных сплавов путем управления процессами формирования неметаллических включений с уточнением механизма образования тех или иных соединений, как на стадии кристаллизации, так и при последующих переделах металла. В этом случае необходимо учитывать, что сплавы помимо, специально вводимых присадок, включают более десяти контролируемых и неконтролируемых примесей. Регулирование макро- и микросостава сопровождается взаимодействием вводимых и специально не вводимых добавок с отдельными элементами кристаллизующегося вещества. Механизм данных процессов до сих пор не ясен, при этом для дальнейшего развития практики модифицирования и микролегирования важную информацию принесет детальное изучение макро- и микросостава и природы неметаллических включений, в том числе состава и морфологии, и их роли и особенностей превращений на всех стадиях формирования элементов структуры.

Основная трудность в установлении общих закономерностей модифицирования, эффективности и характера влияния модифицирующих добавок состоит в том, что механизм их воздействия в значительной мере проявляется не непосредственно, а через образуемые этими элементами химические соединения и структурные формирования, кристаллоструктурные и физико-химические свойства которых кардинально отличаются от соответствующих характеристик образующих их элементов. В большинстве случаев состав и морфология образующихся химических ассоциаций (неметаллических включений и других "вторичных" фаз) глубоко не исследовались. В связи с этим отсутствует однозначное объяснение процессов при модифицировании и микролегировании.

Анализ существующих технологических процессов микролегирования и модифицирования указывает на отсутствие сведений об их механизме и кинетике при нетрадиционных подходах к доводке металлов, предусматривающих создание технологий ориентированных на использование промышленных отходов и полупродуктов смежных с машиностроением производств, способствующих одновременно экономии материальных и энергетических ресурсов, снижению вредных выбросов и повышению качественных характеристик сплавов.

Источники научно-технической и патентной литературы, а также опыт промышленного производства позволяет рассматривать методы наиболее перспективные с точки зрения комплексного использования новых компонентов металлургического сырья, находящегося преимущественно в виде оксидов (окалина, ржавчина, шлифовочные отходы, отходы футеровочных материалов и т.д.). Одновременно к таким отходам, представляющим интерес при модифицировании и микролегировании чугуна, относятся отработанные катализаторы химической, нефтехимической, промышленности по производству минеральных удобрений, в которых наряду с носителями типа Al_2O_3 , SiO_2 , CaO присутствуют оксиды никеля, молибдена, кобальта, меди, хрома и вольфрама в количествах от 2–10% до 50%. Значительные объемы оксидов в качестве сырья используются в стекольной промышленности (оксиды титана, циркон и др.).

При использовании известных восстановителей (углерода, в виде коксовой и графитной пыли, порошкового древесного угля) не обеспечивается достаточная степень извлечения металлов. Требуется создание нетрадиционных методов обработки расплавов, обеспечивающих эффективную переработку материалов, содержащих элементы с более высоким сродством к кислороду.

Идея реализации технологии легирования через шлаковую фазу при производстве железоуглеродистых сплавов не получила широкого развития из-за отсутствия эффективных восстановителей и недостаточной реакционной способности углерода и кремния к ряду оксидов, к тому же уровень усвоения легирующих элементов из шлака контролируется реакцией легирующих элементов с оксидами железа.

Предложенные способы использования отходов в большинстве своем в промышленном масштабе не реализованы. Объясняется это тем, что в условиях реальной открытой по кислороду плавки чугуна в большинстве чугуноплавильных агрегатов столь полно реакции восстановления протекать не могут, и общий уровень усвоения контролируется реакцией легирующих элементов с оксидами железа, находящимися в шлаке. Следовательно, при вводе оксида легирующего элемента в шлак он восстанавливается в зависимости от температуры процесса и состава чугуна преимущественно кремнием, либо углеродом до тех пор, пока не будет достигнуто равновесие восстановленного легирующего элемента по реакции с оксидами железа.

В то же время анализ известных способов показал, что дальнейшее повышение качества сталей и чугунов ограничивается рамками возможностей существующих модификаторов и может быть достигнуто только применением неклассических методов обработки расплавов. В качестве материалов, способных обеспечить достижение максимального эффекта, могут стать непригодные к регенерации высокополимерные соединения, в которых углерод находится как в химически связанном, так и в структурно свободном состоянии [1, 2]. Использование в качестве легирующих и модифицирующих присадок металлосодержащих химических соединений совместно с углеродсодержащими органическими высокомолекулярными полимерными материалами синтетического происхождения, в том числе биологически поврежденными и подвергнутыми старению и непригодными для переработки материалами из пластических масс, а также непригодными к регенерации эластомерами, которые при пиролизе образуют в расплаве атомарные водород и углерод (H^+ , C^{4+}), способствует эффективному восстановлению металлов. Техногенные отходы полимерных материалов в огромных количествах накапливаются на свалках

и наносят значительный экологический вред природе. Так, например, масса не переработанных автомобильных шин на свалках Республики Беларусь составляет 600 тыс. т, причем ежегодное прибавление составляет около 60 тыс. т.

Значительная часть изделий из углеродсодержащих органических высокомолекулярных полимерных материалов содержит текстильные или металлические армирующие материалы. В качестве примера можно привести современную автомобильную шину, в которой текстильные материалы (корд) составляют 15–35% массы.

Такие материалы при использовании их в качестве легирующих и модифицирующих присадок должны перерабатываться без предварительной подготовки, а именно без выделения отдельных составляющих (текстильных или металлических армирующих материалов).

Использование таких сильных восстановителей, как атомарный водород и углерод (H^+ , C^{4+}) может решить проблему по замене дорогостоящих лигатур при легировании и модифицировании железоуглеродистых сплавов путем реализации технологии прямого легирования на новом уровне. В этом случае плавление промышленных отходов и восстановление металлов, происходящих путем синхронизации плавления исходных компонентов реакции (оксидов металлов, в т. ч. промышленной окалины и шлифовочных отходов) и самого процесса восстановления в объеме расплава продуктами пиролиза органических материалов, должно достигаться строгими технологическими приемами с использованием пакетированных (брикетированных) материалов заданной фракции.

Использование отходов и полупродуктов смежных производств в качестве модифицирующих и легирующих добавок. Выполнены широкие экспериментальные исследования механизмов структурообразования на стадиях кристаллизации и при последующих переделах железоуглеродистых сплавов при реализации новых технологических процессов, предусматривающих прямое легирование металлическими элементами из оксидов. При реализации технологии в качестве восстановителей используются нетрадиционные для металлургического передела материалы, а именно: углеродсодержащие органические высокомолекулярные полимерные материалы синтетического происхождения, в том числе биологически поврежденные и подвергнутые старению и непригодные для переработки материалы из пластических масс, а также непригодных к регенерации эластомеры. В частности, изношенные резинотехнические изделия можно рассматривать как вторичное сырье. При их переработке появляется возможность сэкономить большое количество дорогих и дефицитных материалов (автомобильная покрышка – это 26 процентов карбона, 12,5 процента металла и свыше 50 процентов резины), что имеет важное народнохозяйственное значение.

Ввиду значительных ресурсов и эффективного влияния на структуру и свойства чугунов особого внимания заслуживают магний-, титан- и ванадийсодержащие полупродукты и отходы.

Обессеривание чугуна магнием восстановленным из магнезита. Магний эффективно восстанавливается из магнезита продуктами пиролиза высокомолекулярных соединений (ВМС) и вступает во взаимодействие с элементами расплава. Введение добавки обеспечивает эффективную десульфурацию чугуна (ввод 12% магнезита и 4,3% не подлежащего регенерации высокополимерного соединения снижает концентрацию серы в чугуне с 0,107% до 0,057%) без значительных выбросов в атмосферу, которые присутствуют при реализации известных методов десульфурации.

При исследовании микросостава, модифицированного магнезитом и ВМС чугуна обнаружено присутствие глобуляризатора (растворенного магния) в графите, что подтверждает положение, по которому для стабильного получения включений шаровидного графита требуется не только глубокое рафинирование расплава, но и внедрение атомов глобуляризатора в графит для увеличения сил связи между его слоями. Кристаллы сульфида марганца расположены внутри эвтектических зерен.

Кроме того, ввод добавок приводит к образованию магнийсодержащих титанованадиевых карбидов, формирующихся в расплаве за счет химического взаимодействия модифицирующих и микролегирующих добавок с отдельными элементами кристаллизующегося вещества. Такие тугоплавкие соединения, относящиеся к инокуляторам, выполняют роль готовых кристаллов затвердевающей фазы. Одновременно на магнийсодержащих титанованадиевых карбидах могут кристаллизоваться сульфиды марганца.

Отмечено высокое содержание углерода в шлаке (39,81%), что связано с низкой реакционной способностью структурно свободного углерода, находящегося в резинотехнических изделиях в виде сажи.

Прямое легирование чугуна титаном. Перспективным является использование в чугунном литье титана. Наиболее эффективно проявляется влияние титана на свойства чугуна при добавке относительно небольших его количеств (от 0,1 до 0,4% и даже меньше). Установлено, что в этих пределах содержания в чугуне титан оказывает графитизирующее действие. Однако присадка титана измельчает графит и способствует более равномерному его распределению. В этом отношении титан действует значительно сильнее, чем другие легирующие добавки. Графит получается в виде тонких пластинок или в виде мелких завихрений псевдоэвтектического типа. Форма графита, получаемая в титанистых чугунах, объясняется раскисляющим действием титана. Образующиеся оксиды титана могут быть зародышами для образования графита. Естественно, что подобное действие титана на чугун способствует повышению его стойкости при высокой температуре.

К наиболее эффективным вариантам введения титана в расплав можно отнести способ прямого легирования из оксидов. В присутствии эффективных восстановителей при модифицировании и микролегировании может применяться комплексная добавка TiO_2 – высокомолекулярный полимерный материал.

Масса вводимой добавки TiO_2 в разных плавках изменялась в пределах 2,72 – 8,18% (таблица 1). Соотношение в брикете оксида титана и высокомолекулярного соединения $m_{окс}/m_{ВМС}$ поддерживалось постоянным и составляло 3,75. Усвоение титана из оксида расплавом чугуна колеблется от 2,2% до 7,9%, при этом увеличение добавки TiO_2 выше 5,45 % мас. не способствует повышению концентрации титана в расплаве. Относительно невысокие показатели восстановления связаны не с низкой восстановительной способностью в первую очередь атомарного водорода, образующегося в процессе пиролиза каучуков в расплаве, а с повышенным угаром восстановленного титана. Это объясняется относительной длительностью плавления блоков (около 10 мин), содержащих оксиды титана и высокомолекулярные соединения.

Сплав исходного состава с 0,034% Ti имеет структуру с феррито-перлитной основой и пластинчатым графитом. Перлит как бы окружает пластинки графита. Остальная часть основы составляет феррит, в центре которого образуется цементит. В структуре имеются также отдельные мелкие включения карбидов. Обнаруживаемые микроскопическим анализом карбидные включения относятся (по результатам сканирующей электронной микроскопии) к карбидам железа с растворенной медью.

В результате прямого восстановления оксидов получены сплавы (таблица 1) с содержанием 0,070% Ti (введено 2,72 % TiO_2), и 0,293% Ti (введено 5,45% TiO_2).

Таблица 1. Технологические особенности восстановления титана из оксидов при прямом легировании чугуна

Массовая доля вводимой добавки TiO_2 , % масс.	Состав блока (TiO_2 + высокомолекулярное соединение (ВМС))	Соотношение $m_{окс}/m_{ВМС}$	Введено металлического Ti (из TiO_2), г	Введено водорода из ВМС, г	Введено углерода из ВМС, г	Усвоено металла из оксида (находится в составе чугуна), г	Усвоено металла, %	Количество металла, которое могло бы быть восстановлено водородом, г
2,72	600 г TiO_2 ; 160г ВМС	3,75	360	28,32	С (атом.)- 57,12; С (сажа)- 60,32	7,92	2,2	679,68
5,45	1200 г TiO_2 ; 320г ВМС	3,75	720	56,64	С (атом.)- 114,24; С (сажа)- 120,62	56,98	7,9	1359,36
8,18	1800 г TiO_2 ; 480г ВМС	3,75	1080	84,96	С (атом.)- 171,36; С (сажа)- 180,94	56,32	5,2	2039,04

С повышением содержания восстановленного титана до 0,293% структура чугуна имеет тот же вид, но количество перлита увеличивается. Это феррито-перлитный чугун, в котором увеличивается количество специальных карбидов (TiC). Просматриваются они хуже, т.к. завуалированы перлитом. В центре ферритных зерен выделяется цементит. Исследования методом сканирующей электронной микроскопии чугуна с 0,293% Ti (введено 5,45% TiO₂) обнаруживают более значительное количество выделений карбидов титана.

Ведение титана из оксидов обеспечивает рост как твердости чугуна с НВ 1970 МПа (модифицирование не проводилось) до НВ 2550 МПа (введено 0,293% Ti). Одновременно повышаются и прочностные характеристики чугуна с σ_B 149,0 МПа (не модифицированный чугун) до σ_B 178,0 МПа (введено 0,293% Ti).

В отличие от известных методов модифицирования чугуна титаном из ферротитана, когда модифицирующий эффект объясняется раскисляющим действием титана, при прямом легировании и присутствии такого сильного восстановителя как атомарный углерод решающее модифицирующее действие оказывают карбидные включения.

Прямое легирование чугуна ванадием. Известно, что ванадиевые чугуны обладают исключительно высокой стойкостью в условиях трения. Износостойкость их в 2 – 7 раз выше стали ШХ15, закаленной и отпущенной на HRC 61, и практически равна стойкости быстрорежущей стали P18 с твердостью HRC 66. Из-за дефицитности и дороговизны феррованадия необходимо разрабатывать методы выплавки ванадиевых чугунов с использованием ванадийсодержащих отходов, в том числе оксидов ванадия.

Один из вариантов ввода ванадия в расплав может быть прямое легирование, при котором в качестве восстановителя используется атомарный водород, являющийся продуктом пиролиза высокополимерных соединений в расплаве. В данном случае для легирования чугуна ванадием используется комплексная добавка (в виде брикетов) V₂O₅ – высокомолекулярный полимерный материал (таблица 2). Исследования химического состава полученных чугунов (таблица 3) указывают на эффективность технологии прямого легирования расплава. Усвоение ванадия из оксида расплавом чугуна колеблется от 15,10% до 22,25%.

Структура сплава с 0,326% V аналогична предыдущему исходному сплаву – феррито-перлитная матрица с пластинчатым графитом. В матрице выделяются специальные карбиды. В больших ферритных зернах образуется цементит. Таких включений больше, чем в исходном сплаве.

Таблица 2. Технологические особенности восстановления ванадия из оксидов при прямом легировании чугуна

Массовая доля вводимой добавки V ₂ O ₅ , % масс.	Состав блока (V ₂ O ₅ + высокомолекулярное соединение (ВМС))	Соотношение $m_{окс}/m_{ВМС}$	Введено металл. V (с оксидом V ₂ O ₅), г	Введено водород из ВМС, г	Введено углерода из ВМС, г	Усвоено металла (находится в составе чугуна), г	Усвоение металла, %	Количество V, которое могло бы быть восстановлено водородом, г
3,60	800 г V ₂ O ₅ ; 250 г ВМС	3,200	448,35	44,25	С (атом.)- 89,25; С (сажа)- 76,93	67,76	15,10	451,350
6,36	1400 г V ₂ O ₅ ; 477 г ВМС	2,935	784,56	84,42	С (атом.)- 170,29; С (сажа)- 146,77	170,28	21,70	861,084
9,09	2000 г V ₂ O ₅ ; 677 г ВМС	2,954	1208	119,83	С (атом.)- 241,69; С (сажа)- 208,31	268,84	22,25	1222,266

Таблиця 3. Хімічний склад і механічні характеристики чугуна легированного ванадієм із оксидів

Масова доля вводи- мо й добавки V ₂ O ₅ , % мас.	Компонентний склад, % мас.												Механіч- ес- ке характерсти- ки	
	C	Si	Mn	P	S	Ti	Cr	Ni	Mo	Cu	V	W	НВ, МПа	σ _В , МПа
Не вводи- ла сь	3,1 5	1,7 3	0,28 9	0,32 8	0,11 4	0,28 4	0,09 5	0,05 2	<0,00 1	0,08 8	0,01 8	0,03 2	2690	1160
3,60	3,2 0	2,3 2	0,40 5	0,27 2	0,10 9	0,05 4	0,08 3	0,08 3	<0,00 1	0,09 9	0,32 6	0,03 1	2690	1880
6,36	2,9 0	1,8 2	0,31 5	0,31 5	0,09 5	0,03 8	0,09 7	0,09 2	0,003	0,21 4	0,79 2	0,04 8		
9,09	3,2 7	1,4 0	0,24 3	0,14 0	0,06 4	0,02 0	0,08 2	0,08 0	0,003	0,20 0	1,24 0	0,04 5	5550	

Метод скануючої електронної мікроскопії дозволяє виявити мелкі (розмером до 0,2 мкм) ванадійвольфрамові карбиди з підвищеним вмістом міді.

Такі частично графітізовані ванадієві чугуни мають структуру, відповідну принципу Шарлі, в якій значительна частина вуглецю присутня у вигляді пластинчатого графіту, а частина зв'язана в ванадійвольфрамових карбідах.

Структура чугуна з 1,24% V ледебуритна, в проміжках між цементитом – перлітоферритною матрицею. Весь ванадій знаходиться в складі цементиту, т.к. мелкі карбіди ванадію відсутні. Такі висновки підтверджуються як металлографічними, так і дослідженнями методом скануючої електронної мікроскопії.

Прямое поверхнoстное легирование железуглеродистых сплавов. Износостойкий поверхностный слой может быть сформирован при прямом поверхностном легировании и модифицировании отливки в форме путем покрытия поверхности форм и стержней специальными композициями включающими недорогие металлсодержащие промышленные отходы или продукты смежных производств, сверхсильные восстановители (атомарные водород и углерод) генерируемые в композиции при пиролизе ее составляющих и связующие компоненты (жидкое стекло). Изучение возможностей метода проверяли на серых чугунах при заливке в сухие песчаные формы, при этом поверхность формы покрывается обмазкой, содержащей оксиды ванадия, для прямого поверхностного легирования отливок. Обеспечивается получение отбеленного поверхностного слоя.

При прямом поверхностном легировании чугуна ванадием в поверхностном слое образуются эвтектические колонии $\gamma + VC$. Они состоят из карбидного скелета, иголки которого равномерно расходятся во все стороны из центра колонии, и сплошной аустенитной матрицы, окружающей карбидные включения. Структура сердцевин: феррито-перлитный серый чугун.

Выводы. Впервые выявлено, что получаемые в результате пиролиза полимеров в металлических расплавах сверх сильные восстановители (атомарные водород и углерод (H^+ , C^{4+})) решают проблему на новом уровне по замене дорогостоящих лигатур, используемых при легировании и модифицировании железуглеродистых сплавов, за счет реализации технологии прямого легирования. В этом случае плавление промышленных отходов и восстановление металлов, происходящих путем синхронизации плавления исходных компонентов реакции (оксидов металлов, в т. ч. промышленной окалины и шлифовочных отходов) и самого процесса восстановления в объеме расплава продуктами пиролиза органических материалов, достигается строгими технологическими приемами с использованием пакетированных (брикетированных) материалов заданной фракции.

1. Гарост, А.И. Железуглеродистые сплавы: структурообразование и свойства / А. И. Гарост. – Минск: Беларус. наука, 2010. – 252 с.
2. Гарост А.И. Способ выплавки чугуна и способ выплавки стали. Патент Республики Беларусь на изобретение №11641 от 26.11.2008 г. по заявке а20050280 от 24.03.2005 г. (МПК(2006) C21C1/00, C21C5/00, F23G5/027)).

Стаття надійшла до редакції 24.05.2013.

Б.М. Гевко, А.Є. Дячун, В.І. Диня, І.В. Фльонц, Б.А. Заболотний
ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЙ ГВИНТОВИХ ЕКСТРУДЕРІВ ДЛЯ
ВИГОТОВЛЕННЯ КОРМОВИХ БРИКЕТІВ

Приведена конструкція гвинтового екструдера, який забезпечує ефективний спосіб впливу на біохімічні показники зернових компонентів, в яких продукт піддається дії високого тиску в межах 40...60 атмосфер і температури 110...170°С. При цьому білок і крохмаль зерна переходить у більш доступну для організму тварин форму засвоюваності до 90%. Виведені аналітичні залежності для відзначення технологічних і силових параметрів.

Ключові слова: гвинтові екструдери, кормові брикети, біологічні характеристики.

Рис. 1. Форм. 3. Літ. 3.

Б.М. Гевко, А.Е. Дячун, В.И. Дыня, И.В. Фльонц, Б.А. Заболотный
ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ВИНТОВЫХ ЭКСТРУДЕРОВ ДЛЯ
ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОРМОВЫХ БРИКЕТОВ

Приведенная конструкция винтового экструдера, который обеспечивает эффективный способ воздействия на биохимические показатели зерновых компонентов, в которых продукт подвергается воздействию высокого давления в пределах 40..60 атмосфер и температуре 110..170°С. При этом белок и крахмал зерна переходит в более доступную для организма животных форму усвояемости до 90%. Выведенные аналитические зависимости для определения технологических и силовых параметров.

Ключевые слова: винтовые экструдеры, кормовые брикеты, биологические характеристики.

B.M. Gevko, A.Y. Dyachun, V.I. Dynja, I.V. Flonts, B.A. Zabolotny
DESIGN FEATURES OF SCREW EXTRUDERS FOR THE FEED BRIQUETTES
PRODUCTION

The design of screw extruder that provides an effective way to influence on biochemical parameters of grain components in which the product is exposed to high pressure within 40..60 atmospheres and a temperature of 110..170°C, was presented. Herewith grains protein and starch becomes to more available condition for the animals body with digestibility of 90%. Analytical dependences for determining of process and power parameters, were selected.

Keywords: screw extruders, feed briquettes, biological parameters.

Актуальність теми. Створення нових і удосконалення існуючих конструкцій гвинтових транспортних машин (ГТМ) з розширеними технологічними можливостями сприяє подальшому розвитку виробництва та підвищення їх ефективності використання. В сучасних конструкціях машин використання гвинтових механізмів, номенклатура яких та специфіка експлуатації постійно зростають, питома вага цих механізмів у піднімально-перевантажувальних машинах за різними даними складає 40...45%. Встановлено, що функціональні можливості і технологічні характеристики ряду ГТМ не відповідають вимогам сьогодення за ознаками розширення номенклатури технологічних процесів, результатів теоретичних і експериментальних досліджень, стендовим оснащенням та іншим і особливо це стосується гвинтових експрудерів кормових матеріалів.

Не зважаючи на значну кількість наукових праць, які присвячені розробленню і дослідженню ГТМ, рівень технологічного забезпечення залишається недостатнім, а наукова база для їх створення не завжди відповідає сучасним вимогам гвинтових екструдерів кормових матеріалів.

Тому вирішення наукової проблеми, яка полягає в розробленні раціональних конструкцій гвинтових екструдерів кормів тварин і синтез їх конструкцій, який в процесі розроблення генерує множину можливих альтернатив для кожного із всіх ієрархічних рівнів, є актуальною і має важливе народногосподарське значення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Теорія і практика визначення конструктивних і технологічних параметрів гвинтових екструдерів кормових матеріалів розглянуті в багатьох працях [1, 2, 3].

Однак цілий ряд питань визначення конструктивних і технологічних параметрів, а також дослідження теплового режиму потребують свого подальшого вирішення.

Мета роботи – розробка і обґрунтування параметрів гвинтових екструдерів для приготування кормів для годівлі тварин.

Робота виконується в рамках пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки "Новітні та ресурсозберігаючі технології в промисловості, енергетиці та агропромисловому комплексі" на 2010...2015 роки.

Реалізація роботи. Одним з ефективних способів впливу на біохімічні показники зернових компонентів є обробка їх в екструдерах, в яких продукт піддається дії високого тиску і температури. Процес займає менше 30 с і за цей час сировина встигає пройти кілька стадій обробки: теплову, стерилізацію, подрібнення, змішування, зневоднення (до 50% від вихідного), стабілізацію, текстурізацію, експандування і профілювання. Екструдери можна використовувати для отримання високопоживних кормів з різних зернових (пшениці, жита, ясеню, вівса, кукурудзи), бобових культур (гороху, сої та ін.), зерноsumішей, подрібнення овочів, некондиційного зерна, тирси, соломи, посліду.

У результаті обробки злакових культур отримують екструдант з приємним хлібним смаком і запахом.

Зерно переробляють в екструдерах під тиском 40-60 атмосфер і температурі 110-170 °С. Внаслідок даної комплексної обробки зерна з екструдера виходить сипучий пористий продукт у вигляді жгута.

При екструзійній переробці зерна і зерновідходів половина роботи тваринного шлунка виконується екструдером і тому енергія корму повністю йде на будівництво організму тварини, ефективність годівлі зростає до 50% (при звичайній відгодівлі тварина засвоює лише половину корму). Складні структури білків і вуглеводів розпадаються на простіші, клітковина - на вторинний цукор, крохмаль - до простих цукрів. За короткий час обробки сировини білок не встигає коагулювати, тобто зберігаються вітаміни і поживні властивості отриманого корму, а бактерії, інфекційні палички та грибки знищуються. Крохмаль частково переходить в сахарозу. Екструдери успішно нейтралізують деякі мікотоксини, такі як інгібітор, трипсин, уреаз та інші. Усувається або значно зменшується вплив антипоживних чинників і їхній негативний вплив на тварин. Корм виходить висококалорійним, з високим вмістом протеїну, універсальним для всіх видів тварин і птиці.

Екструдовані корми незамінні при відгодівлі молодняка тварин: свиней, коней, ВРХ, кролів, курей, хутрових звірів і т.д. Не менш продуктивне застосування екструдованого корму і для отримання підвищених надоїв. Такий корм крім того, має гарні абсорбуючі властивості, тому він може служити профілактичним засобом при шлунково-кишкових розладах.

У результаті використання екструдованих кормів, за різними даними, підвищується: засвоєння кормів на 10-40%, а синтез білка на 30%. Засвоюваність крохмалю зростає за рахунок його розщеплення на цукри і декстрини. При цьому надої молока збільшуються на 12-18%. Середньодобові прирости складають 15-20%, знижується споживання корму на 8-12%, а загибель тварин від шлунково-кишкових захворювань зменшується в 1,5-2 рази.

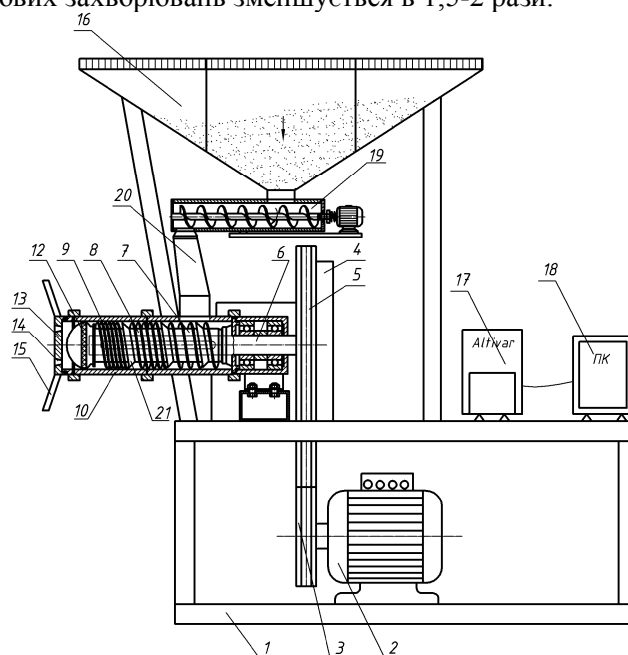


Рис. 1. Гвинтовий екструдер для формування кормових брикетів

Гвинтовий еструдер для формування кормових брикетів (рис. 1) виконано у вигляді рами 1, на якій знизу жорстко встановлені електродвигун 2 з приводом 3. У верхній частині приводу встановлено маховик 4 із шківом 5 та шліцьовим валом 6 у вигляді шнекового пресового механізму 9, який жорстко приєднаний до рами за допомогою опорних підшипників з можливістю кругового повертання. Маховик забезпечує нормальну роботу в моменти перевантаження. На зовнішньому діаметрі шліцьового вала 6 жорстко, з можливістю осьового переміщення, встановлені окремі секції шнеків, на яких по зовнішньому діаметрі нарізано по 3...4 витки різних кроків. Наприклад, перший по ходу руху матеріалу 7 з кроком 22...24 мм, другий 8 з кроком 18...22 мм і третій 9 – 16...20 мм з однаковими внутрішніми і зовнішніми діаметрами. Зовнішні діаметри секцій шнеків 7, 8 і 9 є у взаємодії з внутрішнім діаметром шліцевої втулки 10, яка жорстко встановлена в корпусі пресового механізму 11. У внутрішньому діаметрі шліцевої втулки рівномірно по колу виконані півкруглі наскрізні пази в кількості 8...12 штук. При цьому секції шнеків жорстко стиснуті на шліцьовому валу затискною гайкою 12 з лівого кінця шліцьового вала. Крім цього на лівому кінці зовнішнього діаметра корпусу пресового механізму нарізана різь, яка є у взаємодії з мунштуком 13, в тілі якого рівномірно по колу виконані два або більше калібрувальних осьових наскрізних отворів 14 для формувальних брикетів. До зовнішнього діаметра мунштука жорстко закріплені регулювальні рукоятки 15, бункер 16 виконано із окремих секцій з перегородками, наприклад, двома для трьох типів сипких матеріалів з шиберам.

Зверху рами 1 встановлено бункер 16, а знизу дна встановлені вібраторами відомої конструкції. Під дном бункера 16 встановлено гвинтовий циліндричний змішувач 19 з приводом, вивантажувальне вікно якого виконано у вигляді нахиленого циліндричного лотка 20, який нижньою основою є у взаємодії з вікном шліцевої втулки 10 корпусу пресового механізму, яке виконано на його вході. Між окремими секціями 7,8,9 шнеків, які жорстко встановлені на шліці приводного вала 6 і конічні шайби 22 зовнішні діаметри яких є меншими зовнішніх діаметрів шнеків, а конічні поверхні встановлені в сторону руху матеріалу, які забезпечують односторонній рух пересування сипучого матеріалу, а внутрішні їх отвори є у взаємодії з шліцьовими поверхнями шліцьового вала 6 з можливістю обертового руху 1000 і більше обертів на хвилину.

Конічні шайби 21 покращують виконання технологічного процесу формування кормових брикетів в процесі їх формування, а площа перерізу над конічними шайбами 21 і внутрішнім отвором шліцевої втулки 10 повинен бути рівною або більшою площі калібрувальних отворів 14.

Робота гвинтового еструдера для формування кормових брикетів здійснюється наступним чином. Сипкі матеріали засипають в окремі секції бункера 16 і за допомогою шиберів встановлюють норми їх подачі у гвинтовий змішувач 19. Запускають установку з пульта керування (на кресленні не показаний) і по мірі їх змішування вони по циліндричному нахиленому лотку поступають у корпус пресового механізму через вікно і за допомогою окремих секцій 7,8 і 9 і конічних шайб 21 вони пресують масу, яку переміщують при швидкостях 1000 і більше обертів за хвилину і через калібруючі отвори 14 мунштука 13 здійснюють калібрування кормових брикетів необхідного поперечного січення.

При розрахунках основних параметрів гвинтових еструдерів необхідно враховувати особливості їх конструкцій, особливості технології їх виробництва і процес їх роботи. При цьому продуктивність визначають через площу прохідного перерізу конвеєра і типу системи через спеціальний коефіцієнт K , який доцільно визначати експериментально для різних зернових матеріалів. Об'ємний розхід вантажу доцільно визначати із залежності

$$Q = 0,25 K \varphi V_0 \sum S_{отв}, \quad (1)$$

де φ - коефіцієнт заповнення міжвиткового простору, $\varphi = 1$;

V_0 – осьова швидкість переміщення матеріалу;

$\sum S_{отв}$ - сумарне поперечне січення калібруючих отворів.

Потужність гвинтового еструдера доцільно визначати із залежності

$$N = K_1 Q \varphi \sum S_{отв} \cdot p, \quad (2)$$

де K_1 – комплексний коефіцієнт, який враховує умови екструдуювання, характеристики кормів і конструктивні особливості еструдерів;

p – тиск в зоні формування гранул.

Сумарна осьова сила, що діє на витки біля зони формування гранул

$$P = \frac{2Mz}{K_1 D_c \operatorname{tg}(\varphi_1 + \alpha)}, \quad (3)$$

D_c – діаметр центру тяжіння пресованої суміші в екструдері;

α – кут підйому витка.

φ_1 – кут тертя

Mz – крутний момент на валу екструдера

До переваг гвинтового екструдера відносяться малі енерговитрати з розширеними технологічними можливостями і підвищеною якістю роботи і виготовлення брикетів.

На основі приведених досліджень можна зробити наступні **висновки**:

1. Розроблена прогресивна конструкція гвинтового екструдера для приготування кормових брикетів. При екструдванні білок і крохмаль зерна переходять у більш доступну для організму тварин форму із збільшенням їх засвоюваності до 90%.

2. Виведені аналітичні залежності для визначення технологічних і силових параметрів екструдера в зоні формування кормових гранул.

1. Гевко Б.М. та інші. Механізми з гвинтовими пристроями. Львів, видавництво "Світ", 1993, 205 ст.
2. Кошелєв Г.Г. Исследование процесса смешивания в одношнековом экструдере. Автореферат дис. канд. техн. наук. Одесса, 1966 г.
3. Куцин Л.М. Механико-технологические основы создания транспортирующих дозирующих и смешивающих устройств для приготовления кормов на животноводческих фермах. Автореферат дис. доктора техн. наук. Ростов на Дону, 1982 г.

Стаття надійшла до редакції 24.09.2013.

УДК 621.87

Б.М. Гевко, А.Є. Дячун, В.І. Диня, І.В. Фльонц, Т.Д. Навроцька ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЙ ГВИНТОВИХ ЕКСТРУДЕРІВ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КОРМОВИХ БРИКЕТІВ

Приведена конструкція гвинтового екструдера, який забезпечує ефективний спосіб впливу на біохімічні показники зернових компонентів, в яких продукт піддається дії високого тиску в межах 40...60 атмосфер і температури 110...170°С. При цьому білок і крохмаль зерна переходить у більш доступну для організму тварин форму засвоюваності до 90%. Виведені аналітичні залежності для відзначення технологічних і силових параметрів.

Ключові слова: гвинтові екструдери, кормові брикети, біологічні характеристики.

Рис. 1. Форм. 3. Літ. 3.

Б.М. Гевко, А.Е. Дячун, В.И. Дыня, И.В.Фльонц, Т.Д. Навроцка ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ВИНТОВЫХ ЭКСТРУДЕРОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОРМОВЫХ БРИКЕТОВ

Приведенная конструкция винтового экструдера, который обеспечивает эффективный способ воздействия на биохимические показатели зерновых компонентов, в которых продукт подвергается воздействию высокого давления в пределах 40..60 атмосфер и температуре 110..170°С. При этом белок и крахмал зерна переходит в более доступную для организма животных форму усвояемости до 90%. Выведенные аналитические зависимости для определения технологических и силовых параметров.

Ключевые слова: винтовые экструдеры, кормовые брикеты, биологические характеристики.

B.M. Gevko, A.Y. Dyachun, V.I.Dynja, I.V. Flonts, T.D. Navrotska DESIGN FEATURES OF SCREW EXTRUDERS FOR THE FEED BRIQUETTES PRODUCTION

The design of screw extruder that provides an effective way to influence on biochemical parameters of grain components in which the product is exposed to high pressure within 40..60 atmospheres and a temperature of 110..170°C, was presented. Herewith grains protein and starch becomes to more available condition for the animals body with digestibility of 90%. Analytical dependences for determining of process and power parameters, were selected.

Keywords: screw extruders, feed briquettes, biological parameters.

Актуальність теми. Створення нових і удосконалення існуючих конструкцій гвинтових транспортних машин (ГТМ) з розширеними технологічними можливостями сприяє подальшому розвитку виробництва та підвищення їх ефективності використання. В сучасних конструкціях машин використання гвинтових механізмів, номенклатура яких та специфіка експлуатації постійно зростають, питома вага цих механізмів у піднімально-перевантажувальних машинах за різними даними складає 40...45%. Встановлено, що функціональні можливості і технологічні характеристики ряду ГТМ не відповідають вимогам сьогодення за ознаками розширення номенклатури технологічних процесів, результатів теоретичних і експериментальних досліджень, стендовим оснащенням та іншим і особливо це стосується гвинтових експрудерів кормових матеріалів.

Не зважаючи на значну кількість наукових праць, які присвячені розробленню і дослідженню ГТМ, рівень технологічного забезпечення залишається недостатнім, а наукова база для їх створення не завжди відповідає сучасним вимогам гвинтових екструдерів кормових матеріалів.

Тому вирішення наукової проблеми, яка полягає в розробленні раціональних конструкцій гвинтових екструдерів кормів тварин і синтез їх конструкцій, який в процесі розроблення генерує множину можливих альтернатив для кожного із всіх ієрархічних рівнів, є актуальною і має важливе народногосподарське значення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Теорія і практика визначення конструктивних і технологічних параметрів гвинтових екструдерів кормових матеріалів розглянуті в багатьох працях [1,2,3].

Однак цілий ряд питань визначення конструктивних і технологічних параметрів, а також дослідження теплового режиму потребують свого подальшого вирішення.

Мета роботи – розробка і обґрунтування параметрів гвинтових екструдерів для приготування кормів для годівлі тварин.

Робота виконується в рамках пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки “Новітні та ресурсозберігаючі технології в промисловості, енергетиці та агропромисловому комплексі” на 2010...2015 роки.

Реалізація роботи. Одним з ефективних способів впливу на біохімічні показники зернових компонентів є обробка їх в екструдерах, в яких продукт піддається дії високого тиску і температури. Процес займає менше 30 с і за цей час сировина встигає пройти кілька стадій обробки: теплову, стерилізацію, подрібнення, змішування, зневоднення (до 50% від вихідного), стабілізацію, текстурізацію, експандування і профілювання. Екструдери можна використовувати для отримання високопоживних кормів з різних зернових (пшениці, жита, ясеню, вівса, кукурудзи), бобових культур (гороху, сої та ін.), зерноsumішей, подрібнення овочів, некондиційного зерна, тирси, соломи, посліду.

У результаті обробки злакових культур отримують екструдант з приємним хлібним смаком і запахом.

Зерно переробляють в екструдерах під тиском 40-60 атмосфер і температурі 110-170 °С. Внаслідок даної комплексної обробки зерна з екструдера виходить сипучий пористий продукт у вигляді жгута.

При екструзійній переробці зерна і зерновідходів половина роботи тваринного шлунка виконується екструдером і тому енергія корму повністю йде на будівництво організму тварини, ефективність годівлі зростає до 50% (при звичайній відгодівлі тварина засвоює лише половину корму). Складні структури білків і вуглеводів розпадаються на простіші, клітковина - на вторинний цукор, крохмаль – до простих цукрів. За короткий час обробки сировини білок не встигає коагулювати, тобто зберігаються вітаміни і поживні властивості отриманого корму, а бактерії, інфекційні палички та грибки знищуються. Крохмаль частково переходить в сахарозу. Екструдери успішно нейтралізують деякі мікотоксини, такі як інгібітор, трипсин, уреаз та інші. Усувається або значно зменшується вплив антипоживних чинників і їхній негативний вплив на тварин. Корм виходить висококалорійним, з високим вмістом протеїну, універсальним для всіх видів тварин і птиці.

Екструдовані корми незамінні при відгодівлі молодняка тварин: свиней, коней, ВРХ, кролів, курей, хутрових звірів і т.д. Не менш продуктивне застосування екструдованого корму і для отримання підвищених надоїв. Такий корм крім того, має гарні абсорбуючі властивості, тому він може служити профілактичним засобом при шлунково-кишкових розладах.

У результаті використання екструдованих кормів, за різними даними, підвищується: засвоєння кормів на 10-40%, а синтез білка на 30%. Засвоюваність крохмалю зростає за рахунок його розщеплення на цукри і декстрини. При цьому надої молока збільшуються на 12-18%. Середньодобові прирости складають 15-20%, знижується споживання корму на 8-12%, а загибель тварин від шлунково-кишкових захворювань зменшується в 1,5-2 рази.

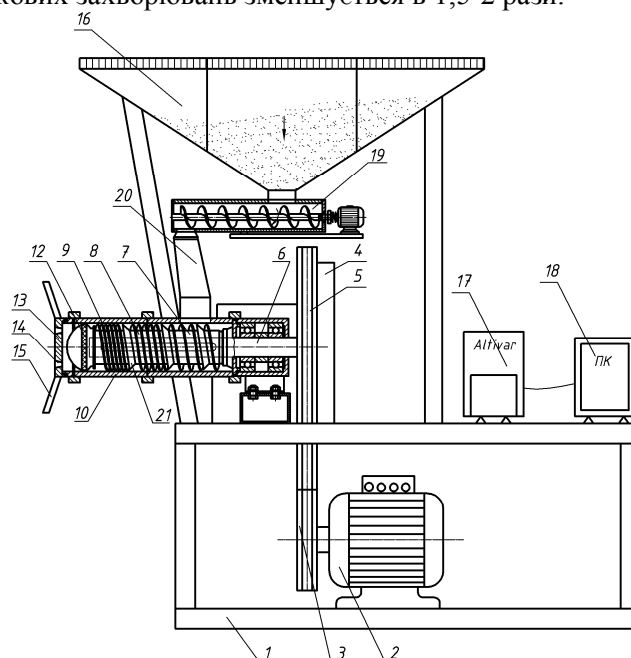


Рис. 1. Гвинтовий екструдер для формування кормових брикетів

Гвинтовий еструдер для формування кормових брикетів (рис.1) виконано у вигляді рами 1, на якій знизу жорстко встановлені електродвигун 2 з приводом 3. У верхній частині приводу встановлено маховик 4 із шківом 5 та шліцьовим валом 6 у вигляді шнекового пресового механізму 9, який жорстко приєднаний до рами за допомогою опорних підшипників з можливістю кругового повертання. Маховик забезпечує нормальну роботу в моменти перевантаження. На зовнішньому діаметрі шліцьового вала 6 жорстко, з можливістю осьового переміщення, встановлені окремі секції шнеків, на яких по зовнішньому діаметрі нарізано по 3...4 витки різних кроків. Наприклад, перший по ходу руху матеріалу 7 з кроком 22...24 мм, другий 8 з кроком 18...22 мм і третій 9 – 16...20 мм з однаковими внутрішніми і зовнішніми діаметрами. Зовнішні діаметри секцій шнеків 7, 8 і 9 є у взаємодії з внутрішнім діаметром шліцевої втулки 10, яка жорстко встановлена в корпусі пресового механізму 11. У внутрішньому діаметрі шліцевої втулки рівномірно по колу виконані півкруглі наскрізні пази в кількості 8...12 штук. При цьому секції шнеків жорстко стиснуті на шліцьовому валу затискною гайкою 12 з лівого кінця шліцьового вала. Крім цього на лівому кінці зовнішнього діаметра корпусу пресового механізму нарізана різь, яка є у взаємодії з мунштуком 13, в тілі якого рівномірно по колу виконані два або більше калібрувальних осьових наскрізних отворів 14 для формувальних брикетів. До зовнішнього діаметра мунштука жорстко закріплені регулювальні рукоятки 15, бункер 16 виконано із окремих секцій з перегородками, наприклад, двома для трьох типів сипких матеріалів з шиберам.

Зверху рами 1 встановлено бункер 16, а знизу дна встановлені вібраторами відомої конструкції. Під дном бункера 16 встановлено гвинтовий циліндричний змішувач 19 з приводом, вивантажувальне вікно якого виконано у вигляді нахилоного циліндричного лотка 20, який нижньою основою є у взаємодії з вікном шліцевої втулки 10 корпусу пресового механізму, яке виконано на його вході. Між окремими секціями 7,8,9 шнеків, які жорстко встановлені на шліці приводного вала 6 і конічні шайби 22 зовнішні діаметри яких є меншими зовнішніх діаметрів шнеків, а конічні поверхні встановлені в сторону руху матеріалу, які забезпечують односторонній рух пересування сипучого матеріалу, а внутрішні їх отвори є у взаємодії з шліцьовими поверхнями шліцьового вала 6 з можливістю обертового руху 1000 і більше обертів на хвилину.

Конічні шайби 21 покращують виконання технологічного процесу формування кормових брикетів в процесі їх формування, а площа перерізу над конічними шайбами 21 і внутрішнім отвором шліцевої втулки 10 повинен бути рівною або більшою площі калібрувальних отворів 14.

Робота гвинтового еструдера для формування кормових брикетів здійснюється наступним чином. Сипкі матеріали засипають в окремі секції бункера 16 і за допомогою шиберів встановлюють норми їх подачі у гвинтовий змішувач 19. Запускають установку з пульта керування (на кресленні не показаний) і по мірі їх змішування вони по циліндричному нахилоному лотку поступають у корпус пресового механізму через вікно і за допомогою окремих секцій 7,8 і 9 і конічних шайб 21 вони пресують масу, яку переміщують при швидкостях 1000 і більше обертів за хвилину і через калібруючі отвори 14 мунштука 13 здійснюють калібрування кормових брикетів необхідного поперечного січення.

При розрахунках основних параметрів гвинтових еструдерів необхідно враховувати особливості їх конструкцій, особливості технології їх виробництва і процес їх роботи. При цьому продуктивність визначають через площу прохідного перерізу конвеєра і типу системи через спеціальний коефіцієнт K , який доцільно визначати експериментально для різних зернових матеріалів. Об'ємний розхід вантажу доцільно визначати із залежності

$$Q = 0,25 K \varphi V_0 \sum S_{отв}, \quad (1)$$

де φ - коефіцієнт заповнення міжвиткового простору, $\varphi = 1$;

V_0 – осьова швидкість переміщення матеріалу;

$\sum S_{отв}$ - сумарне поперечне січення калібруючих отворів.

Потужність гвинтового еструдера доцільно визначати із залежності

$$N = K_1 Q \varphi \sum S_{отв} \cdot p, \quad (2)$$

де K_1 – комплексний коефіцієнт, який враховує умови екструдювання, характеристики кормів і конструктивні особливості еструдерів;

p – тиск в зоні формування гранул.

Сумарна осьова сила, що діє на витки біля зони формування гранул

$$P = \frac{2Mz}{K_1 D_c \operatorname{tg}(\varphi_1 + \alpha)}, \quad (3)$$

D_c – діаметр центру тяжіння пресованої суміші в екструдері;

α – кут підйому витка.

φ_1 – кут тертя

Mz – крутний момент на валу екструдера

До переваг гвинтового екструдера відносяться малі енерговитрати з розширеними технологічними можливостями і підвищеною якістю роботи і виготовлення брикетів.

На основі приведених досліджень можна зробити наступні **висновки**:

1. Розроблена прогресивна конструкція гвинтового екструдера для приготування кормових брикетів. При екструдюванні білок і крохмаль зерна переходять у більш доступну для організму тварин форму із збільшенням їх засвоюваності до 90%.

2. Виведені аналітичні залежності для визначення технологічних і силових параметрів екструдера в зоні формування кормових гранул.

1. Гевко Б.М. та інші. Механізми з гвинтовими пристроями. Львів, видавництво "Світ", 1993, 205 ст.
2. Кошелєв Г.Г. Исследование процесса смешивания в одношнековом экструдере. Автореферат дис. канд. техн. наук. Одесса, 1966 г.
3. Куцин Л.М. Механико-технологические основы создания транспортирующих дозирующих и смешивающих устройств для приготовления кормов на животноводческих фермах. Автореферат дис. доктора техн. наук. Ростов на Дону, 1982 г.

Стаття надійшла до редакції 24.09.2013.

УДК 621.95

І.Б. Гевко, В.І. Диня, П.В. Босюк
ТЕХНОЛОГІЧНЕ СВЕРДЛИЛЬНЕ ОСНАЩЕННЯ ПІДВИЩЕНОЇ ТОЧНОСТІ І
ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ І ДОВГОВІЧНОСТІ

Приведені нові конструкції свердильного технологічного оснащення підвищеної точності, експлуатаційної надійності і довговічності. Виведені аналітичні залежності для визначення собівартості застосування переналагоджувальних кондукторів із обертовими кондукторними втулками та переналагоджувальних багатошпиндельних головок і необхідної кількості нерухомих і рухомих кондукторних втулок.

Ключові слова: свердильне технологічне оснащення; надійність і довговічність, кондукторні втулки.

Рис. 4. Літ. 7.

И.Б. Гевко, В.И. Дыня, П.В. Босюк
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ СВЕРЛИЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПОВЫШЕННОЙ
ТОЧНОСТИ И ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ

Приведенные новые конструкции сверлильного технологического оснастки повышенной точности, эксплуатационной надежности и долговечности. Выведенные аналитические зависимости для определения себестоимости применения переналаживаемых кондукторов с вращающимися кондукторными втулками и переналаживаемых многошпиндельных головок и необходимого количества неподвижных и подвижных кондукторных втулок.

I.B. Hevko, V.I. Dynya, P.V. Bosyuk
PROCESS EQUIPMENT DRILLING OF HIGH ACCURACY AND RELIABILITY AND
DURABILITY

Brought new designs drill tooling high precision, operational reliability and durability. Analytical expressions for determining the cost of application perenalahodzhuvalnyh conductors with rotating bushings and konduktornymy perenalahodzhuvalnyh multi heads and the required number of fixed and mobile konduktornyh sleeves.

Постановка питання. Основними елементами деталей машин і механізмів, що широко використовуються, є отвори різних конструкцій і різного функціонального призначення, які присутні при свердлінні глибоких отворів стволів зброї, глухих, наскрізних паралельних по радіусу отворів у півмуфтах, конічних, фасонних отворів у роз'ємних матрицях і пуансонах штампів та у прес-формах копирів. Присутні вони і при свердлінні трьох чи більше паралельних між собою отворів, наприклад, у півмуфтах пружних втулково-пальцевих муфт, у фланцевих з'єднаннях, а також інших деталях, де отвори розміщені один навпроти іншого на одному або кількох радіусах у двох чи більше деталях. При цьому відхилення осей цих отворів від центра не повинно перебільшувати величини допуску в межах до 0,05-0,1 мм.

Свердильні операції в загальному об'ємі операцій машинобудування, за різними даними, складають 25...35%. Тому удосконалення їх конструкцій, підвищення точності оброблення і експлуатаційної надійності і довговічності є важливою проблемою.

Оброблення отворів різних типів лезовим інструментом є набагато складнішим у порівнянні з обробленням зовнішніх поверхонь. Інструмент має меншу жорсткість і його розміри лімітуються розмірами отвору. При цьому погіршуються умови охолодження зони різання і видалення стружки, а самі поверхні менш доступні для контролю в процесі оброблення. Одним із важливих практичних питань є забезпечення допуску на уведення осі отвору від теоретичного напрямку, забезпечення потрібної точності та шорсткості.

Аналіз останніх досліджень. Питанням технологічного оснащення свердильних пристроїв підвищеної точності і експлуатаційної надійності і довговічності присвячені праці Еремеївої Н.М.[1], Линчевського П.А. [2], Гевко Б.М. [3], Остаф'єва В.А. [4] та багатьох інших. Однак цілий ряд питань підвищення їх точності, експлуатаційної надійності потребують свого вирішення.

Реалізація роботи. Нами розроблена удосконалена конструкція переналагоджувального кондуктора [5].

На графічному зображенні рис. 1 представлений багатофункціональний переналагоджувальний кондуктор.

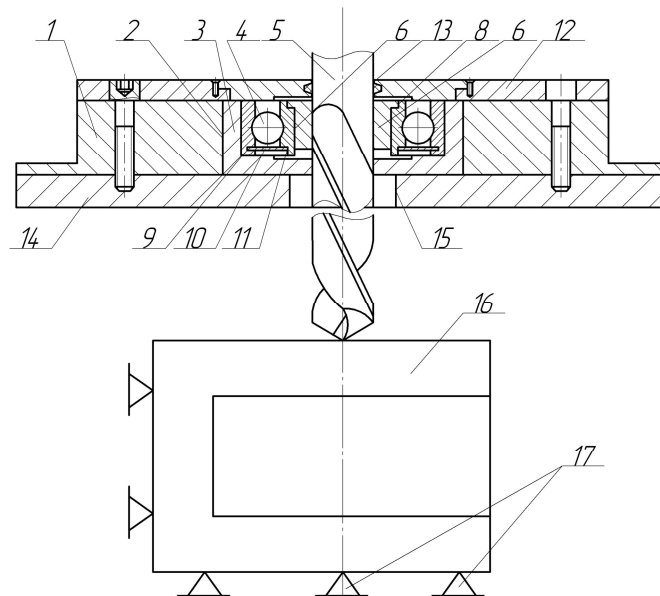


Рис. 1. Багатофункціональний переналаджувальний кондуктор

Багатофункціональний переналаджувальний кондуктор виконано у вигляді плити 1, по центру якої зверху виконано центральний наскрізний отвір 2, в який запресована глуха втулка 3, у внутрішній діаметр зверху якої запресований радіально-упорний підшипник 4, вісь якого співпадає з віссю свердла 5. У внутрішній отвір внутрішнього кільця 6 підшипника запресована змінна втулка 7 з буртом 8 зверху, довжиною меншою ширини підшипника, з можливістю кругового провертання з внутрішнім кільцем 6 підшипника 4 і свердлом 5. Знизу у зовнішньому кільці підшипника виконана кільцева канавка 9, яка у взаємодії зі стопорним кільцем 10, внутрішній діаметр якої є у взаємодії з зовнішньою кільцевою виточкою 11 внутрішнього кільця 6 знизу підшипника 4.

В зоні руху свердла 5 встановлено кришку 12 з центральним отвором 13, який є у взаємодії з свердлом для вільного його провертання і переміщення, яка жорстко закріплена до кондукторної плити 1 відомим способом.

Знизу під кондукторною плитою 1 жорстко встановлена нижня плита 14, які з'єднані між собою відомим способом. В зоні виходу свердла 5 в нижній плиті виконано наскрізний отвір 15 більшого діаметра ніж діаметр свердла для встановлення виштовхувача циліндричної форми при періодичній заміні кондукторного вузла.

Робота багатофункціонального переналаджувального свердлильного кондуктора для свердління отворів здійснюються наступним чином. Заготовка 16 вставляється в пристрій (на кресленні зображено тільки кондукторну плиту), до кондукторної плити в зборі на опори 17, які зображено схематично, яке жорстко закріплено у патроні свердлильного верстата (на кресленні не показані). Свердло 5 вводиться в отвір 13 кришки 12 і змінної втулки 7, підшипника 4 до оброблюваної деталі 16. В процесі обертання свердло 5 разом з внутрішнім кільцем 6 підшипника обертається, що значно зменшує силу тертя свердла 5 по змінній втулці 7 і підвищує надійність і довговічність як самої втулки так і свердла.

Для забезпечення змащення в зону кульок підводиться мастило через маслянку, яка на кресленні не позначена.

Заміна кондукторного вузла здійснюється наступним чином. Знімається кришка 12 за допомогою відомого знімача після чого його випресовуєть і на його місце встановлюють інший кондукторний вузол, після цього кришка 12 прикріплюється до кондукторної плити 1.

До переваг переналаджувального кондуктора відноситься розширення технологічних можливостей.

На рис. 2 зображена конструкція скальчатого пристрою для свердління довгомірних півмуфт приводів.

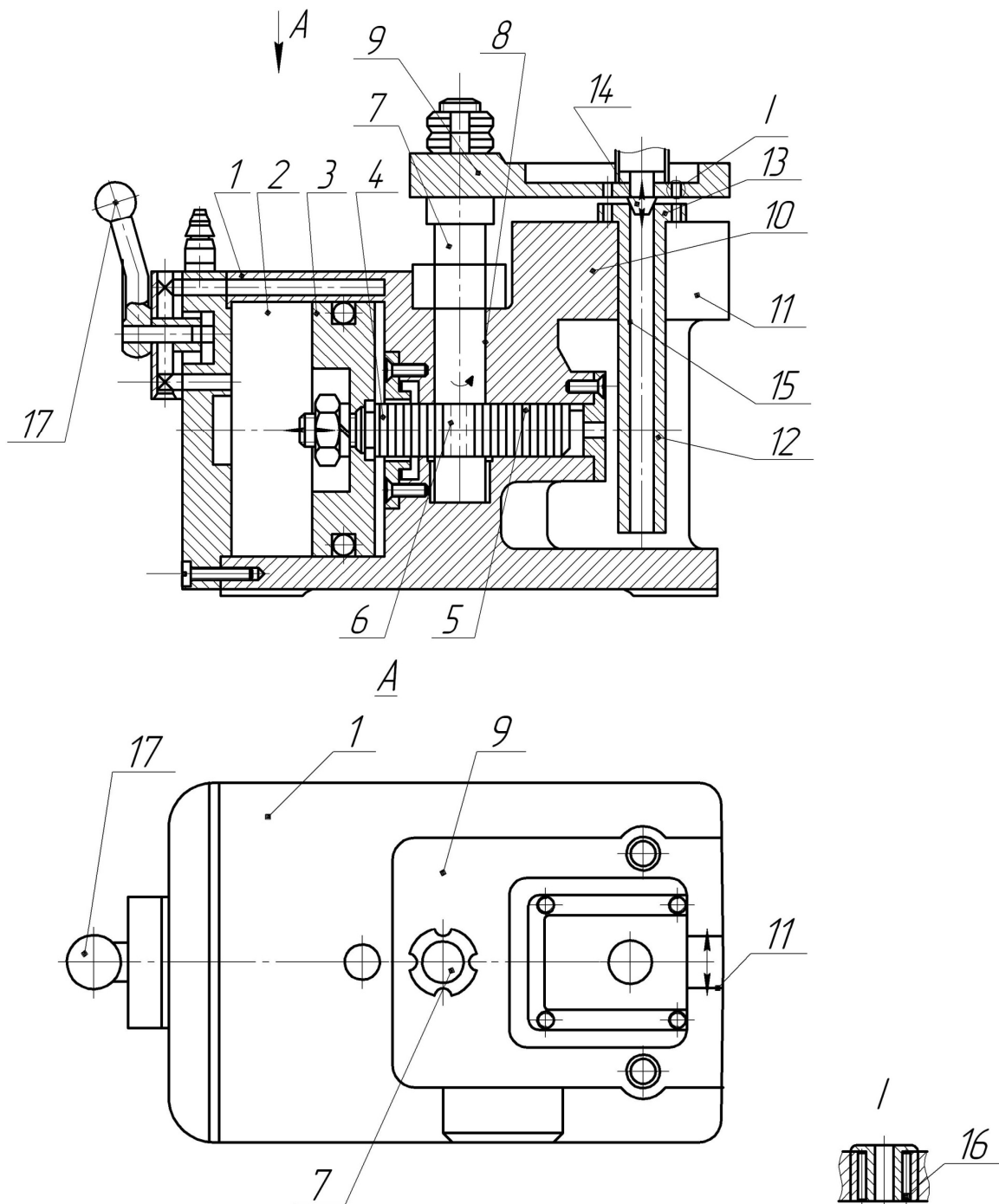


Рис. 2. Пристрій скальчатий для свердління довгомірних півмуфт приводів

Пристрій скальчатий для свердління довгомірних півмуфт виконано у вигляді корпусу 1, в якому розміщений пневмоциліндр 2 з поршнем 3, який жорстко кріпиться до шток-рейки 4 прямокутного поперечного перерізу, на якій з однієї сторони нарізані зуби 5, які є у взаємодії з зубами 6 колони 7. Остання нижнім циліндричним кінцем жорстко встановлена в отвір 8 корпусу 1 з можливістю вертикального переміщення, а до верхнього кінця жорстко кріпиться кондукторна плита 9. Нижня площина якої є паралельною до установчої плити 10, яку виконано на одне ціле з корпусом 1.

Верхня частина нижньої плити корпусу 1 виконана видовженої форми з глухим вертикальним наскрізним пазом 11 до кінця правого кінця, шириною більшого діаметра хвостовика 12 півмуфти 13 з яким він є взаємодії, а у кондукторній плиті 9 знизу по центру встановлено центрувальний конічний елемент 14, який є у взаємодії з центрувальним отвором 15 півмуфти 13. У кондукторній плиті 9 в якості кондукторних втулок встановленні радіально-упорні підшипники 16 відомої конструкції, вісі яких співпадають з вісями свердл.

Робота пристрою скальчатого для свердління довгомірних півмуфт приводів здійснюється наступним чином. За допомогою рукоятки 17 здійснюють запуск стиснутого повітря в пневмоциліндр 2, при цьому за допомогою поршня 3, шток-рейки 4 і колони 7 кондукторну плиту 9 переміщують у крайнє верхнє положення.

Півмуфту 13 більшим діаметром встановлюють на верхню частину корпусу 1 хвостовиком 12 вниз у глухий вертикальний наскрізний паз 11, а конусний центрувальний елемент 14 встановлюють в центрувальний отвір 15 півмуфти 13 за допомогою опускання кондукторної плити 9 вниз за допомогою рукоятки 17 і закріплюють заготовку півмуфти. Після чого здійснюють свердління 4-х отворів через радіально-упорні підшипники 16, які встановлюють замість кондукторних втулок.

По завершенні технологічного процесу кондукторну плиту 9 за допомогою рукоятки 17 переводять у вихідне положення і готову деталь знімають з пристрою.

До переваг пристрою належить те, що він розширює технологічні можливості і дає можливість обробляти довгомірні півмуфти за допомогою кондукторних втулок підвищеної експлуатаційної надійності і довговічності.

Графік залежності величини зношення нерухої втулки від радіуса свердла та графік залежності величини зношення втулки від кількості деталей в партії зображено на рис. 3 та рис. 4.

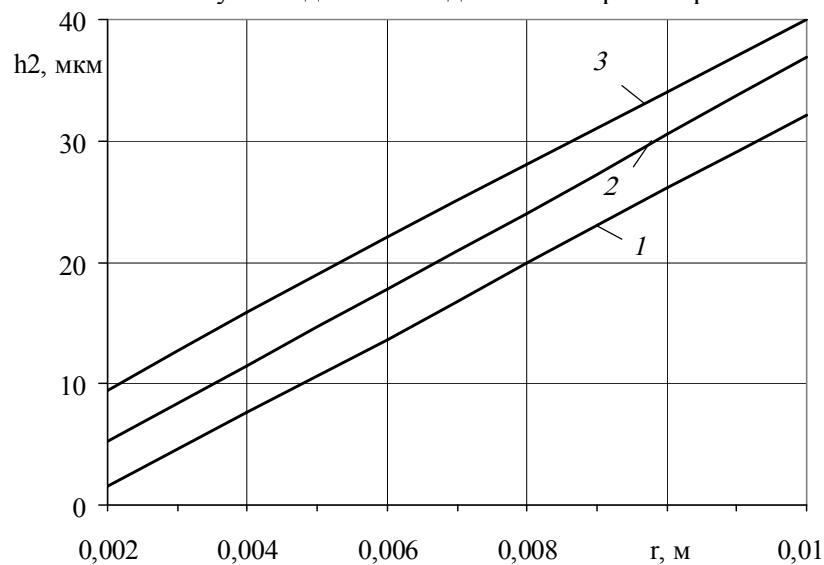


Рис. 3. Графік залежності величини зношення нерухої втулки від радіуса свердла:
1 – $S_1 = 0,2$ мм/об, 2 – $S_1 = 0,25$ мм/об, 3 – $S_1 = 0,3$ мм/об

З графічної залежності (рис. 3) видно, що при збільшенні радіуса свердла і відповідно радіуса оброблення величина зношення нерухої втулки зростає, а при зменшенні величини подачі величина зношення втулки зменшується.

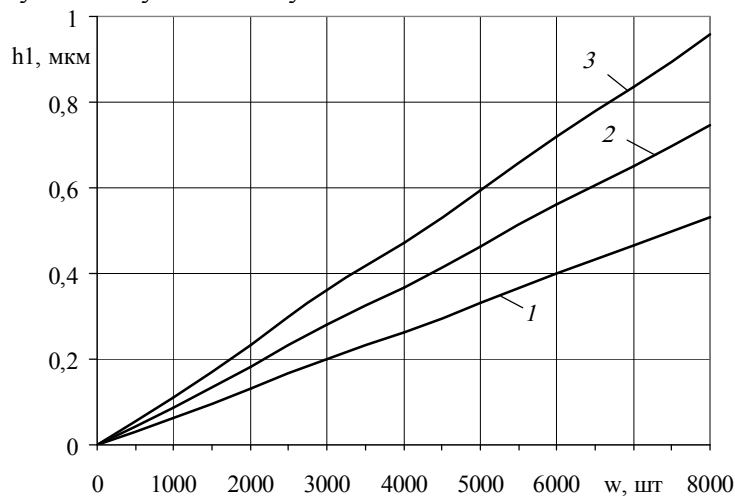


Рис. 4. Графік залежності величини зношення втулки від кількості деталей в партії: 1 – $H = 20$ мм, 2 – $H = 25$ мм, 3 – $H = 30$ мм

Згідно з цього графіка робимо висновок, що при збільшенні кількості деталей у партії та висоти втулки величина зношення обертової втулки зростає. Встановлено, що використання обертових кондукторних втулок збільшує їх надійність і довговічність на 20... 30 %.

Висновок. Розроблено нові конструкції свердлильного технологічного оснащення підвищеної точності, експлуатаційної надійності і довговічності. Приведено графічні залежності величини зношення нерухокої втулки від радіуса свердла та графік залежності величини зношення втулки від кількості деталей в партії.

1. Еремеева Н.М. Обработка отверстий в деталях из серого чугуна. / [Текст] // Н.М. Еремеева – М.: Машигиз, 1961. – 178 с.
2. Линчевский П.А., Джугурен Т.Г., Оргиян А.А. Обработка деталей на отделочно-расточных станках. [Текст] // – К.: Техніка, 2001. – 301 с.
3. Гевко Б.М., Брошак І.І., Гевко І.Б. Технологічне забезпечення оброблення спеціальних внутрішніх поверхонь / [Текст]. Тернопіль, – 2007, – 375 с.
4. Остафьев В.А., Пономаренко А.И. Обработка точных отверстий в приборостроении. [Текст] – К. Техніка, 1972, – 137 с.
5. Патент №65218 Україна. Кондукторна плита свердлильного пристрою. Диня В.І. – Бюл. №22, 2011.
6. Патент №62357 Україна. Скальчастий кондуктор з поворотною кондукторною плитою. Диня В.І. – Бюл. №16, 2011.
7. Диня В.І. Підвищення ефективності виготовлення деталей приводних механізмів односторонньої дії. Дисертація кандидата технічних наук. Тернопіль, 2012.

Стаття надійшла до редакції 26.09.2013.

УДК 621.82

І.Б. Гевко, Р.В. Комар, І.М. Кучвара
ТЕХНОЛОГІЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ПРОФІЛЮВАННЯ КОЖУХІВ ГВИНТОВИХ
КОНВЕЄРІВ

Приведена конструкція ротаційної головки, яка забезпечує профілювання еліптичних кожухів гвинтових конвеєрів за допомогою бойків, які здійснюють періодичні радіальні переміщення. Виведені аналітичні залежності для визначення коефіцієнта подібності на основі методу еліптичних параметрів. Відповідно за даними коефіцієнтами розраховано згинний момент у будь-якому перерізі заготовки. Виведені аналітичні залежності для визначення прогину та зміщення кільцевої заготовки під час деформації. Запропоновано методику розрахунку напруження згину еліптичного кожуха при деформації кільцевої заготовки і внутрішньої енергії згину.

Ключові слова: профілювання, еліптичні кожухи гвинтових конвеєрів, ротаційна обробка.

Рис. 5. Форм. 17. Літ. 3.

Б.М. Гевко, Р.В. Комар, І.М. Кучвара
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПРОФИЛИРОВАНИЯ КОЖУХОВ ВИНТОВЫХ
КОНВЕЙЕРОВ

Приведенная конструкция ротационной головки, которая обеспечивает профилирование эллиптических кожухов винтовых конвейеров с помощью бойков, которые совершают периодические радиальные перемещения. Выведенные аналитические зависимости для определения коэффициента сходства на основе метода эллиптических параметров. Согласно по данным коэффициентам рассчитаны изгибные моменты в любом сечении заготовки. Выведенные аналитические зависимости для определения прогиба и смещение кольцевой заготовки при деформации. Предложена методика расчета напряжения изгиба эллиптического кожуха при деформации кольцевой заготовки и внутренней энергии изгиба.

Ключевые слова: чеканка, эллиптические кожухи винтовых конвейеров, ротационная обработка.

B.M. Gevko, R.V. Komar, I.M. Kuchvara
TECHNOLOGICAL BACKGROUND OF SCREW CONVEYOR BODY PROFILING

Construction of the rotary head that provides elliptical profile bodies of screw conveyors using peens which carrying out periodic radial displacement was presented. Analytical dependences for determining the similarity factor on the basis of elliptic parameters were selected. Bending moment at any section of the blank according to the coefficients was calculated. Analytical dependences for determining the deflection and displacement of the ring blank during deformation were selected. The method of bending stress calculating of elliptical body during ring blank deformation and internal energy of the deformation was proposed.

Keywords: profile, elliptical housings screw conveyors, rotary machining.

Постановка проблеми. Основними робочими і завантажувально-розвантажувальними органами більшості сільськогосподарських, дорожніх, будівельних, переробних машин є гвинтові конвеєри (ГК). Їх питома вага, як транспортних пристроїв складає в середньому 40-45%. ГК також широко використовуються в машино- і приладобудуванні, металургії, хімічному машинобудуванні, фармацевтичній та інших галузях промисловості.

Специфіка їх роботи, обумовлена різноманітністю операцій технологічних процесів, а також фізико-механічні властивості вантажів визначають номенклатуру і конструктивні параметри ГК. Разом з тим домінуючим фактором, який впливає на формоутворення ГК, являється технологія їх виготовлення. Різновидність методів отримання ускладнює процес оптимізації і потребує вивчення впливу кожного з них на зміну конструктивних параметрів спіралей шнеків.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанням теоретичних передумов пластичного деформування присвячені праці Попова Е.П. [1], Тимошенка С.П. [2], Гевка Б.М. [3]. Однак автори звертали мало уваги на специфіку пластичного деформування труб круглого поперечного січення. І тому питання створення теоретичних передумов профілювання еліптичних кожухів гвинтових конвеєрів потребують подальшого і глибшого дослідження.

Метою роботи є розробка конструкції ротаційної головки, яка забезпечує профілювання еліптичних кожухів гвинтових конвеєрів розроблення технологічних основ їх проектування та виведення аналітичних залежностей для визначення коефіцієнта подібності на основі методу еліптичних параметрів.

Реалізація роботи. Вихідною заготовкою для еліпсоїдних кожухів є трубний прокат. Відповідно технологією виробництва передбачається його деформація, одним із запропонованих

способів (рис.1), який функціонує за принципом ротаційно-кувальної машини, а саме шляхом прикладання до протилежних полюсів кола радіально деформуючих зусиль.

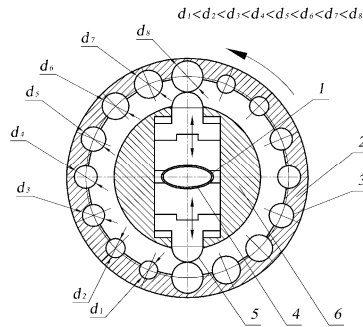


Рис. 1. Технологічна схема формоутворення еліптичних кожухів транспортно-технологічних систем: 1 – заготовка; 2 – корпус; 3 – ролики; 4 – матриця; 5 – бойок; 6 – шпиндель

Розглянемо отримувану даними способами форму пружної лінії трубчастої заготовки, а саме її перерізу у вигляді тонкого нерозрізного кільця. Початковий радіус заготовки R , деформуюче зусилля забезпечується двома взаємно врівноваженими радіальними силами Q .

Задавшись початковою умовою, що форми перерізів вихідної заготовки і отриманого виробу є симетричними. Відповідно для полегшення розрахунку будемо розглядати четверту частину перерізу кільцевої заготовки, причому $P = Q/2$. Довжина пружної лінії буде рівна $l = \pi R/2$. Розрахунок проводимо у системі координат $x'y'$ (рисунок 2), де вісь x' орієнтована по силі, а згодом розглянемо нерухомі осі в системі xy , яка зв'язана із центром заготовки C .

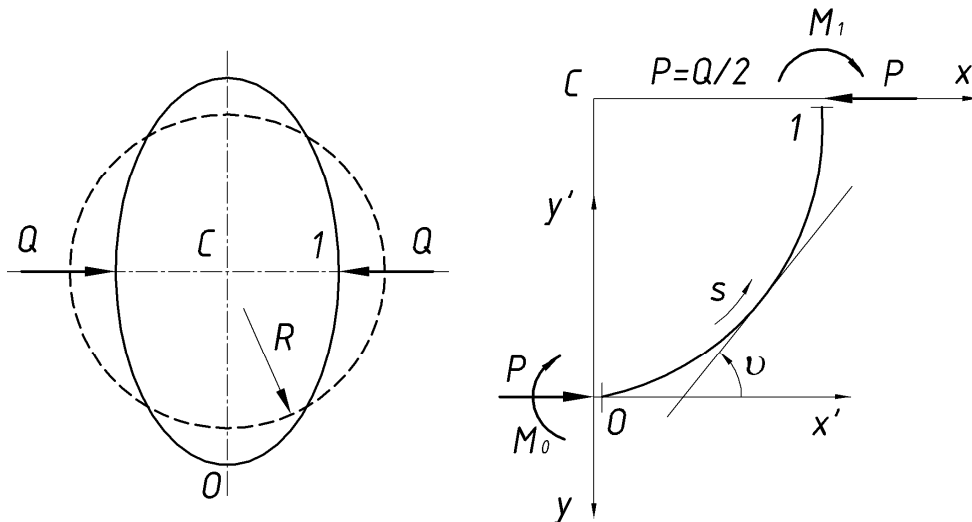


Рис. 2. Розрахункові схеми для визначення еліптичних параметрів деформованої заготовки

Дослідження доцільно проводити із використання методу еліптичних параметрів. Коефіцієнт подібності буде рівний [1]

$$\beta = \sqrt{Pl^2/H} = (\pi R/2)\sqrt{Q/2H}, \quad (1)$$

де H – згинна жорсткість заготовки у довільному перерізі;

Згідно теорії згину $H = EJ$.

Моментний та кутовий коефіцієнти подібності рівні [1]

$$\omega = (2/k)\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi}; \quad \zeta = 2\varphi, \quad (2)$$

де k , φ – еліптичні параметри;

Відповідно за даними коефіцієнтами можна розрахувати згинний момент у будь-якому перерізі заготовки

$$M = \omega \sqrt{\frac{QEJ}{2}} - \frac{EJ}{R} = \frac{\omega}{2\beta_0} QR - \frac{EJ}{R}, \quad (3)$$

де E – модуль пружності; J – осьовий момент інерції площі поперечного перерізу, а також кут нахилу дотичної у довільній точці пружної лінії заготовки

$$\vartheta = \zeta \tag{4}$$

В точці перегину (т.О, див. рис.2) значення моменту та кута нахилу рівні

$$M = -\frac{EJ}{R}, \quad \vartheta = 2 \arcsin k. \tag{5}$$

Рівняння пружної лінії в осях координат $x'y'$

$$\begin{cases} \frac{x'}{R} = \frac{2}{k\beta_0} E(\varphi) - \left(\frac{2}{k^2} - 1\right) \frac{s}{R} \\ \frac{y'}{R} = \frac{2}{k\beta_0} \left(1 - \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi}\right) \end{cases} \tag{6}$$

Якщо перейти до системи координат xCy , яка зв'язана із центром C вихідної заготовки, отримаємо

$$x = x'; \quad y = y'_1 - y'. \tag{7}$$

Статична характеристика для гнучого кільця описується залежністю $Q(q)$, де q – зміщення сили Q , причому

$$Q = 2\beta_0^2 \left(\frac{EJ}{R^2}\right) = 2\left(\frac{2}{\pi} \beta\right)^2 \left(\frac{EJ}{R^2}\right). \tag{8}$$

Фактично величина зміщення рівна

$$q = R - x_1. \tag{9}$$

У нашому випадку, при виготовленні із трубного прокату еліптичних кожухів, мають місце значні зміщення точок початкового контуру заготовки. Відповідно прогин v і зміщення u у довільній точці T , можна визначити наступним чином (рис.3). Як видно із схеми вісь v направляється по радіусу до центру кільцевої заготовки із першопочаткового положення T_0 . Вісь u напрямлена по дотичній до початкового обрису кільцевої заготовки в сторону напрямку підрахунку довжини дуги s . Довжина дуги s пружної лінії при згині залишається незмінною, причому її відносна величина s/R відповідає значенню кутової координати точки T_0 . Координати v , u т. T , які відповідають аналогічному значенню s на пружній лінії кільцевої заготовки, являють собою прогин v і зміщення u в даній т. T .

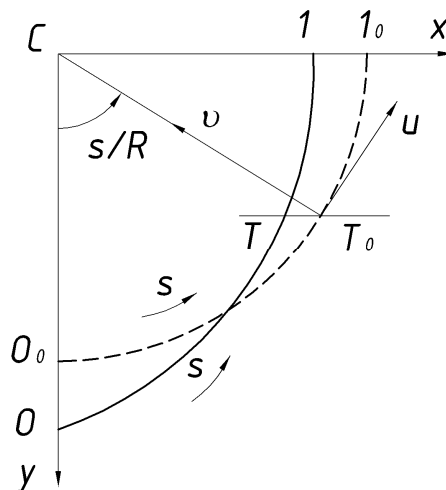


Рис. 3. Розрахункова схема для визначення прогину та зміщення кільцевої заготовки під час деформації

Значення прогину і зміщення можна розрахувати за формулами [1]

$$v = R - y \cdot \cos \frac{s}{R} - x \cdot \sin \frac{s}{R}, \tag{10}$$

$$u = x \cdot \cos \frac{s}{R} - y \cdot \sin \frac{s}{R}. \tag{11}$$

Для кінцевих точок четвертої частини кільцевої заготовки O і I отримаємо

$$v_0 = -(v_0 - R), \quad v_1 = R - x_1. \quad (12)$$

Оскільки дані точки при згині будуть зміщуватися тільки в радіальному напрямку, то їх зміщення u_0 і u_1 будуть нульовими.

Напруження згину при деформації кільцевої заготовки можна розрахувати взявши за основу окремі аналітичні залежності [2]. Фактично напруження згину рівне

$$\sigma = M \frac{h}{2J} = \left(\frac{\omega}{2\beta_0} QR - \frac{EJ}{R} \right) \frac{h}{2J}, \quad (13)$$

де h – товщина стінки кільцевої заготовки.

З урахуванням, що

$$\beta_0 = 2\beta/\pi = \sqrt{QR^2/2EJ}, \quad (14)$$

отримаємо

$$\sigma = Eh/2R. \quad (15)$$

Внутрішня енергія згину четвертої частини кільця

$$V = \frac{QR}{2} \left(\frac{\zeta'}{\beta_0} + 0,5\omega_0^2 - 1 \right) - \frac{\pi EJ}{4R}. \quad (16)$$

Відповідно для всього перерізу кільцевої заготовки внутрішня енергія згину рівна

$$\sum V = 4 \left[\frac{QR}{2} \left(\frac{\zeta'}{\beta_0} + 0,5\omega_0^2 - 1 \right) - \frac{\pi EJ}{4R} \right]. \quad (17)$$

На основі проведених теоретичних досліджень побудовані подальші графічні залежності, які представлені на рис. 4..5.

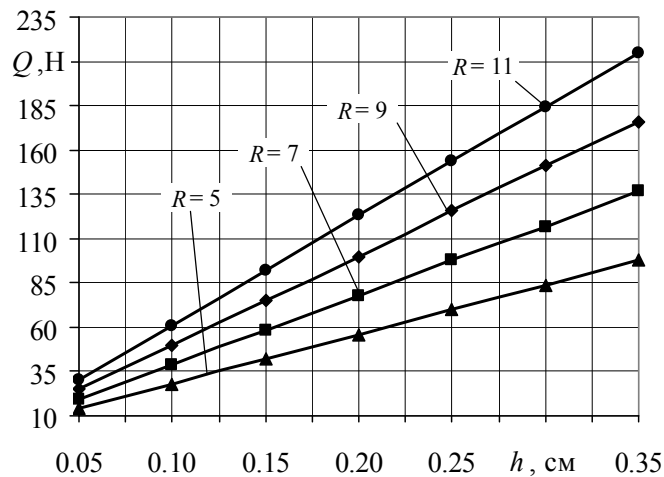


Рис. 4. Залежність зміни зусилля згину Q від товщини h стінки кільцевої заготовки при різних значеннях її діаметра R

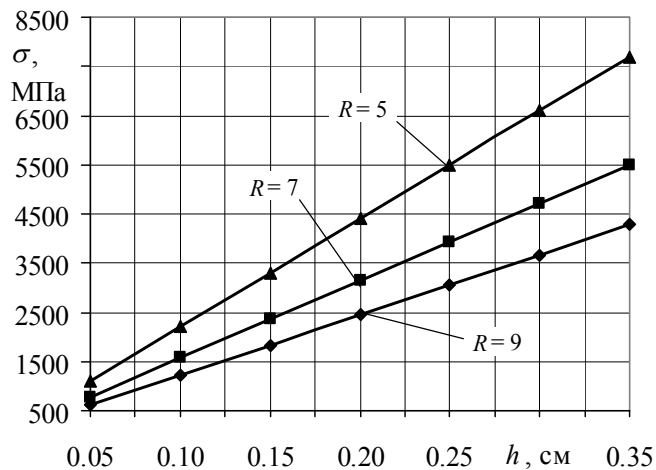


Рис. 5. Залежність зміни напруження згину σ при деформації кільцевої заготовки від товщини h стінки кільцевої заготовки при різних значеннях її діаметра R

Згідно отриманої методом графічної побудови залежності $Q = f(h)$ можна зробити висновок, що при технологічному виконанні еліпсоїдних кожухів, шляхом деформування трубного прокату, спостерігається лінійне збільшення жорсткості вихідної конструкції, що пояснює причину зростання необхідного для формоутворення зусилля Q . Відповідно чим більша товщина стінки вихідної заготовки, тим суттєвіше зростання енергозатрат на деформування. Так для товщини стінки $h = 0,5$ мм при діаметрах $D = 100, 140, 180$ і 220 мм відбувається зростання необхідного для формоутворення зусилля від 1,2 до 1,35 рази. Відповідно при розглядуваному значенні $h = 3,5$ мм і аналогічних діаметрах дане співвідношення знаходиться в межах 1,22 до 1,38 раз. Тобто відслідковується чітка лінійна залежність при умові однакових фізико-механічних властивостях матеріалу заготовки. При аналогічних умовах збільшення товщини стінки заготовки в діапазоні $h = 0,5 \dots 3,5$ мм потребує збільшення деформуючого зусилля до 7 раз, незалежно від діаметра заготовки, з чого випливає висновок, що першопочатковим фактором при встановленні зусилля формоутворення є товщина стінки вихідної заготовки.

Проаналізувавши залежності $\sigma = f(h)$ встановлено, що вирішальним фактором на зміну напруження згину є саме діаметральні параметри заготовки, виражені через її радіус чи діаметр. Так при однакових значеннях товщини стінки при $D = 100$ мм значення напруження згину перевищують аналогічні напруження при $D = 180$ мм більше ніж у 1,8 рази, що пояснюється більшою згинною жорсткістю вихідної заготовки.

На основі проведених досліджень можна зробити наступні висновки.

1. Приведена конструкція ротаційної головки, яка забезпечує профілювання еліптичних кожухів гвинтових конвеєрів за допомогою бойків, які здійснюють періодичні радіальні переміщення.

2. Виведені аналітичні залежності для визначення прогину та зміщення кільцевої заготовки під час деформації.

1. Попов Е.П. Теория и расчет гибких упругих стержней / Попов Е.П. – М.: Наука, 1986. – 296 с.
2. Тимошенко С.П. Прочность и колебания элементов конструкции / Тимошенко С.П. – М.: Наука, 1975. – 704 с.
3. Гевко Б.М., Технологія сільськогосподарського машинобудування: підручник / Б.М. Гевко, І.Б. Гевко, Д.Л. Радик. – Київ: Кондор, 2006. – 490 с.

Стаття надійшла до редакції 26.09.2013.

УДК 631.17:631.147

В.В. Грабовець, А.О. Шарибура, П.М. Луб
ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГОЗАТРАТ НА ЗНЕВОДНЕННЯ ОЗЕРНИХ САПРОПЕЛІВ

У статті наведено експериментальне визначення питомих енергозатрат на зневоднення сапропелів. Результати дослідження дають змогу для подальшого вибору та обґрунтування послідовності технологічних операцій під час зневоднення.

Ключові слова: озерний сапропель, процес зневоднення, енергозатрати.

Рис. 5. Форм. 3. Літ. 7.

В.В. Грабовець, А.А. Шарибура, П.М. Луб
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ НА ОБЕЗВОЖИВАНИЕ ОЗЕРНЫХ САПРОПЕЛИЕЙ

В статье приведено экспериментальное определение удельных энергозатрат на обезвоживание сапропелей. Результаты исследования дают возможность для последующего выбора и обоснования последовательности технологических операций во время обезвоживания.

Ключевые слова: озерный сапропель, процесс обезвоживания, энергозатраты.

V.V. Grabovets, A.A. Sharybura, P.M. Lub
DEFINITION ENERGY CONSUMPTION FOR DEHYDRATION LACUSTRINES SAPROPELS

In the article experimental determination of specific energy expenses is resulted on dehydration of sapropels. Research results enable for a subsequent choice and ground of sequence of technological operations during dehydration.

Keywords: lacustrine sapropel, process of dehydration, expenses of energy.

Постановка проблеми. В сучасних темпах розвитку агропромислового виробництва створення і освоєння енергоощадних технологічних процесів комплексного зневоднення високовологих під час переробки сировини гостро постають питання економії енергоресурсів. Це актуально і під час зневоднення озерних сапропелів, яким характерна висока природна вологість, що коливається у межах 63-98%, залежно від глибини залягання. Для верхнього шару (пелогену) вона становить 88-98% [1].

Загальна картина запасів сапропелів в Україні представлена у вигляді секторної діаграми (рис1.). Враховуючи запаси озерних сапропелів, що становлять тільки у Волинській області 60 млн. тон при вологості 60 %, необхідний комплексна та промислова переробка, що базується на визначених операціях зневоднення у науково обґрунтованій послідовності [2].

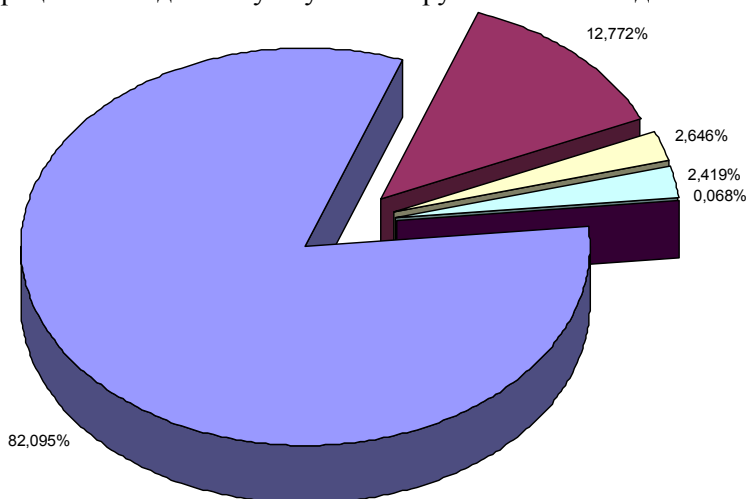
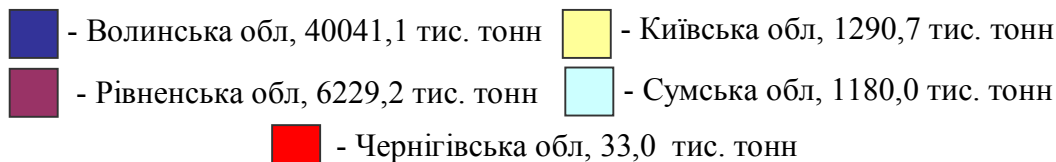


Рис. 1. Запаси озерних сапропелів України



© В.В. Грабовець, А.О. Шарибура, П.М. Луб

Використання сапропелів у різних галузях народного господарства дає змогу поповнити місцеві бюджети регіонів, створити нові робочі місця та залучити інвестиції в регіон. На шляху широкого використання сапропелів існує цілий ряд перепон. Це відсутність державного регулювання і законодавства у даній сфері, розміщення озер у важкодоступних місцях, евтрофія озер, в результаті якої водойма інтенсивно заростає рослинністю і залишається без водного дзеркала [3]. Але основною найбільш суттєвою проблемою є процес відділення вологи із сапропелів, через як було раніше сказано високу природу вологість.

Аналіз останніх досліджень. Нові вимоги до готової органічної продукції повинні передбачати забезпечення безперервного та швидкого процесу зневоднення, починаючи від добування і до пакування готової продукції із збереження цінних природніх властивостей.

Доцільність використання різних способів зневоднення під час зневоднення матеріалів підвищеної вологості досліджувались у роботах таких вчених А.В. Нетушил, Г.А. Максимов, Н.П. Жмакін, А.Т. Птушкін, И.А. Рогов, О.Ф. Буляндра, М.О. Гришин, В.Т. Мустаца, А.С. Лупашко та інші. Аналізу способів зневоднення матеріалів високої вологості проведених вказує на доцільність застосування декількох способів відділення вологи з матеріалу на основі енергії зв'язку вологи з матеріалом [4]. Оптимальний результат можна отримати лише застосовуючи декілька методів зневоднення у відповідній послідовності. Враховуючи специфічні органічні властивості озерних сапропелів та широкий спектр можливих технологічних операцій з відділення вологи які можна застосувати, виникає необхідність визначити енергоємність кожного із процесів. Це дасть змогу правильно вибрати необхідні операції і у обгрунтованій послідовності.

Тому, **метою** дослідження є визначення і порівняння енергозатрат на зневоднення сапропелів різними способами.

Результати досліджень. Дослідження з визначення питомих енергозатрат на зневоднення сапропелів ми проводили для чотирьох найбільш простих та розповсюджених способів. Це механічне зневоднення у гвинтовому пресі і механічне зневоднення після нагрівання сапропелів струмами високої частоти, сушіння струмами високої частоти і зневоднення сорбційним способом.

Згідно з методикою дослідження механічне зневоднення сапропелю проводили у гвинтовому [5]. Для зневодненого сапропелю визначали вологість, а також значення енергозатрат за допомогою спеціального лічильника. Також було проведено механічне зневоднення у гвинтовому пресі після попереднього нагрівання сапропелю струмами високої частоти.

Визначення енергозатрат під час нагрівання струмами високої частоти брали наважки сапропелю різної вологості від початкової 70...94% визначали за формулою:

$$E_{свч} = P \cdot \phi, \quad (1)$$

де P – потужність СВЧ-джерела, Вт;

ϕ - тривалість нагрівання, с.

Сорбційне зневоднення сапропелів проводили у спеціально розробленому пристрої, який складається з двох стрічкових транспортерів і між ними завантажується матеріал. В результаті руху сапропелю у пристрої частина вологи відбирається сорбентом на стрічці транспортера [6].

Розрахунок енергозатрат проводили наступним чином. Вони будуть складатись із витрат на привід двох стрічкових транспортерів E_{mp} із врахуванням додаткових особливостей сорбційного процесу $E_{дод}$:

$$E_{сорб} = 2 \cdot E_{mp} + E_{дод}. \quad (2)$$

Так, затрати енергії на привід транспортера визначаються:

$$E_{mp} = \frac{c_0 \cdot W \cdot L}{360} \quad (3)$$

де W – продуктивність транспортера;

c_0 – узагальнений коефіцієнт опору;

L – шлях транспортування, м.

Практично у всіх випадках проведення досліджень повторність дослідів становила три рази. Обчислення довірчого інтервалу проводили, користуючись довідковою літературою даними [7].

Результати дослідження енергозатрат на зневоднення сапропелю наведеними способами представлено на рис. 2 – 5. Аналіз результатів механічного зневоднення показав, що після

нагрівання матеріалу енергозатрати на відділення вологи значно знижуються (рис. 2). Так для випадку механічного зневоднення при енергозатратах у 0,4 Вт·год/кг вологість знижується до 80 %, а механічне зневоднення після нагрівання сапропелів дозволяє з тими самими енергозатратами знизити вологість до 77%. Характер енергетичної кривої механічного зневоднення показує, що для випадку без нагрівання крива зміни енергозатрат різко падає вниз до значення 0,3 Вт·год/кг, а далі вирівнюється практично у пряму лінію. У варіанті з нагрівання перед механічним зневодненням (див. рис. 3) крива зміни енергозатрат монотонно спадає. Це свідчить, що нагрівання струмами високої частоти дозволяє інтенсифікувати процес зневоднення, за рахунок теплового руйнування зв'язку вологи з матеріалом. Характер обох кривих (див. рис. 2 та 3) вказує на послідовне видалення різних видів вологи та їх форм зв'язку з

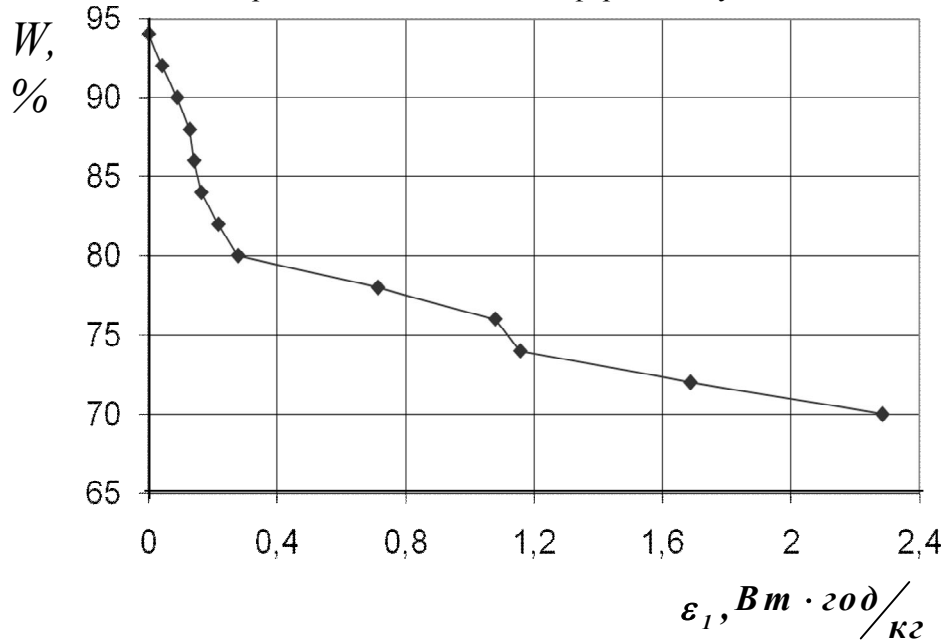


Рис. 2. Залежність енергозатрат на зневоднення сапропелю механічним способом від вологості

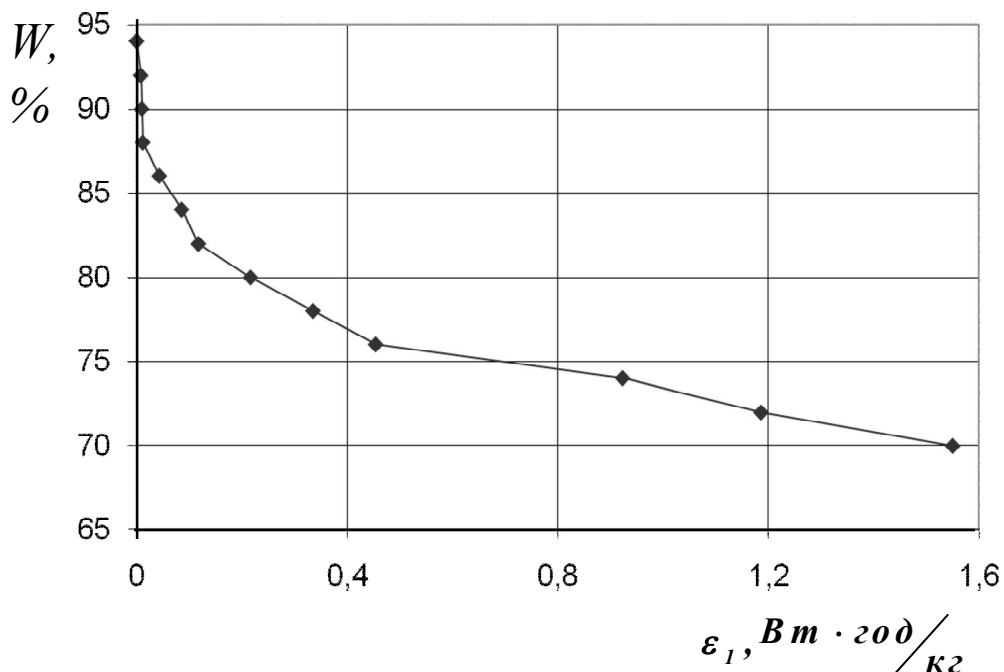


Рис. 3. Залежність енергозатрат на зневоднення сапропелю механічним способом після теплової обробки від вологості

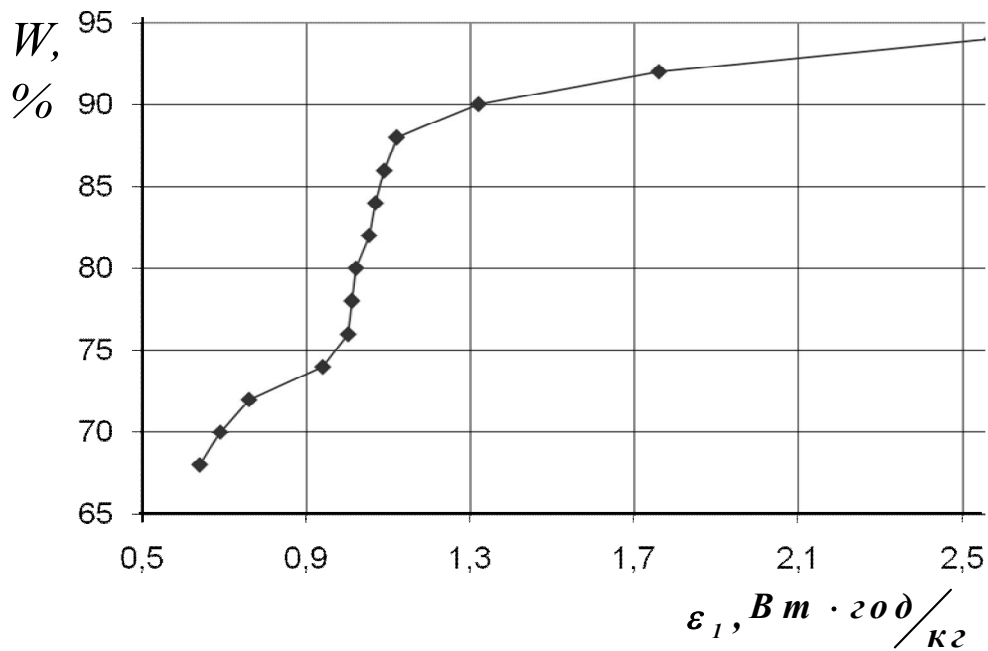


Рис. 4. Залежність енергозатрат на зневоднення сапропелю під час нагрівання СВЧ від вологості

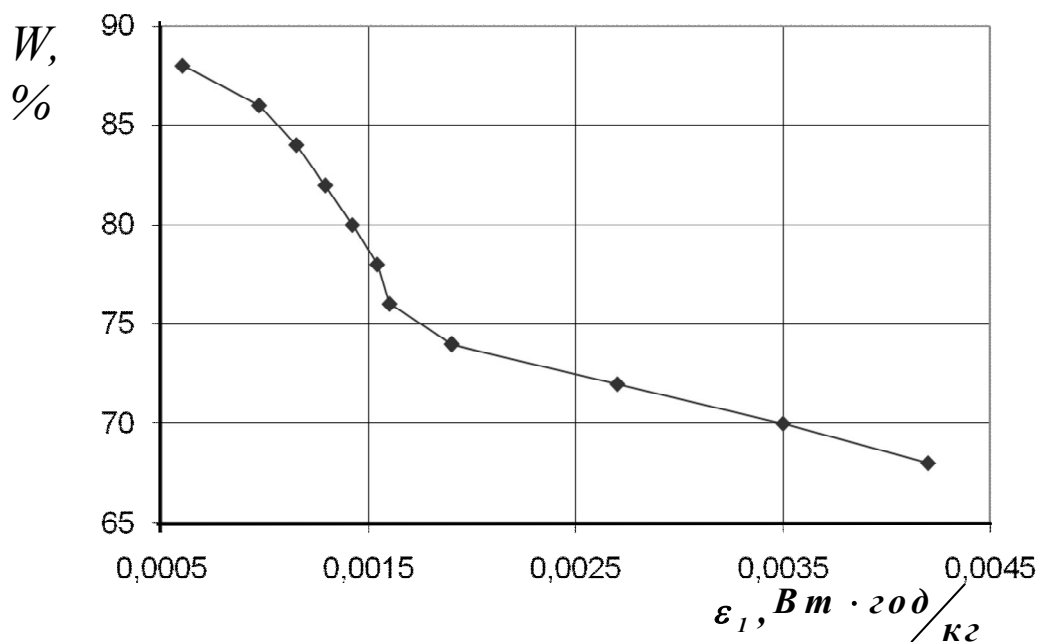


Рис. 5. Залежність енергозатрат на зневоднення сапропелів під час сорбційного зневоднення від вологості

матеріалом, а тому чим міцніший зв'язок води у матеріалі тим більші затрати на її відділення.

Нагрівання озерних сапропелів струмами характеризується значними енергозатратами. Чим більша вологість, тим більше потрібно енергії на нагрівання, тому що значна частина енергії витрачається не на зневоднення, а на нагрівання води та руйнування енергії зв'язку води з матеріалом. Найбільше затрат енергії, як видно (див. рис. 4) припадають на нагрівання слабозв'язаної води. Енергозатрати починають спадати при вологості сапропелів 88%.

Сорбційне зневоднення озерних сапропелів (див. рис. 5) характеризується незначними енергетичними затратами. В міру видалення води вони монотонно зростають, це пов'язане зі збільшенням тривалості перебування матеріалу у пристрої і сповільненням процесу зневоднення.

Висновки. В результаті проведених досліджень встановлено, що під час зневоднення механічними способами (2,3,5) питоми затрати енергії зростаю із зниженням вологості матеріалу. Це пояснюється послідовною видаленням різних форм вологи та її енергії зв'язку з матеріалом в процесі зневоднення. В першу чергу відділяється волога з меншою енергією зв'язку, а по мірі зниження вологості енергія зв'язку збільшується. Під час нагрівання матеріалу струмами високої частоти із зменшенням вологості зменшуються і енергозатрати. Це властиве матеріалам високої вологості, оскільки чим більше вологи у матеріалі, тим більше енергозатрат необхідне для нагрівання та її випаровування з матеріалі. Результати даних досліджень є підставою для кількісного оцінення ефективності можливих варіантів і послідовності застосування даних способів у безперервному процесі зневоднення озерних сапропелів.

1. Бакшеев В.Н. Сапропелевые месторождения Тюменской области / В.Н. Бакшеев. – Тюмень : Вектор Бук, 2001. – 120 с.
2. Шевчук М.Й. Сапропелі України: запаси, якість та перспективи використання / Шевчук М.Й. – Луцьк : Надстир'я, 1996. – 384 с.
3. Лопотко М.З. Озера и сапропель / Лопотко М.З. – Мн. : Наука и техника, 1978. – 86 с.
4. Дідух В.Ф. Вологообмінні та термодинамічні властивості сапропелів / В.Ф. Дідух, Р.В. Луцик, В.В. Грабовець // Науковий вісник Національного аграрного університету. – 2006. - Вип. 92, ч. II. – С. 56-60.
5. Грабовець В. В. Дослідження процесу зневоднення сапропелю у прес-шнеку / Грабовець В. В. , Шимчук О.П. // Сільськогосподарські машини. – Луцьк : ЛНТУ, 2010. – № 20.– С. 34-41
6. Grabovets V. Research of moisture separation process from lake sapropel in screw device / Grabovets V., Diduh V., Lub P., Sharybura A. // INMATEH – Agricultural engineering. Vol. 33, No. 1/2011, Bucharest 2011. - P. 37-42.
7. Practical physics / G. L. Squires. Lecturers in Physics at the University of Cambridge and Fellow of Trinity College. - Cambridge. : McGraw-Hill ; London, 1964. – 479 p.

Стаття надійшла до редакції 24.09.2013.

УДК 629.113

В.Л. Деркач
АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ПЕРЕДПУСКОВОГО ПІДІГРІВУ ДЛЯ
АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

Розглянуто варіанти передпускового підігріву двигунів колісних транспортних засобів для забезпечення необхідного теплового стану при мінусових температурах. Досліджено ефективність роботи передпускових підігрівачів різних типів.

Ключові слова: двигун, передпусковий підігрів, температура, економічність.

Рис. 2. Табл. 1 Літ. 4.

В.Л. Деркач
АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРЕДПУСКОВОГО ПОДОГРЕВА ДЛЯ
АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Рассмотрены варианты передпускового подогрева двигателей колесных транспортных средств для обеспечения необходимого теплового состояния при отрицательных температурах. Исследована эффективность работы передпусковых подогревателей различных типов.

Ключевые слова: двигатель, предпусковой подогрев, температура, экономичность.

V. L. Derkach
ANALYSIS OF PRE-HEATING DEVICES FOR ROAD TRANSPORT

Variants preheated engines of vehicles to provide the necessary thermal state at subzero temperatures. The investigation of pre-heaters efficiency of various types.

Keywords: engine, pre-heating, temperature, efficiency.

Вступ. Температурний режим має значний вплив на роботу двигуна, особливо на паливну економічність. Експлуатація автомобіля не передбачає безпроблемний пуск двигуна. Проблематичним у зимовий період може бути використання як бензинових так і дизельних агрегатів. Причиною незаведення дизельного двигуна є питання пов'язані з неготовністю агрегату чи паливною системою дизеля та дизпаливом, яким заправляють власники свої автомобілі. У бензинових двигунах причинами відмови можуть бути слабка акумуляторна батарея та несправна система запалення.

Отримати необхідний тепловий стан двигуна можливо багатьма способами. При роботі двигун виділяє тепло, при цьому в непрогрітому стані споживає значно більше палива. Для забезпечення економічності автовиробники та користувачі автомобілів використовують усі можливі варіанти. Для досягнення необхідного теплового стану використовують додаткові опалювачі, передпускові підігрівачі, підігрів паром. Також встановлюють електropідігрівачі, які вмонтовані у картері і гріють мастило, та електropідігрівачі, які підігрівують охолоджуючу рідину.

Основною проблемою для власників автомобілів є перший пуск двигуна після його охолодження до низької температури. Саме мінусова температура створює проблеми запуску і вимагає значно більше часу підготовки автомобіля, а інколи взагалі унеможливає пуск двигуна. Тому важливим науково-практичним завданням є подальше дослідження та покращення систем передпускового підігріву двигунів автотранспорту. Дослідження впливу цих систем має місце у сьогodнішній експлуатації автомобіля, тому що збільшується ресурс таких деталей як стартер, акумуляторна батарея, поршнева група.

Аналізуючи останні публікації, у яких досліджували передпускові підігрівачі, виявилось, що заміри проводились на лісозаготівельних тракторах з дизельними двигунами та спецтехніці в холодному кліматі. Більшість дисертацій по дослідженню передпускового підігріву двигунів написані в Росії.

Новопашин Л. А. досліджував пускові якості дизелів лісотранспортних машин. У праці досліджуються зміни, які відбуваються в паливній системі дизеля, втрата заряду, сумарні теплові втрати. Сирбаков А. П. у своїй роботі працює над питанням забезпечення роботоздатності системи паливоподачі у дизельних тракторів в умовах низьких температур. У цій роботі пропонується використання методу дроселювання та питання теплообміну палива. Телегін П. А. досліджував доведення параметрів та режимів роботи саморегулюючого пристрою електrorозігріву незамерзаючої рідини в двигунах автотракторної техніки. Доведений принцип саморегулювання

процесу розігріву охолоджуючої рідини двигуна внутрішнього згорання. Також у роботі була розроблена математична модель процесу розігріву незамерзаючої рідини з саморегулюванням. У праці Симоненка С.В. розроблено загальну методику визначення способу прогріву двигуна автомобіля. Автор дослідив, що для найкращої економії палива слід після пуску двигуна і його роботи до 60 секунд з мінімальною усталеною частотою обертання, виконувати рух автомобіля.

Передпускові підігрівачі поділяють на автономні та неавтономні. За модифікаціями передпускові підігрівачі розділяють для легкових автомобілів, вантажних автомобілів, автобусів.

Автономні підігрівачі встановлюються в автомобіль, врізаючись в систему охолодження двигуна. Під дією напруги свічка розжарювання розігрівается і запалює паливо-повітряну суміш. Тепло передається власним теплообмінником автомобіля і розподіляється по повітряних каналах транспортного засобу.

В автономних підігрівачах значно складніша конструкція. Для прикладу на рисунку 1 зображений саме такий пристрій.

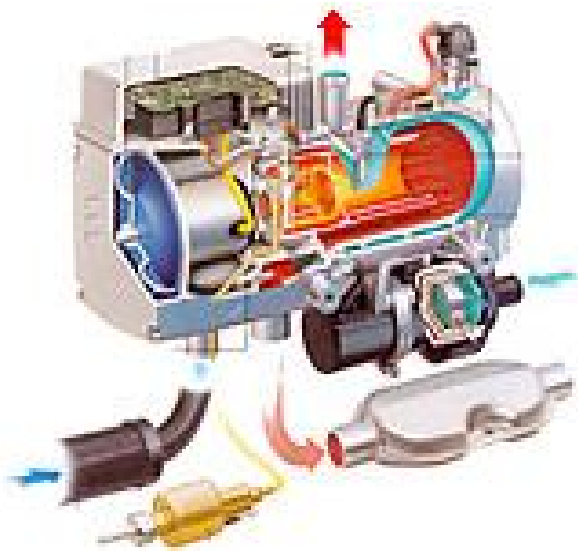


Рис. 1. Автономний передпусковий підігрівач

В основі принципу роботи неавтономних рідинних передпускових підігрівачів лежать: підігрів за допомогою електричної енергії, конвекція (тобто теплообмін у рідкому середовищі). Для роботи такої системи необхідне правильне місце встановлення. При нагріванні рідина розширюється, зменшуючи свою масу і при цьому нагріта речовина підіймається вгору, створюючи рух. Неавтономна система підігріву складається з нагрівального елемента. Цей пристрій являє собою частину з циліндричної труби, в яку впаяний нагрівальний елемент з електричним роз'ємом. Неавтономна система може бути як найпростішою, яка передбачає ручне вмикання та вимикання, але також можлива складна система. Складна система складається з чотирьох функціональних блоків модулів: зарядний пристрій, блок управління часу роботи, обігрівач салону та рідинний обігрівач. Саме складна система забезпечує максимальний комфорт водія. Вона прогріває двигун автомобіля, заряджає акумуляторну батарею та обігрівач салону.

Використовують також акумулятори теплоти. Принцип роботи такої системи полягає у тому, що нагрітий антифриз до робочої температури закачується в тепловий акумулятор, який знаходиться у багажному відділенні, а після охолодження двигуна використовується для його нагріву.

Існує велика кількість видів підігрівачів з різними конструктивними особливостями, які різняться один від одного принципом роботи та способами встановлення. Правильне розташування підігрівача зможе забезпечити найбільшу ефективність роботи. Особливо це має значення для простих рідинних опалювачів без додаткового насосу. Їх поділяють на декілька серій. Різниця – в індивідуальній конструкції для певного двигуна та вільним простором для встановлення. На рисунку 2 зображені різні типи підігрівачів.

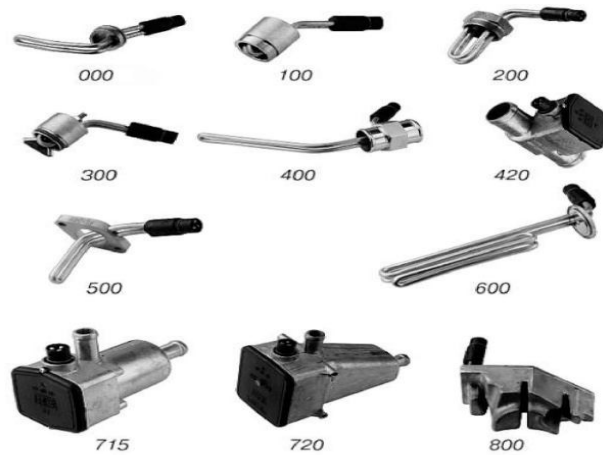


Рис. 2. Передпускові підігрівачі двигуна автомобіля виробника Defa

Таблиця 1. Характеристики передпускових підігрівачів

№ п/п	Виробник	Місце встановлення	Тип підігрівача	Живлення системи керування	Потужність, кВт	Джерело енергії	Час нагріву, хв
1.	Webasto (Німеччина)	Підкапотний простір	Автономний рідинний опалювач	12/24 В	4-9,1	Бензин/дизельне пальне	10-120
2	Webasto (Німеччина)	Салон, кабіна транспортного засобу	Повітряний опалювач	12/24 В	2-9	Бензин/дизельне пальне	10-600
3	Eberspacher (Німеччина)	Підкапотний простір	Автономний рідинний опалювач	12/24 В	4-35	Бензин/дизельне пальне	10-120
4	Eberspacher (Німеччина)	Салон, кабіна транспортного засобу	Повітряний опалювач	12/24 В	2-8	Бензин/дизельне пальне	10-600
5	Brano (Чехія)	Салон, кабіна транспортного засобу	Повітряний опалювач	12/24 В	0,35-1,2	Бензин/дизельне пальне	10-600
7	Планар (Росія)	Салон, кабіна транспортного засобу	Повітряний опалювач	12/24 В	1-4	Бензин/дизельне пальне	10-600
8	ШААЗ (Росія)	Підкапотний простір	Автономний рідинний опалювач	24 В	2-23	Бензин/дизельне пальне	10-600
10	Гольфстрім (Росія)	Багажне відділення	Акумулятор тепла	12В	–	–	30-60
11	Defa (Норвегія)	Патрубки системи охолодження	Рідинний опалювач	–	0,5-0,6	Електро мережа 220 В	30-180
12	Defa (Норвегія)	Масляний картер двигуна	Мастильний підігрівач	–	0,25	Електро мережа 220 В	30-160
13	Defa (Норвегія)	Блок двигуна / картер двигуна	Контактний підігрівач	–	0,3	Електро мережа 220 В	30-180
14	Calix (Швеція)	Система охолодження	Рідинний опалювач	–	0,25-0,4	Електро мережа 220 В	30-160

До найбільш поширених відносять групу підігрівачів, які вмонтовують в блок циліндрів. Встановлюють їх через технологічні отвори системи охолодження. Всі підігрівачі розділяють на п'ять груп:

1) підігрівачі, які запресовуються в технологічні отвори. Такі підігрівачі можуть мати різьбове з'єднання і угвинчуються в отвір на місце заглушки. Можливе також кріплення Т-подібного зчеплення, тим самим фіксуючи пристрій, а в підігрівачі по кінцю проточки знаходиться ущільнювальне кільце, що не допускає витікання рідини;

2) підігрівачі, які надягають на шланги та підключають до системи охолодження автомобіля;

3) опалювачі, які кріпляться за допомогою штатного оснащення автомобіля. Це можуть бути спеціальні глянци, кришки, кронштейни;

4) підігрівачі, які підігрівають мастило і встановлюються через спеціальні отвори в картері двигуна. Недоліком такої системи є невисокий нагрів блоку та головки циліндрів, проте саме ця система забезпечує збереження довговічності поршневої групи;

5) контактні підігрівачі під'єднуються з зовнішньої сторони картера двигуна, або на сорочку двигуна.

Аналізуючи підігрівачі найбільш відомих виробників, які представлені в Україні, можна виділити підігрівачі фірм Webasto, Eberspacher, (виробництва Німеччини), Defa (Норвегія), Calix (Швеція), Nanfeng (Китай), Vrano (Чехія), Планар та підігрівачі заводу ШААЗ (Росія). Усі ці виробники пропонують автовласникам додаткові рідинні опалювачі, підігрівачі салонів та автономні опалювачі. Також існують теплові акумулятори Автотерм та Гольфстрім виробництва Росії. Усі ці виробники працюють для одної цілі – забезпечення необхідного теплового стану двигуна та підігріву салону. У таблиці 1 розглянуто різні типи підігрівачів та їх характеристики.

Висновки:

1. Найбільш ефективними є автономні підігрівачі, вони є більш потужними і не залежать від сторонніх джерел енергії.
2. Рідинні опалювачі значно простіші, потребують більше часу для досягнення необхідної температури і додаткове живлення.
3. Контактні підігрівачі та підігрівачі мастила мають невелику потужність, є менш ефективними від інших видів підігріву.
4. Акумулятори тепла прості по конструкції, проте мають невеликий запас теплової енергії і забезпечують недостатньо ефективний прогрів двигуна.
5. Рациональним може бути використання передпускового підігріву в холодну пору року в помірній кліматичній зоні, до якої відноситься значна частина України та Волинська область.

1. Гутаревич Ю.Ф., Симоненко Р.В. Вплив способу прогріву бензинового двигуна на паливну економічність та екологічні показники автомобіля // Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту і експлуатації автомобілів: Збірник наукових праць. Випуск 15. – Київ, НТУ, ТАУ. – 2002. – С. 73-77.
2. Крамаренко Г.В., Николаев В.А., Шаталов А.И. Безгаражное хранение автомобилей при низких температурах. М.: Транспорт, 1984. – 136 с.
3. Рішення для автомобільної промисловості: [Електронний ресурс]// URL: <http://www.webasto.com/ua/>. (Дата звернення: 17.09.2013).
4. Электрический предпусковой подогреватель двигателя DEFA [Електронний ресурс]// URL: <http://www.defa.com.ru/>. (Дата звернення: 21.09.2013).

Стаття надійшла до редакції 26.09.2013.

УДК 621.81

А.П. Драган
РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РОЗТОЧУВАННЯ
ГВИНТОВИХ ГОФРОВАНИХ ЗАГОТОВОК

Досліджено технологічний процес розточування центральних отворів гвинтових гофрованих заготовок щільним навиванням виготовлених із Сталей 3 і сталі 08 КП на токарному верстаті 16К20.

Встановлені режими різання і виведені регресні залежності сил різання для чорнового і чистового розточування при наступних змінних параметрах: глибина і подача різання, а також швидкість різання, яка повинна бути в межах 150-200 м/хв.

Ключові слова: гофровані гвинтові заготовки, розточування, технологічний процес.

Рис. 5. Форм. 2. Літ. 5.

А.П. Драган
РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАСТОЧКИ ВИНТОВЫХ
ГОФРИРОВАННЫХ ЗАГОТОВОК

Исследован технологический процесс растачивания центральных отверстий винтовых гофрированных заготовок плотной навивкой изготовленных из стали 3 и стали 08 КП на токарном станке 16К20.

Установленные режимы резания и выведены регрессные зависимости сил резания для чорнового и чистового растачивания при следующих переменных параметрах: глубина и подача резания, а также скорость резания, которая должна быть в пределах 150-200 м/мин.

A.P. Dragan
RESULTS OF EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF SCREW CRIMPED BLANKS
BORING

Boring process of screw tight blanks central holes corrugated blanks made of steel 3 and steel 08 BL on a lathe 16K20 was investigated.

Set to cut and depending recourse cutting forces for rough and finish boring with the following variables: depth of cut and feed and cutting speed, which should be within 150-200 m / min, were selected.

Умовні позначення:

C_{pz} – коефіцієнт, який залежить від ширини заготовки;

K_z – коефіцієнт, який залежить від товщини заготовки по внутрішньому ребру;

$K_{напр}$ – коефіцієнт, що залежить від напрямку подачі різця;

$K_{знош}$ – коефіцієнт, який враховує зношування різця, $K_{знош} = 0,85$;

x_1, x'_1 – відповідно подача різання для чорнового і чистового розточування заготовки, мм/об;

x_2, x'_2 – відповідно швидкість різання для чорнового і чистового розточування заготовки, м/хв.;

x_3, x'_3 – відповідно глибина різання для чорнового і чистового розточування заготовки, мм.

Постановка проблеми: Для підвищення точності шнекових механізмів необхідна висока точність виготовлення витків спіралі. Відхилення від неточності виготовлення витків деталі є наслідком впливу ряду факторів, до яких можна віднести неоднорідність матеріалу вихідної стрічки, із якої навивають спіраль, неоднорідну шорсткість витків стрічки, коливання сил притискування стрічки в процесі навивання, тощо.

Аналіз результатів досліджень: Дослідженнями різних технологічних процесів гвинтових механізмів машин різного службового призначення присвячені праці Косілової А.Г. і Сухова М.Ф. [1], Гевко Б.М. [2], Пилипця М.І. [3], та багато інших. Однак питання виготовлення гвинтових гофрованих заготовок (ГГЗ) і особливо якісного розточування їх отворів у заготовках в щільних пакетах потребують подальших досліджень.

Мета роботи: Розробити методику проведення експериментальних досліджень з розточування отворів гвинтових гофрованих заготовок і дослідити цей процес з використанням відповідного обладнання і оснащення.

Основна частина. Існує три способи підвищення точності виготовлення спіралей шнеків:

- вибір оптимальних режимів оброблення;
- підвищення точності оброблення на попередньому переході, тобто використання високоточного спорядження;
- застосування систем із зворотнім зв'язком, тобто компенсацію зміщень формоутворюючих елементів спорядження шляхом силових і кінематичних впливів.

Розглянемо третій спосіб підвищення точності спіралей шнеків. Відомі методи виготовлення спіралей шнеків дозволяють одержувати діаметральні розміри, що відповідають допускам 12..14 квалітетів точності й кроку з граничною похибкою ± 1 мм. Підвищити точність за кроком можна калібруванням витків роликними калібрами й розточуванням внутрішнього діаметру.

Під час виготовлення гвинтових гофрованих заготовок на їх внутрішніх діаметрах утворюються нерівності, величина яких залежить від параметрів гофр. Розточування внутрішнього діаметру гвинтових гофрованих заготовок дозволяє покращити якість поверхні внутрішнього ребра та підвищити експлуатаційні характеристики навивних деталей.

Дослідження процесу розточування здійснювали на навивних заготовках із такими параметрами: матеріали – сталі Ст 3 і 08 кп, алюмінієві сплави, діапазон внутрішніх діаметрів – 40-200 мм; товщина стрічки – 0,5-3 мм.

Експерименти проводили на токарному верстаті 16К20. Зусилля заміряли методом тензометрування. Давачі наклеювали на різець зверху й знизу за півмостовою схемою. За допомогою самописця Н-338-1П та підсилювача ТОПАЗ-4-01 здійснювали записи зусиль проточування. Тарування давачів проводили за допомогою важелів у статичному положенні.

Аналіз факторів, що впливають на процес розточування показує, що внаслідок малої товщини й жорсткості шнека розточування необхідно проводити на максимально можливій швидкості з малою подачею та глибиною різання. Глибина різання визначається в основному припуском на оброблення (хоча можливе розточування і за декілька проходів). Небажаним є збільшення глибини різання понад величину товщини шнека, що може призвести до задирав, згинання та випучування. З метою покращення процесу розточування рекомендується стиснути шнек у осьовому напрямку до змикання вершин гофр протилежних витків та охопити його по зовнішній поверхні спеціальним затискним пристроєм трубчатої форми.

Під час процесу розточування різець знаходиться у стані постійних ударів, що повторюються із частотою гофрування (до 10-40 ударів за оберт).

Глибина різання t призначається залежно від вимог точності розмірів і швидкості обробленої поверхні. Для виготовлення шнеків 7-9 квалітетів точності шорсткість поверхонь $R_z=10-20$ мкм глибина різання $t=0,4-1,5$ мм. Залежно від товщини краю витка максимальна глибина різання $t=2$ мм, а величина подачі в межах 0,5-1,5 мм/об.

Експериментальні дослідження свідчать, що швидкість різання повинна мати певні значення, інакше внутрішня гвинтова поверхня може деформуватись. Діапазон значень швидкості різання визначали дослідним шляхом. Так, для досягнення шорсткості поверхні $R_a 0,125-2,5$ мкм і точності за квалітетами швидкість різання повинна знаходитись в межах 200 м/хв. Із збільшенням товщини гвинтової поверхні більш ніж на 0,5 мм, швидкість можна зменшувати до 90-150 м/хв, але при цьому якість оброблення знижується на один-два порядки.

Силу різання визначено за формулою:

$$P_z = C_{pz} V^{0.15} S^{0.8} t^{0.75} K_z, \quad (1)$$

де $C_{pz} = 3000$, $K_z = 0.2hK_{напр}K_{знос}$, (для проточування за напрямком гвинтової лінії $K_{напр} = 1,1$; у випадку проточування в напрямку, протилежному гвинтовій лінії $K_{напр} = 0,9$); Після врахування значень постійних коефіцієнтів визначено силу різання:

$$P_z = 0.2hC_{pz} V^{0.15} S^{0.8} t^{0.75} K_z \quad (2)$$

Розточування проводили різцем, зображеним на рис. 1, кут в плані $\varphi = 95^\circ$.

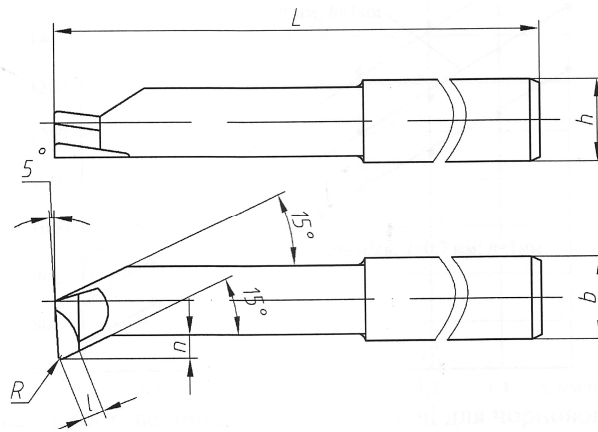


Рис. 1. Розточний різець

Розточування проводили в два етапи. В результаті експериментальних досліджень було отримано наступні графічні залежності.

На рис. 2 зображено графік залежності величини сили різання від подачі для чистового розточування гвинтової гофрованої заготовки з смуги сталі 08 кп товщиною 1 мм із швидкістю різання 200 м/хв і глибиною різання 0,4; 0,5; 0,6 мм.

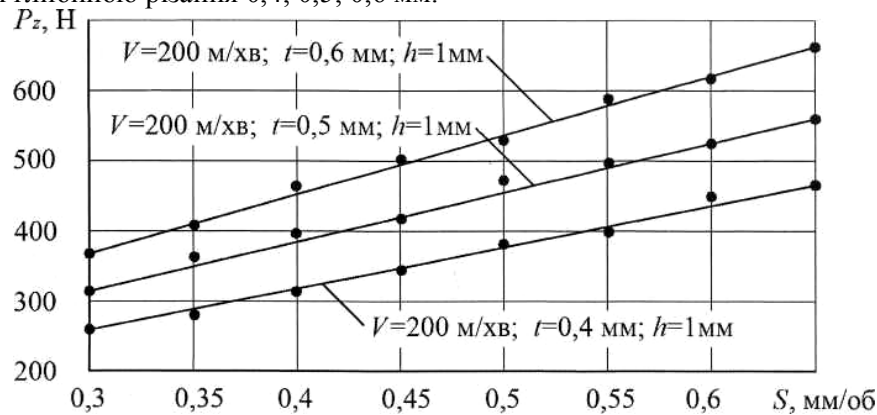


Рис. 2. Графік залежності величини різання від подачі для чистового розточування

На рис. 3 зображено графік залежності величини сили різання від швидкості різання для чистового розточування гвинтової гофрованої заготовки з смуги сталі 08 кп товщиною 1 мм із глибиною різання 0,3 мм і подачею 0,2; 0,3; 0,4 і 0,5 мм/об.

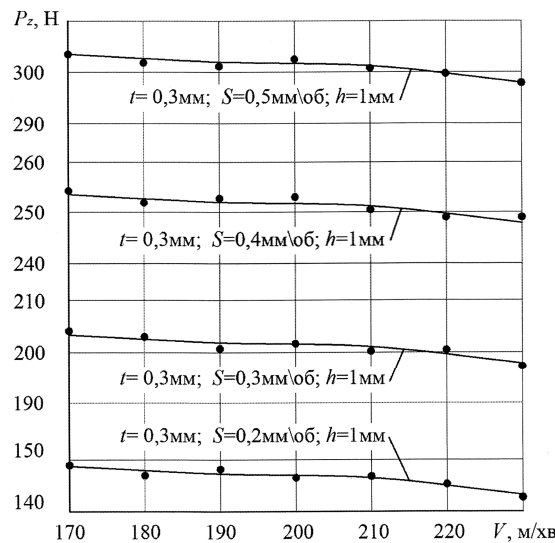


Рис. 3. Графік залежності величини сили різання від швидкості для чистового розточування

На рис. 4 зображено графік залежності величини сили різання від глибини різання для чистового розточування гвинтової гофрованої заготовки з смуги сталі 08 кп товщиною 1мм із подачею 0,6 мм/об і швидкістю різання 180; 200 і 220 м/хв.

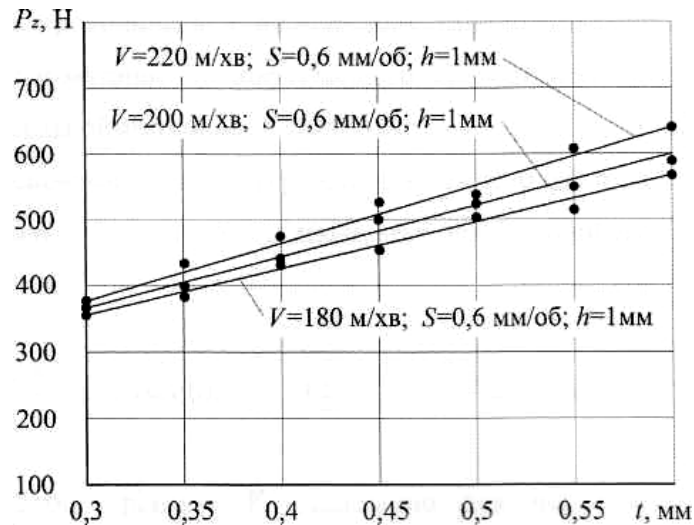


Рис. 4. Графік залежності величини сили різання від глибини різання для чистового розточування

З графіків видно, що сила різання несуттєво змінюється залежно від швидкості різання в діапазоні 170-230 м/хв. Збільшення величини глибини різання і подачі для чорнового і чистового розточування призводить до збільшення сили різання в межах 800-1500 Н і 200-700 Н відповідно.

На рис. 5 зображено графік залежності сили різання від часу для чорнового розточування гвинтової гофрованої заготовки з смуги сталі 08 кп товщиною 1 мм із подачею 1 мм/об і швидкістю різання 200 м/хв.

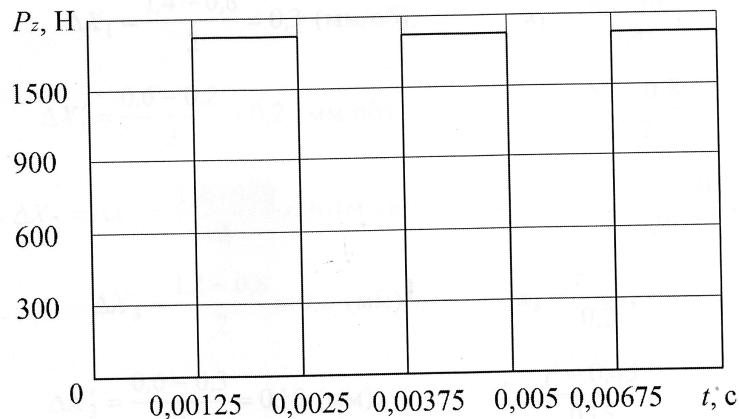


Рис. 5. Графік залежності сили різання від часу

Дослідження проводились з одночасною зміною трьох факторів згідно рандомізованої план-матриці повнофакторного експерименту типу ПФЕ 3^3 і відповідно до приведеної методики.

Отримані значення параметру оптимізації кожного експерименту, тобто числові значення сили різання для чорнового та чистового розточування заготовки залежно від зміни факторів – подачі, швидкості та глибини різання заносили у таблиці наведену у додатках В 1, В 2.

Загальний вигляд рівняння регресії залежності сили різання для чорнового P_{z1} та чистового P_{z2} розточування заготовки від зміни подачі x_1 , швидкості x_2 та глибини x_3 різання за результатами проведеного ПФЕ 3^3 у кодованих величинах визначено:

$$P_{z1} = 1393.5 + 196.4x_1 + 7.2x_2 + 211.9x_3 + 88.4x_1x_2 - 48.4x_1x_3 + 26.3x_2x_3 - 24.4x_1x_2x_3$$

$$P_{z2} = 354.7 + 118x'_1 + 33.6x'_2 + 113.7x'_3 + 7.9x'_1x'_2 + 8.6x'_1x'_3 + 25.6x'_2x'_3 - 10.9x'_1x'_2x'_3$$

Відповідно у натуральних величинах (координатах) рівняння регресії згідно залежностей дорівнює:

$$P_{zi} = b_o + \sum_{i=1}^2 b_i \left(\frac{X_i - X_{io}}{\Delta X} \right)$$

На основі проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Досліджено технологічний процес розточування центрального отвору гвинтових гофрованих заготовок щільним навиванням виготовлених із Сталей 3 і сталі 08 КП на токарному верстаті 16К20.

2. Встановлені режими різання і виведені регресні залежності сил різання для чорнового і чистового розточування при наступних змінних параметрах: глибина і подача різання, а також швидкість різання, яка повинна бути в межах 150-200 м/хв.

1. Косилова А.Т., Сухов М.Ф. Технологія производство підйомно-транспортных машин. – М.: Машиностроение, 1982. – 301 с.
2. Гевко Б.М., та інші Технологія сільськогосподарського машинобудування. – К.: Кондор, 2006, – 490 с.
3. Пилипець М.І. Технологія виготовлення та відновлення деталей сільськогосподарських машин. Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні України. Сьомий міжвідомчий науково-технічний збірник НУ «Львівська політехніка».
4. Пилипець М.І. Проектування секційних гвинтових заготовок / М.І. Пилипець, В.В. Васильків. – Тернопіль: Видавництво ТНТУ імені Івана Пулюя, 2013. – 180 с.
5. Пат. № 65124, Україна МПК В21D11/06 Пристрій для виготовлення гофрованих гвинтових заготовок / Драган А. П., заявник і власник патенту Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя. – № и 2003065190 заявл. 05.06.2003р. опубл. 15.03.2004р. Бюл. № 3, 2004 р.

Рецензент: д.т.н., проф., завідувач кафедру «Технології машинобудування та автомобілів» Гевко Богдан Матвійович

Стаття надійшла до редакції 26.09.2013.

УДК 621.43.038

В.А. Кищун, О.В. Лісовський
ДІАГНОСТИКА ФОРСУНОК ЗА ДОПОМОГОЮ АМПЛІТУДНО-ФАЗОВИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ТИСКУ ВПОРСКУВАННЯ

Діагностика форсунок за допомогою амплітудно-фазових характеристик тиску впорскування. Розроблена діагностична установка для автоматизованого визначення технічного стану паливної апаратури дизельних двигунів та встановлені залежності між дефектами розпилювачів форсунок і амплітудно-фазовою характеристикою тиску впорскування.

Ключові слова: дизельний двигун, розпилювач форсунок, амплітудно-фазова характеристика тиску.

Рис. 7. Літ. 6.

В. А. Кищун, О. В. Лисовский
ДИАГНОСТИКА ФОРСУНОК С ПОМОЩЬЮ АМПЛИТУДНО-ФАЗОВЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ДАВЛЕНИЯ ВПРЫСКА

Разработана диагностическая установка автоматизированного определения технического состояния топливной аппаратуры дизельных двигателей и установлены зависимости между дефектами распылителей форсунок и амплитудно-фазовой характеристикой давления впрыска.

Ключевые слова: дизельный двигатель, распылитель форсунок, амплитудно-фазовая характеристика давления.

V.A. Kyshchun, O.V. Lisovskyi
DIAGNOSTICS OF INJECTORS BY MEANS OF AMPLITUDE-PHASE
CHARACTERISTICS OF INJECTION PRESSURE

Developed diagnostic device for automatic determination of the technical condition of the fuel equipment of diesel engines and fixed the dependence between defects of sprayers of injectors and amplitude-phase characteristic of injection pressure.

Keywords: diesel, sprayer of injectors, amplitude-phase characteristic of pressure.

Постановка проблеми. Значна частина автомобілів, інших транспортних засобів, різних машин комплектуються сьогодні дизельними двигунами, які зарекомендували себе не менш ефективними, а головне ощадливішими у порівнянні з бензиновими моторами. Однак вони складніші за конструкцією та вимагають більш трудомісткого технічного обслуговування і ремонту. Особливої уваги потребує паливна апаратура, яка входить у систему живлення двигуна, зокрема форсунок, оскільки їх технічний стан значною мірою впливає на економічні і екологічні показники роботи автомобіля загалом.

Основними деталями форсунок, які утворюють прецизійну пару – розпилювач і, які зношуються, є голка і корпус розпилювача. У голки пошкоджується напрямна частина, запірний конус, верхня торцева площина і верхній торець хвостовика. Зношення запірної частини порушує герметичність посадки голки, внаслідок цього газ з камери згорання прориваються усередину розпилювача, від чого деталі перегріваються і голка зависає від короблення чи коксування.

Що стосується корпусу розпилювача, то у нього зношуються такі поверхні як направляюча частина отвору, запірний конус і сопловий отвір. Сумарне зношення торця направляючої поверхні голки, нижнього торця корпусу форсунок і запірних конусів розпилювача збільшує висоту підйому голки, внаслідок чого відбувається збільшення подачі палива. Зношення поверхонь запірних конусів призводить до втрати розпилювачем гідравлічної щільності і погіршення якості розпилення [1, 2, 3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для ефективної перевірки технічного стану розпилювачів форсунок необхідне відповідне випробувально-діагностичне обладнання. Основні типи такого обладнання працюють за методом визначення технічного стану за допомогою опосередкованих параметрів. Для розпилювачів форсунок такими параметрами є: дисперсність розпилення, час падіння тиску, герметичність запірного конуса, тиск відкриття і звукова характеристика розпилювача. За результатами проведених випробувань приймають рішення про справність та необхідність заміни чи ремонту [2, 4].

Провідні фірми виробники паливної апаратури Bosch, Lucas, Motorpall мають автоматизовані засоби діагностики, які, однак, розраховані для діагностування тільки власної продукції, а чинна методика визначення технічного стану форсунок полягає у використанні опосередкованих показників [5].

Процес перевірки форсунок за допомогою стаціонарних приладів здійснюється шляхом демонтажу їх з двигуна, що потребує певних затрат праці і не завжди виправдовується [6]. Адже не завжди потрібно проводити регульовальні роботи чи замінити окремі деталі. Натомість, вимоги до швидкого і якісного діагностування паливної апаратури передбачають мінімізацію процесів розбирання і складання.

Одним із ефективних методів діагностування технічного стану елементів системи живлення дизельних двигунів може бути метод зняття амплітудно-фазових характеристик параметрів тиску палива у паливопроводі високого тиску. Він дає змогу отримати достовірну інформацію про технічний стан паливної апаратури та є достатньо раціональним і універсальним.

Метою досліджень є створення ефективного автоматизованого засобу діагностики технічного стану паливної апаратури дизельних двигунів, який пов'язує діагностичні параметри із зношенням розпилювачів форсунок та дає можливість встановити залежності між дефектами форсунок і амплітудно-фазовою характеристикою тиску впорскування.

Результати досліджень. В якості об'єктів досліджувалося три десятки зношених і новий розпилювач форсунок ЯЗДА 271-02 дизельних двигунів, встановлених на автомобілях КамАЗ. Для зняття амплітудно-фазових параметрів сигналу тиску палива у паливопроводі була створена дослідна установка. Вона складалася із стенда для регулювання паливних насосів високого тиску 1, еталонного паливного насоса 2, датчика тиску 3, підсилювача сигналу 4, електронного осцилографа 5 і персонального комп'ютера 6 (рис.1). Призначення стенда фірми Bosch для регулювання паливних насосів – імітація роботи дизельного двигуна та відтворення швидкісних режимів його роботи.

Достовірність результатів визначення технічного стану розпилювачів форсунок значною мірою залежить від типу і конструкції встановлених датчиків. Позаяк необхідно визначити абсолютні показники зміни тиску в паливопроводі, то сигнал, який надходить від датчика має бути стабільним і наділений високою інформативністю, а сам датчик монтуватися у місця з'єднання паливопроводів. Тому для отримання сигналу зміни тиску використовувався тензодатчик Bosch. Вибір даного датчика ґрунтувався на діапазоні вимірювання і відхиленні від нелінійності сигналу. Верхня межа значення тиску для датчика Bosch становить 150 МПа, а відхилення від нелінійності вихідного сигналу $\pm 0,2\%$, що цілком задовольняє вимогам випробування. Для оцінки технічного стану розпилювачів форсунок датчик встановлювався в місце з'єднання паливопроводу високого тиску і штуцера форсунки.

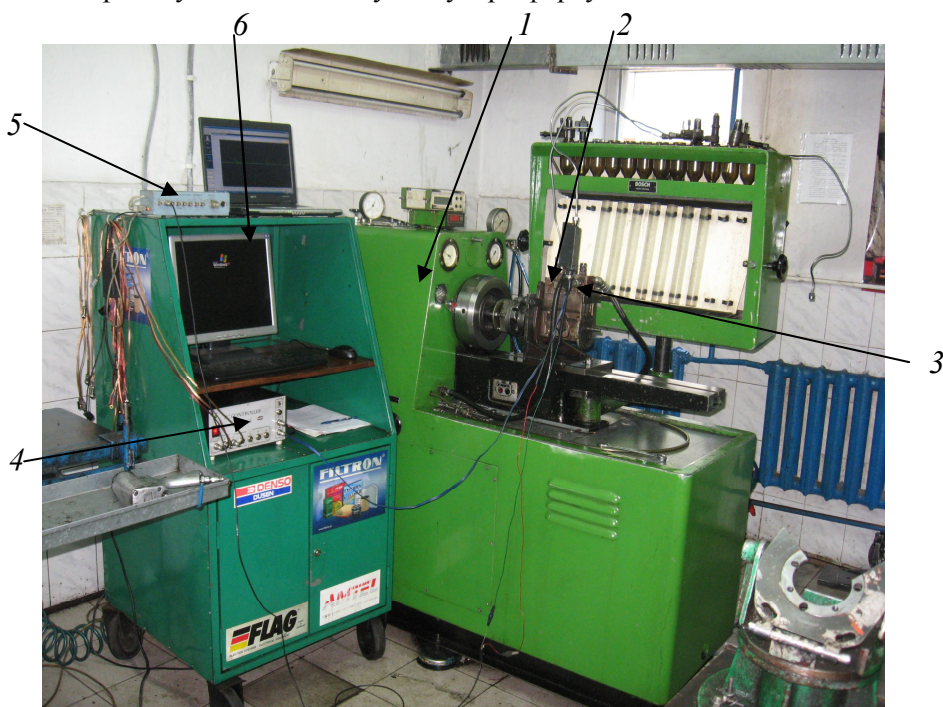


Рис. 1. Дослідна установка для зняття кривої тиску впорскування: 1 – стенд для регулювання паливних насосів високого тиску, 2 – еталонний паливний насос, 3 – тензодатчик тиску, 4 – підсилювач сигналу, 5 – електронний осцилограф, 6 – персональний комп'ютер [розроблено авторами]

Щоб відтворити характеристики вихідного сигналу в графічній і числовій формі застосовувався діагностичний комплекс „Autoscanner” компанії „Open System”. Він являє собою цифровий восьмиканальний осцилограф з програмним забезпеченням для персонального комп’ютера та підсилювач сигналу (рис. 1).

Слід зазначити, що паливна апаратура в технічно справному стані показує типову криву тиску в паливопроводі, яка залежить від її параметрів (рис. 2). На криву тиску впливають, у першу чергу, технічний стан розпилювача форсунки, нагнітального клапана і плунжерної пари паливного насоса. Якщо оператору відома форма кривої і вплив окремих конструкційних елементів на цю криву, то він зможе швидко визначити вид дефекту.

Випробування розпилювачів ЯЗДА 271-02 проводились при таких швидкісних режимах обертання кулачкового вала насоса: $n=150, 300, 500, 1000 \text{ хв}^{-1}$. Покази знімалися за робочої температури палива $+35^\circ\text{C}$ протягом 300 циклів роботи паливного насоса. Для порівняння використовувалась форсунка з еталонним корпусом відрегульована на тиск 20 МПа. Перед початком випробувань було проведено тарування тензOMETричного датчика тиску на ручному приладі PRW-3M для перевірки форсунок.

Порядок випробування був таким:

- 1) дослідний розпилювач встановлювався в еталонний корпус форсунки, яка регулювалася на відповідний робочий тиск (для розпилювача ЯЗДА 271-02 він складає 20 МПа);
- 2) форсунка встановлювалася в стакан мірного блоку стенда і закріплювалася;
- 3) між форсункою і паливопроводом високого тиску встановлювався тензOMETричний датчик, який з’єднувався з диференційним підсилювачем;
- 4) проводилися випробування на відповідних швидкісних режимах.

Оцінка технічного стану елементів системи паливоподачі здійснювалася, як вже зазначалося за допомогою амплітудно-фазової характеристики тиску (рис. 2).

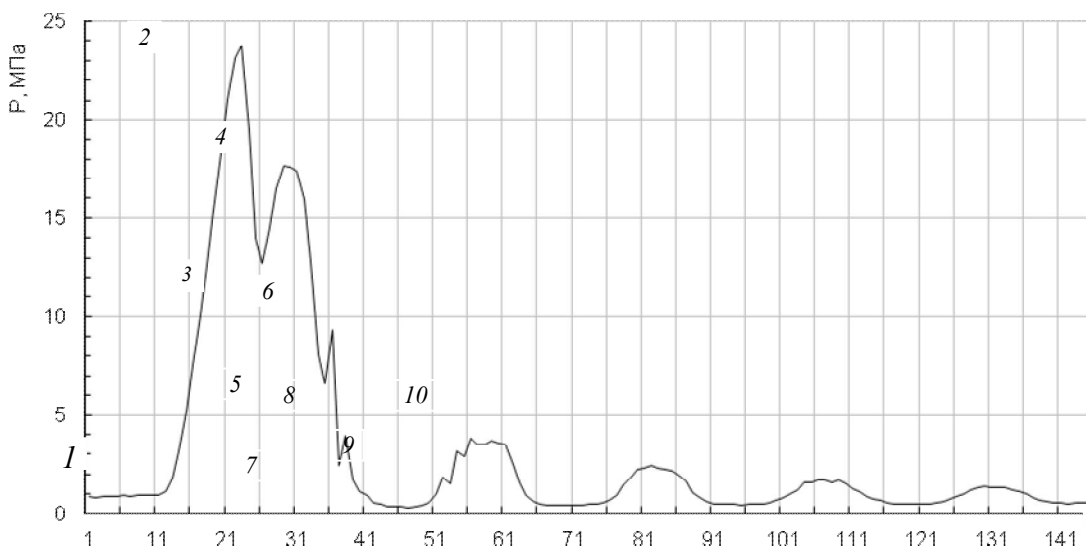


Рис. 2. Характеристики основних точок осцилограми тиску палива біля штуцера форсунки:

- 1 – початок піднімання тиску палива; 2 – відкриття голки форсунки і початок впорскування; 3 – падіння тиску внаслідок наповнення підголкового об’єму; 4 – тремтіння голки під час основного впорскування; 5 – початок закривання нагнітального клапана; 6 – підвищення тиску внаслідок розвантаження паливопроводу; 7 – закривання голки; 8 – зростання тиску викликане закриванням голки; 9 – початок підвпорскування; 10 – максимальний тиск під впорскування [отримано авторами]

Під час оцінювання кривої впорскування зверталася увага на наступне:

- якщо всі криві тиску є ідентичні, тоді навіть за відсутності еталонної кривої можливий висновок про справність системи впорскування;
- підвищення тиску перед початком впорскування;
- чи чітко прослідковуються початок і кінець впорскування;
- тривалість впорскування;

- підвищення тиску після відкриття форсунки;
- залишковий тиск і амплітуда відбитих хвиль;
- чи присутні підвпорскування палива.

Проведені дослідження та аналіз осцилограм отриманих при різних технічних станах розпилювачів форсунок, дозволив встановити певні факти. Зокрема, низьку гідравлічну щільність розпилювача можна визначити за запізненням S підняттям тиску впорскування (рис.3).

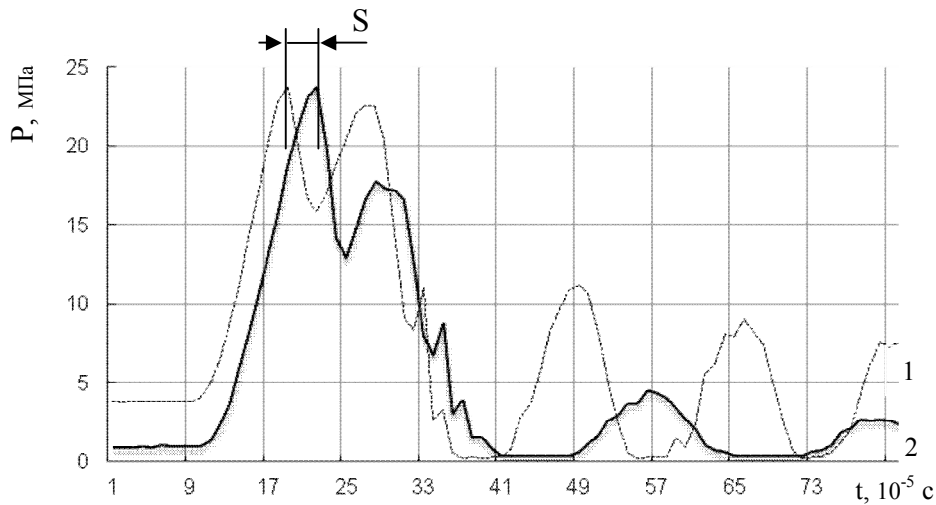


Рис. 3. Осцилограма впорскування за недостатньої гідравлічної щільності розпилювача:
 1 – новий розпилювач; 2 – зношений розпилювач; S – запізнення впорскування
 [отримано авторами]

При втраті рухомості голки порушується весь процес паливоподачі. Зниження тиску відбувається помірно, початок і кінець впорскування чітко не визначається (рис.4.).

Нагнітальний клапан, який підтікає чи втратив зовсім рухливість, викликає зникнення зони залишкового тиску і затухаючих коливань після закриття форсунки. У відповідності до цього збільшується і час підвищення та зниження тиску (рис. 5).

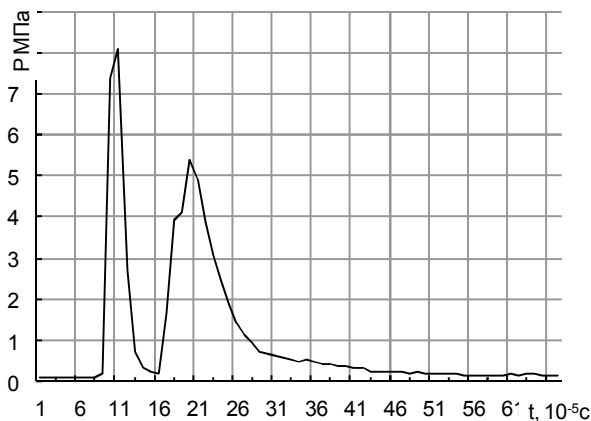


Рис.4. Осцилограма впорскування при втраті рухомості голки розпилювача

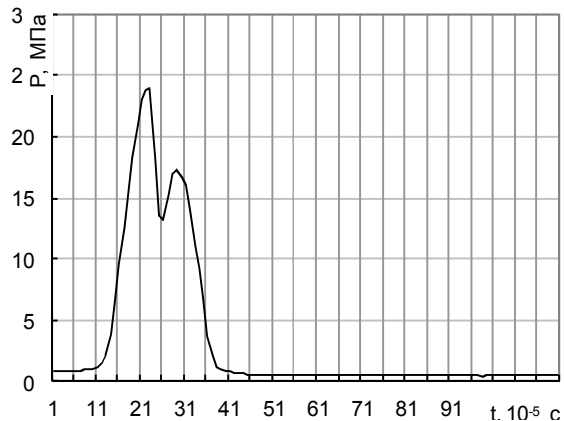


Рис. 5. Осцилограма зміни тиску в паливопроводі при заклиненому нагнітальному клапані
 [отримано авторами]

У будь-якому розпилювачі в процесі роботи утворюється шар коксу. З часом настає такий період експлуатації, коли закоксування перевищує встановлений виробником допуск – ефективне січення отвору на виході з розпилювача сильно звужується. Після відкриття форсунки тиск різко підвищується (рис. 6).

Підвищення залишкового тиску характеризується більш інтенсивними відбитими хвилями, які під час зростання частоти обертання можуть призвести до виникнення підвпорскувань палива, коли розпилювач відкривається другий і третій раз. Підвпорскування збільшують викид сажі, тобто в кінці процесу згорання в камеру надходить неякісно розпилене паливо. Нерівномірний

розподіл частинок палива в камері згорання призводить до підвищення димності відпрацьованих газів і нестійкої роботи двигуна.

Для різних швидкісних режимів обертання кулачкового вала насоса існують свої види осцилограм зміни тиску в паливопроводі (рис. 7). При порівнянні амплітудно-фазових коливань

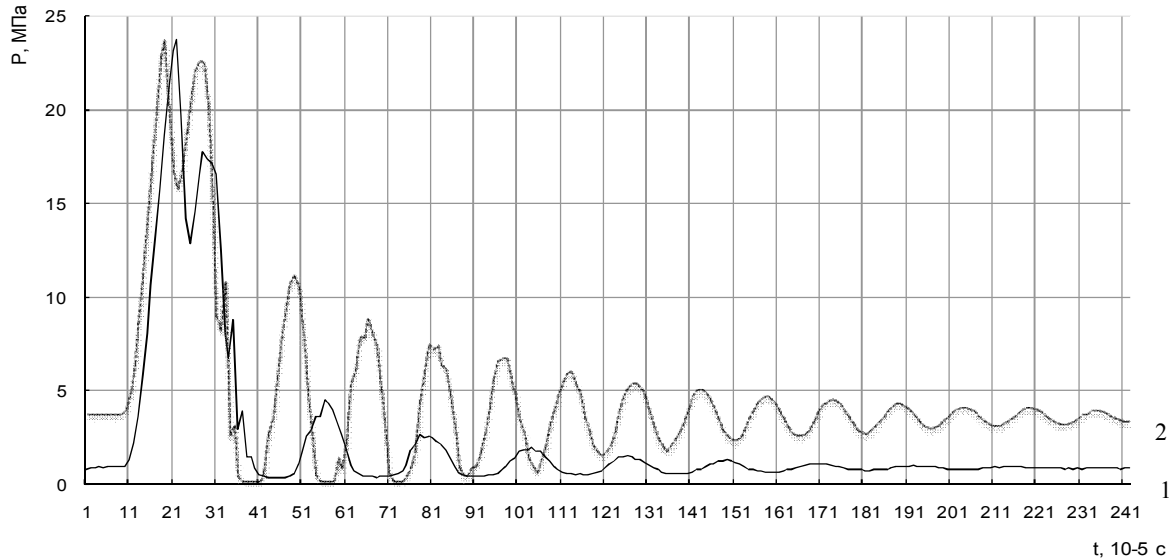


Рис. 6. Осцилограма зміни тиску у паливопроводі при закоксованому розпилювачі: 1 – новий розпилювач; 2 – розпилювач із закоксованими отворами [отримано авторами]

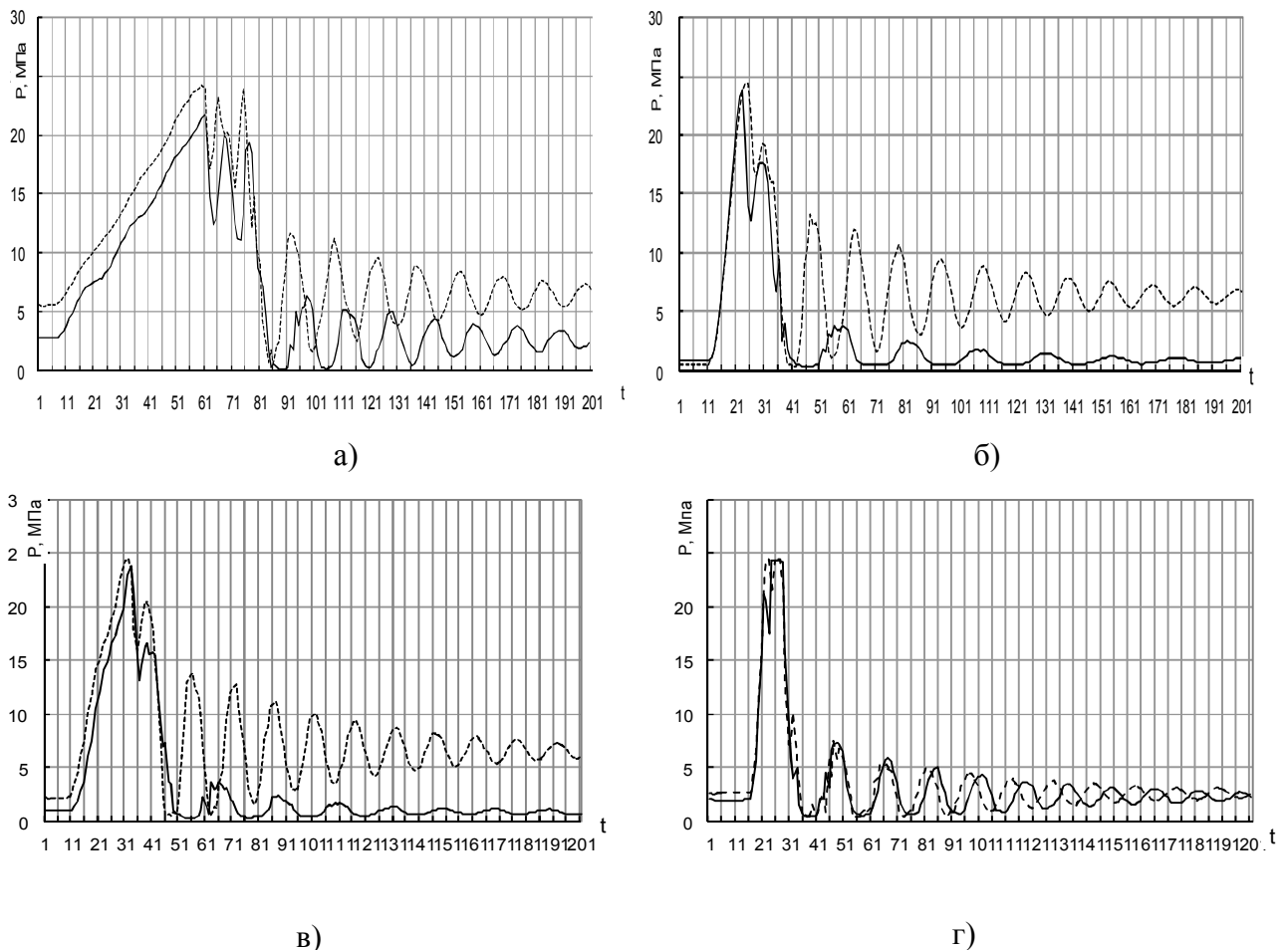


Рис. 7. Осцилограма тиску палива у штуцері форсунки при різних швидкісних режимах обертання кулачкового вала насоса: а) при 100 хв^{-1} ; б) 300 хв^{-1} ; в) 500 хв^{-1} ; г) 1000 хв^{-1} (суцільна лінія – новий розпилювач; штрихова – зношений) [отримано авторами]

тиску зношеного розпилювача з новим, за різних швидкісних режимів обертання кулачкового вала паливного насоса, зміни найкраще видно при низьких частотах обертання до 500 хв^{-1} ; при 1000 хв^{-1} зміни майже відсутні. Аналіз осцилограм зношених розпилювачів показав, що погіршення їх технічного стану супроводжується збільшенням амплітуди відбитих хвиль і наближення їх по фазі до основного впорскування.

Висновки. Розроблена діагностична установка допомагає швидко, в автоматизованому режимі, встановити залежність зміни тиску в паливопроводі від технічного стану окремих складових системи живлення дизельного двигуна.

Результати аналізу амплітудно-фазових характеристик тиску впорскування палива для різних технічних станів розпилювачів форсунок дозволили виявити закономірності зміни тиску у паливопроводі від характерних дефектів зносу. Так, низьку гідравлічну щільність розпилювача можна визначити за запізненням підняттям тиску впорскування.

При втраті рухомості голки та заклиненому нагнітальному клапані порушується весь процес паливоподачі. Зниження тиску відбувається помірно, початок і кінець впорскування чітко не проглядається. Нагнітальний клапан, який підтікає чи втратив повністю рухливість, після закривання форсунки спричиняє зникнення зони залишкового тиску і затухаючих коливань. У відповідності до цього збільшується час підвищення (зниження) тиску.

Закосовування отворів на виході з розпилювача призводить до зменшення їх сумарної площі січення, внаслідок чого тиск, після відкривання форсунки різко підвищується. Аналіз технічного стану зношених розпилювачів показав, що погіршення останнього супроводжується збільшенням амплітуди відбитих хвиль та наближення їх по фазі до основного впорскування.

1. Загородских Б.П., Хатько В.В. Ремонт и регулирование топливной аппаратуры автотракторных и комбайновых двигателей. – М.: Россельхозиздат, 1986. – 142 с.
2. Рекомендации для дизель-сервисов: Обслуживание форсунок дизельных двигателей // Под ред. инж. Т. Янишевского. – Польша, Варшава: WUZETEM, 2004. – 48 с.
3. Системы управления дизельными двигателями. Перевод с немецкого. Первое русское издание. – М: ЗАО «КЖИ «За рулем», 2004. – 480 с.
4. Файнлейб Б.Н. Топливная аппаратура автотракторных дизелей: Справочник. – Л: Машиностроение, 1990. – 352 с.
5. Гюнтер Г. Диагностика дизельных двигателей. Перевод с немецкого. Серия «автомеханик» – М: ЗАО «КЖИ «За рулем», 2004. – 176 с.
6. Марков В., Тимченко В., Рындин И. Топливная аппаратура автомобильных и тракторных дизелей. – ПОНЧИК, 2001. – 254 с.

Стаття надійшла до редакції 24.09.2013.

УДК 004.55, 004.738.5, 004.77

Г.В. Кіт

ВИКОРИСТАННЯ МОДУЛЬНИХ СІТОК ПРИ РОЗРОБЦІ ВЕБ-САЙТІВ*В статті розглянуто деякі проблеми використання модульних сіток в сучасному Інтернеті.**Ключові слова: веб-сайт, веб-дизайн, Інтернет, інформаційний дизайн, верстка, стиль, модульна сітка, CSS, HTML.**Рис.2. Табл.3 Літ. 4.*

Г.В. Кіт

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДУЛЬНЫХ СЕТОК ПРИ РАЗРАБОТКЕ ВЕБ-САЙТОВ*В статье рассмотрены некоторые проблемы использования модульных сеток в современном Интернете.**Ключевые слова: веб-сайт, веб-дизайн, Интернет, информационный дизайн, верстка, стиль, модульная сетка, Cсс, HTML.**Ключевые слова: веб-сайт, веб-дизайн, Интернет, информационный дизайн, верстка, стиль, модульная сетка, CSS, HTML.*

H.V. Kit

THE USE OF MODULAR GRID IN DEVELOPING WEBSITES*Article consider information of some problems using modular grids in today's Internet.**Keywords: web site, web design, Internet, information design, layout, style, modular grid, SSS, HTML.*

Вступ. Із стрімким розвитком інтернет-технологій проблема створення сайтів вийшла на новий виток свого розвитку, головна вимога – якомога швидша та одночасно якісна розробка сторінок, які б однаково відображались на різних платформах. Для розв'язання цієї задачі розроблено багато нових концепцій, підходів та розробок. Однією з них є використання модульних сіток у веб-дизайні. Тому розглядувана проблема є досить актуальною.

Об'єктом дослідження даної роботи є приклад створення сторінки, орієнтованої на користувача. Предметом дослідження є моделювання шаблону сайту з використанням концепції модульних сіток.

Підтверджено, що модульна сітка є необхідним інструментом для композиційного рішення дизайну веб-сторінок [1]. Головним призначенням модульної сітки у веб-дизайні є впорядкування інформації у відповідності до її призначення та релеванності, створення композиційної структури веб-сторінки та всього веб-сайту [2], [4]. У такий спосіб забезпечуються однорідність та естетичні якості веб-сайту [3]. Робота базується на основах моделювання інформаційних потоків, враховується оптимізація подання інформації [3]. Приклад застосування модульних сіток виконаний відповідно до сучасного стану створення веб-сторінок [4].

Процес розташування на веб-сайті інформації та основних графічних елементів, (логотип, навігаційна панель, вікно пошуку, можливість вибору мови, якщо це передбачено, рекламних банерів тощо), спонукає дизайнера до логічного структурування всіх елементів на веб-сторінках відповідно їх значущості. Визначаючи стратегію розташування складових елементів веб-сторінок, дизайнер стикається з необхідністю створення системи, яка дозволяє їх композиційно впорядкувати. Таким стратегічним інструментом є модульна сітка як сторінки, так і всього веб-сайту.

Останнім часом перед веб-розробниками при створенні інтернет-ресурсів досить гостро стоїть питання вибору табличного або блочного типу верстки. Остаточної думки до цих пір не сформовано. Під версткою мається на увазі сукупність прийомів, що дозволяють при написанні коду розташувати на сторінці необхідний вміст ресурсу (текст, графіку, анімацію та тощо) відповідно до розробленого дизайн-макету.

Широке поширення набула таблична верстка. До появи блокової верстки в якості основних інструментів розмітки виступали фрейми і таблиці. Однак фрейми, в порівнянні з таблицями, володіють меншою функціональністю, і їх використання викликає певні труднощі для відображення інформаційних ресурсів, деякий час верстка на таблицях вважалася еталоном грамотної розмітки коду.

Окремі розробники вважають, що інтернет-ресурси, зверстані за допомогою блокової розмітки, мають перевагу у видачі по пошуковим запитам, мотивуючи це тим, що вся змістовна частина інформації знаходиться в самому верху сторінки і не супроводжується великою кількістю

коду (на відміну від «табличних» сайтів) і, відповідно, простіше знаходиться пошуковими машинами. Однак це твердження не отримало підтвердження практикою.

Різниця між табличною і блоковою верстками не тільки в технології, але і в самій задумці, призначенні інтернет-ресурсу: деякі макети безглуздо верстати блоками, іншим, навпаки, протипоказане табличне відображення. Очевидно, що для блокової розмітки потрібно міняти уявлення про те, як повинен виглядати інтернет-ресурс, а на даний момент не тільки верстальники та дизайнери мислять табличними уявленнями про сайти, для деяких користувачів колонки, що не порівняні по висоті, виглядають помилкою розробника.

Виклад основного матеріалу. Основою блочної верстки і є використання модульних сіток. Перехід до блокової верстки можливий тільки при розв'язанні розробниками браузерів та веб-стандартів двох основних проблем: проблеми з позиціонуванням блоків і з коректним відображенням у різних програмах-переглядачах інтернет-ресурсів сторінок, верстаючих на блоках.

На засадах аналізу сучасної теорії та практики веб-дизайну для забезпечення естетичних та функціональних якостей при створенні веб-сайту визначена необхідність застосування модульної сітки. Сама інформаційна структура веб-сторінки створює елементарну модульну сітку, необхідну для ототожнення веб-сторінки та мінімального структурування інформації, яка міститься на ній. При розгляді питань навігації та основ інформаційного проектування було з'ясовано, що інтерфейс веб-сторінки має допомогти користувачу отримати відповідь на три фундаментальних питання навігації: «Де я знаходжусь?», «Де я вже був?», «Куди я можу піти?». Відповіді на такі питання знайшли своє відображення у типовому для Інтернету дизайні сторінки, що отримав назву «трипанельний макет». Кожному з цих питань повинні відповідати певні елементи, розташовані на веб-сайті.

Використання таблиць у проектуванні веб-сайтів дає дизайнеру гнучкий інструмент, що дозволяє не тільки створювати складні композиції, а й уникати різноманітних обмежень, зумовлених специфікою веб-середовища.

Шаблони на основі сіток є дуже зручними через ряд переваг:

По-перше, вони забезпечують побудову структури та організації сторінки, які допомагають створити передбачуваний ритм і інтуїтивне знайомство з дизайном.

По-друге, вони надзвичайно доброзичливі до користувача. Шаблони на основі модульної сітки посилюють тенденцію читання зліва-направо, виключаючи неприємні сюрпризи. Також багато шаблонів легко змінюються відповідним пристроєм, яким користується відвідувач. Потужним інструментом для побудови шаблону веб сайту є система 960 Grid.

Вона заснована на ширині 960 пікселів, призначена для полегшення розробки шаблонів. Число 960 вибране тому, що воно ділиться без залишку на 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, і 16. Ширина у 960 пікселів. – ідеальна як для сітки, такі і для експериментів з різним вирівнюванням шаблону веб-сайту.

На рисунку 1 показано три структурних варіанти модульної сітки «960 Grid»: на 12, 16 і 24 колонки.

Таке готове рішення допомагає прискорити розробку, тому що вже відомо як організувати колонки. Просто підключається вже готова система до проекту.

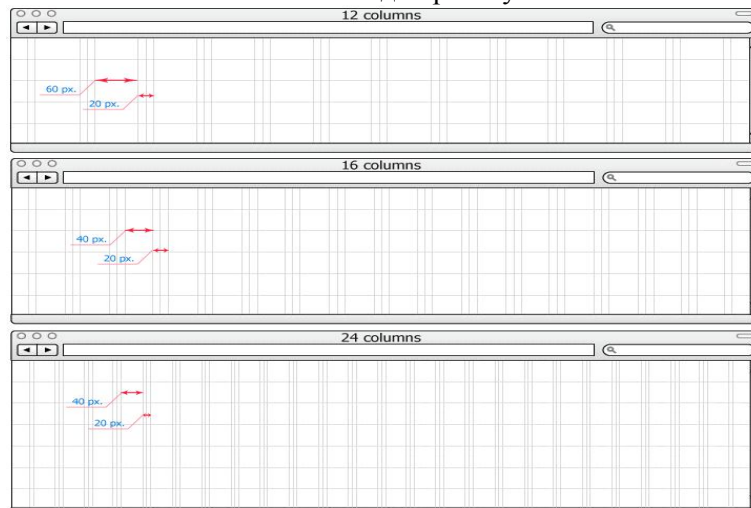


Рис. 1. Приклад модульних сіток - 960 Grid

Однак такі готові рішення мають і недоліки. Для початківців-розробників, більшість сіток представляють досить громіздкі структури коду, і простота створення шаблону часто губиться за пошуком найбільш відповідного стилю для елемента HTML. Крім того, модульні сітки в готових робочих оточеннях мають свої досить обмежені параметри. Тому доведеться дотримуватися встановлених правил, або вся струнка структура може бути порушена. Коригування коду може перетворитися на тривалий і досить болючий процес, який перекреслить всі тимчасові переваги.

Для того, щоб побудувати модульну сітку, яка б могла слугувати як універсальна, потрібно дотримуватися багатьох умов: система повинна бути невеликою і не приводити до використання надлишкового коду; у ній не повинно бути величезного списку класів, котрі не вписуються в семантику коду і майже ніколи не використовуються; система повинна бути гнучкою і сприяти тому, щоб використовували її в кожному проекті, а не один раз, щоб забути назавжди; якщо буде необхідність поміняти ширину екрану для проекту, то модульна сітка повинна змінитися практично самостійно і без проблем. І, нарешті, реалізація коду повинна бути простою і швидкою.

Розглянемо приклад використання модульних сіток. Нехай потрібно встановити чотири колонки. Перше, що доведеться взяти до уваги — ширина. Наприклад, контейнер має ширину 900 пікселів. Якщо розділити 900 пікселів на 4 колонки, то отримали 225 пікселів на одну колонку. Все просто. Але такі колонки будуть приліпати одна до одної, тому між ними повинні бути відступи. Але відступи роздують шаблон і виштовхнуть колонки за межі контейнера (див. рис. 2).

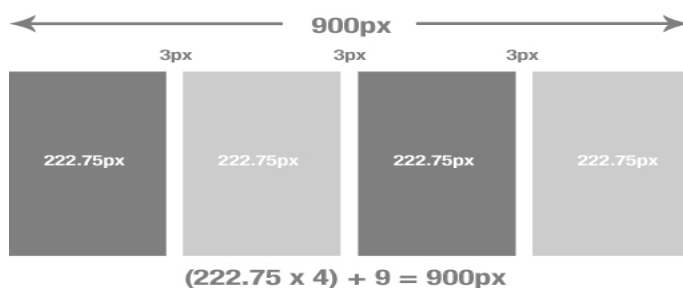


Рис. 2. Графічний розрахунок значень модульної сітки

Необхідно взяти до уваги ширину відступів між колонками. Припустимо, перша, друга і третя колонки мають відступ справа, рівний 3 піксели (властивість `margin-right`). Тоді три відступи будуть займати 9 пікселів, а ширина колонки буде: $(900\text{пікселів} - 9\text{ пікселів}) / 4 = 225.75\text{ пікселів}$

Така проста задача вимагала розрахунків. Таким чином, зміна ширини батьківського контейнера зажадає повторного проведення обчислень, відповідно — зайва затрата часу.

Тому використовують інший метод, який зумовлений в нащадках при зміні батьківських елементів.

Якщо замість пікселів використовувати відсотки, то математичні розрахунки стануть простішими, а в сітці не буде відтінку інтелектуальності, достатнього, аби змінюватися разом з шириною батьківського контейнера.

Для полегшення роботи можна скористатися інструментом для обчислень: InstaCalc.

InstaCalc дозволяє створювати формули для повторних обчислень. Для розрахунків необхідно змінювати кількість колонок, величину відступу між колонками і отримувати розраховані значення для ширини колонок. Для ширини використовуються відсотки, 100% - ширина батьківського контейнера.

Таблиця 1. Реалізація модульної сітки HTML-кодом

```

<div class="wrapper">
  <div class="featuresColumn">
    <p>Lorem ipsum dolor sit amet...</p>
  </div>
  <div class="featuresColumn">
    <p>Lorem ipsum dolor sit amet...</p>
  </div>
  <div class="featuresColumn">
    <p>Lorem ipsum dolor sit amet...</p>
  </div>
  <div class="featuresColumn last">
    <p>Lorem ipsum dolor sit amet...</p>
  </div>
</div>

```

Нехай треба розташувати текст на сторінці у чотири колонки Код HTML буде досить простим. Потрібно помістити зміст кожної колонки в елемент div, якому буде присвоюватися певний клас. Для останньої колонки використовується також клас last, який допомагає відключити непотрібні відступи. Результат представлений в Таблиці 1.

Реалізація CSS коду матиме такий порядок: спочатку встановлюється ширина контейнера і властивість overflow: hidden; потім задається стиль класу за допомогою результатів виконаних обчислень (див. табл. 2).

Таблиця 2. CSS-код реалізації прикладу

```
.wrapper {
  overflow: hidden;
  width: 600пкселів;
}
.featuresColumn {
  float: left;
  width: 22%;
  margin-right: 4%;
}
.last {
  margin-right: 0;
}
```

Можна міняти ширину контейнера, і весь шаблон перебудується автоматично. Але для цього «гумового» шаблону потрібно встановити і ширину контейнера у відсотках. Тоді при зміні ширини вікна браузера все буде також пропорційно змінюватися (див. табл. 3).

Таблиця 3. CSS-код реалізації прикладу з використанням відсотків

```
.wrapper {
  overflow: hidden;
  width: 90%;
}
.featuresColumn {
  float: left;
  width: 22%;
  margin-right: 4%;
}
.last {
  margin-right: 0;
}
```

В результаті вийшла модульна сітка, яка автоматично підлаштовується під ширину контейнера. Код дуже компактний і відповідає вимогам семантики.

Сітка забезпечує шаблоном логічну структуру, відому відвідувачеві. Вона також легка у використанні і створює потік для великої кількості інформації, експерименти з виходом за рамки сітки дозволяють створити унікальний дизайн. Також потрібно взяти до уваги те, що розрив сітки може зменшити монотонність при збереженні організаційної структури шаблону.

Так можна будувати і більш складні модульні сітки, причому їх створення не вимагає значних зусиль з боку розробника.

Висновки. Дослідженнями підтверджено, що модульна сітка є необхідним інструментом для композиційного рішення дизайну веб-сторінок. Головним призначенням модульної сітки у веб-дизайні є впорядкування інформації у відповідності до її призначення та релевантності, створення композиційної структури веб-сторінки та всього веб-сайту. У такий спосіб забезпечуються однорідність та естетичні якості веб-сайту.

В подальшому використання модульних сіток набуватиме ще більшого поширення, враховуючи поширення в Інтернеті CMS та фреймворків.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бородаев Д.В. Модульная сетка как композиционная основа веб-сайта / Д. Бородаев // Вісник Харківської державної академії дизайну і мистецтв. — Х.: ХДАДМ, 2004. — №5. — С. 108-116.
2. Гарретт Дж. Веб-дизайн: книга Джесса Гарретта. Элементы опыта взаимодействия / Дж. Гарретт. — Пер. с англ. — СПб.: Символ-Плюс, 2008. — 192 с.
3. Игер, Б. А. Работа в Internet / Б. А. Игер ; под ред. А. Г. Тихонова. — М. : Бином, 1996. — 320 с.
4. Кирсанов Д. Веб-дизайн: книга Дмитрия Кирсанова / Д.А.Кирсанов. — СПб: Символ-плюс, 2009 — 368 с.

Стаття надійшла до редакції 27.09.2013.

УДК 624.072.2:624.012.45:539.37

Е.В. Клименко, Е.С. Чернева, А.Д. Довгань, Арез Мохаммед Исмаел
ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ ПОВРЕЖДЕННОСТИ ТАВРОВЫХ БАЛОК НА ВЕЛИЧИНУ ИХ
РАЗРУШАЮЩЕЙ НАГРУЗКИ

Проведен анализ влияния факторов поврежденности железобетонных балок таврового сечения на их разрушающую нагрузку.

Ключевые слова: конструкции, балки, нагрузка, факторы поврежденности.

Рис. 3. Табл. 2. Лит. 12.

Є.В. Клименко, О.С. Чернева, О.Д. Довгань, Арез Мохаммед Исмаел
ВПЛИВ ФАКТОРІВ ПОШКОДЖЕННЯ ТАВРОВИХ БАЛОК НА ВЕЛИЧИНУ ЇХ
РУЙНІВНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Проведено аналіз впливу факторів пошкодження залізобетонних балок таврового перерізу на їх руйнівне навантаження.

Ключові слова: конструкції, балки, навантаження, фактори пошкодження.

Y.V. Klymenko, H.S. Chernieva, A.D. Dovgan, Ares Mohammed Ismael
IMPACT OF DAMAGE TO TEES VALUE OF THEIR BREAKING LOAD

The effect of the reinforced concrete T-beams damage's on failure load is analyzed at the article.

Keywords: construction, beams, load factors of damage.

Постановка проблемы. В процессе эксплуатации конструкции зданий и сооружений постепенно изнашиваются, в них образуются повреждения, влекущие за собой дальнейшую неспособность конструкций выдерживать нагрузку. Своевременная диагностика технического состояния и проведение мероприятий по улучшению эксплуатационных качеств поврежденных конструкций является важной задачей на сегодняшний день.

Анализ исследований и публикаций. Анализу технического состояния железобетонных изгибаемых элементов, а именно изучению их дефектов и повреждений посвящены работы: Байда Д.Н. [1], Воскобойник Е.П. [2], Мальганов А.И. [3], Мизернюк Б.М. [4], Пищулёв А.А. [5] и многие другие.

Возникновение в железобетонных балках дефектов и повреждений часто приводит к работе этих конструкций в условиях сложного напряженно-деформированного состояния, такого как кривой изгиб, что не было предусмотрено изначально проектом.

Огромный вклад в исследование косоизгибаемых железобетонных балок внесли научные работники Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка: Вахненко П.Ф. [6], Воскобойник Е.П. [7], Добрянская В.В. [8], Доля К.Х. [9], Павликов А.М. [10], Харченко М.А. [11].

Таким образом актуальным является изучение напряженно-деформированного состояния поврежденных конструкций и изучение влияния факторов поврежденности на величину разрушающей нагрузки железобетонных балок таврового сечения.

Цель статьи. Выполнить анализ полученных экспериментальным путем данных по разрушающей нагрузке железобетонных тавровых балок и определить степень влияния на нее факторов поврежденности.

Для выполнения экспериментальных исследований было проведено математическое планирование эксперимента.

На основании анализа априорной информации из литературных источников с учетом реальной возможности осуществления в качестве факторов варьирования приняты:

- поврежденная часть полки, выраженная отношением (b_{eff1}/b_{eff2}), где – b_{eff1} - величина повреждения; b_{eff2} - величина свесов полки;
- глубина повреждения a_1 , выраженная через отношение глубины повреждения полки к толщине полки (a_1/h_f);
- угол повреждения β , выраженный через отношение угла повреждения к углу наклона полки, равному 90° (рис.1).

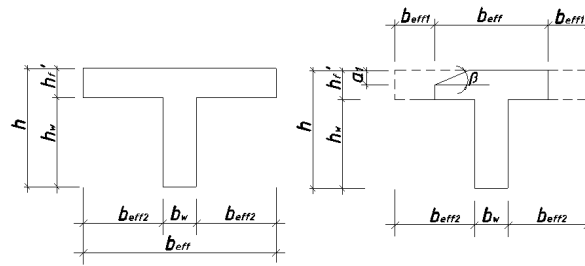


Рис. 1. Поперечное сечение неповрежденной балки и балки с поврежденной полкой

В таблице 1. приведены натурные значения варьируемых факторов (X_1 , X_2 и X_3), а также их уровни и интервалы изменения. Переход к нормализованным переменным $-1 \leq x_i \leq +1$ выполнен по типовой формуле $x_i = (X_i - X_{i,0})/\Delta X_i$.

Таблица 1. Факторы варьирования для трехфакторной модели планирования эксперимента

Исследуемые факторы Y серии		Уровни варьирования			Интервал варьирования
Натуральное значение	Код	«-1»	«0»	«+1»	
Угол повреждения $\beta/90^0$	X_1	$0^0/90^0 = 0$	$22,5^0/90^0 = 0,25$	$45^0/90^0 = 0,5$	0,25
Глубина повреждения a_1/h_f , мм.	X_2	$0/60 = 0$	$30/60 = 0,5$	$60/60 = 1$	0,5
Поврежденная часть полки b_{eff1}/b_{eff2} , мм	X_3	$0/165 = 0$	$82,5/165 = 0,5$	$165/165 = 1$	0,5

Для определения показателя прочности бетонных балок проведен эксперимент по 15-ти точечному D-оптимальному трехфакторному плану. План эксперимента преобразован в сторону основного ($X_{i,0}$) и максимального уровней ($X_{i,max}$) факторов X_2 и X_3 , что позволяет более детально оценить влияние глубины повреждения и величины поврежденной части полки образцов-балок на исследуемый критерий. Так как в реальных условиях работы бетонных балок при их экспертизе и оценке технического состояния выполнить точный замер угла повреждения достаточно сложно (из-за неровностей отколотой поверхности), поэтому фактор X_1 в плане эксперимента выражен на крайних уровнях ($\beta=0^0$ и $\beta=45^0$) в большем количестве по сравнению с его срединным уровнем ($\beta=22,5^0$).

Всего было испытано 15 образцов тавровых поврежденных в процессе эксплуатации балок с проектным классом бетона С30/35. Повреждения находились только в полке образцов, ребро же оставалось неповрежденным перед испытанием. Длина опытных образцов составила 2000мм; размеры полки в зависимости от поврежденности образца составляли $b_{eff} \times h_f = (400; 235; 70) \times (60; 30; 0)$ мм; ширина ребра неизменна для всех 15 образцов $b_w = 70$ мм; высота балок $h = 250$ мм. Армирование опытных образцов - балок было принято одиночное $\text{Ø}16\text{A}500\text{C}$ (рабочая арматура) и $\text{Ø}6\text{A}240\text{C}$ (поперечная и монтажная арматура). Шаг поперечных стержней принят 100мм. Армирование полки – $3\text{Ø}6\text{A}240\text{C}$ в продольном направлении, расположенные по краям и по центру полки; в поперечном направлении – $\text{Ø}6\text{A}240\text{C}$ с тем же шагом, что и поперечная арматура каркаса ребра балки. Армирование поврежденной части полочки отсутствует для чистоты проведения эксперимента.

Загружение балок выполнялось двумя сосредоточенными силами в средней трети пролета через траверсу и два шарнира.

При проведении экспериментальных исследований фиксировали значения внешней нагрузки, соответствующие появлению первых нормальных трещин $F_{w,ult}$ в зоне чистого изгиба образцов, а также наклонных трещин $F_{w,ult}$ в пролетах среза опытных балок и разрушению балок F_{ULS} (табл. 2).

Предварительно анализируя полученные экспериментальным путем данные видно, что наибольшую нагрузку выдержали образцы, имевшие наименьшие повреждения, а наименьшую выдержали образцы с шириной поврежденной полки $b_{eff} = 70$ см. Отличительной особенностью деформирования балок был разный характер развития трещин до эксплуатационного уровня нагружения.

Таблиця 2. Значения внешней нагрузки, соответствующие появлению первых нормальных, наклонных трещин и разрушению балок

Марка балки	$F_{w,ult\perp}$, кН	$F_{w,ult/}$, кН	F_{ULS} , кН	M , кНм.
Б1	55	35	80	20
Б2	40	35	40	10
Б3	40	50	130	32,5
Б4	20	40	105	26,25
Б5	30	25	95	23,75
Б6	30	50	130	32,5
Б7	30	35	110	27,5
Б8	30	25	75	18,75
Б9	30	20	95	23,75
Б10	25	50	98	24,5
Б11	20	30	90	22,5
Б12	30	50	118	29,5
Б13	25	30	90	22,5
Б14	30	50	105	26,25
Б15	20	40	110	27,5

В процессе обработки полученных экспериментальных данных по методике [12], с удалением незначимых коэффициентов уравнений регрессии и пересчета оставшихся коэффициентов, получена адекватная математическая модель (1), владеющая достаточной информационной полезностью и по которой можно оценить влияние исследуемых факторов на выходные параметры балок, геометрическая интерпретация которых представлена на рис.2...3.

По полученным экспериментальным данным для внешней нагрузки построена нелинейная экспериментально-статистическая модель (ЭС-модель), адекватная эксперименту при ошибке $s_{\ln\{F_{ULS}\}}=0.058$ с 9 статически значимыми коэффициентами.

$$\ln\{F_{ULS}\} = 4.73 + 0.10x_1 - 0.21x_1^2 + 0.20x_1x_2 + 0.07x_1x_3 - 0.13x_2 \pm 0x_2^2 - 0.11x_2x_3 - 0.15x_3 - 0.06x_3^2 \quad (1)$$

Данные ЭС-модели (1) можно проанализировать по однофакторным зависимостям, представленным на рис. 2. Влияние трех факторов образцов-балок на анализируемый критерий качества построен так, чтобы они проходили через экстремальные точки min и max.

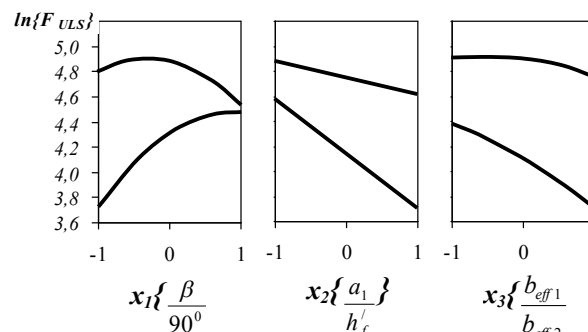


Рис. 2. Однофакторные зависимости влияния варьируемых факторов на показатель прочности балок

Обобщающими показателями однофакторных диаграмм являются: максимум $F_{ULS,max}=131,50$ кН достигается в точке с координатами $x_1=-0,32$, $x_2=-1$, $x_3=-0,54$ и соответственно минимум $F_{ULS,min} = 40,89$ кН – $x_1=-1$, $x_2=x_3=+1$; приросты абсолютный $\Delta\{F_{ULS}\} = 90,61$ кН и относительный $\delta\{F_{ULS}\} = 3,2$.

Результаты математической обработки значений внешней нагрузки железобетонных балок, по определению совместного влияния варьируемых факторов представлены на рис. 3.

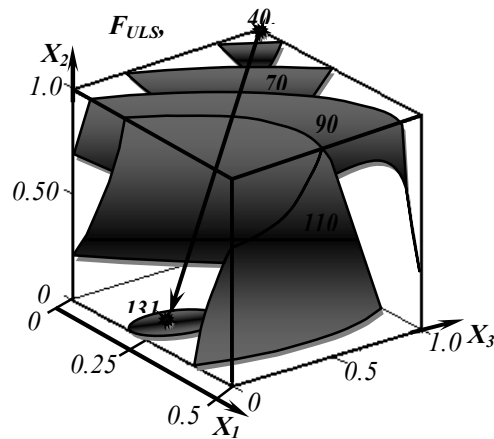


Рис. 3. Графік совместного влияния варьируемых факторов на разрушающую нагрузку балок

Значения факторов варьирования на рисунке 3 указаны в абсолютных величинах.

Из анализа представленной диаграммы следует, что с увеличением как угла повреждения x_1 $\left\{ \frac{\beta}{90^\circ} \right\}$ до 0,5; так и величины поврежденной части полки $x_3 \left\{ \frac{b_{eff1}}{b_{eff2}} \right\}$ до 1 образцы-балки

характеризуются наименьшим действием на них внешней нагрузки и соответственно железобетонная балка может выдерживать максимальную внешнюю нагрузку в 131,5 кН при угле повреждения не более $15,3^\circ/90^\circ$ ($X_1=0,17$) и величине поврежденной части полки не более $X_3=0,23$ ($X_3=37,95$ мм) при условии отсутствия глубины повреждения.

Выводы. Из сказанного выше можно сделать вывод, что фактором, оказывающим наибольшее влияние на несущую способность балок, является глубина повреждения, что также подтверждается рисунком 2, где зависимость между изменением глубины повреждения и разрушающей нагрузкой линейная. Дальнейшая работа будет заключаться в разработке метода расчета поврежденных конструкций, т.е. определения их остаточной несущей способности с учетом имеющихся повреждений полки балки.

1. Байда Д.М. Залишкова несуча здатність залізобетонних балок після їх часткового руйнування: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.23.01 „Будівельні конструкції“ / Д.М. Байда – Київ, 2005. – 20 с.
2. Воскобийник О. П. Типологічне порівняння дефектів та пошкоджень залізобетонних, металевих та сталезалізобетонних балкових конструкцій / О. П. Воскобийник // Вісник національного університету «Львівська Політехніка». Теорія і практика будівництва. – 2010. – № 662. – С. 97 – 103.
3. Мальганов А.И. Восстановление и усиление строительных конструкций аварийных и реконструируемых зданий / А.И. Мальганов, В.С. Плевков, А.И. Полищук – Томск: Изд. Томского ун-та. – 1992. – 456 с.
4. Мизернюк Б.М. Некоторые требования к проектированию элементов железобетонных конструкций на основе изучения дефектов эксплуатируемых сооружений/ Б.М. Мизернюк. - Москва, Стройиздат, 1981. – С. 4-50.
5. Пищулёв А.А. К вопросу определения прочности бетона, ослабленного дефектами/ А.А. Пищулёв// Актуальные проблемы в строительстве и архитектуре. Образование. Наука. Практика: материалы 64-й Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР университета за 2006г. – Самара: СГАСУ, 2007. – С.459-460.
6. Вахненко П.Ф., Кодак О.А. Вплив косою згину на тріщиностійкість похилого перерізу залізобетонних балок. // Буд-во України. – 2000. – №1. – С. 44-45.
7. Воскобийник О.П. Експериментальні дослідження залізобетонних балок з дефектами та пошкодженнями, які викликають згин / О.П. Воскобийник, О.О. Кітаєв // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2011. – Вип. 1(29). – С. 87-92.
8. Добрянская В.В. Напряженное состояние и расчет косоизгибаемых железобетонных элементов по прочности наклонного сечения. Автореф. дис. канд. техн. наук. – Полтава, 1996. – 24 с.
9. Доля К.Х. Несущая способность косоизгибаемых балок при действии поперечных сил // Бетон и железобетон. – 1969. №5. – С. 29-32.
10. Павліков А.М., Бойко О.В. Визначення кута нахилу нейтральної лінії в перерізах косоігнутих залізобетонних елементів з урахуванням нелінійних властивостей бетону на основі діаграм його стану /А.М. Павліков, О.В. Бойко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. пр.– Рівне, 2011. Вип. 21. – С. 264-269.
11. Харченко М.О. Моделювання напружено-деформованого стану залізобетонних балок таврового профілю в момент руйнування при косому згинанні / М.О. Харченко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. пр.– Рівне, 2011. Вип. 22. – С. 512-517.
12. Вознесенский В.А. Статические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / Вознесенский В.А. – 2-е изд., испр. и доп. – М: Финансы и статистика, 1981. – 215 с.

Стаття надійшла до редакції 27.08.2013.

Т.І. Коменда, А.М. Коровицький, О.О. Горбатко
МОРФОМЕТРИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕКСТИЛЬНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ
ЗІ СКЛЯНИМИ ВОЛОКНАМИ

Проведено морфометричні дослідження текстильних композиційних матеріалів PLAIN-структури армування зі скляними волокнами з використанням програмного комплексу MIMAS.

Ключові слова: морфометричні дослідження, текстильні композиційні матеріали, скляні волокна.

Рис. 8. Табл. 2. Літ. 12.

Т.И. Коменда, А.М. Коровицкий, О.О. Горбатко
МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ СО СТЕКЛЯННЫМИ ВОЛОКНАМИ

Проведены морфометрические исследования текстильных композиционных материалов PLAIN-структуры армирования с стеклянными волокнами с использованием программного комплекса MIMAS.

Ключевые слова: морфометрические исследования, текстильные композиционные материалы, стеклянные волокна.

T.I. Komenda, A.M. Korovizkij, O.O. Gorbatko
MORPHOMETRIC INVESTIGATIONS OF TEXTILE COMPOSITE MATERIALS
WITH GLASS FIBERS

Morphometric investigations of textile composite materials with PLAIN-structure reinforcement and glass fibers with software MIMAS are conducted.

Keywords: morphometric investigations, textile composite materials, glass fibers.

Постановка проблеми. Текстильні композиційні матеріали використовуються в багатьох галузях виробництва, зокрема, при виготовленні обшивок транспортних і літальних конструкцій. При проектуванні елементів конструкцій з композиційних матеріалів в багатьох випадках постає проблема зниження рівня вібрацій, а, отже, збільшення рівня розсіяння енергії. Збільшення розсіяння енергії в композиційних матеріалах досягається зміною багатьох факторів форми, зокрема, структури армування і зміни властивостей окремих складових. Властивості текстильного композиційного матеріалу залежать від товщини волокон, їх кількості в одному шарі, товщини шару, їх геометричного розміщення і інших структурних характеристик [1].

Оскільки композиційні матеріали складаються як мінімум із двох фаз із різними властивостями (пружними, пластичними, пружно-пластичними, в'язкопружними та ін.), не існує єдиної моделі чи методу, які дозволяють описати характеристики матеріалів із урахуванням особливостей складових і структури, виду напруженого стану та інших умов [2]. При дослідженні властивостей КМ виникають труднощі їх математичного опису, пов'язані з анізотропією і неоднорідністю структури матеріалу. Це робить проблему вивчення характеристик КМ значно складнішою, ніж для звичайних однорідних матеріалів, оскільки кількість незалежних характеристик, що досліджуються, зростають відповідно до типу анізотропії.

Важливим фактором, що впливає на вихідні характеристики матеріалу, є можливість корегування структури на етапах розробки і проектування. Зміна структурних параметрів окремих складових значно впливає на ефективні характеристики всього матеріалу. Для дослідження характеристик композиційних матеріалів можна використати експериментальні і теоретичні методи [3]. Експериментальні методи доцільно використовувати для конкретного виду матеріалу. Результати таких досліджень певної групи композиційних матеріалів, крім використання для підтвердження або спростування результатів, одержаних за допомогою теоретичних методів розрахунку, застосовуються також в якості вихідних даних при проектуванні реальних конструкцій і контролю якості матеріалів [4].

Найбільш поширеним шляхом дослідження властивостей композиційних матеріалів є створення моделей і методів розрахунку за допомогою математичного апарату з використанням властивостей компонентів матеріалу, які дозволяють врахувати структурні особливості і вид напружено-деформованого стану. Використання теоретичних методів для визначення характеристик композиційного матеріалу є виправданим, коли неможливо провести експериментальні дослідження внаслідок складності виконання ряду умов [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При визначенні властивостей КМ використовується поняття ефективних характеристик, застосування яких дозволяє перейти від неоднорідного середовища до однорідного за допомогою одного із методів осереднення структури з урахуванням відповідних властивостей складових. Точність значень ефективних характеристик залежить від точності знайдених усереднених тензорів напружень і деформацій [5]. Врахувати складні граничні умови, структурну неоднорідність і реальний розподіл напружень і деформацій в матеріалі можна за допомогою чисельних методів розрахунку, зокрема за допомогою методу скінченних елементів.

Для дослідження властивостей і побудови скінченно-елементної моделі текстильних композиційних матеріалів будь-якої структури армування необхідним фактором є максимальне наближення моделі до реального матеріалу. Таке наближення, окрім врахування усереднених тензорів напружень і деформацій, можливе за умови максимального точного наближення до структури реального матеріалу, тобто за умови врахування точних значень геометричних розмірів шару армуючого матеріалу, товщини волокон і ін. [6]. Такі дані можна дослідити, маючи реальний композиційний матеріал. Однак, в багатьох випадках вимірювання точних геометричних розмірів матеріалу за допомогою звичайних контактних методів є неможливим внаслідок малих розмірів складових матеріалу. В таких випадках використання неруйнівних методів разом зі спеціальними програмними комплексами є значно виправданим, оскільки при цьому не порушується реальна структура матеріалу [7].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Одним із програмних комплексів, який дозволяє провести морфометричні дослідження будь-якого виду матеріалу без зміни структури, є MIMAS (Mikrooptik Image Analysis Software). Після проведення таких досліджень у будь-якому скінченно-елементному програмному продукті можна побудувати моделі текстильних композиційних матеріалів, виділивши представницькі елементи об'єму з усього матеріалу. Для текстильних композиційних матеріалів таких моделей можна виділити декілька [8, 9]. Побудовані скінченно-елементні моделі дозволяють визначити вихідні механічні і інші характеристики композиційних матеріалів.

Мета статті. Метою даної роботи є проведення морфометричних досліджень текстильних композиційних матеріалів PLAIN-структури армування зі скляними волокнами, а також об'ємне відтворення і побудова скінченно-елементних моделей таких матеріалів за допомогою програмних комплексів MIMAS і ANSYS.

Виклад основного матеріалу.

Існує велика кількість текстильних композиційних матеріалів різної структури армування і різними видами волокон. Розглянемо текстильний армуючий матеріал зі скляними волокнами PLAIN-структури армування (рис. 1).

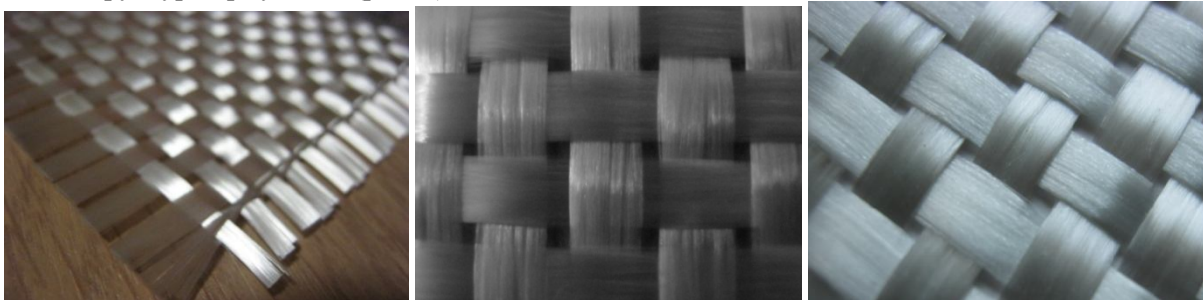


Рис. 1. Армуючий матеріал зі скловолокон PLAIN-структури армування

В такому матеріалі волокна з круговою формою поперечного перерізу малого діаметру (~5-10 мкм) (рис.2, а, фото за допомогою цифрового мікроскопу) поєднані в окремі шари, які «переплетені» між собою (рис. 2, б).

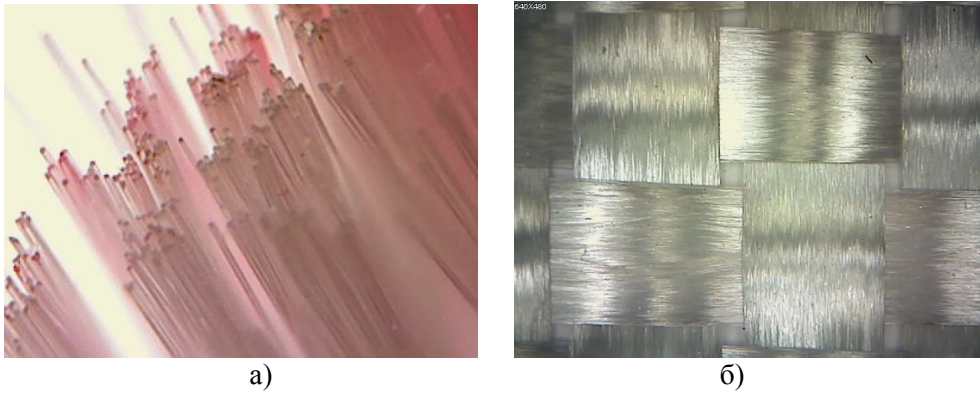


Рис. 2. Структура скляних волокон (а) і шарів (б) текстильного композиційного матеріалу

Для побудови скінченно-елементної моделі композиційного матеріалу з такими армуючими шарами необхідно знати точні розміри товщини одного шару матеріалу, ширину шару, відстань між сусідніми шарами, коефіцієнт армування і властивості складових. Використаємо для досліджень програмний комплекс MIMAS, v.4.2.0 (рис. 3).

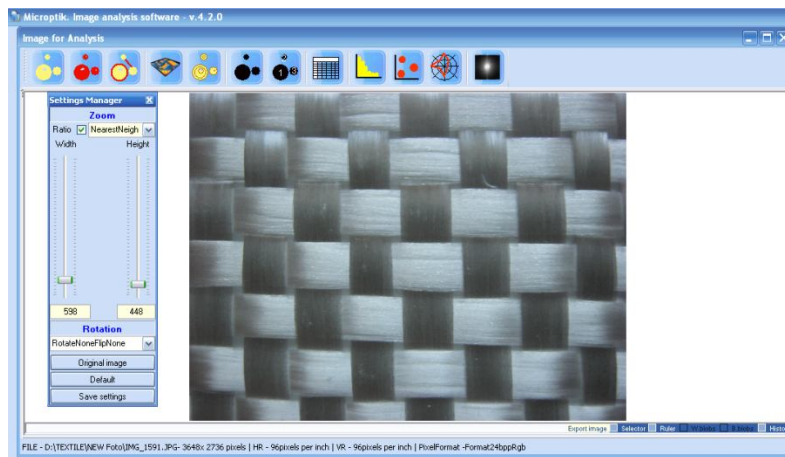


Рис. 3. Робоче вікно програмного комплексу MIMAS

Розглянемо зразки армуючого матеріалу з вимірювальною (тарувальною) шкалою. Для використання програмного комплексу MIMAS необхідно мати цифрові фото матеріалу зі шкалою, з якими надалі проводяться дослідження (рис. 4).

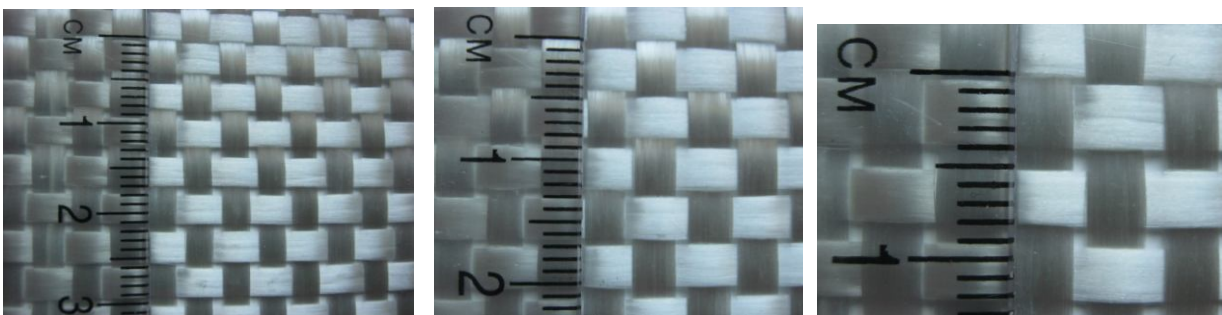


Рис. 4. Зразки текстильного матеріалу з вимірювальною шкалою

Обираємо декілька фото матеріалу з різним ступенем наближення. Задаємо за тарувальною шкалою відрізок, з яким будемо звіряти подальші вимірювання. За шкалою це відрізок 10 мм (1 см) (рис 5,а). Далі проводимо вимірювання ширини одного шару матеріалу по горизонталі і вертикалі, а також відстань між сусідніми шарами матеріалу по вертикалі і горизонталі (рис. 5, б).



Рис. 5. Тарувальний відрізок (а) і вимірювання відстаней (б) на текстильному армуючому матеріалі

Після вимірювання необхідних геометричних розмірів шарів будуюмо 3D (об'ємне) зображення армуючого матеріалу (рис. 6). Таке зображення використовуємо для визначення кута вигину, товщини шарів і коефіцієнту армування.

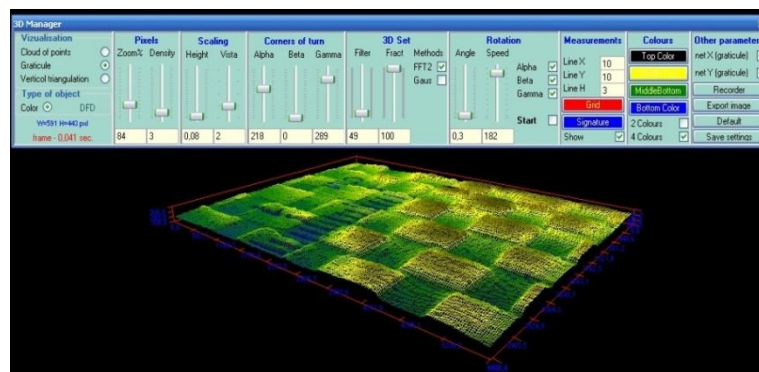


Рис. 5. Відтворена 3D-модель (об'ємна модель) текстильного армуючого матеріалу PLAIN-структури армування

Після проведення вимірювань для зразків матеріалів з декількома ступенями наближення, одержуємо значення властивостей шарів скляних матеріалів – табл. 1 [1].

Таблиця 1. Властивості шарів скляних волокон

Властивість	Значення
Середня товщина одного шару волокон	0,34 мм
Коефіцієнт армування	0,45
Середня ширина одного шару волокон	3,4 мм
Середня відстань між сусідніми шарами волокон	0,7 мм

Властивості текстильного композиційного матеріалу вказано в табл. 2.

Таблиця 2. Властивості складових текстильного композиційного матеріалу

Матеріал	Модуль Юнга E, МПа	Коефіцієнт Пуассона	Декремент коливаль
Скляні волокна	73	0,22	0,0036
Матриця – епоксидна смола (марка Aradur 5052)	3,35	0,35	0,2

Інші геометричні розміри, що необхідні для побудови скінченно-елементних моделей текстильного композиційного матеріалу PLAIN-структури армування вказано на рис. 6.

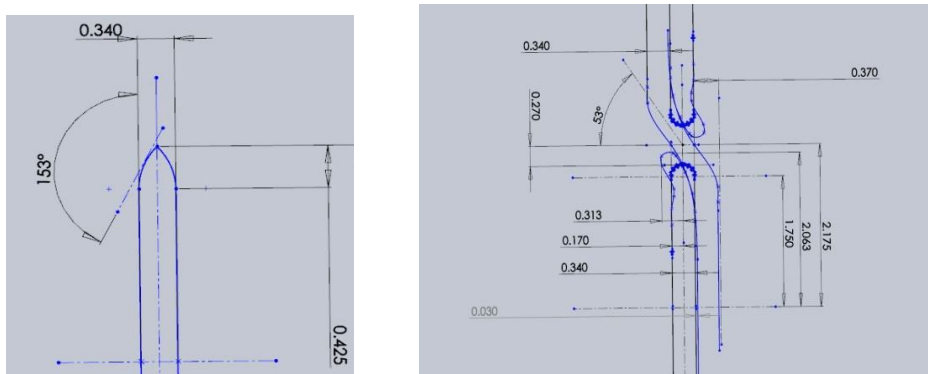


Рис. 6. Геометричні розміри шарів текстильного армуючого матеріалу зі скляних волокон

Для побудови скінченно-елементних моделей текстильного композиційного матеріалу PLAIN-структури армування зі скляними волокнами використовуємо програмний комплекс ANSYS, v.9.0.

Виділимо з матеріалу три варіанти представницького елемента об'єму, періодичне повторення яких відтворює дійсну структуру композиційного матеріалу. Це три симетричні варіанти, які пропонують використовувати для визначення механічних властивостей в роботах [8-11] (рис. 7).

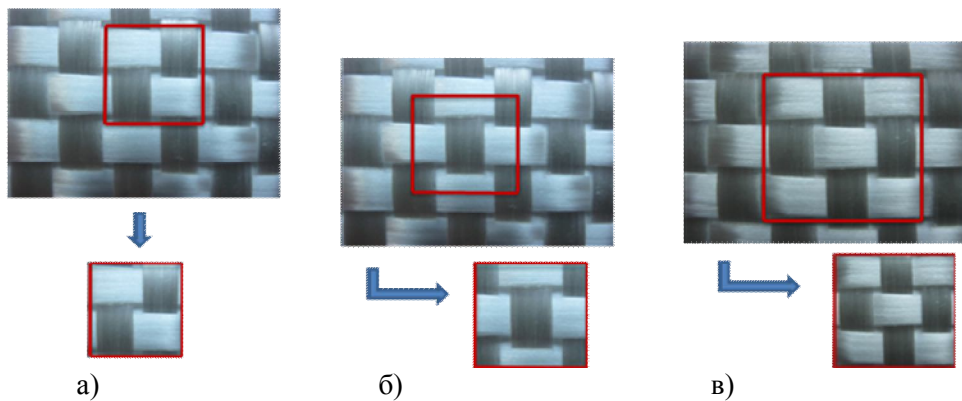


Рис. 7. Перший (а), другий (б) і третій (в) симетричні варіанти представницького елемента об'єму текстильного композиційного матеріалу PLAIN-структури армування

Результати досліджень. Моделі армуючого матеріалу PLAIN-структури армування текстильного композиційного матеріалу для трьох симетричних варіантів представницького елемента об'єму, побудовані в програмному комплексі ANSYS, показано на рис. 8.

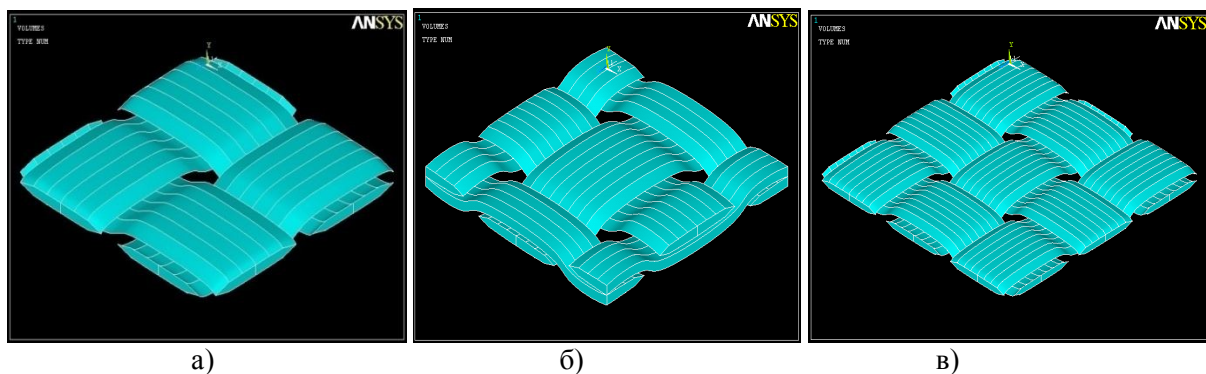


Рис. 8. Моделі армуючого матеріалу PLAIN-структури армування для першого (а), другого (б) і третього (в) симетричних варіантів представницького елемента об'єму, побудовані в програмному комплексі ANSYS

Апроксимуємо переміщення в елементах за допомогою методу скінченних елементів, використовуючи у кожному конкретному випадку відповідні до структури матеріалу і напруженого стану види елементів.

Для побудови скінченно-елементних моделей з бібліотеки програмного комплексу ANSYS використано 6-вузловий плоский скінченний елемент (варіант плоскої деформації) і 10-вузловий об'ємний скінченний елемент (варіант об'ємної деформації) (рис. 9).

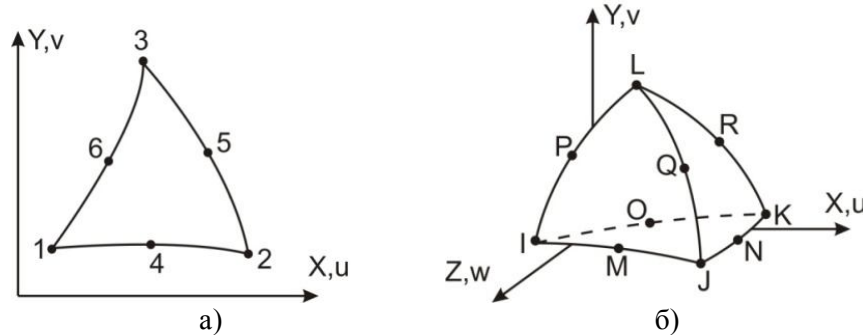


Рис. 6. Види скінченних елементів: а) 6-вузловий плоский скінченний елемент і б) 10-вузловий об'ємний скінченний елемент

Після додавання до армуючого матеріалу матриці, одержуємо шар текстильного композиційного матеріалу, модель якого з розбиттям на скінченні елементи показано на рис. 8, а. Вважатимемо, що забезпечуються умови неперервності поля вектора переміщень по об'єму елемента, а на поверхні розділу між суміжними елементами – умови неперервності поверхневих сил і переміщень. Моделюючи в такому елементі деформації (рис. 8, б) і одержуючи поля напружень (рис. 8, в), використовуючи енергетичний метод [12], можна одержати ефективні динамічні характеристики такого композиційного матеріалу (компоненти матриці комплексних модулів, декременти коливаль, модулі Юнга).

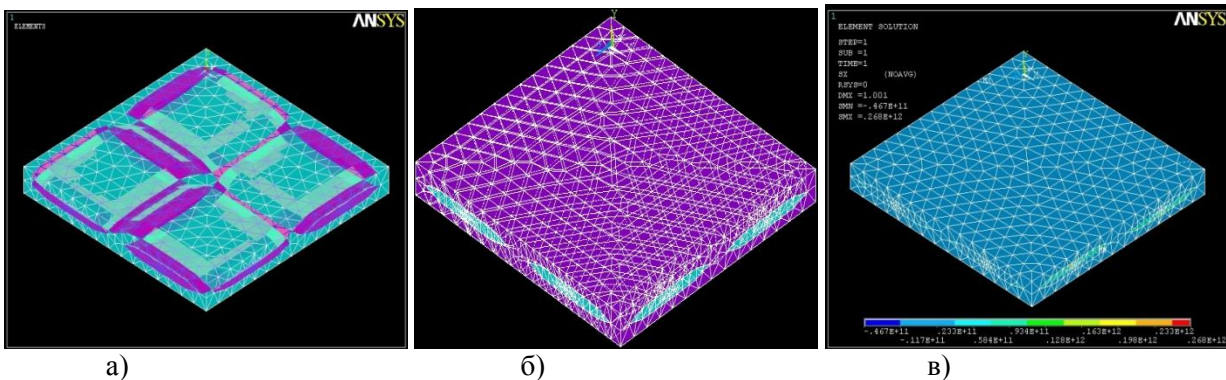


Рис. 8. Модель шару текстильного матеріалу (а), моделювання деформацій (б) і визначення напружень (в) у текстильному композиційному матеріалі PLAIN-структури армування у програмному комплексі ANSYS

Висновки. За допомогою програмного комплексу MIMAS було проведено морфометричні дослідження армуючого матеріалу зі скляними волокнами PLAIN-структури армування, зокрема, визначено середню ширину одного шару матеріалу по горизонталі і вертикалі і середню відстань між сусідніми шарами матеріалу по вертикалі і горизонталі. Побудовано 3D (об'ємну) модель шару армуючого матеріалу і визначено товщину одного шару матеріалу, товщину всього армуючого матеріалу, куту вигину шару матеріалу, коефіцієнт армування.

За знайденими геометричними розмірами за допомогою програмного комплексу ANSYS побудовано моделі армуючого матеріалу PLAIN-структури армування для трьох симетричних варіантів представницького елемента об'єму, а також скінченно-елементні моделі шару текстильного матеріалу. За допомогою таких моделей проведено моделювання деформацій і визначено поля напружень в текстильному композиційному матеріалі.

1. Mahmood A., Wang X., Zhou C. Elastic Analysis of 3D Woven Orthogonal Composite // Journal of IEEE, 2011. – Vol.3. – PP.757-761.
2. Сендецьки Дж. Упругие свойства композитов / Дж. Сендецьки // Композиционные материалы. – М.: Мир, 1978. – Т. 2. – С. 196–241.
3. Композиционные материалы в технике / [под ред. Д.М. Карпиноса]. – К.: Техніка, 1985. – 152 с.
4. Whitney J.M. Analytical and Experimental Methods in Composite Mechanics // Journal of the Structural Division. – 1973. – № 1. – P. 113–129.
5. Победря Б.Е. О точности эффективных характеристик в механике композитов // Механика композитных материалов. – 1990. – № 3. – С. 408–413.
6. Sherburn M. Geometric and Mechanical Modelling of Textiles. – Nottingham: University of Nottingham, 2007. – 271 p.
7. Бардзокас Д.И. Математическое моделирование физических процессов в композиционных материалах периодической структуры / Д.И. Бардзокас, А.И. Зобнин. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 376 с.
8. Композиционные материалы: Справочник / [под. общ. ред. В.В. Васильева]. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.
9. Pilkington L.O. Impact Response and Failure of a Textile Composite Fuselage Frame. – Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute, 2004. – 108 p.
10. Мунгалов Д.Д., Креггерс А.Ф. Определение деформативных свойств пространственно-плетеного композитного материала. 1. Теоретическая модель // Механика композитных материалов. – 1990. – № 5. – С. 795–802.
11. Textile composites: modeling strategies // Composites. – 2001. – Vol.32. – PP. 1379-1394.
12. Дубенець В.Г., Яковенко О.О. Визначення ефективних характеристик в'язкопружних композиційних матеріалів, армованих волокнами // Проблеми прочности. – 2009. – № 4. – С. 124–132.

Стаття надійшла до редакції 14.06.2013.

УДК 621.316.7:519.863

Н.В. Коменда
РЕАЛІЗАЦІЯ МОРФОМЕТРИЧНОЇ МОДЕЛІ ГРАФІКА ЕЛЕКТРИЧНОГО
НАВАНТАЖЕННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НА ПРИКЛАДІ ЦЕХУ
ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

Запропонована реалізація морфометричної моделі графіка електричного навантаження системи електропостачання на прикладі цеху промислового підприємства, що дозволяє вирішувати питання покращення режимів роботи мереж на основі управління їх навантаженням.

Ключові слова: морфометрія, графік електричного навантаження, управління навантаженням.

Табл. 1. Рис. 4. Форм. 3. Літ. 7.

Н.В. Коменда
РЕАЛИЗАЦИЯ МОРФОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГРАФИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ
НАГРУЗКИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ЦЕХА
ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Предложена реализация морфометрической модели графика электрической нагрузки системы электроснабжения на примере цеха промышленного предприятия, которая позволяет решать вопросы улучшения режимов работы сетей посредством управления их нагрузкой.

Ключевые слова: морфометрия, график электрических нагрузок, управление нагрузкой.

N.V. Komenda
REALIZATION OF THE POWER SYSTEM'S ELECTRICAL LOAD GRAPH MORFOMETRIC
MODEL OF THE ON THE EXAMPLE OF INDUSTRIAL PLANT DEPARTMENT

Realization of the power systems loads graph morphometric model on example of industrial plant department was proposed. It allows solving questions of networks modes improvements based on their load management.

Keywords: morphometry, electrical load graph, loads management.

Вступ. Морфометричні параметри дають нові можливості для характеристики нерівномірності графіка електричного навантаження (ГЕН) [1-7]. Вони характеризують форму ГЕН, відображаючи як загальну нерівномірність, так і співвідношення споживання електроенергії в різні години доби. На основі їх аналізу нами отримано висновок [1-7], що детальну комп'ютеризовану оцінку добової нерівномірності доцільно здійснювати із застосуванням власне морфометричних параметрів.

Матеріали та результати досліджень. Групуючи вибрані морфопараметри (їх детальний опис наведено в працях [1-7]), отримуємо критерій оцінки нерівномірності ГЕН, що дозволить комплексно оцінювати нерівномірність ГЕН, характеризуючи при цьому:

- загальну добову нерівномірність ГЕН, динаміку і величину змін значень навантаження на основі параметра M_1 ;
- співвідношення споживання електроенергії, яке було б, якби споживач працював лише з заданими максимальними навантаженнями, з реальною величиною споживання електроенергії на основі параметра M_2 ;
- співвідношення між навантаженням у періоди нічного провалу/напівпіку та пікового навантаження, показуючи наближене співвідношення дешевої та дорогої спожитої енергії (згідно з диференційованим тарифом) на основі параметра M_3 ;
- детально загальну добову нерівномірність ГЕН, динаміку і величину зміни значень навантаження, як відношення всіх піків і провалів ДРТ на основі M_4 .

Комплексний морфометричний показник рівномірності ГЕН набуде наступного вигляду:

$$F = (M_1; M_2; M_3; M_4), \quad M_1, M_2, M_3, M_4 \in [0, 1]. \quad (1)$$

Він є вектором, координати якого характеризують нерівномірність ГЕН у відповідності з суттю відповідного морфометричного параметра. Якщо значення $F = (0, 0, 0, 0)$, то ГЕН має значну нерівномірність, при $F = (1, 1, 1, 1)$ має місце рівномірне споживання електроенергії

протягом доби.

У даному показнику рівномірності ГЕН (1) M_1 спадає, найбільш реагуючи на збільшення кількості значних піків і провалів; M_2 спадає, найбільш реагуючи на збільшення локальних екстремумів; M_3 спадає, найбільш реагуючи на накладання симетричних піків/провалів; M_4 спадає, найбільш реагуючи на збільшення незначних коливань або значні перепади значень. Тобто, в залежності від поставленої задачі ми можемо гнучко задавати межі, до яких прямує та чи інша складова критерію (1), що дозволяє більш чітко визначати цілі вирівнювання та здійснювати адекватну оцінку:

$$F = (M_1 \rightarrow a_1; M_2 \rightarrow a_2; M_3 \rightarrow a_3; M_4 \rightarrow a_4), \quad M_1, M_2, M_3, M_4 \in [0,1], \quad (2)$$

де

a_1, a_2, a_3, a_4 – значення меж для кожного компонента критерію F , $a_1, a_2, a_3, a_4 \in [0,1]$.

Якщо, для прикладу, в нас є ГЕН з оцінкою нерівномірності $M_1 = 30\%$, $M_2 = 40\%$, $M_3 = 20\%$, $M_4 = 10\%$ і нас цікавить зменшення великих піків і провалів ГЕН на 5%, зменшення нерівномірності в цілому на 10%, зменшення співвідношення споживання пік /провал та напівок на 15%, зменшення піків ГЕН на 20%, то (2) запишеться наступним чином:

$$F = (M_1 \rightarrow 0,35; \quad M_2 \rightarrow 0,5; \quad M_3 \rightarrow 0,35; \quad M_4 \rightarrow 0,3). \quad (3)$$

Отже, спираючись на формули (2) та (3), доцільно утворити морфометричну математичну модель оцінки добової нерівномірності ГЕН та її об'єктно-орієнтовану реалізацію, що дозволяє здійснювати детальну оцінку нерівномірності та може бути легко інтегрована в сучасні системи управління виробництвом.

Об'єктно-орієнтований підхід (ООП) дає змогу створювати моделі елементів систем як об'єктів згідно з принципами ООП на засадах об'єктно-орієнтованої композиції з подальшим формуванням із цих об'єктів моделі системи в цілому. Особливої актуальності це набуває для моделювання систем електропостачання (СЕП) та їх елементів і процесів, що відбуваються в них, зокрема ГЕН. Це дозволяє значно спростити процес створення комп'ютерних моделей систем, у яких задіяні складні, з точки зору математичного опису, елементи, адже користувач такої моделі оперуватиме нею як об'єктом, а не окремими рівняннями, які його описують.

Таким чином, за допомогою підходів ООП створюємо морфометричну модель ГЕН та її об'єктно-орієнтовану реалізацію – клас **Графік**. Використовуючи термінологію ООП, модель об'єкта чи явища називається класом. Ієрархія спроектованого класу наведена на рис. 1.

Одним із найважливіших принципів ООП є абстрагування, яке полягає у виділенні абстракцій – важливих характеристик об'єкта або групи об'єктів, які відрізняють їх від усіх інших видів об'єктів, чітко визначаючи особливості цих об'єктів у перспективі їхнього подальшого розгляду, аналізу та моделювання. В теорії ООП абстрагування застосовується у формуванні класів, що описують типи об'єктів, операції, які можна здійснити з об'єктами, та операції, що їх можуть здійснити самі об'єкти.

Класи будують за ієрархічним принципом. Головним типом відношень між класами є успадкування (inheritance). Воно виникає тоді, коли один клас (нащадок) використовує структуру чи функціональну частину одного або кількох інших класів (відповідно констатуються проста та множинна спадковості).

Стан об'єкта характеризують переліком усіх можливих його параметрів (властивостей) і їхніх значень. До параметрів об'єкта належать ті його характеристики, які роблять його унікальним (індивідуальним) і які в процесі функціонування об'єкта набувають певних значень.

Для прикладу розгортання класу на промисловому підприємстві розглянемо схему механічного цеху інструментального та ремонтного господарств одного з промислових підприємств з інтеграцією засобів збору й аналізу інформації про електроспоживання – рис. 2.

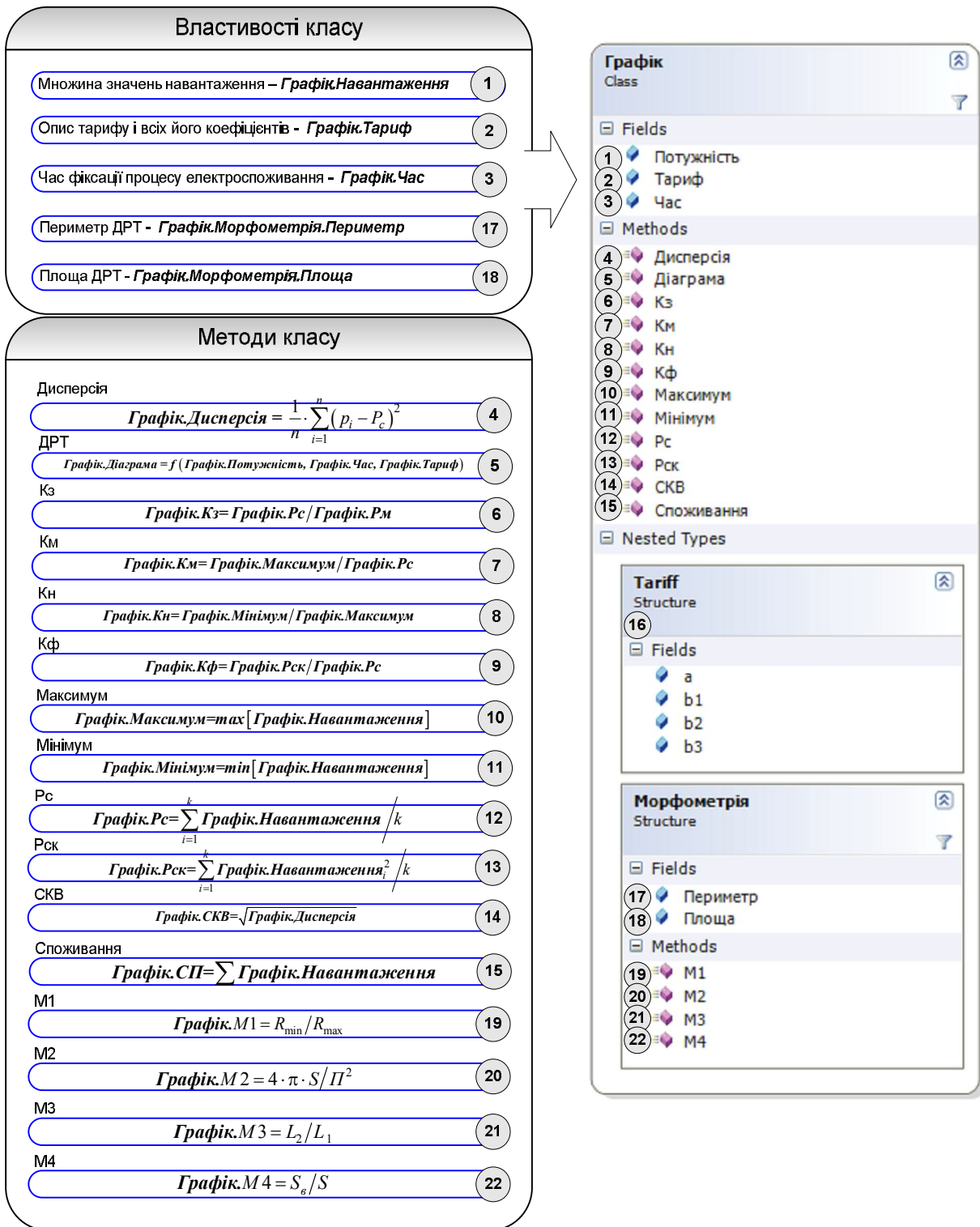
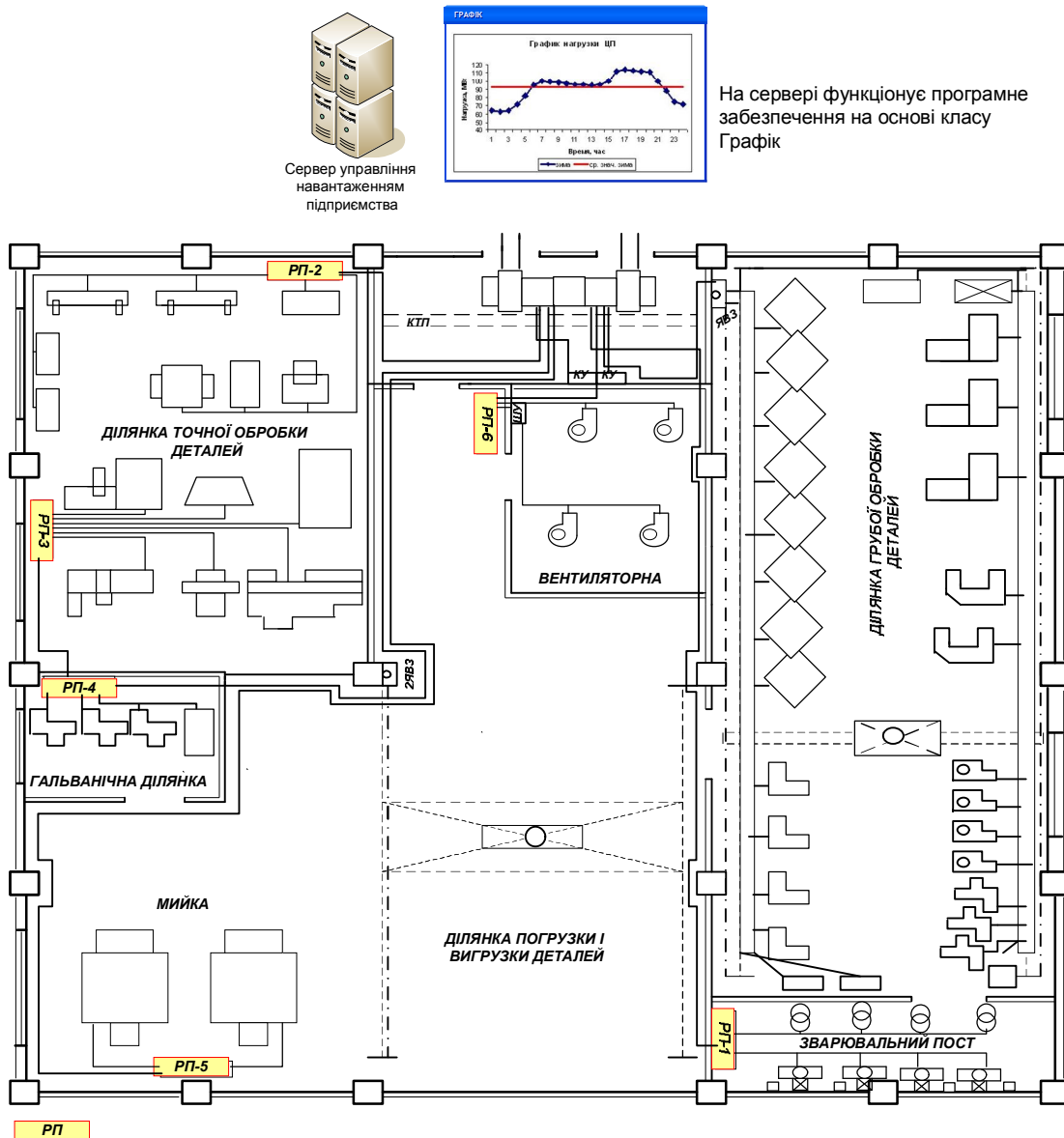


Рис. 1. Ієрархія класу Графік

В класі **Графік** наявні ряд властивостей і методів. Здійснимо їх абстрагування і сформуємо його стан. Властивості класу дозволяють здійснити загальний опис характеристик ГЕН, а методи – розрахувати показники його нерівномірності, як на основі класичного підходу, так і на основі морфометричного.

Варто зауважити, що клас **Графік** є базовим, і на його основі шляхом наслідування можна створити субкласи з базовими і розширеними методами та властивостями для моделювання графіків навантаження цехів, підрозділів та окремих споживачів електричної енергії промислових підприємств.



На місцях під'єднання споживачів (розподільчі пункти) здійснюється збір та передача інформації про електроспоживання на сервер управління навантаженням підприємства

Рис. 2. Схема цеху

Для схеми (рис. 2) ієрархія структури класів набуде наступного вигляду – рис. 3. У даній ієрархічній схемі класи мають вільний доступ до інформації, що міститься в кожному з них, що дозволяє здійснювати моделювання ієрархічних систем, та виконувати автоматичний перерахунок параметрів моделей в режимі реального часу. Крім цього, можливий доступ до будь-яких характеристик процесів операторів, що працюють з системою.

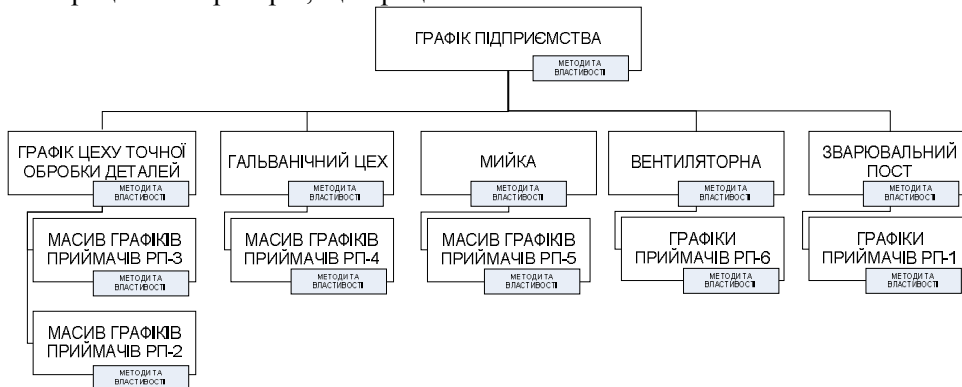


Рис. 3. Ієрархічна схема реалізації класу Графік

В об'єктно-орієнтованій моделі добового ГЕН виділимо ряд властивостей і методів, які описують стан і параметри процесу (табл. 1).

Таблиця 1. Властивості та методи класу **Графік**

Назва	Детальний опис
<i>Графік.Час</i>	Множина значень часу
<i>Графік.Навантаження</i>	Множина значень навантаження
<i>Графік.Тариф</i>	Опис тарифу і всіх його коефіцієнтів
<i>Графік.Мінімум</i>	Мінімум навантаження
<i>Графік.Максимум</i>	Максимум навантаження
<i>Графік.Споживання</i>	Добове споживання електричної енергії
<i>Графік.Рс</i>	Середнє значення навантаження
<i>Графік.Рск</i>	Середньоквадратичне значення навантаження
<i>Графік.Дисперсія</i>	Дисперсія навантаження
<i>Графік.СКВ</i>	Середньоквадратичне відхилення навантаження
<i>Графік.Кф</i>	Коефіцієнт форми
<i>Графік.Км</i>	Коефіцієнт максимуму
<i>Графік.Кз</i>	Коефіцієнт заповнення
<i>Графік.Кн</i>	Коефіцієнт нерівномірності
<i>Графік.Діаграма</i>	Діаграма радарного типу
<i>Графік.Морфометрія</i>	Морфометричні показники
<i>Графік.Морфометрія.Периметр</i>	Периметр
<i>Графік.Морфометрія.Площа</i>	Площа
<i>Графік.Морфометрія.ЦентрВаги</i>	Центр ваги діаграми радарного типу
<i>Графік.Морфометрія.М1</i>	Округлість
<i>Графік.Морфометрія.М3</i>	Видовження
<i>Графік.Морфометрія.М4</i>	Випуклість
<i>Графік.Морфометрія.М2</i>	Компактність
<i>Графік.Критерій</i>	Оцінка нерівномірності на основі (2.8)

Процес оцінки нерівномірності на основі класу **Графік** є доволі простим і в типових випадках виглядає наступним чином (рис. 4). Відбувається він за допомогою розробленого програмного забезпечення.



Рис. 4. Процес оцінки нерівномірності ГЕН

Дане програмне забезпечення дозволяє на основі отриманої інформації розраховувати та аналізувати характер добової нерівномірності ГЕН технологічних агрегатів, виробничих цехів та промислового підприємства в цілому, що дозволяє отримати цілісну картину процесу електроспоживання та вдосконалити його.

Висновки. Для управління навантаженням системи електропостачання необхідно використовувати морфометричну модель, що в результаті приведе до зменшення оплати за електроенергію та зменшення втрат електроенергії від нерівномірності добового навантаження в мережах. Об'єднання аналізу нерівномірності, пошуку шляхів її зменшення та економічної оцінки процесу електроспоживання дозволяє оперативно моделювати процес електроспоживання та визначати шляхи його покращення. На основі запропонованих моделей та сучасної .NET технології створені комп'ютерні програми, які використовують сучасні бібліотеки введення, обробки та представлення інформації, дозволяючи інтегрувати їх в сучасні системи управління виробництвом.

1. Komenda T. Morphometrical analysis of daily load graphs/ Komenda T., Komenda N. // International Journal of Electrical Power and Energy Systems. Volume 42, Issue 1, November 2012. P.721-727. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bbr.2011.03.031>
2. Коменда Н. В. Морфометричний розрахунок навантажувальних втрат електроенергії / Н. В. Коменда, Т. І. Коменда // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – №6. – С. 110-113.
3. Коменда Н. В. Морфометрична оцінка та критерій рівномірності графіка електричних навантажень / Н. В. Коменда // Вісн. нац. ун-ту „Львівська політехніка”. – 2010. – №666. – С. 42-46. (Електроенергетичні та електромеханічні системи).
4. Коменда Н. В. Морфометрична класифікація графіків електричного навантаження промислових підприємств / Н. В. Коменда // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – №1. – С. 67-70.
5. Коменда Н.В. Пошук споживачів-регуляторів на основі морфометричного підходу при управлінні добовим навантаженням промислового підприємства / Н.В. Коменда, Т.І. Коменда, О.Д. Демов // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. – 2010. – № 27. – С. 22-26.
6. Демов О. Д. Морфометрична оцінка графіка електричних навантажень / О. Д. Демов, Н. В. Коменда, Т. І. Коменда // Промелектро. – 2008. – № 4. – С. 22-25.
7. Демов О. Д. Морфометрія графіка електричних навантажень / О. Д. Демов, Т. І. Коменда, Н. В. Коменда // Енергетика та електрифікація. – 2009. – № 8. – С. 59-62.

Стаття надійшла до редакції 26.09.2013.

УДК 621.316.7:519.863

Н.В. Коменда
ФОРМАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ ДОБОВИМ ГРАФІКОМ
ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ РЕГІОНУ

Одним з шляхів, що дозволяє здійснити рішення частини наявної низки проблем енергетичної системи країни є управління її навантаженням на різних ієрархічних рівнях. З цією метою запропоновано модель ієрархічної поліморфічної моделі електроспоживання електрогосподарства та ряд критеріїв оптимізації загальнодержавного та регіонального електроспоживання.

Ключові слова: управління навантаженням, ієрархія, оптимізація електроспоживання.

Рис. 2. Літ. 6.

Н.В. Коменда
ФОРМАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ СУТОЧНЫМ ГРАФИКОМ
ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ РЕГИОНА

Одним из путей, позволяющих осуществить решение части имеющегося ряда проблем энергетической системы страны является управление ее нагрузкой на различных иерархических уровнях. С этой целью предложена модель иерархической полиморфической модели электропотребления электрохозяйства и ряд критериев оптимизации общегосударственного и регионального электропотребления.

Ключевые слова: управление нагрузкой, иерархия, оптимизация электропотребления.

N.V. Komenda
REGIONAL DAILY LOAD GRAPH MANAGEMENT MODEL FORMALIZATION

One way that allows to solve some problems of existing power system of the country is managing its load at different hierarchical levels. For this purpose, a model of hierarchical models of polymorphic power consumption electrical equipment and a number of optimization criteria of national and regional energy consumption are proposed.

Keywords: load management, hierarchy, optimization of power consumption.

Вступ. Основою електроенергетики є об'єднана енергетична система країни, яка централізовано забезпечує електроенергією внутрішніх споживачів, а також експортує і імпортує її [1]. Протягом 1990-2010 років виробництво електричної енергії скоротилось на 42,8%. Більшість обладнання і технологій паливно-енергетичного комплексу морально і фізично застаріли. Дуже недостатніми є інвестиції в енергетичну галузь, що (в комплексі з кризою неплатежів) робить неможливим її стабільну роботу і розвиток.

Матеріали та результати досліджень. Одним з джерел інвестицій в об'єкти електроенергетики можуть бути власні інвестиції, отримані за рахунок зменшення піку потужності і відповідно не потрібності надлишкової генерації на їх покриття; зменшення втрат електричної енергії на її транспорт.

Вирішити дану проблему можуть

- на рівні постановки задачі – НКРЕ, Міністерство енергетики та вугільної промисловості України і оптовий ринок електричної енергії;
- на рівні реалізації задачі – регіональні електропостачальні компанії.

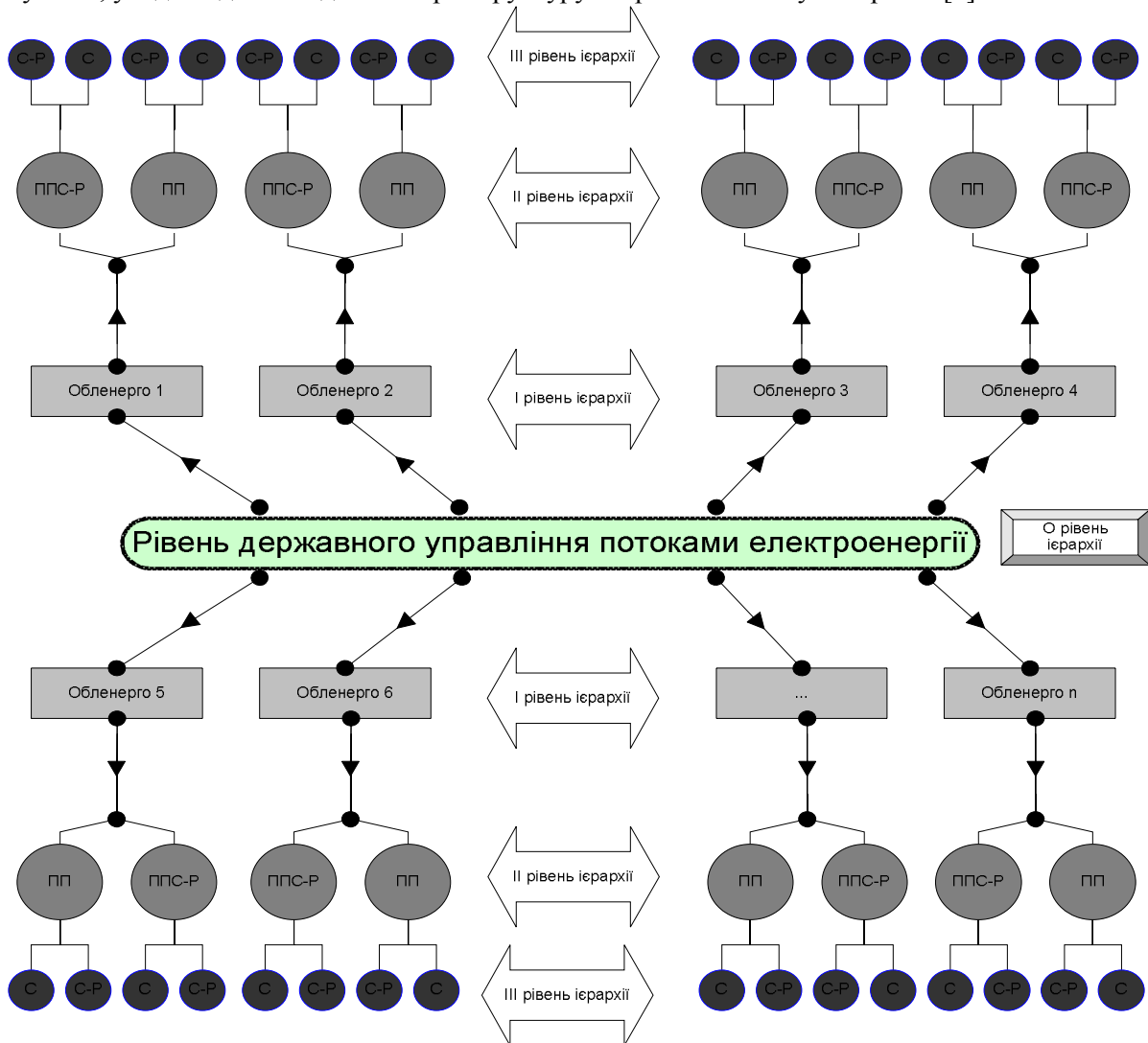
Електропостачальні компанії забезпечують передачу і розподіл електричної енергії до промислових і комунальних споживачів електричної енергії. Вони являються, по-суті, монополістами, у цьому виді діяльності. Компанію можна розглядати як крупного споживача по відношенню до енергосистеми (оптового ринку електричної енергії) і як енергосистему по відношенню до кінцевих споживачів електричної енергії.

Електропостачальна компанія, розраховується з оптовим ринком електричної енергії за допомогою диференційованого тарифу по зонах доби. Отже можна зробити висновок, що модель добового графіка електричного навантаження, яка оснований на наслідуванні, поліморфізмі, інкапсуляції [6] є актуальною і для електропостачальної компанії. В якості споживачів-регуляторів для моделі даного рівня доцільно розглядати потужні промислові підприємства, які можуть достатнім чином впливати на графік електроспоживання електропостачальної компанії внаслідок значної своєї потужності і управління електроспоживанням на основі регулювання режиму роботи споживачів-регуляторів нижчого рівня.

В результаті такого підходу ми можемо описати ієрархічну і поліморфічну модель електроспоживання електрогосподарством держави, яка би об'єднувала всі ланки генерації, розподілу і споживання електроенергії. Схематично дану модель можна зобразити за допомогою

© Н.В. Коменда

рисунка 1, у відповідності з даними про структуру енергетичної галузі України [2].



0 рівень - Рівень державного управління потоками електроенергії („Енергоринок“, НКРЕ, ЕЕС України)
 І рівень - рівень територіального електроспоживання (регіональна електропостачальна компанія)
 ІІ рівень - рівень концентрованого електроспоживання (промислове підприємство)
 ІІІ рівень - рівень локалізованого електроспоживання (технологічний агрегат)

Рис. 1. Ієрархічна поліморфічна модель електроспоживання електрогосподарства:
 (С – множина споживачів електричної енергії промислового підприємства; С-Р – множина споживачів-регуляторів електричної енергії промислового підприємства; ПП – множина промислових підприємств, споживачів електропостачальної компанії; ППС-Р – множина промислових підприємств, споживачів-регуляторів електропостачальної компанії;
 Обленерго і – множина регіональних електропостачальних компаній, споживачів оптового ринку електричної енергії)

Поліморфізм даної моделі спричиняє її універсальність для будь-якого об'єкта і будь-якого рівня ієрархії, оскільки об'єкти електроенергетики на різних рівнях електроенергетичної системи мають подібні властивості і підкоряються одним і тим же об'єктивним законам.

В якості субмоделей доцільно виділити наступний ієрархічний ланцюг:

0 рівень ієрархії: оптовий ринок електричної енергії;

І рівень ієрархії: територіальна одиниця (електропостачальна компанія);

ІІ рівень ієрархії: потужне промислове підприємство (споживач електропостачальної компанії);

ІІІ рівень ієрархії: потужний технологічний агрегат (споживач промислового підприємства).

З метою ефективного управління графіком електричного навантаження на 0 рівні ієрархії –

рівні державного управління електроенергетикою держави необхідно утворити загальну комплексну модель оптимізації графіка електричного навантаження, що об'єднувала б I, II і III рівні. Дана модель дозволить управляти регіональним електроспоживанням і оптимізувати роботу електропостачальних компаній (територіальне електроспоживання).

На 0 рівні ієрархії, оптимізації електроспоживання можна досягнути за рахунок оптимізації електроспоживання, вирівнювання добового графіка енергосистеми на основі споживачів-регуляторів енергоринку (електропостачальних компаній).

Дане регулювання можна здійснити на основі детального аналізу особливостей промисловості кожного регіону.

За допомогою регулювання ми позбудемось наступних факторів, що спричиняють не оптимальність режиму генерації електричної енергії і її споживання:

Необхідності підтримання резервних генеруючих потужностей з метою забезпечення покриття максимумів навантаження;

Зменшення перетоків енергії в енергосистемі і відповідно зменшення технічних втрат електроенергії.

Як було відмічено, основною умовою оптимальності роботи енергосистеми є наявність попиту за максимально рівномірним графіком [3]. Як наслідок, отримаємо зменшення технічних втрат електричної енергії, але постановку даної задачі можна здійснити в зворотньому порядку: мінімізувати всіма наявними методами і засобами технічні втрати електричної енергії. В результаті оптимальної мінімізації отримаємо максимально рівний і мінімально затратний графік електричного навантаження.

Для здійснення цього сформуємо модель втрат електричної енергії на 0 рівні єдиної ієрархічної поліморфічної моделі електроспоживання. Дану модель доцільно формалізувати на основі створення єдиного інформаційного простору держави з електроспоживання (рисунок 2).

В даній моделі доцільно вибрати в якості основного критерій, що забезпечить максимальну рівність графіка електричного навантаження [4,5].

$$F = DP_{\text{графіка енергосистеми}} \Rightarrow \min \quad (1)$$

Цього можна досягнути на основі властивостей єдиного інформаційного простору (параметрів об'єктно-орієнтованої формалізації втрат електричної енергії енергосистеми) з використанням оптимізаційних і аналітичних методів єдиного інформаційного простору (процедур об'єктно-орієнтованої формалізації втрат електричної енергії енергосистеми).

Крім основного критерію (1) на основі об'єктно-орієнтованої формалізації втрат електричної енергії енергосистеми можна відокремити ще ряд критеріїв, для задоволення часткових оптимізаційних процесів методів інформаційного простору:

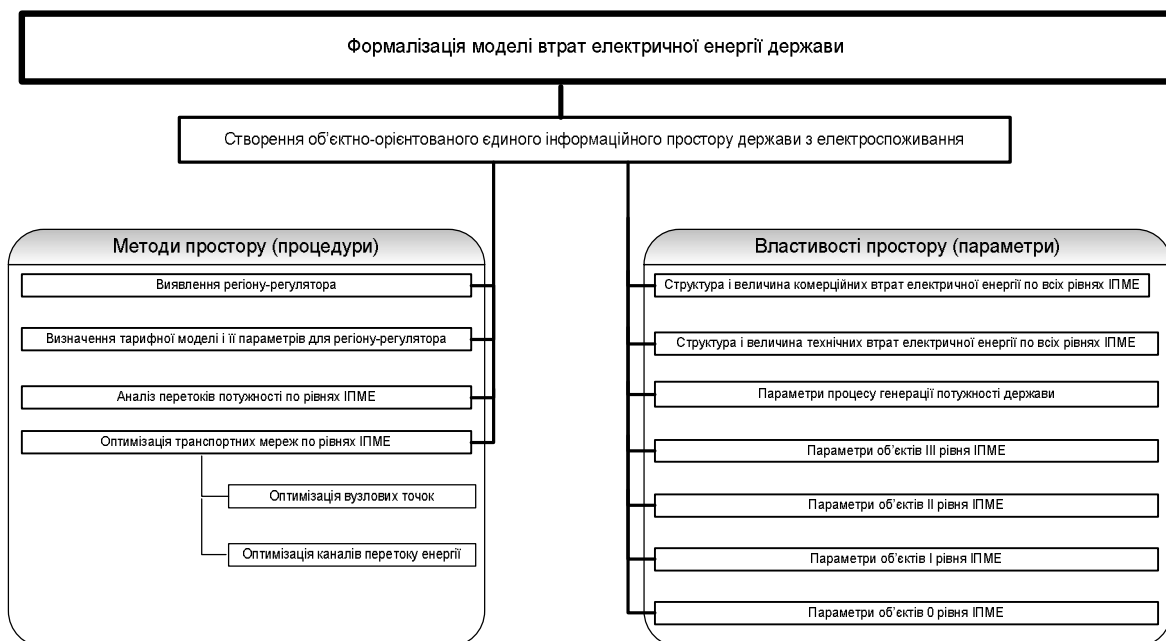


Рис. 2. Об'єктно-орієнтована формалізація втрат електричної енергії енергосистеми

Критерії оптимізації транспортних мереж по рівнях ПМЕ:

Оптимізації вузлових точок:

$$\left| K_{зТ} - K_{зоптТ} \right| \Rightarrow \min . \quad (2)$$

де $K_{зТ}$ – сумарний наявний коефіцієнт завантаження трансформаторів, вузлових трансформаторних підстанцій; $K_{зоптТ}$ – оптимальний коефіцієнт завантаження трансформаторів, вузлових трансформаторних підстанцій.

Оптимізації каналів перетоку енергії:

$$K_{зЛЕП} \Rightarrow \min . \quad (3)$$

де $K_{зЛЕП}$ – наявний коефіцієнт завантаження ліній електропередачі;

Аналіз перетоків потужності по рівнях ПМЕ – задача оптимального потокорозподілу і визначення оптимальної точки потокорозподілу:

$$\sum \Delta P_T + \sum \Delta P_L \Rightarrow \min . \quad (4)$$

де ΔP_T – втрати електричної енергії в вузлових точках;

ΔP_L – втрати електричної енергії в лініях електропередач.

Висновки. Процедура виявлення регіону-регулятора є дуже складною і полягає в роботі великої групи експертів. Вони повинні прийняти рішення на основі параметрів об'єктно-орієнтованої формалізації втрат електричної енергії енергосистеми про вибір того чи іншого варіанту і застосування до нього кардинально іншої тарифної моделі оплати за електроенергію.

В результаті ми отримуємо комплекс оптимізації процесу електропостачання – електроспоживання. Відбудеться суттєве зменшення вартості електричної енергії, а отже і собівартості продукції, що виготовляється промисловими підприємствами, зросте її конкурентоспроможність, а отже реальні прибутки для всіх об'єктів промисловості держави.

1. О «концепции государственной энергетической политики Украины на период до 2020 года» <http://www.zerkalo-nedeli.com/nn/show/332/30199/>
2. Енергетика: Погляд з Києва, – <http://me-press.kiev.ua/structure.htm>.
3. Формування тарифів на електроенергію, – <http://www.necin.com.ua/energetika/tarif.htm>
4. Гордеев В.И. Регулирование максимума нагрузки промышленных электрических сетей. – М.: Энергоатомиздат, 1986 – 182 с.
5. Головкин П.И. Режимы электроснабжения потребителей. М., «Энергия», 1971.– 112 с.
6. Давиденко Л.В., Коменда Т.І., Коменда Н.В. Оптимізація режимних показників як засіб підвищення ефективності електропередачі та електроспоживання. – Наукові нотатки. Міжвузівський збірник № 8. – Луцьк 2003. – С. 101-104.

Стаття надійшла до редакції 24.09.2013.

УДК 621.9.06

М.М. Кормош
КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ФРЕЗЕРНЫМ
СТАНКОМ

Статья посвящена разработке компьютеризированной системы управления фрезерными станками с числовым программным управлением (ЧПУ). Изучены возможности повышения производительности процесса обработки поверхностей на фрезерных станках с ЧПУ путем управления технологическим процессом формообразования через программно-математическое обеспечение.

Ключевые слова: автоматизация, управление ЧПУ, фрезерный станок.

Рис. 1. Лит. 7.

М.М. Кормош
КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ФРЕЗЕРНИМИ ВЕРСТАТАМИ

Статья посвящена разработке компьютеризированной системы управления фрезерными верстатами с числовым программным управлением (ЧПК). Вивчення можливостей підвищення продуктивності процесу обробки поверхонь на фрезерних верстатах з ЧПУ шляхом керування технологічним процесом формоутворення через програмно-математичне забезпечення.

Ключові слова: автоматизація, управління ЧПК, фрезерний верстат.

М.М. Kormosh
CONTROL COMPUTERIZED MILLING MACHINE

The article is devoted to the development of a computerized control system milling machines with numerical control (CNC). The study of performance improvement process, surface treatment on CNC milling machines by controlling the process of shaping a program and software.

Keywords: automation, control lathe, milling machine.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами. Металлорежущие станки должны отвечать постоянно растущим требованиям к оборудованию: обрабатывать новые материалы, конструкции заготовок и деталей, обеспечивать техническую и экологическую безопасность персонала и т.д. Всем этим требованиям должны удовлетворять станки ЧПУ для изготовления конкурентоспособной продукции в условиях рынка. Станочное оборудование из-за его высокой стоимости должно эффективно использоваться конкретным потребителем, возможно лишь при условии его интенсивной эксплуатации с максимальным использованием фонда рабочего времени.

Анализ последних исследований, по которым начато решение проблемы. Тема повышения точности обработки поверхностей не нова, однако остается актуальной и ныне.

Весомый вклад в формирование и становление современной инструментальной базы, конструирование и развитие теорий разработки инструмента внесли В.М. Бакуль, М.В. Новиков, Г.Г. Карюк, С.А. Клименко, И.А. Мальшко, Н.С. Равская, В.Л. Коротченко, В.Л. Солад и др. Проблема повышения точности обработки поверхностей освещается в трудах ряда ученых таких как: М.Я. Тальянкер, Ф.Я. Барабашев, Е.В. Шашков, В.К. Смирнов, А.С. Проников.

Целью данной работы является повышение производительности процесса обработки поверхностей на фрезерных станках с ЧПУ путем управления технологическим процессом формообразования через программно-математическое обеспечение.

Изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных научных результатов. Несмотря на большое разнообразие конструкций металлорежущих станков, основные направления развития их потребительских свойств обобщенное, независимо от типа оборудования и выпускаемой им продукции. Для анализа перспектив развития металлорежущих станков выделим следующие тенденции. Повышение производительности станка оценивается уменьшением калькуляционного времени изготовления конкретных изделий, достигается путем сокращения основного времени (повышение режимов резания: увеличение частот вращения шпинделей и скоростей движения подач) и вспомогательного времени (автоматизации установки заготовки и снятие детали за счет применения промышленных роботов и автооператор, повышение скорости холостых ходов, сокращение пути перемещения инструмента), уменьшение времени на переналадку оборудования (использование цифровой индикации и программного управления).

Проект схемы управления является предметом особых требований, предъявляемых к конкретной машине. Принцип управления рабочего стола фрезерных станков с ЧПУ разработанный нами похож на тот что используется в профессиональных машинах. Схема изображенная на рис. 1 предназначена для управления рабочим столом фрезерного станка с ЧПУ.

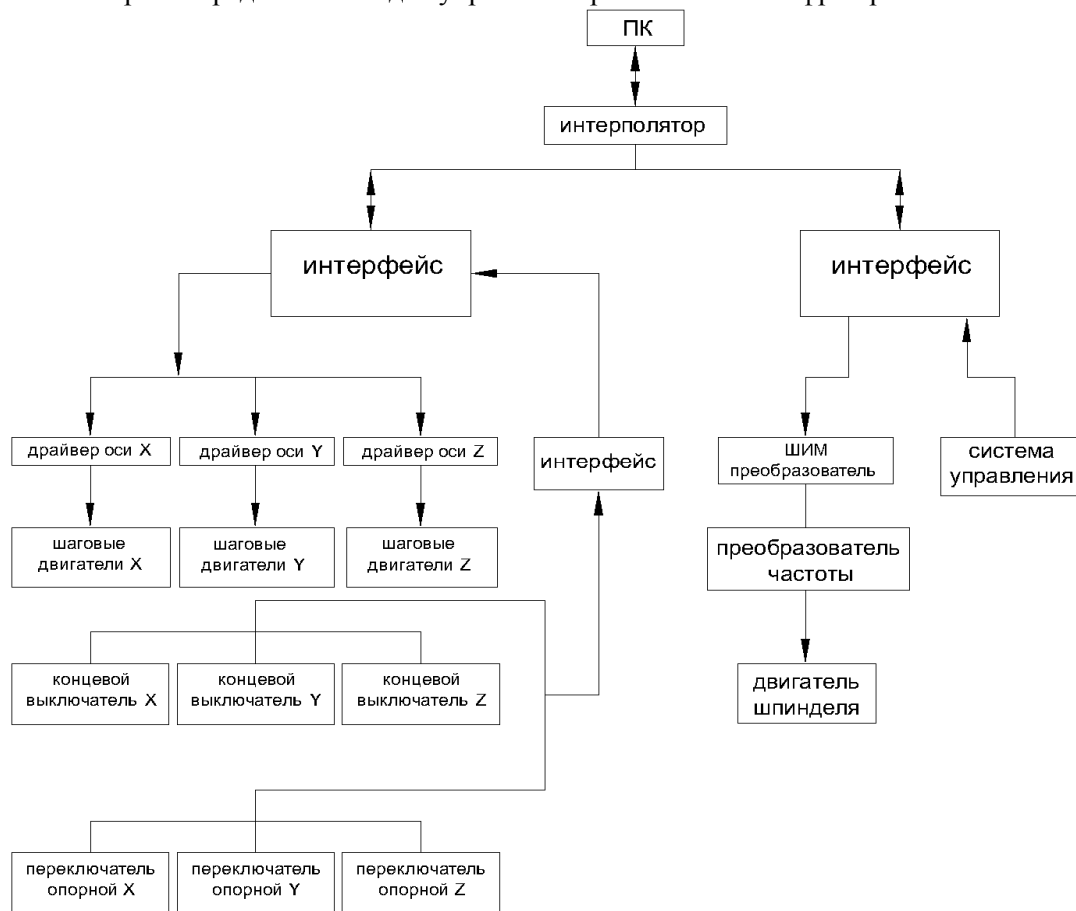


Рис. 1. Структурно-логическая схема процесса управления ЧПУ

Эта последовательность не является окончательной и может сопровождаться другими элементами, такими как измерение пути, датчика скорости вращения шпинделя, и т.д. Чтобы обеспечить подвижность всех осей фрезерного станка можно использовать двигатели или шаговые двигатели. Преимущество использования серводвигателей, что они работают в качестве обратной развязки системы. Сервоприводом является любой тип механического привода (устройства, рабочего органа), имеющий в составе датчик (положения, скорости, усилия и т. п.) и блок управления приводом (электронную схему или механическую систему тяг), автоматически поддерживающий необходимые параметры на датчике (и, соответственно, на устройстве) согласно заданному внешнему значению (положению ручки управления или численному значению от других систем).

Проще говоря, сервопривод является «автоматическим точным исполнителем» — получая на вход значение управляющего параметра (в режиме реального времени), он «своими силами» (основываясь на показаниях датчика) стремится создать и поддерживать это значение на выходе исполнительного элемента.

Выводы. С уверенностью можем подтвердить тот факт, что несмотря на значительные достижения в области изучения процесса обработки поверхностей на фрезерных станках с ЧПУ, этот процесс остается недостаточно изученным. Разработанные математические модели данного процесса, должны учитывать его стационарность и замкнутость. Известные алгоритмы расчета траектории движения инструмента, не учитывают процессы, которые протекают при фрезеровании.

Учитывание процесса резания, именно в результате которого образуется поверхность детали и его влияния на фактическую траекторию движения инструмента при проектировании управляющей программы позволит компенсировать погрешность, вызванную упругими деформациями и повысить производительность обработки. Также мы предлагаем использовать

широкие возможности повышения производительности и качества обработки за счет управления исходной инструментальной поверхностью, непосредственно в процессе обработки фрезерными станками с ЧПУ.

1. Mihalík, Ján – Zavacký, Jozef – Gladišová, Iveta: Signály a sústavy. Košice : TU-FEI, 2004. 241 s. ISBN 80-8073-138-1.
2. Cimbala, Roman - Balogh, Jozef - Džmura, Jaroslav: Diagnostika výkonových transformátorov s využitím prvkov umelej inteligencie 1. In: Elektrotechnický magazín ETM. roč. 14, č. 1 (2004), – S. 8-9.
3. Kovaľáková, Mária - Novák, Ladislav - Stančáková, Anna: Vplyv prímеси chrómu na proces hydrogenácie a dehydrogenácie FeB amorfných zliatin. In: 13. konferencia slovenských fyzikov : Zborník príspevkov. Košice : Slovenská fyzikálna spoločnosť, 2004. – S. 145-146.
4. STN ISO 690:1998 : Dokumentácia - Bibliografické odkazy – Obsah, forma a štruktúra.
5. Zákon č. 183/2000 Z.z. o knižniciach, o doplnení zákona Slovenskej národnej rady č. 27/1987 Zb. o štátnej pamiatkovej starostlivosti a o zmene a doplnení zákona č. 68/1997 Z.z. o Matici slovenskej.
6. Vyhláška č. 131/1997 Zb. Ministerstva školstva Slovenskej republiky zo 7. mája 1997 o doktorandskom štúdiu.
7. Lagoze, Cyril a kol. The Open Archives Initiative Protocol for Metadata Harvesting [online]. Protocol Version 2.0 of 2002-06-14. Document Version 2004/10/12T15:31:00Z 2004 [cit. 2004-11-10]. Dostupné na internete: <<http://www.openarchives.org/OAI/openarchivesprotocol.html>>.

Стаття надійшла до редакції 24.05.2013.

УДК 539.4

Ю.В. Корниенко**КОМПЬЮТЕРНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Представлена новая версия программы расчета конструкций численно-аналитическим методом граничных элементов – JUKOR2. Значительно расширены возможности программы, впервые разработан графический интерфейс. Использование Java делает программу доступной для использования в разных операционных системах.

Ключевые слова: численно-аналитический метод, граничные элементы, графический интерфейс, операционные системы.

Рис. 6. Табл. 2. Форм. 2. Лит. 7.

Ю.В. Корнієнко**КОМП'ЮТЕРНА РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ ЧИСЕЛЬНО-АНАЛІТИЧНОГО МЕТОДУ ГРАНИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

Представлена нова версія програми розрахунку конструкцій чисельно-аналітичним методом граничних елементів — JUKOR2. Значно розширені можливості програми, вперше розроблений графічний інтерфейс. Використання Java робить програму доступною для використання в різних операційних системах.

Ключові слова: Чисельно-аналітичний метод, граничні елементи, графічний інтерфейс, операційні системи.

Ju.V. Korniyenko**COMPUTER REALIZATION OF ALGORITHMS OF A NUMERICAL- ANALYTICAL METHOD OF BOUNDARY ELEMENTS**

The new version of the program of calculation of designs by a numerical- analytical method of boundary elements — JUKOR2 is introduced. Possibilities of the program are considerably expanded; the graphic interface for the first time is developed. Use of Java makes the program available for use in different operating systems.

Keywords : Numerical-analytic method; boundary elements; graphic interface; operating systems.

Реализация алгоритмов численно-аналитического метода граничных элементов (ЧА МГЭ) до недавнего времени осуществлялась по программам, написанным на языке среды MATLAB, причем каждая программа носила локальный характер, то есть предназначалась для решения конкретной задачи — расчета балки, рамы, арки и т.д. Отметим также, что построение матриц ЧА МГЭ для использования этих программ выполнялось «вручную», что является достаточно трудоемким процессом.

В связи с этим была поставлена цель: создать такую новую САПР, которая по возможностям расчетов и визуализации их результатов будет способна конкурировать с конечно-элементными пакетами и охватит все имеющиеся на сегодняшний день алгоритмы ЧА МГЭ [1].

Первая версия такой программы охватывала исключительно расчеты стержневых систем [2]. Программа была написана в среде Delphi и позволяла ввести данные, которые необходимы для расчета, в виде таблицы, а графический интерфейс не был разработан.

После обработки данных составлялась квадратная матрица фундаментальных ортонормированных функций $A(x)$ дифференциального уравнения задачи, вектор начальных параметров $X(0)$, вектор параметров напряженно-деформированного состояния стержня в точке x (вектор состояния стержня в точке x) $Y(x)$ и вектор элементов внешней нагрузки $B(x)$, необходимые для составления матричного уравнения ЧА МГЭ

$$\bar{Y}(x) = \bar{A}(x) \cdot \bar{X}(0) + \bar{B}(x). \quad (1)$$

Затем, в соответствии с алгоритмом метода, преобразовывались векторы $X(0)$ и $Y(x)$ в $X^*(0, x)$, выполнялись соответствующие изменения в матрице $A(x)$ и вычислялись неизвестные начальные и конечные граничные параметры всех стержней системы.

После завершения всех вычислительных операций программа выводила необходимые результаты в виде числовых значений, эпюр и (или) графиков, которые являлись, по сути, единственным атрибутом графического интерфейса первой версии программы.

Описанные возможности программы позволяли реализовать только алгоритмы статического расчета балок и рам на изгиб и динамического расчета на свободные колебания.

Помимо очевидного недостатка — реализована незначительная часть достаточно обширной базы полученных решений ЧА МГЭ [1] — первая версия программы, как и любая другая, написанная в среде разработки Delphi на языке Object Pascal, имеет и ряд других недостатков:

- такие программы можно использовать только под операционной средой Windows;

- возможности реализации разных задач намного меньше, чем в других объектно-ориентированных языках;
- затруднен процесс отладки программы;
- применение среды Delphi требует лицензию.

Поэтому нами была разработана вторая версия САПР на основе численно-аналитического метода граничных элементов, которая получила название JUKOR2.

Первым принципиальным отличием новой версии программы является ее перевод на более мощный язык программирования — Java [3]. Одно из главных преимуществ языка Java — его независимость от платформы, на которой выполняются программы. Таким образом, один и тот же код можно запускать под управлением разных операционных систем — Windows, Linux, FreeBSD, Solaris, Apple Mac и др. Это становится очень важным, когда программы загружаются посредством глобальной сети Интернет.

Второе важнейшее отличие JUKOR2 заключается в том, что программа получила собственный графический интерфейс. Стало возможным визуализировать исходные данные в виде расчетной схемы конструкции, отображаемой на мониторе компьютера. На рис. 1 показано окно программы с построенной моделью стержневой системы, в данном случае — балки.

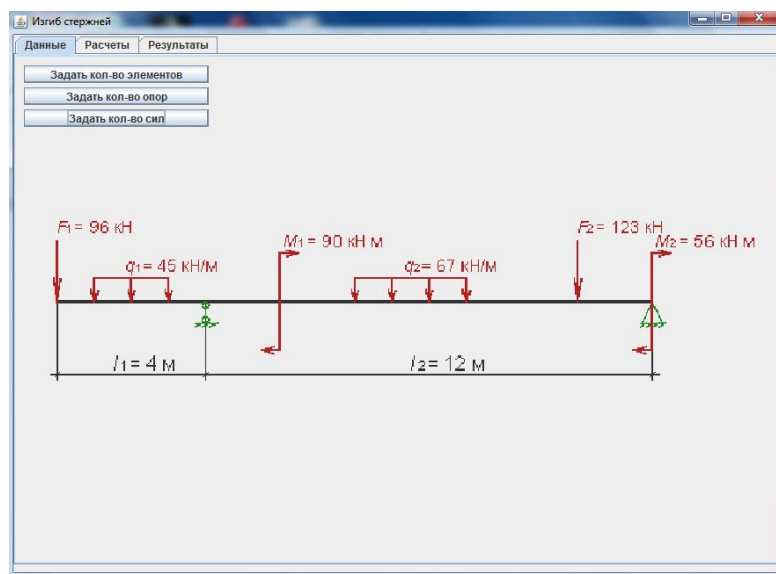


Рис. 1. Графика в программе JUKOR2

Поговорим о возможностях графики в Java. Последние несколько лет разработчики прилагали массу усилий, чтобы интегрировать графику и анимацию в свои апплеты и приложения Java. Однако первоначально включенные в Java графические пакеты AWT Java имели ограниченные средства для решения таких задач. Теперь же, используя интерфейсы прикладного программирования Java 2D и Java 3D, разработчики могут реализовывать гораздо более сложные графические приложения. Java позволяет визуализировать любые программы, что придает яркость и удобство для использования тех или иных программ. Позволяет создавать яркие и интересные Web-страницы, удобна при разработке баз данных, написании мобильных и компьютерных игр. Применительно к расчету пластин и оболочек разных видов (да и многих стержневых систем) необходима 3D графика. Программирование трехмерной графики на сегодняшний день является актуальной и разработчики языков программирования не могут оставить эту тему в стороне [4, 5].

В исходной версии пакета JDK 1.0 (Java Development Kit) механизм для рисования фигур выглядел очень просто. Можно было только выбирать необходимый цвет и режим рисования и вызывать методы класса Graphics, вроде `drawRect()` или `fillOval()`. API-интерфейс в Java 2D поддерживает гораздо больше возможностей. В частности он позволяет делать следующее:

- легко создавать множество различных фигур;
- управлять штрихом, то есть пером, прорисовывающим границы фигур;
- заливать фигуры любым сплошным цветом, используя различные оттенки и узоры;
- использовать трансформации для перемещения, масштабирования, поворачивания и растягивания фигур;
- отсекал фигуры так, чтобы они занимали только какую-то определенную область;

- выбирать правила композиции для описания того, как пиксели новой фигуры должны комбинироваться с пикселями уже существующей фигуры;
- задавать рекомендации по визуализации для достижения компромисса между скоростью загрузки и качеством рисования.

В системе пакетов и классов Java 2D, основа которой — класс Graphics2D пакета java.awt, имеется несколько принципиально новых положений.

Кроме координатной системы, принятой в классе Graphics и названной координатным пространством пользователя (User Space), введена еще система координат устройства вывода (Device Space): экрана монитора, принтера. Методы класса Graphics2D автоматически переводят систему координат пользователя в систему координат устройства при выводе графики.

Преобразование координат пользователя в координаты устройства можно задать "вручную", причем преобразованием способно служить любое аффинное преобразование плоскости, в частности, поворот на любой угол и/или сжатие/растяжение. Оно определяется как объект класса AffineTransform. Его можно установить как преобразование по умолчанию методом setTransform. Возможно выполнять преобразование "на лету" методами transform и translate и делать композицию преобразований методом concatenate.

Поскольку аффинное преобразование вещественно, координаты задаются вещественными, а не целыми числами.

Графические примитивы: прямоугольник, овал, дуга и др., реализуют теперь новый интерфейс shape пакета java.awt. Для их вычерчивания можно использовать новый единый для всех фигур метод draw, аргументом которого способен служить любой объект, реализовавший интерфейс shape. Введен метод fill, заполняющий фигуры — объекты класса, реализовавшего интерфейс shape.

Для вычерчивания (stroke) линий введено понятие пера (pen). Свойства пера описывает интерфейс stroke. Класс BasicStroke реализует этот интерфейс.

Методы заполнения фигур описаны в интерфейсе Paint. Три класса реализуют этот интерфейс. Класс color реализует его сплошной (solid) заливкой, класс GradientPaint — градиентным (gradient) заполнением, при котором цвет плавно меняется от одной заданной точки к другой заданной точке, класс Texturepaint — заполнением по предварительно заданному образцу (pattern fill).

Буквы текста понимаются как фигуры, т. е. объекты, реализующие интерфейс shape, и могут вычерчиваться методом draw с использованием всех возможностей этого метода. При их вычерчивании применяется перо, все методы заполнения и преобразования.

Кроме имени, стиля и размера, шрифт получил много дополнительных атрибутов, например, преобразование координат, подчеркивание или перечеркивание текста, вывод текста справа налево. Цвет текста и его фона являются теперь атрибутами самого текста, а не графического контекста. Можно задать разную ширину символов шрифта, надстрочные и подстрочные индексы. Атрибуты устанавливаются константами класса TextAttribute.

Процесс визуализации (rendering) регулируется правилами (hints), определенными Константами класса RenderingHints.

С такими возможностями Java 2D в новой версии нашей программы JUKOR2 стала полноценной системой рисования, вывода текста и изображений.

Java 2D способна отображать три типа встроенных графических объектов — они называются графическими примитивами — изображения, текст и геометрические фигуры. Имеется семь атрибутов состояния Graphics 2D, которые определяют, как воспроизводятся графические примитивы, — clipping (отсечение), compositing (наложение изображений), font (шрифт), paint (раскрашивание), rendering hints (правила отображения), stroke (отображение линий и контуров) и transforms (преобразования).

Графический контекст Java дает возможность рисовать на экране. Объект Graphics управляет графическим контекстом, задавая способ рисования. Объекты Graphics содержат методы для рисования, работы со шрифтами, цветом и т.п. Каждое приложение, которое выполняет рисование на экране, использует объект Graphics для управления графическим контекстом приложения.

Рисование выполняется различным образом для каждой платформы, поддерживающей Java, поэтому не может быть одного класса, который реализует возможности рисования для всех систем. Например, графические возможности, которые позволяют компьютеру, работающему под Microsoft Windows, рисовать прямоугольники, отличны от графических возможностей, которые

позволяють рисувати прямокутники под управлінням UNIX, и отличны от графических возможностей, позволяющих рисовать прямоугольники на Macintosh. Для каждой из платформ подкласс Graphics реализует все функциональные возможности рисования. Эта реализация скрыта классом Graphics, который предоставляет интерфейс, позволяющий писать программы, которые используют графику, без учета различий платформ.

Трёхмерная графика требует графических алгоритмов, использующих сложный математический аппарат. Java 3D предоставляет разработчикам надежные и развитые возможности для работы с трёхмерной графикой, в то же время оставляя за сценой математику, необходимую для реализации графических алгоритмов (рис. 2). Java 3D — это высокоуровневый API программирования трёхмерной графики. Java 3D управляет всеми необходимыми низкоуровневыми операциями для работы с графикой, поэтому существует возможность создавать сложные трёхмерные сцены, не задумываясь об используемом аппаратном обеспечении. Подобно Java, код Java 3D, будучи написанным, однажды, работает повсеместно. Приложения Java 3D будут работать аналогичным образом на различных графических платформах.

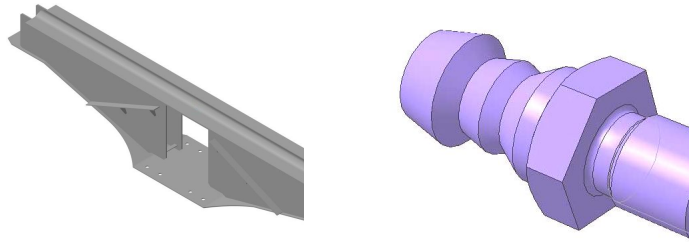


Рис. 2. Трёхмерные модели конструкций на основе Java 3D

Таким образом, разработанная нами новая версия программы существенно расширяет возможности реализации алгоритмов численно-аналитического метода граничных элементов, визуализации расчетных схем и результатов расчета, а использование Java делает программу доступной для использования в разных операционных системах.

1. Дашенко А.Ф. Численно-аналитический метод граничных элементов / А.Ф. Дашенко, Л.В. Коломиец, В.Ф. Оробей, Н.Г. Сурьянинов — Одесса: ВМВ, 2010. — В 2-х томах. — Т.1. — 416 с. — Т.2. — 512 с.
2. Сур'янінов М.Г., Корнієнко Ю.В. Програмна реалізація...
3. Арнолд К. Язык программирования Java / К. Арнолд, Дж. Гослинг, Д. Холмс — М., СПб., Киев: Вильямс, 2001. — 3-е изд. — 624 с.
4. Дейтел Х. М. Технологии программирования на Java (графика, JAVABEANS, интерфейс пользователя) / Х. М. Дейтел, П.Дж. Дейтел, С.И Сантри — М.: Бином-Пресс, 2003. — В 3-х томах. — Т.1. — 560 с.
5. Бишоп Д. Эффективная работа Java — СПб.: Питер; К.: Издательская группа BHV, 2002. — 592 с.

Стаття надійшла до редакції 24.09.2013.

УДК 693.1

М.О. Кочевих, Є.Ю. Смілянець, Д.С. Стригун
ПІДВИЩЕННЯ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ БЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ БРУКУВАННЯ

Розглянуто можливість отримання фігурних бетонних елементів брукування підвищеної міцності та тріщиностійкості шляхом модифікування складу пластифікованої бетонної суміші добавками мікрокремнезему та поліпропіленової фібри

Ключові слова: дорожній бетон, бетонний елемент брукування, метод вібролиття, суперпластифікатор, мікрокремнезем, поліпропіленова фібра, коефіцієнт тріщиностійкості.

Табл. 3. Літ. 10.

М.О. Кочевых, Е.Ю. Смилянец, Д.С. Стрыгун
ПОВЫШЕНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ БЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МОЩЕНИЯ

Рассмотрена возможность получения фигурных элементов мощения повышенной прочности и трещиностойкости путем модифицирования состава пластифицированной бетонной смеси добавками микрокремнезема и полипропиленовой фибры.

Ключевые слова: дорожный бетон, бетонный элемент мощения, метод вибролитья, суперпластификатор, микрокремнезем, полипропиленовая фибра, коэффициент трещиностойкости.

M.A. Kochevykh, E.U. Smilyanets, D.S. Stygun
CRACKING RESISTANCE INCREASING FOR PAVEMENT CONCRETE UNIT

Described of possibility how to increase pavement block of concrete elements, strength and crack resistance by modification of plasticized concrete mix additives microsilica and polypropylene fiber

Keywords: pavement concrete, pavement concrete unit (block), vibratory casting, superplasticizing admixture, microsilica, polypropylene fibre, cracking resistance coefficient.

Актуальність роботи зумовлена зростаючою потребою у сучасних якісних дорожніх матеріалах, які відрізняються різноманіттям форми та кольорів і тим самим підвищують архітектурну виразність сучасних міст з розвинутою інфраструктурою. Особливу увагу при цьому приділяють можливості отримання найбільш довговічних матеріалів, які здатні працювати в екстремальних умовах – при зміні вологості, перепадах температур, агресивному впливі солей, а також при дії статичного і динамічного навантаження на матеріал у відносно тонкому шарі [1]. Одним з шляхів отримання високоякісних цементних бетонів, які відрізняються широким спектром функціональних можливостей, є використання комплексних багатоконпонентних добавок різного функціонального призначення. Використання таких добавок дозволяє ефективно керувати процесами структуроутворення на всіх етапах отримання бетону і надавати бетонним виробам необхідні експлуатаційні властивості [2].

Тріщиноутворення у бетоні обумовлено комплексом причин, до яких відносять ударні, вібраційні та інші динамічні навантаження, невідосконалену технологію в частині підбору складів бетонних сумішей, режимів технологічних процесів їх підготовки та формування, а також теплової обробки виробів. Значну роль у підвищенні довговічності бетону відіграють деформації, що відбуваються при твердінні бетону, причому основна частка пов'язана з розтягувальними та згинаючими навантаженнями, внутрішніми напруженнями при циклічному заморожуванні та відтаванні, впливом зовнішнього середовища, корозійним процесами. Розвиток дефектів з часом істотно впливає на напружено-деформований стан виробу в конструкції дорожнього покриття [3, 4].

Використання в складних умовах експлуатації дорожніх покриттів на основі цементного бетону передбачає вдосконалення властивостей останнього за рахунок зменшення крихкості, підвищення його міцності при згині [2, 5]. Попередити причини тріщиноутворення у бетоні або знизити їх вплив на властивості виробів можливо за рахунок використання дисперсного армування, в тому числі введенням до складу поліпропіленової фібри певної довжини та діаметру та підвищення щільності додаванням до складу мікрокремнезему, який в свою чергу виконує функцію мікронаповнювача і сприяє утворенню підвищеної кількості гелеподібних новоутворень у складі матеріалу [6].

Дисперсне армування введенням фібри за рахунок її розташування в об'ємі матеріалу дозволяє в значному ступені компенсувати такий недолік бетону, як низька міцність при розтягу і крихкість руйнування. Фіробетон має значно більшу міцність на розтяг та зріз, ударну і втомну міцність, тріщиностійкість і в'язкість руйнування, а також морозостійкість та водонепроникність

[7]. Дисперсне армування шляхом введення мікрокремнезему дозволяє модифікувати бетон на двох рівнях: мікрорівні – рівні цементної матриці та макрорівні – рівні цементного бетону. Дворівневе дисперсне армування бетону розглядається як ефективний засіб підвищення міцності при стиску та розтягу, а також тріщиностійкості та ударної в'язкості [8]. Цей вид армування передбачає обов'язкове використання у складі бетонних сумішей суперпластифікаторів для регулювання таких від'ємних ознак матеріалів, отриманих за технологією вібролиття, як підвищений вміст води та цементу, що зумовлює зменшення з часом їх міцності, морозостійкості, тріщиностійкості, а тому й довговічності.

Для надання суперпластифікованим бетонним сумішам високих тиксотропних властивостей при низькому водозниженні намагаються отримати рідкотікучу реологічну матрицю, яка має різні масштабні рівні структурних елементів її складових. В бетонах, що містять щебінь, реологічною матрицею на рівні мезоструктури є цементно-піщаний розчин, який містить дрібний заповнювач (пісок), цемент, воду та мікрокремнезем, на рівні мікроструктури матрицею є цементно-водна паста, для збільшення тікучості якої збільшують кількість цементу. Цемент є нестабільною у воді колоїдною системою, яка утворюється на ранніх етапах гідратації і дуже швидко стає в'язкою. Введення до складу матриці цього рівню мікрокремнезему разом з суперпластифікатором надає можливість створювати тиксотропні системи з максимальним ущільненням структури майбутнього каменю при використанні мінімальної кількості води [5, 8].

Використання в складі таких комплексів суперпластифікаторів, які представлені новим поколінням акрилатів, дозволяє підвищити рухомість бетонної суміші від P1 до P3 (S1 – S3), що дає можливість застосовувати низько енергоємну (майже безвібраційну) технологію укладання бетонної суміші, знизити витрату води на 20%, а також скоротити витрату цементу на 15...25%. При цьому міцність бетону збільшується на 25...40%, підвищується його морозостійкість, водонепроникність, знижуються деформації усадки. Принцип роботи добавки (в кількості 0,2...0,6% від маси цементу) є комплексним. Завдяки поверхневій адсорбції і створення ефекту міжмолекулярного відштовхування цементних частинок і паралельно протіканню процесу гідратації досягаються наступні переваги: самоущільнення бетонної суміші, високі водоредукційні властивості (результатом є висока щільність та міцність бетону), підвищення ранньої міцності бетону, зменшення усадки, зменшення карбонізації бетону.

Використання комплексних добавок, які містять мікрокремнезем, сприяє отриманню однорідних бетонних сумішей, що мають низьку розшаровуваність, та бетонів з високою ранньою міцністю, водонепроникністю, корозійною стійкістю до дії сульфатної і хлоридної агресії. Вибір добавки обумовлюється не тільки основним ефектом її дії, але й конкретними умовами виробництва, а також використання бетонної суміші.

В даній роботі розглянуто можливість отримання вібролитих дорожніх бетонів, які характеризуються підвищеною тріщиностійкістю за рахунок використання комплексу добавок у вигляді мікрокремнезему, пропіленової фібри та суперпластифікатора. Основними вимогами до бетонних елементів брукування є класи за міцністю при стиску B25, B30, B35, при розтягу B_{tb} 3,2 до 4,4 МПа, морозостійкість не менше 200 циклів.

Вихідними матеріалами для отримання бетону є портландцемент нормованого складу ПЦ І-500Н, пісок кварцовий з модулем крупності $M_{кр}=1,25$, щебінь гранітний з максимальним розміром гранул 10 мм, гранітний пісок фракцій 2,5...5, 0,63...2 мм, для надання декоративних властивостей – залізооксидні пігменти різних кольорів Lanxess Bayferrox, для оптимізації властивостей бетону – суперпластифікатор Sika (SikaViscoCrete 5/600 N PL), мікрокремнезем марки МК-85, монофіламентна поліпропіленова фібра марки ВСМ довжиною 12 мм, діаметром 20 мкм.

Отримання бетонних сумішей рухомістю P1 для реалізації методу вібролиття виробів об'ємного забарвлення для забезпеченням технічних вимог досягається використанням наступного базового складу цемент : пісок гранітний фракції 0,63...2, 5 мм, та 2,5...5 мм, а також щебінь фракції 5...10 мм 1:1,35:1,35:1,25 відповідно при В/Ц=0,5. Використання суперпластифікатора Sika ViscoCrete-5-600 забезпечує можливість тривалого зберігання бетонними сумішами вихідної консистенції (приблизно в 2...5 разів довше, ніж традиційного суперпластифікатора на основі лігносульфонатів) внаслідок здійснення принципово іншого механізму пластифікації [9]. При цьому істотно зменшується водоцементне відношення, що впливатиме на підвищення довговічності готового продукту та сприяє підвищенню початкової міцності бетону (табл. 1).

Слід також відмітити можливість отримання бетону достатньої міцності без використання ТВО. Перевагами застосування цієї добавки є можливість усунення витрат на пропарювання

бетону і тим самим покращення його властивостей (відомо, що термообробка бетону може пошкодити його мікроструктуру і зменшити його кінцеву міцність). Також технологічні властивості добавки дозволяють отримати бетонну суміш, здатну до самоущільнення або зменшити час віброукладання.

Таким чином, використання суперпластифікатора Sika ViscoCrete-5-600 в кількості 0,4...0,6% від маси цементу в складі бетонної суміші для отримання бетону методом вібролиття дозволяє підвищити міцність через 14 годин твердіння в 3...4 рази, а на 28 добу – на 34...43 % відповідно.

Одним з видів таких наповнювачів є мікрокремнезем, який утворюється у процесі осідання пилу в електрофільтрах при виробництві кристалічного силіцію. Частинки мікрокремнезему в 100 разів дрібніше зерен цементу (менше 0,2 мкм), містять більше 90% SiO₂ (насіпна густина становить від 150 до 400 кг/м³, питома поверхня – від 1000 до 13000 кг/м³ і вище). Використання добавки мікрокремнезему в кількості від 10 до 30% від маси цементу збільшує водопотребу в'язучої речовини від 25 до 29%. При цьому для бетонної суміші з однаковою пластичністю (OK=const) витрата цементу скорочується до 30%. Добавка мікрокремнезему позитивно впливає на зростання міцності бетону в часі як при твердінні при T=20°C, так й після ТВО при T=60°C. Спостерігається зростання міцності бетону з добавкою (при підвищенні її кількості від 10 до 30%) на 28 добу в порівнянні з бездобавочним аналогом на 14...43% відповідно.

Таблиця 1. Властивості дорожнього бетону з добавкою суперпластифікатора

Показник	Кількість добавки, % від маси цементу		
	0,2	0,4	0,6
Водоцементе відношення	0,46	0,40	0,36
Зниження кількості води, %	-	30	37
Міцність при стиску, МПа при через 14 годин через 1 добу через 7 діб через 28 діб	1,0	4,5	6
	4,8	12	15
	15	30	34
	47	52	61
Міцність при стиску, МПа, після ТВО	32	38	46

Вплив добавки мікрокремнезему на тріщиностійкість бетону у віці 28 діб наведений в табл.2. Додавання добавки в кількості 15% від маси цементу підвищує тріщиностійкість бетону на 28 добу в 1,5 рази.

Умовну оцінку тріщиностійкості можна проводити визначенням коефіцієнта тріщиностійкості $K_{тр}$ за формулою (1) [10]

$$K_{тр} = R_{зг} / R_{ст}, \quad (1)$$

де $R_{зг}$ – міцність при згині, МПа; $R_{ст}$ – міцність при стиску, МПа.

Таблиця 2. Вплив добавки мікрокремнезему на міцність та тріщиностійкість бетону

№ складів	Кількість добавки МК, % від цементу	Міцність, МПа		Коефіцієнт тріщиностійкості
		при згині	при стиску	
1	0	4,8	38,9	0,122
2	5	6,5	39,4	0,165
3	10	8,6	46,7	0,190
4	15	13,5	58,0	0,230

З урахуванням особливостей введення добавки до складу бетонних сумішей, її вартості доцільним є введення добавки мікрокремнезему до складу бетону в кількості до 10%, що дозволяє збільшити міцність при стиску на 20%, при згині – в 2 рази, коефіцієнт тріщиностійкості – в 1,5 рази, а також підвищити щільність, водонепроникність, а тому й корозійну стійкість та довговічність каменю.

Одним із напрямків підвищення довговічності бетонів є додавання до їхнього складу армувального компоненту у вигляді монофіламентної поліпропіленової фібри, що виготовлена з

термопластичного полімеру $[-CH_2-CH(CN)]_n$ і покрита адгезійним складом для рівномірного розташування і зчеплення з цементним каменем. Поліпропіленові волокна характеризуються високою питомою поверхнею, є інертними до середовища бетону, а також зменшують появлення води на поверхню бетону, вони поліпшують властивості бетонної суміші, а також зменшують тріщиноутворення бетону на різних етапах його твердіння. Поверхнева обробка волокон сприяє рівномірному розподілу їх в об'ємі суміші навіть у звичайних бетонозмішувачах. Відомо, що тріщини у бетоні формуються протягом першого етапу усадки (в пластичному стані) – в перші 24 години після укладання бетону [7].

Введення фібри до складу бетонної суміші дозволяє створити пружної просторової багатомірної хаотичної сітки з волокон, що сприяє зниженню усадочного тріщиноутворення, а також внутрішніх напружень, що виникають в композиції при твердінні бетону.

В таблиці 3 наведено вплив поліпропіленової фібри на міцність при згині і стиску бетону протягом 1...28 діб твердіння.

Таблиця 3. Вплив добавки поліпропіленових волокон на механічні характеристики бетону

Час твердіння бетону, діб	Міцність бетону, МПа		Коефіцієнт тріщиностійкості
	При стиску	При згині	
2	11,0*	4,8	0,39
	9,0	1,5	0,17
7	25,0	7,9	0,30
	20,0	2,8	0,14
28	56,0	13,7	0,24
	47,0	4,8	0,10

Примітка*. Над рисою наведено показники для бетону з добавкою, під чертою – без добавки.

Додавання поліпропіленових волокон до складу бетону сприяє підвищенню його міцності при стиску протягом 3...28 діб твердіння приблизно у 1,2...1,3 рази, при згині – в 1,6...2 рази, при цьому також зростає коефіцієнт тріщиностійкості.

Висновки. Підвищення міцності та тріщиностійкості дорожніх бетонних елементів при застосуванні технології вібролиття може бути досягнуто за рахунок використання комплексної добавки, що складається з суперпластифікатора на основі полікарбоксилатів, мікрокремнезему та поліпропіленової фібри. Використання суперпластифікатора дозволяє досягти значного водоредукційного ефекту, що сприяє підвищенню міцності через 14 годин твердіння в 3...4 рази, а на 28 добу – на 34...43%, дає можливість відмовитись від ТВО, від процесу механічного віброущільнення бетонної суміші з одного боку, а також сприяє підвищенню щільності бетону та зменшенню усадки, а тому й тріщиноутворення бетону. Введення добавки мікрокремнезему (разом із суперпластифікатором) до складу бетону в кількості 10% (з урахуванням її вартості і особливостей введення) дозволяє збільшити міцність при стиску 20...49%, при згині – в 2...2,8 рази, коефіцієнт тріщиностійкості – в 1,5 рази, а також підвищити щільність, водонепроникність, а також й корозійну стійкість та довговічність каменю. Додавання до складу бетону поліпропіленової фібри сприяє підвищенню міцності при згині в 1,6...2 рази і зростанню коефіцієнта тріщиностійкості, а також підвищенню стійкості бетонної суміші до водовідділення, зменшенню розтріскування бетону при пластичній усадці, підвищенню його морозостійкості, опору ударним навантаженням, а також стійкості до стирання.

1. Грушко И.М, Борщ И.М. и др. Дорожно-строительные материалы. М.: Транспорт, 1991. – 357 с.
2. Рамачандран В.С. и др. Добавки в бетон. Справочное пособие. – М.: Стройиздат, 1988. – 575 с.
3. Эббори Т. Научные основы прочности и разрушения материалов. К.: Наукова думка, 1978. – 120 с.
4. Куппер Д., Пигготт М., Растрескивание и разрушение композитов в кн. «Механика разрушения» №17. М.: Мир, 1979. – С. 135-148.
5. Соломатов В.И. Интенсивная технология бетонов. – М.: Стройиздат, 1988. – 312 с.
6. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. – М.: 1998. – 768 с.
7. Пуханенко Ю.В. Принципы формирования структуры и прогнозирование прочности фибробетонов /Строительные материалы. – 2004, №10. – С. 5-8.
8. Паркер Д. Дж. Бетон с содержанием микрокремнезема / С. S., Current Practice Sheet, №104, 1985 – С. 2-4.
9. Справочник по бетонам Sika /Т. Хирши, М. Ланц, Й. Шлумпф и др. / пер.под ред. А.Г. Синякина. 1985 – С. 26-28.
10. Копаница Н.О., Аниканова Л.А. Тонкодисперсные добавки для наполненных вяжущих на основе цемента /Строительные материалы, №9, 2002. – С. 2-3.

Стаття надійшла до редакції 26.09.2013.

УДК 681.5

Л.В. Кравцова, А.П. Пирог, А.В. Букетов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СТАТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Данная работа является логическим продолжением исследований зависимости деформации образца эпоксидного композитного материала от продолжительности воздействия статической нагрузки. В работе предложен метод определения вероятности восстановления образца после снятия статической нагрузки, а также вероятности разрушения образца при достижении критического состояния пластичной деформации. Полученные результаты позволяют прогнозировать изменение свойств полимерных композитных материалов под воздействием статической нагрузки, и таким образом предотвратить разрушение.

Ключевые слова: деформация, эпоксидный композитный материал, статическая нагрузка.

Рис. 5. Табл. 5. Лит. 5.

Л.В. Кравцова, А.П. Пирог, А.В. Букетов

ВИЗНАЧЕННЯ ЙМОВІРНОСТЕЙ ВІДНОВЛЕННЯ ТА РУЙНУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ ПІД ДІЄЮ СТАТИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Дана робота є логічним продовженням досліджень залежності деформації зразка епоксидного композитного матеріалу від тривалості впливу статичного навантаження. У роботі запропоновано метод визначення ймовірності відновлення зразка після зняття статичного навантаження, а також ймовірності руйнування зразка при досягненні критичного стану пластичної деформації. Отримані результати дозволяють прогнозувати зміну властивостей полімерних композитних матеріалів під дією статичного навантаження, і таким чином запобігти руйнуванню.

Ключові слова: деформація, епоксидний композитний матеріал, статичне навантаження.

L.V. Kravtsova, A.P. Pirog, A.V. Buketov

DETERMINING THE PROBABILITY OF RECOVERY AND THE DESTRUCTION OF POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS UNDER STATIC LOAD

This work is a logical continuation of research deformation dependence epoxy composite material on the duration of exposure to static load. This paper presents a method for determining the probability of recovery of the sample after removal of the static load, as well as the probability of failure of the specimen when the critical state of plastic deformation. The obtained results allow to predict changes in the properties of polymer composites upon exposure to static loads, and thus prevent degradation.

Keywords: deformation, epoxy composite material, static load.

Данная работа является логическим продолжением исследований зависимости деформации образца эпоксидного композитного материала от продолжительности воздействия статической нагрузки. В работе предложен метод определения вероятности восстановления образца после снятия статической нагрузки, а также вероятности разрушения образца при достижении критического состояния пластичной деформации. Полученные результаты позволяют прогнозировать изменение свойств полимерных композитных материалов под воздействием статической нагрузки, и таким образом предотвратить разрушение.

Постановка задачи. Композитные материалы находят широкое применение в инженерной практике, так как позволяют создавать конструкции с уникальными прочностными характеристиками, которых практически невозможно достичь использованием традиционных конструкционных материалов. Современные композитные материалы, помимо широкого спектра механических, физических и химических свойств, обладают способностью к специальному изменению этих свойств в зависимости от назначения конструкции. Решение этой задачи невозможно без комплексных теоретико-экспериментальных исследований, дающих достоверную картину состояния при предполагаемых эксплуатационных нагрузках [1]. Важным звеном в таких исследованиях является разработка математических моделей поведения полимерных композитных материалов (ПКМ) под воздействием нагрузок. Математическое моделирование свойств ПКМ является основой для изучения качества изготавливаемых конструкций и способствует как увеличению надежности, так и повышению их функциональности. При выборе компонентов композитов заданного функционального назначения целесообразно начинать с определения необходимых качественных характеристик [2]. При этом одним из важнейших свойств ПКМ является их способность восстанавливаться после снятия нагрузки.

Анализ последних исследований и публикаций. Исследование закономерностей процессов деформации и разрушения материалов, находящихся под действием постоянного напряжения, способствует наиболее достоверному прогнозированию деформационных процессов, происходящих в материалах, в том числе и ПКМ. Полная деформация исследуемого образца под воздействием внешних сил формируется за определенный промежуток времени. Следовательно, с течением времени меняются физико-механические характеристики, а значит, необходимо установить зависимость этих изменений от параметров процесса деформации [3]. При исследовании случайных дискретных процессов систему делят на серию последовательных состояний, которые характеризуют происходящие изменения. Случайный дискретный процесс, протекающий в системе S , характеризуется не только возможными состояниями, в которых система может пребывать случайным образом, но и теми моментами времени, в которые могут происходить ее переходы из состояния в состояние. Эти моменты времени могут быть заранее известны или случайны [4].

Цель работы – определение вероятностей восстановления образца эпоксидного композитного материала при снятии статической нагрузки, а также вероятности разрушения образца при достижении им критического состояния пластичной деформации.

Обсуждение результатов. Рассмотрим некоторую систему, которая определена совокупностью параметров и может изменять свое состояние в зависимости от воздействия внешних факторов. Если переходы системы из одного состояния в другое осуществляются непрерывно, мы имеем дело с непрерывным случайным процессом; в случае, когда переходы системы из одного состояния в другое осуществляются только в заранее определенные моменты времени $t_1, t_2, \dots, t_k, \dots$, случайный процесс, протекающий в системе, называется процессом с дискретным временем.

Заметим, что воздействие внешних факторов может быть не только случайным, но и детерминированным; возможна также суперпозиция детерминированных и случайных факторов.

Случайная последовательность называется марковской цепью, если для каждого шага вероятность перехода из любого состояния S_i в любое состояние S_j не зависит от того, когда и как система S оказалась в состоянии S_i .

Так как система S в любой момент t может пребывать только в одном из состояний S_1, \dots, S_n , то при каждом $k = 1, 2, \dots$ события $S_1(k), \dots, S_n(k)$ несовместны и образуют полную группу.

В процессе длительной эксплуатации материалы, из которых изготовлены конструкции, подвержены изменению прочностных и деформационных свойств, что является следствием проявления ползучести и релаксации материала.

Известно [3], что ползучесть материалов – это изменение с течением времени деформации твёрдого тела под воздействием постоянной нагрузки или механического напряжения; релаксация – уменьшение напряжений при постоянной деформации. Поскольку физико-механические характеристики исследуемого объекта во времени меняются, учет временных процессов, протекающих в элементах конструкций в период действия внешних сил имеет важное значение в плане совершенствования методов их расчета. Явление ползучести в принципе присуще всем материалам, но не все они обладают им в одинаковой мере.

Ползучесть описывается кривой *ползучести*, которая представляет собой зависимость деформации от времени при постоянных температуре и приложенной нагрузке (или напряжении) (рис. 1).

Её условно делят на три участка или стадии:

- AB – участок неустановившейся (или затухающей) *ползучести* (стадия I);
- BC – участок установившейся *ползучести* – деформации, идущей с постоянной скоростью (стадия II);
- CD – участок ускоренной *ползучести* (стадия III);
- ΔL_0 – деформация в момент приложения нагрузки (стадия IV);
- точка D – момент разрушения.

На предварительном этапе в результате эксперимента была получена зависимость абсолютной деформации от продолжительности воздействия статической нагрузки эпоксидного композита, содержащего 50 масс.ч. наполнителя (электрокорунд) на 100 масс.ч. эпоксидной смолы.

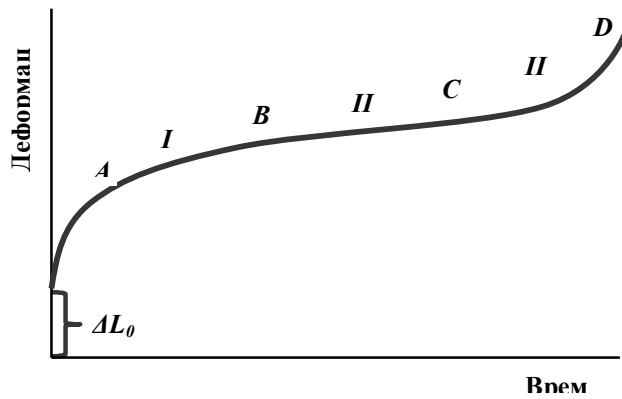


Рис. 1. Кривая ползучести [3]

Изменение абсолютной деформации (ΔL) под воздействием статической нагрузки эпоксидного композитного материала (ЭКМ) во времени (t) позволяет установить следующую серию состояний: S_0 – исходное состояние; S_1 – работоспособное состояние; S_2 – упругая деформация; S_3 – пластичная деформация; S_4 – разрушение (табл. 1).

Таблиця 1. Зависимость абсолютной деформации от времени воздействия нагрузки ЭКМ

Параметр	Состояния системы														
	S_0	S_1		S_2				S_3						S_4	
t , ч	0,01	2	4	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72
$\Delta L \times 10^{-4}$, м	68	71	74	76	79	80	81	83	84	84,6	85	86	87	88	90

Здесь ΔL – абсолютная деформация в каждый момент времени t .
Построим график деформации образца.

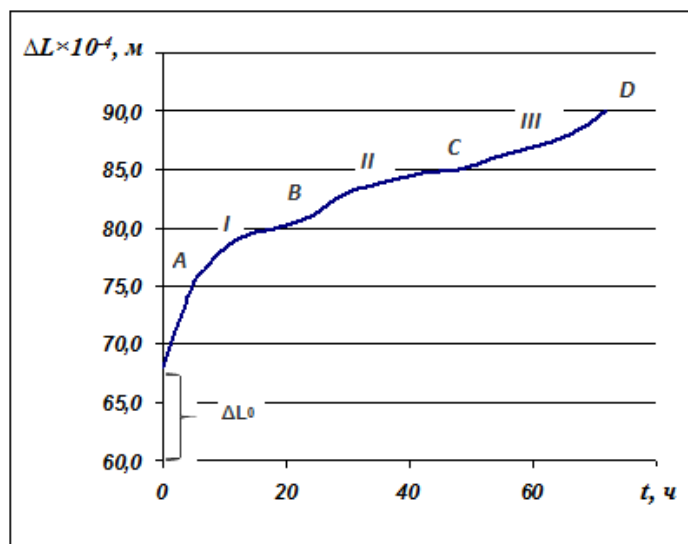


Рис. 2. Зависимость деформации образца от времени воздействия статической нагрузки [экспериментальные данные]

Очевидно, вид точечного графика (рис. 2), построенного по данным табл. 1, совпадает с классической кривой ползучести, приведенной на рис. 1. Учет фактора ползучести имеет существенное значение для правильной работы конструкций при действии внешних сил.

Для описания кривых ползучести наиболее часто используют наследственную теорию Больцмана-Вольтерры, уравнение которой имеет вид интегрального уравнения Вольтерры 2-го рода:

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma(t)}{E_0} + \int_{t_0}^t \frac{K(t-t_0)}{E_0} \sigma(t) dt,$$

где $\varepsilon(t)$ – деформация ползучести; $\sigma(t)$ – напряжение в момент наблюдения; E_0 – мгновенный модуль упругости; $K(t-t_0)$ – ядро интегрального уравнения ползучести.

Предположим, что в начальный момент времени деформация имеет значение ΔL_0 , равное упругой деформации или суммарной упругой и пластической деформации. Обычно считается, что время нагружения (или разгрузки) образца пренебрежимо мало по сравнению со временем проведения эксперимента, в связи с чем можно положить, что напряжение и деформация ΔL_0 появляются мгновенно.

С увеличением времени t наблюдается возрастание деформации. Если процесс сопровождается уменьшением скорости деформирования $\dot{\varepsilon}$ (точкой обозначена производная по времени t) и при $t \rightarrow \infty, \dot{\varepsilon} \rightarrow 0$, то эта стадия ползучести называется *установившейся*. Если деформация ползучести имеет тенденцию к беспредельному увеличению и в итоге сопровождается разрушением материалов конструкции, то эта стадия ползучести называется *неустановившейся*.

Полная деформация в произвольный момент времени определяется как сумма начальной деформации ΔL_0 и деформации ползучести ε_{II} , т.е. $\varepsilon = \Delta L_0 + \varepsilon_{II}$.

Заметим, что характер ползучести во времени очень чувствителен к интенсивности напряжений и температуры. Увеличение интенсивности напряжений или градиента температуры, как правило, приводит к возрастанию деформаций ползучести. Процесс ползучести завершается разрушением материала. Сопrotивление материала такому разрушению называется длительной прочностью.

Испытания на длительную прочность проводятся аналогично испытаниям образцов на ползучесть и на том же испытательном оборудовании. Отличие заключается в том, что при испытаниях на длительную прочность не существенно изменение деформации образца в процессе его нагружения постоянной нагрузкой, а фиксируют лишь время до его разрушения и деформацию при разрушении.

Процесс ползучести следует рассматривать как процесс накопления повреждений, приводящий к полному разрушению материала. За меру повреждения можно принять отношение $\varepsilon_i / \varepsilon_k$, где ε_i – накопленная деформация ползучести при заданном режиме нагружения и продолжительности эксплуатации, ε_k – деформация разрушения при заданном режиме нагружения. Тогда кривые ползучести фактически отражают условия накопления повреждений материала во времени.

По данным эксперимента, представляющим зависимость деформации образца композитного материала от времени воздействия установленной статической нагрузки ($F = 50 \text{ H}$), по приведенной формуле $\varepsilon_i / \varepsilon_k$ вычислим меру повреждения образца. Приращение деформации за время t с шагом $\Delta t = t_{i+1} - t_i$ вычисляли по формуле:

$$\Delta L^* = \Delta L_{i+1} - \Delta L_i$$

Таблица 2. Показатели меры повреждения образца под воздействием нагрузки ЭКМ

Характеристика	S0		S2					S3							S4
	S1	S1	S2	S2	S2	S2	S3	S3	S3	S3	S3	S3	S3		
$\Delta L \times 10^{-4}, \text{ м}$	68	71	74	76	79	80	81	83	84	84,6	85	86	87	88	90
$\Delta L^* \times 10^{-4}, \text{ м}$	0	3	3	2	3	1	1	2	1	0,6	0,4	1	1	1	2
$\varepsilon_i \times 10^{-4}, \text{ м}$	0	3	6	8	11	12	13	15	16	16,6	17	18	19	20	22
$t, \text{ ч}$	0,1	2	4	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72
$\varepsilon_i / \varepsilon_k$	0	0,14	0,27	0,36	0,5	0,55	0,59	0,68	0,73	0,75	0,77	0,82	0,86	0,91	1

Здесь ΔL – деформация образца; ΔL^* – абсолютная деформация; ε_i – накопленная деформация ползучести; t – время нагружения; $\varepsilon_i / \varepsilon_k$ – мера повреждения.

Результаты расчетной зависимости меры повреждения образцов от времени нагружения представлены на рис. 3.

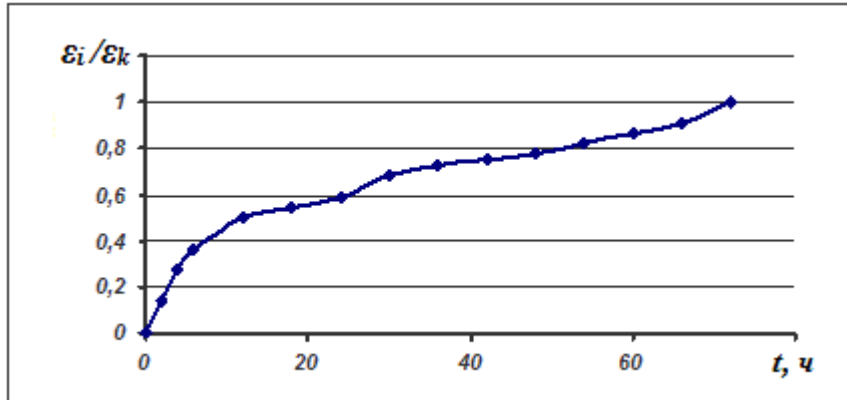


Рис. 3. Зависимость меры повреждения образцов от времени нагружения

По величине накопленной деформации определяли степень поврежденности и, следовательно, долю исчерпания заданного ресурса. Упругие деформации продолжают некоторое время возрастать после завершения нагружения. После разгрузки эта часть деформации исчезает не мгновенно, а постепенно, в течение некоторого времени. Упругие деформации обычно невелики и проявляются, если образец нагружен до предела пропорциональности и длительное время находится под этой нагрузкой.

Увеличение деформаций ползучести ε_{II} приводит к снижению упругой деформации, причем скорость снижения напряжений во времени зависит от скорости деформации ползучести:

$$\frac{d\Delta L_0}{dt} = \frac{d\sigma(t)}{Edt} + \dot{\varepsilon}_{II}(t) = 0 \quad \text{и} \quad \frac{d\sigma(t)}{dt} = -\dot{\varepsilon}_{II}(t) \cdot E$$

Здесь ΔL_0 – начальная деформация, ε_{II} – деформация ползучести, $\sigma(t)$ – напряжение, $\dot{\varepsilon}_{II}$ – скорость изменения деформации.

Полная деформация в произвольный момент времени определяется как сумма начальной деформации ΔL_0 и деформации ползучести ε_{II} , т.е. $\varepsilon = \Delta L_0 + \varepsilon_{II}$.

В общем случае, когда переменными являются как напряжение, так и деформация, соотношения между ними с учетом свойства наследственности и строения в рамках линейной теории записывается в виде:

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma(t)}{E(t)} + \int_{t_0}^t K(t, \tau) \sigma(\tau) d\tau,$$

где t – время определения деформации; t_0 – момент времени приложения нагрузки; τ – момент времени приращения нагрузки; функция $K(t, \tau)$ указывает на приращение деформации от напряжения σ_τ за время $d\tau$.

Если в некоторый момент времени $t_1 > 0$ производить разгрузку, то накопленная деформация ползучести начинает уменьшаться, асимптотически стремясь к некоторому пределу (рис. 4) [3]. Такое явление носит название *обратной ползучести*. Частным случаем обратной ползучести является рост необратимых и обратимых деформаций при постоянном напряжении. Это явление носит название – *последствие*.

Для условий эксплуатации изделий в течение длительного времени под постоянными нагрузками необходимо учитывать явление *упругого последствия*, которое заключается в том, что упругие деформации продолжают некоторое время возрастать после завершения нагружения. Восстановление образца при снятии нагрузки является важной практической задачей.

Поставим задачу: найти вероятность восстановления образца при снятии нагрузки, а также вероятность разрушения образца в случае достижения им состояния пластической деформации.

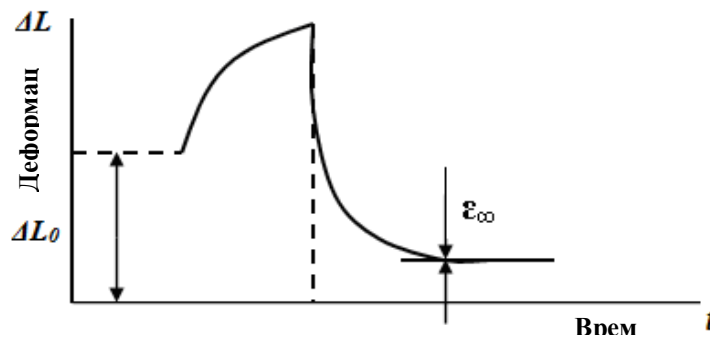


Рис. 4. Восстановление образца при снятии нагрузки [3]

В работе [5] на основе результатов эксперимента (деформация образца ПКМ под действием статической нагрузки) установлены состояния системы, которые приведены в виде графа состояний случайного дискретного процесса (рис. 5), а так же методами, используемыми в теории марковских процессов, получена зависимость абсолютной деформации образца эпоксидного композитного материала от продолжительности воздействия статической нагрузки и вычислены вероятности пребывания системы в различных состояниях.

Поставим следующую задачу: вычислить вероятности перехода, т.е. вероятности возврата в предыдущее состояние после снятия нагрузки с образцов.

Рассмотрим три смежных состояния системы:

S_0 – исходное состояние;

S_1 – работоспособное состояние;

S_2 – упругая деформация.

По данным таблицы вычислим абсолютную деформацию, возникшую в результате воздействия статической нагрузки ($F = 50$ Н) в композитах, содержащих 50 мас.ч. наполнителя на 100 мас.ч. эпоксидной смолы, а также относительную деформацию по смежным состояниям системы, рассчитанную следующим образом. За период от 0 до 24 ч деформация изменилась от $L = 68 \times 10^{-4}$ м до $L = 81 \times 10^{-4}$ м, т.е. абсолютная деформация составила $\Delta L = 13 \times 10^{-4}$ м. Вычислим абсолютную деформацию за каждый период времени измерения, после чего находим отношение абсолютной деформации за каждый период к деформации за весь период.

Таблица 3. Расчет относительной деформации ПКМ под воздействием нагрузки

Характеристика	S_0		S_1		S_2				Σ
	68	71	74	76	79	80	81		
$\Delta L \times 10^{-4}, м$	68	71	74	76	79	80	81		
$\Delta L^* \times 10^{-4}, м$	0	3	3	2	3	1	1		13
$\Delta L_i^* / \Sigma \Delta L^*$	0	0,2308	0,23077	0,15385	0,2308	0,07692	0,07692		1

Очевидно, чем дольше воздействие нагрузки, тем меньше вероятность восстановления. Используем известную формулу теории вероятностей: $p + q = 1$, где p – вероятность того, что событие произойдет; q – вероятность того, что событие не произойдет; сумма этих событий является достоверным событием, вероятность которого равна 1; тогда $q = 1 - p$.

Далее будем считать, что p – вероятность того, что система пребывает в текущем состоянии, тогда q – вероятность того, что система покинет это состояние при снятии нагрузки.

По формуле $q = 1 - p$ вычислим вероятности возврата из состояния S_1 в состояние S_0 : после трех часов воздействия $q = 0,7692$, после шести – $q = 0,5385$. Поскольку наблюдается марковский процесс, из состояния S_2 – упругая деформация можно вернуться в S_1 – работоспособное состояние с вероятностями:

- из S_{21} в S_1 : $q_{21} = 0,7143$;

- из S_{22} в S_1 : $q_{22} = 0,2857$;

- из S_{23} в S_1 : $q_{23} = 0,1429$.

Вероятность возврата из состояния S_{24} (пограничное состояние между упругой и пластичной деформацией) в состояние S_1 практически равна нулю.

Граф состояний системы можно представить в следующем виде (рис. 5).

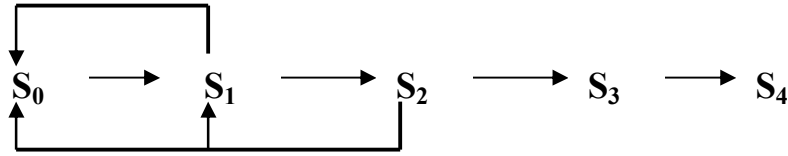


Рис. 5. Граф состояний системы

Тогда по физическому смыслу процесса возврат из состояния S_3 (пластичная деформация) в состояние S_2 (упругая деформация) невозможен. Также невозможен переход из состояния S_4 (разрушение) в состояние S_3 (пластичная деформация). Поэтому вероятности этих переходов равны нулю.

Однако, граф состояний системы предполагает возможность возврата системы из состояния S_2 в исходное состояние S_0 (восстановление). Используя результаты вычисления относительной деформации по состояниям возможных переходов, получим:

- после $t = 8$ ч воздействия нагрузки вероятность возврата из состояния S_{21} в состояние S_0 : $q = 0,3846$;
- после $t = 11$ ч воздействия нагрузки вероятность возврата из состояния S_{22} в состояние S_0 : $q = 0,1539$;
- после $t = 12$ ч воздействия нагрузки вероятность возврата из состояния S_{23} в состояние S_0 : $q = 0,0769$.

Окончательно матрица переходных состояний будет иметь следующий вид (табл. 4).

Таблица 4. Матрица переходных состояний восстановления образца

Состояния	S_0	S_{11}	S_{12}	S_{21}	S_{22}	S_{23}	Вероятности
S_0	0	0,76923	0,53846	0,38462	0,1538	0,07692	вероятность восстановления из S_1 и S_2 в S_0
S_1	0	0	0	0,71429	0,2857	0,14286	вероятность восстановления из S_2 в S_1

Практически важным является вопрос о том, сколько шагов сможет пройти система до остановки процесса, то есть поглощения в том или ином состоянии.

Очевидно, согласно построенному графу состояний системы, состояние S_3 является невозвратным множеством, так как система может покинуть это множество, но не может в него вернуться; состояние S_4 является поглощающим множеством.

Таблица 5. Матрица переходных вероятностей из невозвратного множества в поглощающее

S_3							S_4	состояния
S_{31}	S_{32}	S_{33}	S_{34}	S_{35}	S_{36}	S_{37}	S_4	этапы состояний
83	84	84,6	85	86	87	88	90	деформация
30	36	42	48	54	60	66	72	время воздействия
2	1	0,6	0,4	1	1	1	2	абсолютная деформация за период
0,222	0,111	0,067	0,044	0,111	0,111	0,111	0,2222	относительная деформация
0,000	0,222	0,333	0,400	0,444	0,556	0,667	0	вероятность поглощения

Таким образом, получена возможность оценить вероятность разрушения образца под воздействием фиксированной нагрузки, и на основе этих результатов предотвратить разрушение.

Построим матрицу переходных вероятностей из невозвратного множества $S3$ в поглощающее множество $S4$. В таком случае возможно оценить вероятность разрушения материала после длительного (от 30 до 70 ч) воздействия нагрузки. Расчеты показали, что вероятность перехода системы в поглощающее состояние (из S_{32} в $S4$) после 36 ч воздействия нагрузки составляет $q = 0,22$; после 42 ч – $q = 0,34$; после 48 ч – $q = 0,4$; после 54 ч – $q = 0,44$; после 60 ч – $q = 0,56$; после 66 ч – $q = 0,67$. Результаты расчета вероятности поглощения для разных состояний системы приведены в табл. 5

Выводы. На предварительном этапе методами, используемыми в теории марковских процессов, получена зависимость абсолютной деформации образца эпоксидного композитного материала от продолжительности воздействия статической нагрузки. Установлены состояния системы, которые приведены в виде графа состояний случайного дискретного процесса, а также вероятности пребывания системы в различных состояниях. Данная работа является логическим продолжением исследований. В работе предложен метод определения вероятности восстановления образца после снятия статической нагрузки, а также вероятность разрушения образца при достижении критического состояния пластической деформации. Полученные результаты позволяют прогнозировать изменение свойств полимерных композитных материалов при воздействии статической нагрузки, и таким образом предотвратить разрушение.

1. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. Пособие / [М.Л. Кербер, В.М. Виноградов, Г.С. Головкин и др.; под ред. А.А. Берлина]. – СПб.: Профессия, 2008. – 560 с., ил.
2. Аскадский А.А. Компьютерное материаловедение полимеров. Т. 1. Атомно-молекулярный уровень / А.А. Аскадский, В.И. Кондращенко. – М.: Научный мир, 1999. – 544 с.
3. Макаров А.Г., Ростовцева Н.Г. Моделирование деформационных свойств полимерных материалов // Дизайн. Материалы. Технология, 2008, № 1 (4), – С. 140-145.
4. Букетов А.В. Ідентифікація і моделювання технологічних об'єктів та систем: Посібник / А.В. Букетов. - Тернопіль: СМП "Тайп", 2009. – 260 с.
5. Кравцова Л.В. Определение вероятностей напряженного состояния эпоксидных композитных материалов под воздействием статической нагрузки / Л.В. Кравцова, А.В. Букетов, А.П. Пирог // Искусственный интеллект – Донецк, 2013 – № 3 (61). – С. 355-363.

Стаття надійшла до редакції 04.09.2013.

УДК 66.084.6

Ф.М. Крисак
ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІКИ ТОНКИХ ВОДЯНИХ СТРУМЕНІВ
ВИСОКОГО ТИСКУ

Для миття рослинної сировини автором запропоновано застосовувати тонкі водяні струмені високого тиску, що забезпечує: ефективне миття гладкої поверхні та поверхонь мікрошорсткостей і тріщин; незначний розхід води; відсутність демпінгування.

Проведене теоретичне дослідження гідродинаміки тонких водяних струменів високого тиску, зокрема характер утворення і швидкодії струменів. Отримана залежність сили, з якою струмінь діє на поверхню сировини, дає можливість оцінювати ефективність процесу миття.

Ключові слова: тонкий водяний струмінь, динамічний напір, руйнівна сила.

Форм. 14. Літ. 4.

Ф.М. Крысак
ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИКИ ТОНКИХ ВОДЯНЫХ СТРУЙ ВЫСОКОГО
ДАВЛЕНИЯ

Для мойки растительного сырья автором предложено применять тонкие водяные струи высокого давления, которые обеспечивают: эффективную мойку гладкой поверхности и поверхностей микрошероховатостей и трещин; незначительный расход воды; отсутствие демпингирования.

Проведено теоретическое исследование гидродинамики тонкой водяной струи высокого давления, в частности характер образования и быстродействия струи. Полученная зависимость силы, с которой струя действует на поверхность сырья, дает возможность оценивать эффективность процесса мойки.

Ключевые слова: тонкий водяную струю, динамический напор, разрушительная сила.

F.M. Krysak
RESEARCH HYDRODYNAMICS OF THIN WATER JETS HIGH PRESSURE

The application of the thin water streams with the high pressure for the vegetative raw materials washing is proposed by the author, which guarantees the effective washing of smooth surfaces and surfaces with the micro roughness and crack; the insignificant water consumption; the absence of the dumping.

The theoretical research of the thin water streams with the high pressure hydrodynamics in particular the character of the stream formation and speed is conducted. Also the power dependence according to which the stream affects the crop surface is determined, which permits to evaluate the effectiveness of the washing process.

Keywords: thin water strumin, dinamichny napir, ruynivna force.

Постановка проблеми: Під час миття рослинної сировини водяними струменями, які витікають із насадок з отворами 1,5 мм і більше, на поверхню сировини потрапляє значна кількість води, яка демпінгує новим порціям води, недостатньо вимиваються забруднення із мікрошорсткостей і тріщин, миття проходить із значними витратами води. Для усунення вищезгаданих недоліків автор пропонує здійснювати процес миття тонкими водяними струменями високого тиску, гідродинаміку яких необхідно дослідити.

Результати дослідження. Гідродинаміка тонкого водяного струменю високого тиску досліджувалась в роботах [1, 2, 3], проте відсутні дослідження використання цих струменів для миття рослинної сировини.

Прийmemo, що в тонкому струмені існують лише осьові швидкості, які є сталими в поперечному перерізі. Основним допущенням під час утворення струменю буде рівність швидкостей першого фронту і середнього перерізу: $v(x) = v(0,5x)$. Тут $x = x(t)$ – довжина струменю в момент t при його утворенні. Нехтуючи опором повітря на боковій поверхні струменю, визначаємо зовнішні сили на її торцях.

$F = ps$ – сила на початку струменю при $x=0$,

$R = -\frac{\rho_0 v^2(x)}{2} s$ – сила лобового опору повітря,

де p – тиск води в площині випускного отвору,

s – площа поперечного перерізу струменю,

ρ_0 – густина повітря,

$v(x)$ – швидкість фронту утворення струменю,

x – миттєва довжина утворюючого струменю.

Миттєва швидкість центру ваги води всередині струменю задовільняє рівнянню руху матеріальної точки з масою

$$m = \rho s x.$$

де ρ – густина води.

Запишемо рівняння руху центру маси струменю з врахуванням нестиснення води:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = F + R.$$

Після перетворень отримуємо:

$$\begin{aligned} \rho s x \frac{d^2 x}{dt^2} &= p s - \frac{\rho_0 s}{2} \left(\frac{dx}{dt}\right)^2, \\ x \frac{d^2 x}{dt^2} &= \frac{p}{\rho} - \frac{\rho_0}{2\rho} \left(\frac{dx}{dt}\right)^2, \\ x \frac{d^2 x}{dt^2} &= B - C \left(\frac{dx}{dt}\right)^2, \\ B &= \frac{p}{\rho}, \quad C = \frac{\rho_0}{2\rho}. \end{aligned} \tag{1}$$

Розв'язок нелінійного рівняння (1) будемо шукати у вигляді ряду [4]:

$$x(t) = \sum_{k=0}^{\infty} a_k t^k. \tag{2}$$

Запишемо похідні:

$$\frac{dx}{dt} = \sum_{k=0}^{\infty} b_k t^{k-1}, \tag{3}$$

де $b_0=0$, $b_k = k a_k$ ($k=1;2;\dots$),

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = \sum_{k=0}^{\infty} c_k t^{k-2}, \tag{4}$$

де $c_0=0$; $c_1=0$; $c_k = k(k-1) a_k$ ($k=2; 3; \dots$).

Підставимо (2) – (4) в (1) і отримаємо :

$$\left(\sum_{k=0}^{\infty} a_k t^k\right) \left(\sum_{k=0}^{\infty} c_k t^{k-2}\right) = B - C \left(\sum_{k=0}^{\infty} b_k t^{k-1}\right)^2. \tag{5}$$

Позначимо:

$$A_k = a_k t^k, B_k = b_k t^{k-1}, C_k = c_k t^{k-2},$$

та застосуємо правило Коші для рядів, що абсолютно сходяться:

$$\left(\sum_{k=0}^{\infty} A_k\right) \left(\sum_{k=0}^{\infty} B_k\right) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{k=0}^n A_k B_{n-k}. \tag{6}$$

Тоді ліва частина (5) по формулі (6) прийме вигляд:

$$\left(\sum_{k=0}^{\infty} a_k t^k\right) \left(\sum_{k=0}^{\infty} c_k t^{k-2}\right) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{k=0}^n a_k t^k c_{n-k} t^{n-k-2} = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{k=0}^n a_k c_{n-k} t^{n-2}.$$

Останній вираз запишемо детально:

$$\begin{aligned} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{k=0}^n a_k c_{n-k} t^{n-2} &= a_0 c_2 + a_1 c_1 + a_2 c_0 + (a_0 c_3 + a_1 c_2 + a_2 c_1 + a_3 c_0)t + (a_0 c_4 + a_1 c_3 + a_2 c_2 + \\ &+ a_3 c_1 + a_4 c_0)t^2 + \\ &\dots \\ &+ (a_0 c_n + a_1 c_{n-1} + \dots + a_k c_{n-k} + \dots + a_{n-1} c_1 + a_n c_0)t^{n-2} \end{aligned} \tag{7}$$

Квадрат суми в правій частині (5) по формулі(6) приймає вигляд:

$$\left(\sum_{k=0}^{\infty} b_k t^{k-1}\right)^2 = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{k=0}^n b_n t^{n-1} b_{n-k} t^{n-k-1} = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{k=0}^n b_n b_{n-k} t^{2n-k-2}.$$

Останній вираз запишемо детально:

$$\begin{aligned} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{k=0}^n b_n b_{n-k} t^{2n-k-2} &= b_1^2 + b_2^2 t^2 + b_2 b_1 t + b_2 b_0 + b_3^2 t^4 + b_3 b_2 t^3 + b_3 b_1 t^2 + \\ &+ b_3 b_0 t + b_4^2 t^6 + b_4 b_3 t^5 + b_4 b_2 t^4 + b_4 b_1 t^3 + b_4 b_0 t^2 + b_5^2 t^8 + b_5 b_4 t^7 + \\ &+ b_5 b_3 t^6 + b_5 b_2 t^5 + b_5 b_1 t^4 + b_5 b_0 t^3 + \dots t^{2n} + \dots = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= b_1^2 + b_2 b_0 + (b_2 b_1 + b_3 b_0) t + (b_2^2 + b_3 b_1 + b_4 b_0) t^2 + \\ &+ (b_3 b_2 + b_4 b_1 + b_5 b_0) t^3 + (b_3^2 + b_4 b_2 + b_5 b_1 + b_6 b_0) t^4 + \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} &+ (b_{2n-1} b_{2n-2} + b_{2n} b_{2n-3} + b_{2n+1} b_{2n-4} + \dots + b_{4n-4} b_1 + b_{4n-3} b_0) t^{2n-1} + \\ &+ (b_{2n-1}^2 + b_{2n} b_{2n-2} + b_{2n+1} b_{2n-3} + \dots + b_{4n-3} b_1 + b_{4n-2} b_0) t^{2n} + \end{aligned}$$

Підставляючи (7) – (8) в (5) та порівнюючи коефіцієнти при однакових показниках степені t , отримуємо систему рівнянь:

$$\begin{aligned} a_0 c_2 + a_1 c_1 + a_2 c_0 &= B - C(b_1^2 + b_2 b_0); \\ a_0 c_3 + a_1 c_2 + a_2 c_1 + a_3 c_0 + C(b_2 b_1 + b_3 b_0) &= 0; \\ a_0 c_4 + a_1 c_3 + a_2 c_2 + a_3 c_1 + a_4 c_0 + C(b_2^2 + b_3 b_1 + b_4 b_0) &= 0; \\ a_0 c_5 + a_1 c_4 + a_2 c_3 + a_3 c_2 + a_4 c_1 + a_5 c_0 + C(b_3 b_2 + b_4 b_1 + b_5 b_0) &= 0; \\ a_0 c_6 + a_1 c_5 + a_2 c_4 + a_3 c_3 + a_4 c_2 + a_5 c_1 + a_6 c_0 + C(b_3^2 + b_4 b_2 + b_5 b_1 + b_6 b_0) &= 0; \end{aligned} \quad (9)$$

У відповідності з (3-4) маємо:

$$b_0=0; \quad b_1=a_1; \quad b_2=2a_2; \quad b_3=3a_3; \quad b_4=4a_4; \quad b_5=5a_5; \quad b_6=6a_6;$$

$$c_0=0; \quad c_1=0; \quad c_2=2a_2; \quad c_3=6a_3; \quad c_4=12a_4; \quad c_5=20a_5; \quad c_6=30a_6.$$

Ці рівняння перетворюють (9) до вигляду:

$$\begin{aligned} 2a_0 a_1 + C a_1^2 &= B; \\ 6a_0 a_3 + 2a_1 a_2 + 2C a_1 a_2 &= 0; \\ 12a_0 a_4 + 6a_1 a_3 + 2a_2^2 + C(4a_2^2 + 3a_1 a_3) &= 0; \\ 20a_0 a_5 + 12a_1 a_4 + 8a_2 a_3 + C(6a_2 a_3 + 4a_1 a_4) &= 0; \\ 30a_0 a_6 + 20a_1 a_5 + 12a_2 a_4 + 6a_3^2 + 2a_2 a_4 + C(9a_3^2 + 8a_2 a_4 + 5a_1 a_5) &= 0; \end{aligned} \quad (10)$$

З рівняння (2) витікає $a_0 = 0$ і система (10) приймає більш простий вигляд:

$$\begin{aligned} C a_1^2 &= B; \\ 2(1+C) a_1 a_2 &= 0; \\ 2(1+C) a_1 a_2 &= 0; \\ 4(C+3) a_1 a_4 + 2(3C+4) a_2 a_3 &= 0; \\ 5(C+4) a_1 a_5 + 2(4C+2) a_2 a_4 &= 0; \end{aligned} \quad (11)$$

З першого рівняння (11) знаходимо:

$$a_1 = \sqrt{\frac{B}{C}} = \sqrt{\frac{2p}{\rho_0}},$$

тому з другого рівняння(11) витікає:

$$a_2 = 0;$$

тоді з третього рівняння (11) отримаємо:

$$a_3 = 0;$$

тому з четвертого рівняння(11) витікає:

$$a_4 = 0;$$

аналогічно знаходимо:

$$a_5 = 0.$$

Отже, система (11) приймає вигляд:

$$a_1 = \sqrt{\frac{2p}{\rho_0}}, \quad a_2 = a_3 = a_4 = a_5 = \dots = 0.$$

Звідси з врахуванням (2) робимо висновки, що при утворенні тонкого струменю в початковий період його довжина росте по лінійному закону:

$$x(t) = \sqrt{\frac{2p}{\rho_0}} t. \quad (12)$$

Простою підстановкою впевнюємось, що (12) є розв'язком (1). Формула (11) дозволяє сформулювати робочу гіпотезу:

На відстані $\sqrt{\frac{2p}{\rho_0}} t$ від сопла динамічний напір тонкого струменю дорівнює:

$$\frac{\rho v^2}{2} = \frac{p\rho}{\rho_0}. \quad (13)$$

Ця рівність витікає із (12), так як

$$v = \frac{dx}{dt} = \sqrt{\frac{2p}{\rho_0}}.$$

Сила, з якою тонкий струмінь тисне на поверхню коренеплоду, дорівнює:

$$F = \frac{\rho p S}{\rho_0}. \quad (14)$$

Значення F може бути оцінкою ефективності тонкого струменю так як, чим більша F , тим більша сила руйнування поверхні забруднень.

Висновок. В результаті допущень і математичних перетворень отримали, що при утворенні тонкого струменю в початковий період його довжина росте по лінійному закону. Отримана формула сили тонкого струменю, з якою він тисне на поверхню сировини, дає можливість оцінювати його ефективність в процесі миття.

1. Гордиенко А.В. Влияние гидравлических параметров высокоскоростной струи на эффективность водорезания пищевых продуктов / А.В.Гордиенко, А.В. Погребняк // Перспективы пищевых технологий. – 2009. –Вып.20. – С. 148-153.
2. Бафталовский В.Е. О пороговых значениях скорости истечения водяных струй в автомобильном режиме / В.Е. Бафталовский // Науч. тр. – 1982. –Вып. 207. – С. 84-92.
3. Повх И.Л. Техническая гидромеханика/ И.Л.Повх. – 2-е изд. доп. – Л.: Машиностроение, 1976 – 504 с.
4. Справочник по теории вероятности и математической статистике. / В.С. Королюк, Н.И. Горбенко, А.В. Турбин. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1980. – 640 с.

Стаття надійшла до редакції 24.04.2013.

УДК 621.762

А.В. Кузьмов, М.Б. Штерн
КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИНИКНЕННЯ РОЗШАРУВАЛЬНИХ СМУГ ПРИ
ОБРОБЦІ ТИСКОМ ПОРИСТИХ МАТЕРІАЛІВ

Запропоновано нові методи опису розвитку пор та тріщиноподібних дефектів в технологіях деформування.. На засадах критерію стійкості пластичної течії досліджується питання існування смуг зсуву в матеріалах вищенаведеного типу. Встановлюється діапазон траєкторій навантаження і деформування, за яких можливий даний феномен. Виникнення ефектів локалізації деформацій пов'язується з в'язким руйнуванням. Критерій в'язкого руйнування формулюється на якісному рівні і є чутливим до початкової пористості, характеристик адгезії та дилатансії. На його основі дається пояснення феномену виникнення розширвальних щілин при пресуванні порошкових заготовок..

Ключові слова: пластичність стислих матеріалів, локалізація деформацій, руйнування порошкових заготовок.
Рис. 5. Форм. 7. Літ. 13.

А.В. Кузьмов, М.Б. Штерн
КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВОЗНИКНОВЕННЯ РАССЛОЙНЫХ ПОЛОС
ПРИ ОБРАБОТКЕ ДАВЛЕНИЕМ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Предложены методы описания развития пор и трещиноподобных дефектов в технологиях деформирования. На основе критерия устойчивости пластического течения исследуется вопрос о существовании полос сдвига в материалах рассматриваемого типа. Устанавливаются диапазон траекторий нагружения и деформирования, при которых данный феномен возможен. Проявление эффектов локализации деформаций связывается с вязким разрушением. Критерий вязкого разрушения формулируется на качественном уровне и является чувствительным к начальной пористости, характеристикам адгезии и дилатансии. На его основе дается объяснение феномену образования расслоенных трещин при прессовании порошковых заготовок.

Ключевые слова: пластичность сжимаемых материалов, локализация деформаций, разрушение порошковых заготовок

A.V. Kuzmov, M.B. Shtern
COMPUTER MODELING OF SHEAR BANDS INITIATION AT FORMING OF POROUS
MATERIALS

Methods for description of evolution of voids and crack like defects during the straining are suggested. By the use of stability criteria the problem of shear bands in damaged materials is studied. The range of straining/loading paths, compatible with shear bands is established. The ductility criteria is formulated in qualitative form. It is sensitive to initial porosity, adhesion and dilatancy. Using this criteria the phenomena of overconsolidated cracks in powder technologies.

Keywords: plasticity of compressible materials, strain localization, porous faulty materials, powder specimen destruction

Вступ. Використання складних траєкторій деформування при обробці матеріалів розглядається як перспективна технологія сучасного матеріалознавства, що допускає істотне поліпшення властивостей без зміни складу матеріалу. При цьому, однак, доводиться використовувати так звані "ризиковані" схеми деформування, при яких ризик вичерпання ресурсу пластичності або в'язкого руйнування різко зростає. До числа головних факторів, що обумовлюють зазначений ризик, в першу чергу слід віднести зародження і розвиток дефектів в ході деформування.

Поряд з добре відомими дефектами кристалічного походження, важливу роль у розвитку внутрішніх недосконалостей можуть грати фактори мезоскопічного характеру. В першу чергу до їх числа можуть бути віднесені пори, що виникли як в силу попередньої термомеханічної обробки [1], так і пов'язані з порошковим походженням деформівного матеріалу. Ще один фактор, що визначає еволюцію мезоструктури при деформації - наявність ізольованих включень, властивості яких відрізняються від властивостей основної фази. Внаслідок відмінності в механічній реакції включень і основної фази в ході деформування можуть формуватися лункоподібні або тріщиноподібні дефекти [2,3]. Недосконалості подібного типу характерні для композиційних матеріалів, у яких включення вводяться ззовні в ході отримання даного матеріалу, а також можуть виникати внаслідок фазових перетворень.

Розвиток перерахованих і інших типів дефектів при деформації може супроводжуватися їх зростанням, злиттям, утворенням внаслідок цього макродефектів, і, таким чином, вичерпанням ресурсу пластичності [4]. Тому вплив розвитку дефектів на руйнування в умовах пластичного деформування завжди знаходився у фокусі уваги відомих наукових шкіл [5]. При цьому спроби формулювати універсальний критерій вичерпання ресурсу пластичності робилися паралельно на двох масштабних рівнях: у масштабі окремих частинок, пор або мікротріщин, а також на рівні

зразка в цілому. У першому випадку емпіричні підходи використовувалися поряд з методами мікромеханіки і фізики полікрісталів. При формулюванні критерію в макроскопічній формі використовувалися підходи, аналогічні тим, що характерні для теорій міцності елементів конструкцій. У першому випадку критерій формулювався у найпростішій формі і виражав залежність між напруженням, необхідним для утворення дефекту і величинами факторів, які їх зумовлюють. Подібні залежності включали і механічні властивості елементів структури на мікроскопічному рівні. Критерії такого роду розраховані в першу чергу на опис фізичних аспектів в'язкого руйнування. Як правило, вони формулюються з використанням простих аналітичних виразів і не є чутливими до схеми макроскопічного напруженого стану і траєкторії деформування [6].

У даний час з розвитком засобів обчислювальної техніки з'явилася можливість знаючи механічні визначальні співвідношення для структурних фаз на мезорівні дослідити вплив неоднорідності структури на процес макроруйнування. Дана робота стосується дослідження макроруйнування шляхом утворення розшарувальних смуг для стисливого мікронеоднорідного матеріалу за наявності неоднорідності поля щільності на мезорівні. Ця ж проблема виникнення розшарувальних смуг для пористих і порошкових середовищ була раніше досліджена на основі загальних принципів континуальної механіки, без звернення до будь-якої інформації про структуру матеріалу. Завдяки розширеному тлумаченню постулату Дракера вдалося в простому аналітичному вигляді отримати співвідношення для кутів нахилу розшарувальних смуг, а умови їх існування непогано узгоджуються з картиною реального руйнування пресовок і пористих напівфабрикатів. Для кращого якісного розуміння проблеми розшарувальних тріщин і пов'язаних з нею математичних питань у даній статті спочатку коротко викладається аналітична теорія на основі розширеного тлумачення постулату Дракера, а потім наводяться результати чисельного моделювання пластичної течії на представницькій комірниці з локально збуреним полем щільності.

Необхідні умови виникнення і орієнтація смуг зсуву при плоскій течії. Визначення орієнтації смуги та умов її виникнення може базуватись на співвідношеннях, що випливають з існування стрибка вектора швидкості пластичної течії [7, 8, 9], до яких додається нерівність постулату Дракера

$$\dot{\sigma}_{ij} e_{ij} \geq 0 \quad (1)$$

перетворена в рівність. Зазначені три умови (у випадку плоского течії) утворюють систему лінійних однорідних рівнянь щодо похідних від компонентів тензора напружень за часом

$$\begin{aligned} \dot{\sigma}_x n_x + \tau_{xy} n_y &= 0; & \tau_{xy} n_x + \dot{\sigma}_y n_y &= 0; \\ \dot{\sigma}_x e_x + \dot{\sigma}_y e_y + 2\tau_{xy} \gamma_{xy} &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

де n_x і n_y - компоненти вектора нормалі до смуги зсуву (Рис. 1)

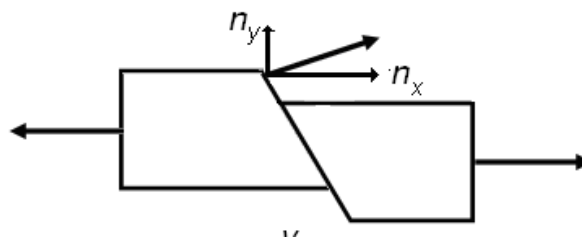


Рис. 1. До орієнтації смуги зсуву за одновісного розтягу

Умови існування смуги зсуву при цьому зводяться до умов існування нетривіальних розв'язків даної системи, для чого необхідна тотожність нулю її визначника.

$$2 n_x n_y \gamma_{xy} - n_x^2 e_y - n_y^2 e_x = 0 \quad (3)$$

Наведене рівняння дозволяє пов'язати орієнтацію смуги зсуву (відношення складових вектора нормалі до неї) зі співвідношеннями між компонентами тензора швидкостей деформацій та напрямками головних подовжень.

$$\frac{n_y}{n_x} = \frac{\sin \Omega \pm \sqrt{1-S^2}}{S - \cos \Omega} \quad (4)$$

де Ω – кут нахилу одного з головних подовжень до вісі x ,

$$S = \frac{e_x + e_y}{\sqrt{(e_x - e_y)^2 + 4\gamma_{xy}^2}} \quad (5)$$

Як і очікувалося, сформульованим постулатам задовольняють два сімейства смуг зсуву, напрямки яких збігаються з напрямками характеристик (ліній ковзання) плоскої задачі ідеально - пластичної течії незворотно стисливих матеріалів [10]. Кут δ між ними, може бути встановлений в ході елементарних перетворень рівняння (4)

$$\cos \delta = |S|. \quad (6)$$

З (4) випливає нерівність $|S| \leq 1$. Вона виражає той факт, що існування смуг зсуву можливо, коли швидкість зміни форми перевищує абсолютну величину швидкості зміни об'єму. Гранична умова існування смуги зсуву відповідає одноосному деформуванню стиском або розтягом за відсутності зсувних деформацій. Така схема можлива для матеріалу, що допускає незворотні об'ємні деформації, зокрема, для порошоків або пористих середовищ при стисненні в прес - формі з ідеально гладкими стінками. При пластичній течії нестисливого матеріалу кут між смугами зсуву не залежить від співвідношення між швидкостями деформацій і дорівнює 90°

Чисельне моделювання виникнення та розвитку смуг зсуву у початково неоднорідних матеріалах.

Висновок попереднього розділу може розглядатися як необхідна умова існування, щонайменше, двох типів поля швидкостей: у вигляді смуги зсуву та такого, яке описується їх лінійним розподілом за об'ємом. Фактично, даний висновок констатує наявність біфуркації в кінематиці деформування при досягненні обох умов втрати її стійкості. Виникає, однак питання: якому з полів слід віддавати перевагу. Від відповіді на нього залежить і визначення моменту в'язкого руйнування або пластичної міцності. У даному дослідженні для його вирішення використовуються елементи методу збурень.

У якості визначальних співвідношень береться пружно-пластична модель на підставі пластичного потенціалу F виду

$$F = \frac{(p + p_0)^2}{\psi} + \frac{\tau^2}{\phi} - (1 - \theta) \left(\frac{\sigma_0}{1 + m} \right)^2 \quad \text{ш} = \frac{2(1 - \theta)^3}{3\theta}, \quad \phi = (1 - \theta)^2 \quad p_0 = m\sigma_0\sqrt{(1 - \theta)\psi} \quad (7)$$

$$\sigma_0(\omega) = a + b\omega^\alpha \quad \frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{\sqrt{1 - \theta}} \sqrt{\psi(e^{pL})^2 + \phi(\gamma^{pL})^2}$$

більш детально розібрана, наприклад, в попередній роботі [11]. Далі вираховується плоска течія призматичного пористого зразка, що має в напрямку навантаження форму квадратної пластини. На відміну від пористості, яка змінюється під час деформування, параметр m , залишаються рівними 0,5 протягом усього процесу. Коефіцієнт зміцнення матричної фази приймається рівним половині її межі текучості ($a = 2b$). Її модуль Юнга і коефіцієнт Пуассона покладаються рівними відповідно 110 ГПа і 0,35.

Ідея моделювання витікає з методу збурень [12], відповідно до якого, граничні умови процесу формулюються так, щоб зразок зберігав однорідний розподіл напружень і швидкостей деформацій, якщо поле внутрішніх параметрів на початку процесу однорідно. У відповідності з основною ідеєю методу збурень, початкове поле пористості в пластині вибирали однорідним, за винятком малої області, де пористість більше, ніж поза цією ділянкою. У більшій частині пластини початкову пористість вважали рівною 0,1, а в малій області - рівною 0,12 Розглядалися процеси одноосного навантаження і деформування (стиснення і розтягнення). Використовувався метод скінчених елементів зі спеціальним вибором розміру елемента.

Результати розрахунків використовували як для вивчення формування смуги, так і для порівняльного аналізу її розташування при різних схемах навантаження та деформування. Еволюція початково-неоднорідного поля пористості при одноосному навантаженні розтягу представлена на рис. 2. Очевидно, що саме наявність малої області з пористістю, більшою, ніж в решті частини зразка, є джерелом виникнення і розвитку смуги зсуву. Розмір даної області визначає і поперечний розмір смуги зсуву. Розрахунки підтверджують також добре відомий з

експериментів факт [13], що в смузі зсуву локалізується не тільки поле швидкостей деформацій, але також і зростання пористості.

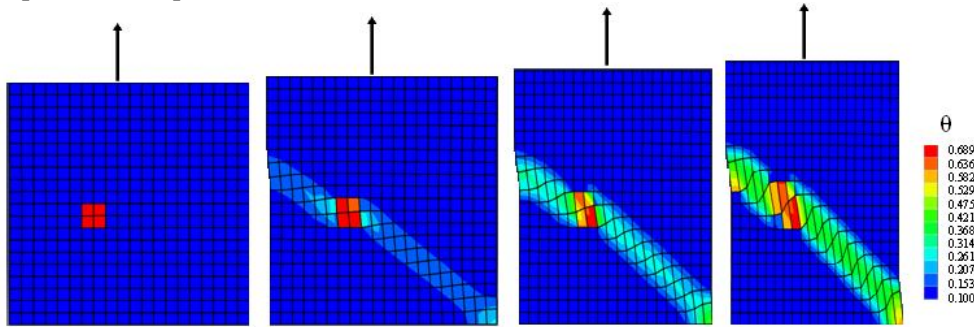


Рис. 2. Зародження і розвиток смуги зсуву при одноосьовому розтягу, зумовлене наявністю початкової неоднорідності пористості

Результати, отримані для даних значень внутрішніх змінних, свідчать про зростання пористості в смузі в три рази вже при досить помірних деформаціях розтягування. Становить інтерес порівняльний аналіз одновісного розтягу і стиску в умовах, обумовлених вище (результати розрахунків - на рис. 3).

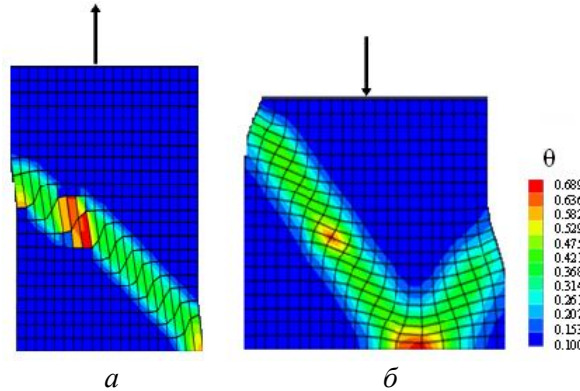


Рис. 3. Порівняльний аналіз зародження і розвиток смуг зсуву при одновісному розтягу (а) і стиску (б), зумовленому наявністю початкової неоднорідності пористості при $m = 0.5$

Перш за все, слід відзначити прояв поряд з фізичною також і геометричною нестійкості, про що свідчить вибучування в нижній частині пластини при стисканні (Рис.3 б). У разі стиснення проявився також наявність другого сімейства смуг зсуву, розташованих симетрично першого щодо осі навантаження. .

При даному поєднанні початкових параметрів виникнення смуги зсуву та розпушення спостерігається як при розтягуванні, так і при стисканні. При цьому у разі стиснення (Рис.3 б) поряд з виділеною малою областю має місце утворення ще однієї зони інтенсивного розпушення поблизу основи зразка. Сам факт розпушення пояснюється тим, що параметр m прийнятий рівним 0,5. Вказана обставина допускає геометричну інтерпретацію (Мал. 4). Тонкі стрілки на даному малюнку вказують траєкторії стиснення (а) і розтягування (б). Жирні стрілки вказують напрям вектора нормалі до контуру навантаження. Оскільки m не дорівнює нулю, даний контур зміщений у напрямку розтягуючого середнього тиску. Напрямок проекції нормалі до даного контуру на вісь p в точці, що відповідає одноосьовому стиску визначає знак зміни об'єму. У даному випадку ця величина позитивна, що і пояснює наявність розпушення при стисненні.

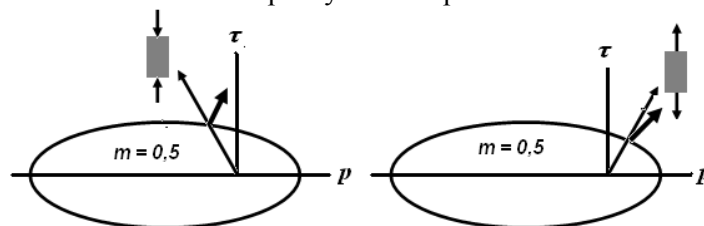


Рис. 4. Асоційований закон пластичної течії матеріалу з дефектами при одновісному розтягу і стиску

Зі зменшенням m і прагненням його до нуля положення контуру щодо траєкторії одновісного стиску змінюється - контур прагне зайняти положення, симетричне щодо осі t . Це, у свою чергу призведе до того, що точка, відповідна стисненню, виявиться лівіше його вершини. При цьому знак проекції нормалі на вісь p зміниться на протилежний - розпушення зміниться ущільненням за відсутності смуг.

Представляє інтерес розташування смуг зсуву при одноосової деформації. У даному випадку розглядається така схема деформування, коли від нуля відмінна лише одна компонента швидкості течії. Перпендикулярна їй складова відсутня, що в разі стиснення може бути обумовлено наявністю жорстких абсолютно гладких стінок. Як і в розглянутому вище випадку одноосного навантажування, тут також вводилася область неоднорідності розподілу пористості, хоча початкова пористість поза області обурення передбачалася рівній 0,03, а всередині даної області 0,05

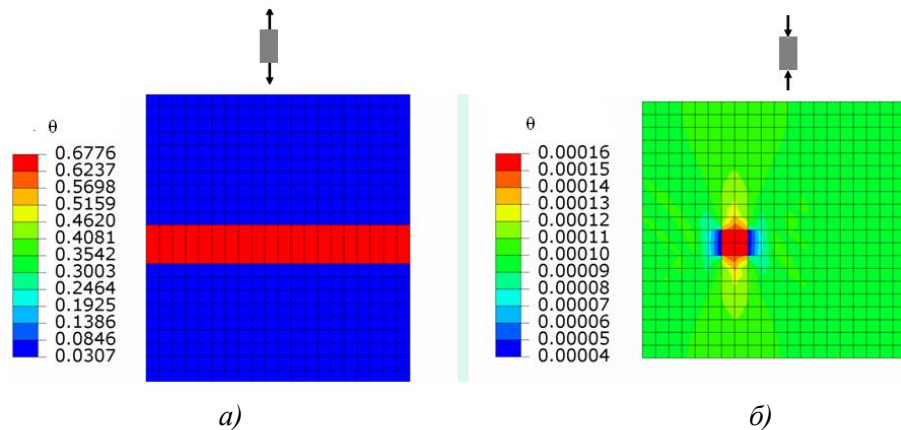


Рис. 5. Порівняльний аналіз зародження та розвитку смуг зсуву при одновісному деформуванні, зумовленому наявністю початкової неоднорідності пористості при $m = 0.5$

У даному випадку, відповідно до формули (4), при розтягуванні обидва їх сімейства збігаються, а самі смуги перпендикулярні напрямку деформування (Рис.5 а). Крім того, всередині смуги має місце інтенсивне розпушення. Зауважимо, що положення точки контуру навантаження, відповідної розтягуванню, зумовлює втрату стійкості, оскільки, за визначенням кінематики при одноосовому деформуванні, дана точка розташовується на контурі навантажування правіше його вершини.

На противагу розтягуванню, при стисканні (Рис.5 б) смуги відсутні. У зоні збурення, а також прилеглих до неї областях, має місце інтенсивне ущільнення. Сам процес характеризується поступовим заліковуванням введеного дефекту і вирівнюванням пористості по всьому об'єму зразка. У даному випадку процес деформування стійкий, оскільки відповідна йому точка контуру навантаження знаходиться лівіше його найвищої точки.

Висновок. Розширення діапазону допустимих траєкторій деформування для вирішення завдань формоутворення та управління структурою являє собою одну з нагальних проблем машинобудування та матеріалознавства. Її вирішення потребує поглибленого розуміння явищ, супроводжуваних руйнуванням при пластичному деформуванні. Розвиток відповідних уявлень пов'язаний зі створенням сукупностей різнорівневих моделей поведінки матеріалу в умовах, що передують руйнуванню. Один з можливих підходів до вирішення даної проблеми на макроскопічному рівні описаний вище. Незважаючи на те, що переваги розвинених уявлень були продемонстровані лише на деяких механізмах в'язкого руйнування, отримані результати переконують у корисності використання континуального підходу. Зокрема, ідея поєднання критеріїв стійкості деформування з концепцією внутрішніх змінних вбачається перспективною з точки зору поповнення макроскопічних теорій параметрами структури. З одного боку, такі параметри відображені в оцінках для граничних характеристик деформування, а з іншого - фігурують в характеристиках пластичного деформування. Оскільки внутрішні параметри відображають різні характеристики структури, запропонована модель або аналогічні їй, можуть бути основою оптимізації властивостей матеріалу шляхом вибору відповідної схеми деформування.

1. Дорофеев Ю. Г., Синельщиков В. В. Особенности деформации и трещинообразования нагретых пористых заготовок // Порошковая металлургия. – 1980. – № 1. – С. 25-29.
2. McClintock, F. A., *et al.*. Ductile fracture by hole growth in shear bands. *Int. Journal of Fracture Mechanics* 2 (1966) – P. 614-627.
3. Argon, A.S., J.Im & Safoglu 1975, cavity formation from inclusions in ductile fracture, *Metall. Trans.* 6A, p.825 – 837.
4. Magnussen, P. E., Dubensky, E. M., and Koss, D. A. (1988). The effect of void arrays on void linking during ductile fracture. *Acta Metallurgica*, 36(6), – С. 1503-1509.
5. Трефилов В.И., Моисеев В.Ф., Дисперсные частицы в тугоплавких металлах, Киев: Наук. думка, 1978. – 238 с.
6. Goods S. H., Brown L. M. The nucleation of cavities by plastic deformation//*Acta Metall.* – 1979. – 27, N 1. – P. 1-15.
7. Gurson A.L. Continuum theory for ductile rupture by void nucleation and growth. Part 1. Yield criteria and flow rules for porous media // *J. Ing. Mater. Technol.* – 1977. – 99. – P. 2 – 15.
8. Rice, J.R., The Localization of Plastic Deformation, in *Theoretical and Applied Mechanics, Proceedings of the 14th International Congress on Theoretical and Applied Mechanics*, (ed. W.T. Koiter) (1976), Delft, North-Holland Publishing Co., Vol. 1, – P. 207-220.
9. Hutchinson J.V., Tvergaard V., Shear band formation in plane strain, *Int. J. Solids Structure*, 1981, Vol. 17, – P. 451-470.
10. Штерн М.Б. Особенности плоской деформации уплотняемых материалов, *Порошковая металлургия* №3, 1982, – С. 9-17.
11. Штерн М.Б., Кузьмов А.В., Павлова Т.И. Моделирование вдавливания сферического индентора у незворотно стисливий та дилатантний матеріал, «Математическое моделирование в материаловедении, Вип. – 16, 2011, – С. 9-16.
12. Needleman A. Continuum mechanics studies of plastic instabilities, *Revue Phys. Appl.* 23, 1988, – P. 585-593.
13. F.A. McClintock, S.M. Kaplan, C.A. Berg, Ductile fracture by hole growth in shear bands, *International Journal of Fracture Mechanics*, Vol. 2, issue 4. – P. 614 – 627.

Стаття надійшла до редакції 24.09.2013.

УДК 621.791

В.Г. Лебедев, Т.В. Чумаченко, С.В. Марчук
ОХЛАЖДЕНИЕ ВОЗДУШНОЙ И ВОЗДУШНОКАПЕЛЬНОЙ СТРУЕЙ ПРИ
ШЛИФОВАНИИ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

В работе проведен анализ способов охлаждения воздушными струями поверхностей деталей, напыленных минералокерамикой, при шлифовании. Выполнена оценка количества тепла отводимого воздухом от зоны шлифования при естественном охлаждении воздушными потоками, а так же с помощью струи распыленной СОЖ и вихревой трубки Ранка – Хилша.

Ключевые слова: воздушная струя, шлифование, охлаждение, воздушные потоки, вихревая трубка.

Рис. 2. Форм. 9. Лит. 4.

В.Г. Лебедев, Т.В. Чумаченко, С.В. Марчук
ОХОЛОЖДЕННЯ ПОВІТРЯНИМ ТА ПОВІТРЯНОКАПЕЛЬНИМ СТРУМЕНЕМ
ПРИ ШЛІФУВАННІ КЕРАМІЧНИХ ПОКРИТТІВ

У роботі проведено аналіз способів охолодження повітряними струменями поверхонь деталей напиленних мінералокерамікою при шліфуванні. Виконана оцінка кількості тепла що відводиться повітрям від зони шліфування при природному охолодженні повітряними потоками, а також за допомогою струменя розпорошеної МОР і вихревої трубки Ранка - Хіліша.

Ключові слова: повітряний струмінь, шліфування, охолодження, повітряні потоки, трубка Ранка - Хіліша.

T.V. Chumachenko, V.G. Lebedev, S.V. Marchuk
COOLING THE CERAMIC COATINGS WITH AN AIRSTREAM AND AIR-WATER
DROPS STREAM WHILE GRINDING

The paper analyzes the ways of cooling of parts of machines , sprayed with mineral ceramics while grinding . The estimation of the amount of heat removed by the air from grinding zone , with natural convection air currents , as well as using a jet spray coolant and the vortex tube of Rank - Hilsch.

Currently, ceramic coatings are popular and economically viable in the modern industry , so we have the problem in its further mechanical treatment . You will need to take into account the fact that the pottery is very difficult to machine materials . And the only synthetic superhard materials such as borazon and diamond are advisable to apply for further grinding.

However, very often the factor of thermal processing in the cutting area , can lead to the formation of cracks on the surface , with the depth of the deposited layer . the boundary of the deposited layer and the metal parts. Thus, the grinding sprayed ceramic layer is very urgent issue to reduce the temperature in the cutting zone to obtain a high quality treated layer.

Cooling the surface being grounded with airflows circulating around the circle does not lead to a substantial heat sink from the surface due to the low heat conductivity of air and the small temperature difference. Air cooling in grinding through the vortex Rank - Hilsch tube because of small areas of contact of the grinding wheel and with surface provides heat sink value of about 10 % due to the increase in speed of air flow and reduce its temperature. When large areas of contact (such as grinding cup wheel butt flat surface) the value of the heat sink increases and can reach 30 - 35%.

The use of air – water drops stream gives grounds to assert a significant heat sink from the ground surface to be studied in more detail.

Keywords: aerial spray, grinding , cooling, air flow , the vortex tube.

Введение. В настоящее время керамика является все более широко распространенным материалом. Керамические покрытия являются востребованными и экономически целесообразными в современной промышленности [1]. Широкое распространение получило напыление рабочих поверхностей деталей минералокерамическими и металлокерамическими материалами с последующей обработкой этих поверхностей шлифованием синтетическими сверхтвердыми материалами, в частности кубическим нитридом бора [2]. Однако весьма часто при обработке термический фактор в зоне резания, может приводить к образованию трещин на поверхности, по глубине напыленного слоя и на границе напыленного слоя и металла детали. В этом случае, если напряжения достаточно велики, также возможно отслаивание напыленного слоя.

Таким образом, при шлифовании напыленного керамического слоя весьма остро стоит вопрос снижения температуры в зоне резания для получения высокого качества обработанного слоя.

Цель работы – анализ способов охлаждения воздушными струями поверхностей деталей, напыленных минералокерамикой, при шлифовании.

Анализ естественного охлаждения воздушными потоками, циркулирующими во время вращения круга. При вращении шлифовального круга (пористого или

безпористого, например круга на металлической связке), вокруг последнего возникают воздушные потоки, обусловленные аэродинамическими закономерностями.

Взаимодействие вращающегося круга (диска) с окружающей воздушной средой можно рассматривать как особый случай обтекания этого диска. Образование пограничного слоя воздуха около диска можно объяснить проявлением законов трения в газах с учетом сопротивления воздушной среды.

Известно, что если тело находится в потоке жидкости или газа, то на его поверхности скорость этого потока равна 0. Таким образом, тонкий слой жидкости или газа, прилегающий к поверхности тела является областью больших градиентов изменения скоростей. Эта область получила название пограничный слой.

Пространство, занимаемое жидкостью или газом обтекающим тело можно разделить на 3 области. *Первая область* - это пограничный слой. С одной стороны он ограничен поверхностью тела, а с другой стороны условной поверхностью на которой можно пренебречь касательными напряжениями. Внутри пограничного слоя движение потока характеризуется быстрым изменением скорости по нормали к поверхности тела. Частицы пограничного слоя, пройдя вдоль поверхности тела, уносятся потоком в область находящуюся за телом, сохраняя на себе следы пребывания в пограничном слое. Это выражено тем, что скорость этих частиц меньше чем скорость основного потока. "Заторможенные частицы" заполняют собой *вторую область*, которая называется "спутной струей". Все остальное пространство – *третья область*, занятая движущейся средой. Течение воздушного потока в этой области характеризуется отсутствием видимых изменений скорости в каком либо направлении.

Все эти закономерности можно отнести к случаю обтекания круглого диска вихревым потоком или к случаю обтекания вращающегося диска.

Выбрав цилиндрическую систему координат, можно получить составляющие скоростей V_r , V_φ , V_z – радиальную, тангенциальную и аксиальную, а так же принимая во внимание симметрию движения, уравнение Навье – Стокса можно записать следующее:

$$\begin{aligned} V_r \frac{\partial V_r}{\partial r} - \frac{V_\varphi^2}{r} + V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} &= \nu \frac{\partial^2 V_r}{\partial z^2} \\ V_r \frac{\partial V_\varphi}{\partial r} + V_r \frac{V_\varphi}{r} + V_z \frac{\partial V_\varphi}{\partial z} &= \nu \frac{\partial^2 V_\varphi}{\partial z^2} \\ V_r \frac{\partial V_z}{\partial r} + V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \frac{\partial^2 V_z}{\partial z^2} \\ \frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{V_r}{r} + \frac{\partial V_z}{\partial z} &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

При граничных условиях:

$$\begin{aligned} V_r = 0; \quad V_\varphi = \omega r; \quad V_z = 0 & \quad \text{при } z = 0 \\ V_r = 0; \quad V_\varphi = 0 & \quad \text{при } z = \infty \end{aligned} \quad (2)$$

где - V_r , V_φ , V_z – радиальная, тангенциальная и аксиальная составляющие скорости потока;

r – радиус круга (диска) ;

ρ - плотность среды (воздуха);

ν – кинематический коэффициент вязкости;

P - избыточное давление в пограничном слое.

Графическое компьютерное решение имеет вид: (рис. 1.)

Толщина слоя, в котором скорости пренебрежимо малы, а давление постоянно определяется как:

$$\delta = k \cdot \sqrt{\frac{\nu}{\omega}} \quad (3)$$

В нашем случае в пограничном слое круга находится воздушная среда ($k=2,58$) следовательно, толщина пограничного слоя воздуха около круга:

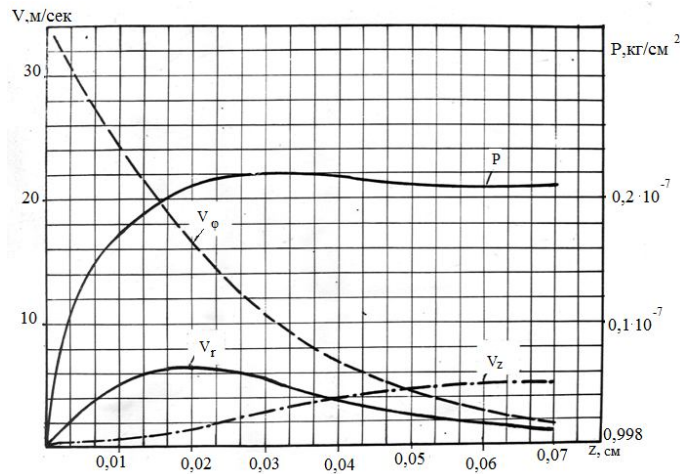


Рис. 1. Изменение скоростей V_r , V_ϕ , V_z и избыточного давления P в пограничном слое круга

$$\delta = 2.58 \cdot \sqrt{\frac{\nu}{\omega}} \quad (4)$$

где ν – кинематический коэффициент вязкости воздуха,
 ω – угловая скорость круга.

Таким образом, можно утверждать, что атмосфера, в которой работает шлифовальный круг состоит из пограничного слоя воздуха, который существует около круга независимо от его структуры и пористости. Поэтому воздух при шлифовании интенсивно обдувает шлифуемую поверхность, что, однако не приводит к существенному снижению температуры.

Оценка количества тепла отводимого воздухом от зоны шлифования.

Для оценки количества тепла необходимо найти коэффициент конвективного теплообмена между движущейся средой и шлифуемой поверхностью (стенкой).

Количество теплоты, переданное в процессе теплоотдачи, определяется по уравнению Ньютона-Рихмана:

$$Q = \alpha(t_{стн} - t_{жк}) \quad (5)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К);

$t_{жк}$, $t_{стн}$ – средние температуры жидкости и стенки, °С;

Q (Q') – тепловой поток (количество теплоты), Вт (Дж);

Коэффициент теплоотдачи α – характеризует интенсивность теплообмена между поверхностью тела и окружающей средой. Коэффициент α показывает, какое количество тепла передается от единицы поверхности стенки к жидкости в единицу времени при разности температур между стенкой и жидкостью в 1 градус (К):

$$[\alpha] = \left[\frac{Q}{F(t_{стн} - t_{жк})} \right] = \left[\frac{Дж}{м^2 \cdot К} \right] = \left[\frac{Вт}{м^2 \cdot К} \right] \quad (6)$$

где F – площадь поверхность стенки, м²;

Определение коэффициента теплоотдачи α является основной задачей расчета теплообменных аппаратов. Обычно коэффициент теплоотдачи определяют из критериальных уравнений, полученных преобразованием дифференциальных уравнений гидродинамики и конвективного теплообмена методами теории подобия. Проще всего коэффициент теплообмена определить через критерий Нуссельта по выражениям:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{l} \quad (7)$$

$$Nu = 0,008 Re^{0,9} Pr^{0,43} \quad (8)$$

где $Re = \frac{wl}{\nu} = \frac{wl\rho}{\mu}$ – критерий Рейнольдса, характеризующий гидродинамический режим потока при вынужденном движении и является мерой соотношения сил инерции и вязкого трения;

$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{c\mu}{\lambda}$ – критерий Прандтля, характеризующий физико-химические свойства теплоносителя и является мерой подобия температурных и скоростных полей в потоке;

где l – определяющий размер, м;

ρ – плотность теплоносителя, кг/м^3 ;
 λ – коэффициент теплопроводности теплоносителя, $\text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$;
 μ – динамический коэффициент вязкости, $\text{Па}\cdot\text{с}$; c – теплоемкость теплоносителя, $\text{Дж/(кг}\cdot\text{К)}$;
 τ – время процесса, с,
 ω – скорость движения теплоносителя м/с.

Расчет критерия Nu для скорости воздушного потока 30 – 50 м/с и для нормальной температуры воздуха в цехе $20^\circ\text{C}=293^\circ\text{K}$, по приведенным формулам, составляет 51,34. Соответственно коэффициент теплообмена α , согласно формуле 3 будет равный, $\alpha = 445 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{K}$.

Для того, чтобы определить количество теплоты уносимой с поверхности пятна контакта круга с деталью, необходимо перемножить длину дуги контакта круга с изделием и величину поперечной подачи. Для случая плоского шлифования периферией круга имеем:

$$F_{нк} = \sqrt{D_{кр} \cdot t_u} \cdot S \quad (9)$$

где $F_{нк}$ - площадь пятна контакта м^2 ;
 $D_{кр}$ - диаметр шлифовального круга м;
 t_u - глубина шлифования м;
 S - величина поперечной подачи м/ход.

Для параметров плоского шлифования: $D_{кр} = 350 \text{ мм}$; $t_u = 0,03 \text{ мм}$; $S = 2 \text{ мм/ход}$, площадь пятна контакта (F) составит $15 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$. Величина контактной температуры шлифования для таких условий составляет примерно 1073°K , что дает температурный напор, при температуре окружающего воздуха 293°K 780°K .

Количество уносимого тепла, согласно формуле 1 составит 5,32 Вт. Для этих же условий шлифования сила резания P_z составляет 10 – 15 Н [2], что дает мощность теплового источника 300 – 450 Вт. Учитывая, что в изделие переходит примерно 80% тепловой энергии, можно утверждать, что на шлифуемую поверхность воздействует тепловой источник мощностью 240 – 360 Вт. Если считать по минимальному значению тепловой мощности, то, учитывая унос воздушной струей 5,32 Вт, мы имеем 234,8 Вт тепловой энергии т.е. тепловой источник ослабляется на 2,2 %. Следовательно, серьезного снижения температуры за счет охлаждения воздушной струи ожидать нельзя.

Охлаждение воздухом зоны шлифования с помощью вихревой трубки Ранка – Хилша. Вихревой эффект (эффект Ранка – Хилша) – эффект разделения газа или жидкости на две фракции при закручивании в цилиндрической или конической камере. На периферии образуется закрученный поток с большой температурой, а в центре – охлажденный поток, закрученный в противоположную сторону.

При подключении такой трубки к заводской сети сжатого воздуха (6 кг/см^2), на выходе холодного воздуха можно получить температуру – 40°C . Устройство такой трубки показано на рис.2. Такие трубки в настоящее время выпускаются промышленностью и находят применение при различных технологических процессах металлообработки. Однако сообщения о результатах применения значительно разнятся. Так например в работе [3] утверждается, что получен теплоотвод порядка 30 – 35 % тепловой энергии. Другие [4] сообщают, что теплоотвод от нагретой поверхности увеличивается незначительно.



Рис. 2. Устройство вихревой трубки

Действительно, если рассматривать случай плоского шлифования периферией круга, то исходя из вышеизложенного материала можно рассчитать, что давление пневматической системы цеха обеспечивает скорость воздуха порядка 100 м/с. Если считать, что скорости воздушного

потока циркулирующего около круга и скорость воздуха выходящего из вихревой трубки складываются, то мы получим результирующую скорость порядка 135 м/с, т.е. примерно в 4 раза больше, чем в предыдущем случае, увеличение числа Nu и температурного напора. Все это дает увеличение отводимого тепла от площади пятна контакта до 22 Вт. Следовательно для нашего случая может отводиться до 10 % тепла. Данное несоответствие результатов с величинами теплоотвода, которые приведены в работе [3] легко объяснимо. В этой работе речь идет о шлифовании поверхности торцом чашечного круга. В этом случае площадь пятна контакта значительно больше, а так как величина теплоотвода прямо пропорциональна площади пятна контакта, то величины, показанные в данной работе вполне достижимы. Таким образом, значительно снизить температуру шлифования за счет применения воздушной вихревой трубки возможно в тех случаях, когда при шлифовании имеют место большие величины пятна контакта.

Охлаждение зоны шлифования с помощью струи распыленной СОЖ. Как видно из формулы 5, величина α прямо пропорциональна величине λ , т.е. коэффициенту теплопроводности среды, которая омывает стенку. Если воздушную струю несколько увлажнить, то вероятно можно получить довольно большие коэффициенты теплопроводности среды. Действительно λ воздуха составляет 0,0257 Вт/м К, а λ воды составляет 0,598 Вт/м К, т.е. разница составляет - 23 раза.

Пересчет значений Re , Pr и Nu для соотношения вода 30 %, воздух 70 % (можно получить за счет инжекторного сопла, подключенного к пневмосистеме цеха), а также расчеты выполненные по формулам 5 – 9 свидетельствуют о величине теплоотвода от шлифуемой поверхности порядка 30 – 35 %.

Для уточнения данных результатов, необходимы дальнейшие исследования процесса теплообмена между струей распыленной СОЖ и шлифуемой поверхностью.

Выводы:

1. Охлаждение шлифуемой поверхности воздушными потоками, циркулирующими вокруг круга, не приводит к существенному теплоотводу от поверхности из-за низкой теплопроводности воздуха и малого температурного напора.

2. Охлаждение воздухом при шлифовании с помощью вихревой трубки Ранка – Хилша даже при малых площадях контакта круга со шлифуемой поверхностью обеспечивает величину теплоотвода порядка 10 % за счет увеличения скорости воздушной струи и снижения ее температуры. При больших площадях контакта (шлифование торцом чашечного круга плоской поверхности) величина теплоотвода увеличивается и может достигнуть 30 – 35 %.

3. Оценочные расчеты охлаждения струей распыленной СОЖ дают основания утверждать о значительном теплоотводе от шлифуемой поверхности, но данный способ теплообмена нуждается в дальнейшем изучении.

1. Рыщенко М.И. Повышение эксплуатационных свойств керамики / М.И. Рыщенко, Г.В. Лисачук.– Х., 1987. – 104 с.
2. Чумаченко Т.В. Технологическое обеспечение качества и производительности обработки поверхностей шеек валов роторов газовых турбин, напыленных минералокерамикой: дис...канд. техн. наук: спец. 05.02.08 «Технология машиностроения»/ Т.В. Чумаченко. – Одесса, 2011. –163 с.
3. Долганов А.М. Совершенствование технологии шлифования плоских поверхностей с воздушным вихревым охлаждением: автореф. дисс. на получ. научн. степня канд. техн. наук/ А.М. Долганов. – Ижевск 2007. –26 с.
4. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов/И.И.Новиков. – М. : Металлургия, 1986. – 479 с.

Стаття надійшла до редакції 04.09.2013.

УДК 004.33

Н.М. Ліщина

ЭФЕКТИВНІСТЬ ЛОГІКИ В КОМП'ЮТЕРНИХ НАУКАХ

Досліджена і описана роль у комп'ютерних науках доказових методів розробки алгоритмів і програм з доказами їхньої правильності. Вивчене питання безперервної взаємодії комп'ютерних наук з логікою.

Ключові слова: логіка, логічна форма, закони логіки.

Літ. 11.

Н.М. Лищина

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛОГИКИ В КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУКАХ

Исследована и описана роль в компьютерных науках доказательных методов разработки алгоритмов и программ с доказательствами их правильности. Изучен вопрос непрерывного взаимодействия компьютерных наук с логикой.

Ключевые слова: логика, логическая форма, законы логики.

N. M. Lishchyna

EFFICIENCY OF LOGIC IN KOMPUTER SCIENCES

An investigational and described role is in komputer sciences of evidential methods of development of algorithms and programs with proofs of their rightness. The studied question of continuous co-operation of komputer sciences is with logic.

Keywords: logic, logic's forms, laws of logic.

Постановка проблеми. На відміну від природничих наук, комп'ютерні науки отримали великий стимул від широкої і безперервної взаємодії з логікою. Особливу роль у комп'ютерних науках відіграють доказові методи розробки алгоритмів і програм з доказами їхньої правильності.

Тестування програм може виявити наявність помилок у програмах, але не може гарантувати їх відсутність. Гарантії відсутності помилок в алгоритмах і програмах можуть дати тільки докази їх правильності. Алгоритм не містить помилок, якщо він дає правильні рішення для всіх допустимих даних.

Серйозною проблемою для комп'ютерних наук та інформатики є наявність помилок в алгоритмах і програмах, що публікуються в підручниках і навчальних посібниках, а також невміння викладачів і вчителів інформатики виявляти і виправляти помилки в алгоритмах і програмах, складених учнями.

Єдиний шлях для подолання цих проблем-це вивчення систематичних методів складання алгоритмів і програм з одночасним аналізом їх правильності в рамках доказового програмування з самого початку навчання основам алгоритмізації і програмування.

Складність для викладачів і програмістів полягає в тому, що вони повинні вміти писати не тільки алгоритми і програми, а й докази правильності своїх алгоритмів і програм.

В результаті програмісти пишуть програми з великим числом помилок, які вони не можуть ні виявити, ні виправити. Масоване тестування програм на ЕОМ приносить програмістам безперечну користь, проте не дає гарантій повного позбавлення від помилок.

Виклад основного матеріалу. Визначення логіки у першому найзагальнішому наближенні виглядає таким чином: логіка – це наука, яка вивчає мислення людини. Але сутність мислення осягається в межах кількох наук – філософії, психології, фізіології вищої нервової діяльності, кібернетики тощо.

Наприклад, у частині філософії, як гносеологія формуються такі важливі положення про мислення:

- мислення й свідомість є функцією мозку і відображають процеси і явища об'єктивного світу; це відображення здійснюється за допомогою відчуттів, сприйняття, уявлень, пам'яті, міркувань;
- мислення є опосередкованим і узагальненим відображенням дійсності і здійснюється в логічних формах понять, суджень, умовиводів;
- за допомогою мислення осягають такі сторони реального світу, які не можуть бути розкриті за допомогою тільки чуттєвих форм відображення дійсності, — відчуттів, сприйняття, уявлень;
- критеріями істинності виступають практика, досвід, краса, моральні норми, логічна несуперечність, корисність, успіх тощо;

© Н.М. Ліщина

- думка виражається у звукових, письмових або інших знаках, символах як природної, так і штучної мови;
- логіка широко використовує формалізацію і формалізовані мови;
- у мисленні формальна логіка вивчає логічні форми й формально-логічні закони побудови думки;
- логічні висновки мають необхідний, об'єктивний, неминучий, обов'язковий характер.

Психологію теж цікавить мислення, але вона вивчає психологічні особливості мислення індивідів, тобто вплив на мислення особливостей психіки індивіда, його темпераменту, мотивації, настроїв тощо. З позиції психології мислення нормальної людини і марення божевільного однаково закономірні, а з позицій логіки мислення розглядається таким, яким воно повинно бути, щоб не відхилитись від істини. Логіку не цікавить питання про те, хто мислить (юнак або старець, чоловік або жінка, геній або божевільний, жебрак або багач, керівник або підлеглий, студент або професор, учень або вчитель), а для психології це дуже важливо.

На відміну від інших наук, логіку цікавить не мислення взагалі, а саме правильне мислення. Вона є наукою про форми і закони правильного мислення. Сучасна логіка за своїм предметом і проблематикою є наукою гуманітарною (вона — частина філософського знання), за методами вона близька до математики, за своїми цілями вона повинна поєднати природні потенції людини до мислення з точністю сучасного наукового стилю мислення і з метафоричністю, образністю гуманітарної думки.

Фундаментальним поняттям формальної логіки є логічна форма. Її можна визначити як форму взаємозв'язку частини мислимого змісту. Певний спосіб зв'язку може бути і тим самим для необмеженої кількості тверджень. Загальна структура логічної форми складається з: суб'єкта (S), частини, що відповідає предмету твердження; предиката (P), частини, що відповідає тому, що говориться про даний предмет; зв'язків «є» (—), або «не є» (~). S і P — це змінні знаки логіки; «є» (—), «не є» (~), «всі» (∇) та «деякі» (∃) постійні знаки.

Існують три види знаків за характером їхнього відношення до об'єктів, які позначаються як: іконічні знаки (знаки-копії), значення яких повністю визначається тим предметом, якому вони відповідають (фотографії, картини, відбитки пальців тощо); знаки-символи, які фізично ніяк не пов'язані з об'єктами, які вони позначають (слова природної мови, дорожні знаки тощо); знаки-індекси, значення котрих повністю визначаються тим контекстом, у якому вони виявляються.

Речення простої логічної форми або структури можуть вступати між собою у логічний зв'язок, утворюючи речення більш складної логічної форми або форми, загальної для багатьох подібних суджень різного конкретного змісту. З поняттям логічної форми тісно пов'язане поняття формально-логічного закону. Довільний формально-логічний закон є не що інше, як відношення між логічними формами думки, і характеризується фактором необхідності. Це означає, що формально-логічні закони не залежать від волі людей, вони не можуть бути порушені без шкоди для пізнання істини.

Структура логіки. Назвою «логіка» об'єднуються багато різних логік. По-перше, це теоретична логіка, яка складається з теорії доведень, теорії аналізу (аналітики) та формальної семантики. По-друге, це практична логіка, до складу якої входять логіка дій, логіка рішень, евристика, праксеологія, конфліктологія. По-третє, це філософська логіка, яка включає в себе онтологію (вільну від онтологічних припущень логіку, часову і динамічні логіки), естетику (логіку тропів, метафор, аналогій), етику (аксіологію, деонтичну логіку, логіку оцінок, норм, імперативів), філософію права, політики, ідеології, принципи аналітичної філософії. По-четверте, це логічний аналіз мови, який складається з теорій комунікацій, аргументації, мовленнєвих актів, аналізу дискурсу і дискусій, риторики, семіотики. По-п'яте, це логіка інформаційних технологій, до якої входять когнітологія, логіко-когнітивний аналіз, комп'ютерна логіка, логічне програмування, штучний інтелект. Нарешті, це метапроблеми логіки, тобто історія, соціологія, філософія і викладання логіки.[3]

З наведеної класифікації логічних дисциплін можна зробити висновок, що логіка потрібна скрізь, де постає потреба приводити до певного ладу розрізнені емпіричні факти та знання, систематизувати їх і визначити точну сутність понять і суджень. Особливо важливе значення вона має для:

- науки (логіка – «цариця» наук, вона поглиблює творчі здібності науковців, створює універсальну метамову науки, наводить мости через «прірву» між гуманітарними та природничими науками, прокладає шляхи до інтеграції наукового знання);
- економічної діяльності (важко уявити теорію і практику економічної науки, економічного життя без поняття ефективності, раціональності, логічної обґрунтованості);
- права (судові процеси, законодавча діяльність, нотаріальна справа тощо принципово неможливі без логічної аргументації);
- політики (саме логіка допомагає обмежити емоційні оцінки і дії, досягти зрівноважених рішень, консенсусу);
- точного відображення думок в усній та письмовій формах (логіка виховує дисципліну думок, навички раціональної легітимації соціальної поведінки, професійну грамотність);
- коректного ведення дискусій (логіка стимулює критичне мислення, аналітичність, культуру дискурсу);
- інформатики, діалогу з ПК (принципи логіки є базисними для інформатики, на них спирається побудова комп'ютерів і комп'ютерних програм).

Основні закони логіки. Закон є результатом відображення необхідного, істотного, сталого й багаторазово повторюваного відношення між предметами і явищами реальної дійсності. Закон мислення – це результат відображення необхідних істотних, сталих, багаторазово повторюваних зв'язків між думками, вираженими логічними засобами. В логіці найвідомішими є чотири основних закони: тотожності, несуперечності, виключеного третього, закон достатньої підстави. Перші три закони були сформульовані ще Аристотелем, четвертий відкрив Лейбніц. Ці чотири закони належать до основних законів традиційної логіки. Інші закони сформульовані в межах класичної логіки. [1]

Закон тотожності: обсяг і зміст понять (суджень) повинні бути строго визначеними і лишатися незмінними в процесі логічних міркувань. Його формули мають вигляд: $A \leftrightarrow A$; $A \rightarrow A$.

Закон суперечності: у процесі міркування про який-небудь предмет не можна одночасно стверджувати і заперечувати що-небудь в одному й тому самому відношенні. Його формула має вигляд: $A \wedge \text{не-}A$.

Закон виключеного третього: з двох суперечливих суджень одне повинне бути істинним, друге — хибним, третього бути не може. Його формула має вигляд: $A \vee \text{не-}A$.

Закон достатньої підстави: всяка істинна думка повинна бути достатньо обґрунтованою (за допомогою вихідних положень, припущень, відомих законів і правил, практичного досвіду тощо). Формально-логічної форми запису закон не має.[4]

Закон подвійного заперечення. Згідно з ним подвійне заперечення рівнозначне твердженню. Його формули мають вигляд:

$$\text{не-}A \rightarrow A; A \rightarrow \text{не-}A; \text{не-}A \leftrightarrow A.$$

Закон ідемпотентності (від лат. idempotens – те, що зберігає вихідний ступінь). Згідно з ним повторення будь-якого висловлювання через кон'юнкцію («і») чи диз'юнкцію («або») рівнозначне самому висловлюванню. Його формули має вигляд:

$$(A \wedge A) \leftrightarrow A;$$

$$(A \vee A) \leftrightarrow A.$$

Закон комутативності (від лат. commutativus – те, що змінюється, переміщується). Згідно з ним можна міняти місцями висловлювання, зв'язані логічним сполучником («і») кон'юнкції та («або») диз'юнкції. Його формули мають вигляд:

$$(A \wedge B) \leftrightarrow (B \wedge A);$$

$$(A \vee B) \leftrightarrow (B \vee A).$$

Закон контрапозиції (від лат. contrapositio – протиставлення). Згідно з ним можна за допомогою заперечення міняти місцями антецедент і консеквент. Його формули мають вигляд:

$$(A \rightarrow B) \rightarrow (\text{не-}B \rightarrow \text{не-}A);$$

$$(\text{не-}A \rightarrow \text{не-}B) \rightarrow (B \rightarrow A);$$

$$(A \rightarrow \text{не-}B) \rightarrow (B \rightarrow \text{не-}A);$$

$$(\text{не-}A \rightarrow B) \rightarrow (\text{не-}B \rightarrow A).$$

Перший закон складної контрапозиції. Згідно з ним з першого і другого висловлювань випливає третє висловлювання тоді і тільки тоді, коли з першого висловлювання і заперечення третього висловлювання випливає заперечення другого висловлювання. Його формула має вигляд:

$$((A \wedge B) \rightarrow C) \leftrightarrow ((A \rightarrow \text{не-}C) \wedge \text{не-}B).$$

Другий закон складної контрапозиції. Згідно з ним з першого висловлювання випливає друге або третє висловлювання тоді і тільки тоді, коли із заперечення другого висловлювання випливає заперечення першого висловлювання або третє висловлювання. Його формула має вигляд:

$$(A \rightarrow (B \vee C)) \leftrightarrow (\text{не-}B \rightarrow (\text{не-}A \vee C)).$$

Закон асоціативності (від лат. associatio – з'єдную). Згідно з ним можна по-різному поєднувати висловлювання, з'єднані за допомогою логічних сполучників «і» кон'юнкції, «або» диз'юнкції. Його формули мають вигляд:

$$((A \wedge B) \wedge C) \leftrightarrow (A \wedge (B \wedge C));$$

$$((A \vee B) \vee C) \leftrightarrow A \vee (B \vee C).$$

Закон дистрибутивності (від лат. distributio – розміщення, розподіл). Згідно з ним можна розподіляти один логічний сполучник стосовно іншого. Його формули мають вигляд:

$$(A \wedge (B \vee C)) \leftrightarrow ((A \wedge B) \vee (A \wedge C));$$

$$(A \vee (B \wedge C)) \leftrightarrow ((A \vee B) \wedge (A \vee C)).$$

Перший закон де Моргана. Згідно з ним заперечення кон'юнкції еквівалентне диз'юнкції заперечень. Його формула має вигляд:

$$\text{не-}(A \wedge B) \leftrightarrow (\text{не-}A \vee \text{не-}B).$$

Другий закон де Моргана. Згідно з ним заперечення диз'юнкції еквівалентне кон'юнкції заперечень. Його формула має вигляд:

$$\text{не-}(A \vee B) \leftrightarrow (\text{не-}A \wedge \text{не-}B).[2]$$

Висновки. Практика застосування та вивчення доказових методів програмування показала, що ця технологія цілком доступна студентам технічних спеціальностей, яким цілком під силу написання доказів правильності алгоритмів, після перевірки та тестування програм на ЕОМ.

Найбільший ефект в освоєнні технологій доказового програмування спостерігається в олімпіадах з інформатики та програмування, де переможцями та призерами стають ті студенти, які освоїли техніку тестування програм на ЕОМ і складання алгоритмів і програм без помилок.

1. Клини С. Математическая логика/ С. Клини. – М.: Наука, 1973.
2. Нікітченко М.С. Математична логіка та теорія алгоритмів/ М.С. Нікітченко, С.С. Шкільняк. К., ВПЦ Київський ун-т, 2008.
3. Шкільняк С.С. Математична логіка. Приклади і задачі/ С.С. Шкільняк. – ВПЦ Київський ун-т. – К., 2007.
4. Шкільняк С.С. Теорія алгоритмів: приклади і задачі/ С.С. Шкільняк. – ВПЦ Київський ун-т. – Київ, 2003.

Стаття надійшла до редакції 27.09.2013.

УДК 544.34:542.22

О.В. Марчук, В.Я. Шемет, О.В. Смітюх, Л.Д. Гулай
СИСТЕМА CoS – Er₂S₃ – GeS₂ ЗА ТЕМПЕРАТУРИ 770 К

Методами порошкової дифрактометрії вивчено взаємодію компонентів у системі CoS – Er₂S₃ – GeS₂ за температури 770 К та встановлено існування тетравної сполуки складу Er₃Co_{0,5}GeS₇.

Ключові слова: ізотермічний переріз, порошкова дифрактометрія, кристалічна ґратка.
Рис. 1. Табл. 2. Літ. 16.

О.В. Марчук, В.Я. Шемет, А.В. Смітюх, Л.Д. Гулай
СИСТЕМА CoS – Er₂S₃ – GeS₂ ЗА ТЕМПЕРАТУРЫ 770 К

Методами порошковой дифрактометрии изучено взаимодействие компонентов в системе CoS – Er₂S₃ – GeS₂ за температуры 770 К. Установлено существование тетравного соединения состава Er₃Co_{0,5}GeS₇.

Ключевые слова: изотермическое сечение, порошковая дифрактометрия, кристаллическая решетка.

O.V. Marchuk, V.Ya. Shemet, A.V. Smityuh, L.D. Gulay
THE CoS – Er₂S₃ – GeS₂ SYSTEM AT TEMPERATURE 770 K

The interaction of components in the CoS – Er₂S₃ – GeS₂ system at 770 K has been determined using X-Ray powder diffraction. The existence of quaternary compound Er₃Co_{0,5}GeS₇ has been established.

Keywords: isothermal section, powder diffraction, crystal lattice.

Постановка проблеми. Одним із головних завдань напівпровідникового матеріалознавства є пошук нових речовин з наперед заданими властивостями. Розвиток науки і техніки досяг тієї межі, коли класичні напівпровідникові матеріали не задовільняють їх потреб. Тому закономірно виникає проблема пошуку матеріалів з якісно новими властивостями.

У наш час кількість напівпровідникових матеріалів, що застосовуються, значно розширена. Синтезовано ряд речовин, які мають важливе практичне значення.

Важливим напрямком сучасного напівпровідникового матеріалознавства є ускладнення досліджуваних систем і, відповідно, речовин, які в них утворюються. Серед складних напівпровідникових систем важливе місце займають квазіпотрійні та тернарні халькогенідні системи, утворені бінарними напівпровідниковими сполуками, компонентами яких виступають рідкісноземельні метали, р- та d- елементи I, II груп, р- елементи III, IV груп Періодичної системи елементів Д.І. Менделєєва та халькогени (р- елементи VI групи). Встановлення характеру взаємодії компонентів у складних РЗМ-вмісних сульфідних системах шляхом побудови ізотермічних перерізів, є однією із передумов для створення нових матеріалів з якісно новими прогнозованими характеристиками.

Рідкісноземельні метали (РЗМ), їх сполуки та сплави за останні роки завоювали велике визнання в науці і техніці. Завдяки своїм унікальним властивостям, зокрема магнітним характеристикам, халькогенідні сполуки застосовують у електроніці, радіо- та електротехніці. Нові халькогенідні матеріали використовують для одержання плівок та композитів, вирощування монокристалів, виготовлення елементів напівпровідникових приладів. Вони є цінними легуючими добавками до металів та сплавів, сприяють покращенню мікроструктури і властивостей, підвищують жаростійкість та міцність сплавів, їх антикорозійні властивості.

Дослідження системи CoS – Er₂S₃ – GeS₂ є одним із етапів систематичного дослідження квазіпотрійних систем DS – R₂S₃ – C^{IV}S₂ (D – d-елемент, R – РЗМ, C^{IV} – Si, Ge, Sn) [1], [2], [3] і ін. Компонентами досліджуваної системи є квазібінарні напівпровідникові сполуки, кристалічна структура яких детально вивчена та описаною у літературі (табл. 1).

Метою даного дослідження є встановлення фазових рівноваг у квазіпотрійній системі CoS – Er₂S₃ – GeS₂ за температури 770 К, побудова ізотермічного перерізу досліджуваної системи та встановлення меж твердих розчинів.

Матеріали і методи дослідження. Зразки для дослідження фазових рівноваг в системі CoS – Er₂S₃ – GeS₂ виготовлялись сплавлянням високо чистих елементів із вмістом основного компонента не менше 99,99 ваг. % у вакуумованих кварцевих ампулах. Синтез проводився в електричній муфельній печі з програмним управлінням технологічними процесами МП-30. Ампули нагрівали до максимальної температури 1370 К з швидкістю 30 К/год. За максимальної

температури зразки витримували 4 години. Гомогенізаційний відпал проводився за температури 770 К протягом 500 годин. Після відпалу ампули зі зразками загартовувались у холодній воді.

Таблиця 1. Кристалографічні характеристики бінарних сполук CoS, Er₂S₃ та GeS₂

Сполука	Просторова група	Параметри комірки, нм			Література
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	
CoS	<i>P6₃/mmc</i>	0,337	–	0,516	[4]
	– // –	0,3384	–	0,5196	[5]
	– // –	0,344	–	0,579	[6]
Er ₂ S ₃	<i>Pnma</i>	1,0526(5)	0,3824(3)	1,0374(5)	[7]
	<i>P2₁/m</i>	1,740	0,398	1,009	[8]
		$\beta = 98,67$			
	– // –	1,744179(90)	0,39822(3)	1,01013(6)	[9]
		$\beta = 98,688(4)$			
	– // –	1,0901(1)	0,3896(1)	1,1167(1)	[10]
		$\beta = 108,804(5)$			
– // –	1,0901(1)	0,3896(1)	1,1167(1)	[11]	
	$\beta = 98,66(1)$				
GeS ₂	<i>I4₂d</i>	0,5480	–	0,9143	[12]
	<i>P2₁/c</i>	0,6720(3)	1,6101(3) $\beta = 90,88^\circ$	1,1436(3)	[13]
	<i>Pc</i>	0,6875(5)	2,255(1) $\beta = 120,45^\circ$	0,6809(5)	[14]
	<i>I4₁/acd</i>	1,10650(1)	–	1,871779(20)	[15]

Рентгенофазовий аналіз здійснювали за дифрактограмами, які були зняті на дифрактометрі ДРОН 4-13 у межах $2\Theta = 10 - 80^\circ$ (CuK α -випромінювання, крок сканування – $0,05^\circ$, експозиція у кожній точці – 5 с).

Обробку даних здійснювали за допомогою пакету програм CSD [16].

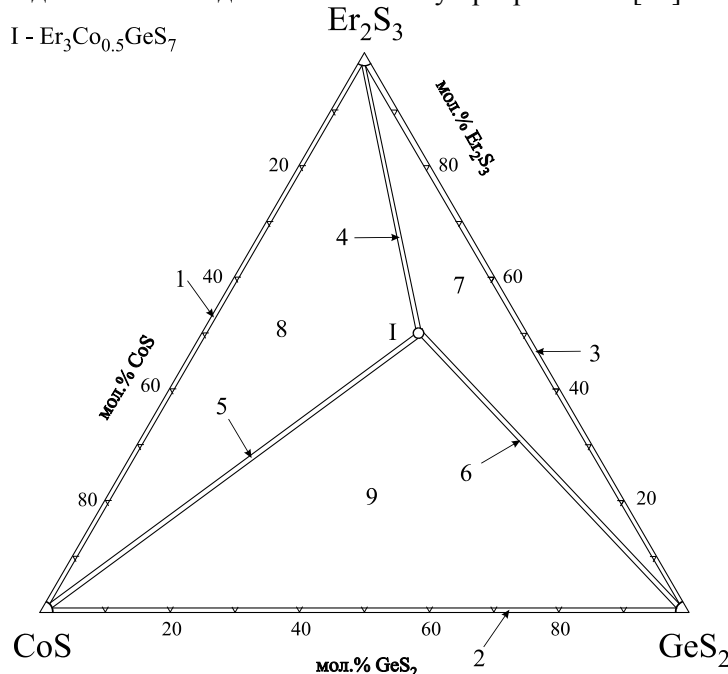


Рис. 1. Ізотермічний переріз системи CoS – Er₂S₃ – GeS₂ за температури 770 К

Основні результати дослідження. Взаємодія компонентів у системі CoS – Er₂S₃ – GeS₂ за температури 770 К досліджувалась методами рентгенівської порошкової дифрактометрії. Комплекс проведених досліджень дав змогу побудувати ізотермічний переріз досліджуваної квазіпотрійної системи (рис. 1). За температури відпалу сплавів (770 К), при співвідношенні

вихідних компонентів 1 : 3 : 2, нами встановлено існування нової тетравної сполуки складу $\text{Er}_3\text{Co}_{0.5}\text{GeS}_7$, яка кристалізується в гексагональній сингонії (ПГ $P6_3$) та перебуває в стані термодинамічної рівноваги із бінарними сполуками CoS , Er_2S_3 та GeS_2 .

Ізотермічний переріз складається із чотирьох однофазних, шести двофазних та трьох трифазних полів. Результати фазового аналізу наведені в табл. 2.

Таблиця 2. Фазові поля у системі $\text{CoS} - \text{Er}_2\text{S}_3 - \text{SiS}_2$ за температури 770 К

№ поля	Фази
1.	$\text{Er}_2\text{S}_3 + \text{CoS}$
2.	$\text{CoS} + \text{GeS}_2$
3.	$\text{GeS}_2 + \text{Er}_2\text{S}_3$
4.	$\text{Er}_2\text{S}_3 + \text{Er}_3\text{Co}_{0.5}\text{GeS}_7$
5.	$\text{CoS} + \text{Er}_3\text{Co}_{0.5}\text{GeS}_7$
6.	$\text{GeS}_2 + \text{Er}_3\text{Co}_{0.5}\text{GeS}_7$
7.	$\text{GeS}_2 + \text{Er}_2\text{S}_3 + \text{Er}_3\text{Co}_{0.5}\text{GeS}_7$
8.	$\text{Er}_2\text{S}_3 + \text{CoS} + \text{Er}_3\text{Co}_{0.5}\text{GeS}_7$
9.	$\text{CoS} + \text{GeS}_2 + \text{Er}_3\text{Co}_{0.5}\text{GeS}_7$

Розчинність на основі вихідних компонентів та тетравної сполуки є незначною та не перевищує 1 – 2 мол. % за температури відпалу сплавів (770 К).

Висновки. Досліджено взаємодію між компонентами квазіпотрійної системи $\text{CoS} - \text{Er}_2\text{S}_3 - \text{GeS}_2$. За результатами досліджень ідентифіковано фазові рівноваги у цій системі за температури 770 К та встановлено існування нової тетравної сполуки $\text{Er}_3\text{Co}_{0.5}\text{GeS}_7$ (ПГ $P6_3$). Розчинність на основі вихідних компонентів та тетравної сполуки $\text{Er}_3\text{Co}_{0.5}\text{GeS}_7$ не перевищує 1 – 2 мол. % за температури відпалу сплавів (770 К).

- Смітюх О.В. Взаємодія компонентів у системі $\text{CoS} - \text{Er}_2\text{S}_3 - \text{SiS}_2$ / О.В. Смітюх, О.В. Марчук, Л.Д. Гулай // Сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции "Современные направления теоретических и прикладных исследований '2013". – Выпуск 1. Том 42. – Одесса: Куприенко, 2013. – С.59-61.
- Блашко Н.М. Система $\text{CoS} - \text{Pr}_2\text{S}_3 - \text{GeS}_2$ за температури 770 К / Н.М. Блашко, О.В. Марчук, Л.Д. Гулай // Сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции "Современные направления теоретических и прикладных исследований '2013". – Выпуск 1. Том 42. – Одесса: Куприенко, 2013. – С.55-57.
- Pashynska Y. Crystal structure of the $\text{R}_3\text{Ni}_{0.5}\text{GeS}_7$ (R = rare earth element) compounds / Y. Pashynska, M. Daszkiewicz, O. Marchuk and L. Gulay // Collected Abstracts of the XII International Conference on Crystal Chemistry of Intermetallic Compounds, Lviv, Ukraine, 22-26 September 2013, Ivan Franko National University of Lviv, 2013, 205 p.
- Schoenberg N. The tungsten carbide and nickel arsenide structures // Acta Metallurgica – 1954. – V.2. – P. 427-432.
- Kuznetsov V.G., Sokolova M.A., Palkina K.K., Popova Z.V. The cobalt-sulfur system // Inorganic Materials – 1965. – V.1., №5 – P. 617-632.
- Barthelemy E., Carcaly C. Phase relations and ageing effects in $\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x\text{S}$ system // Journal of Solid State Chemistry – 1987. – V.66. – P. 191-203.
- Range K.J., Leeb R. Hochdruckmodifikationen der Lanthaniden(III) sulfide Ln_2S_3 (Ln = Lu – Ho, Y) mit U_2S_3 - Struktur // Zeitschrift fuer Naturforschung, Teil B. Anorganische Chemie, Organische Chemie. – 1975. – V.30. – P.889-895.
- Grizik A.A., Eliseev A.A., Borodulenko G.P., Kuz'micheva G.M., Tolstova V.A. Lanthanone sesquisulfides (Ln_2S_3) related to delta holmium sulfide // Zhurnal Neorganicheskoi Khimii. – 1976. – V.21. – P.3208-3211.
- Schleid T., Lissner F. Einkristalle von A- Nd_2S_3 , U- Ho_2S_3 , D- Er_2S_3 und E- Lu_2S_3 durch Oxidation reduzierter Chloride der Lanthanide mit Schwefel // Zeitschrift fuer Anorganische und Allgemeine Chemie. – 1992. – V.615. – P.19-26.
- Fang C.M., Meetsma A., Wiegers G.A., Boom G. Synthesis and crystal structure of F-type erbium sesquisulfide, F- Er_2S_3 // Journal of Alloys Compd. – 1993. – V.201. – P.255-259.
- ¹Landa-Canovas A.R., Amador U., Otero-Diaz L.C. Crystal structure and microstructure of delta-(Er_2S_3) // Journal of Alloys Compd. – 2001. – V.323. – P.91-96.
- Prewitt C.T., Young H.S. Germanium and silicon disulfides: Structure and synthesis // Science – 1965. – V.149. – P.535-537.
- Dittmar G., Schaefer H. Die Kristallstruktur von H.T.- GeS_2 // Acta Crystallographica B – 1975. – V.31. – P.2060-2064.
- Dittmar G., Schaefer H. Die Kristallstruktur von L.T.- GeS_2 // Acta Crystallographica B – 1976. – V.32. – P.1188-1192.
- MacLachlan M.J., Petrov S., Bedard R.L., Manners I., Ozin G.A. Synthesis and crystal structure of delta-(GeS_2), the first germanium sulfide with an expanded framework structure // Angew. Chem. Int. ed. – 1998. – V.37(15). – P.2076-2079.
- Akselrud L.G., Grin Yu.N., Zavalij P.Yu., Pecharsky V.K., Fundamensky V.S. CSD-Universal program package for single crystal or powder structure data treatment // Collected Abstracts 12th European Crystallographic Meeting, Moscow, 20-29 August, 1989. – M.: Nauka, 1989. – V.3. – P.155.

Стаття надійшла до редакції 26.09.2013.

УДК. 539.4

И.В. Павленко

К РАСЧЕТУ ОРТОТРОПНЫХ ПЛАСТИН МЕТОДОМ ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Построены краевые задачи расчета ортотропной пластины численно-аналитическим методом граничных элементов для двух вариантов граничных условий: шарнирное опирание пластины по всему контуру и жесткое защемление пластины по трем сторонам при свободной четвертой стороне.

Ключевые слова: ортотропные пластины, граничные элементы, изотропные стержни.

Рис. 1. Форм. 7. Лит. 4.

I.V. Pavlenko

ДО РОЗРАХУНКІВ ОРТОТРОПНИХ ПЛАСТИН МЕТОДОМ ГРАНИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Побудоване крайове завдання розрахунків ортотропної пластини чисельно-аналітичним методом граничних елементів для двох варіантів граничних умов: шарнірне закріплення пластини по всьому контуру й жорстке защемлення пластини по трьом сторонам при вільній четвертій стороні

Ключові слова: ортотропні пластини, граничні елементи, ізотропні стержні.

I.V. Pavlenko

ON THE CALCULATION OF ORTHOTROPIC PLATES NUMERICAL-ANALYTICAL BOUNDARY ELEMENT METHOD

Constructed boundary value problems numerically calculate the orthotropic plate-analytical boundary element method for two versions of the boundary conditions: swivel bearing plate around the loop and rigid clamping plates on three sides with the fourth side free.

Keywords: orthotropic plate boundary elements, isotropic rods.

Численно-аналитический метод граничных элементов (ЧА МГЭ) достаточно хорошо разработан для расчета изотропных стержней, стержневых систем и пластин [1, 2]. Однако в современной промышленности широко применяются конструкции из анизотропных материалов — стеклопластиков, композитов и т.п. Многие из этих новых материалов обладают ортотропными свойствами, что является частным, но очень распространенным случаем анизотропии.

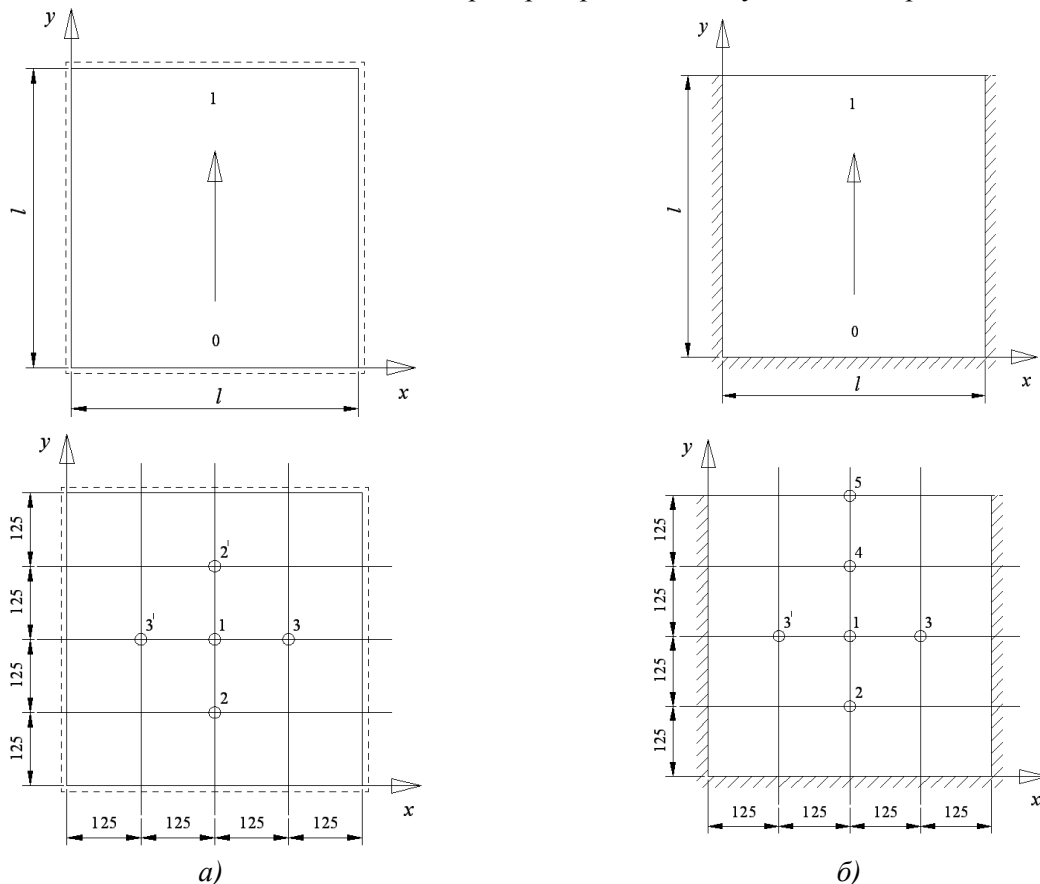


Рис. 1. Два варианта граничных условий

В ряде наших предыдущих работ [3, 4] получены основные аналитические зависимости ЧА МГЭ применительно к расчету изгибаемых ортотропных пластин – системы фундаментальных ортонормированных функций для возможных условий закрепления, функция Грина, компоненты вектора нагрузки. Этот аналитический аппарат позволяет выполнить расчет ортотропной пластины при любых граничных условиях без каких-либо ограничений на характер нагружения.

Рассмотрим два варианта граничных условий: шарнирное закрепление пластины по всему контуру (вариант 1) и жесткое защемление пластины по трем сторонам при свободной четвертой стороне (вариант 2).

Построим краевую задачу для варианта 1 (рис.1, а). При шарнирном опирании продольных (параллельных оси) кромок пластины, прогибы и изгибающие моменты на этих кромках будут нулевыми:

$$y = 0 : W(0) = 0; M_y(0) = 0;$$

$$y = l : W(l) = 0; M_y(l) = 0.$$

Краевая задача ЧА МГЭ формируется по следующей схеме:

	1	2	3	4	$X(0)$	$Y(l)$	
1		A_{12}		A_{14}	$W(0) = 0; \theta_y(l)$	$W(l) = 0;$	$B_{11}(l)$
2	-1	A_{22}		A_{24}	$\theta_y(0)$	-	$\theta_y(l) = B_{21}(l)$
3		A_{32}		A_{34}	$M_y(0) = 0; Q_y(l)$	$M_y(l) = 0;$	$B_{31}(l)$
4		A_{42}	-1	A_{44}	$Q_y(0)$	$Q_y(l)$	$B_{41}(l)$

где $A_{ij}, B_{il} (i, j = 1, 2, 3, 4)$ – полученные нами [3,4] аналитические выражения фундаментальных функций и компонентов вектора нагрузки.

Отсюда следует система линейных алгебраических уравнений краевой задачи:

	1	2	3	4		
1		A_{12}		A_{14}	$\theta_y(l)$	$B_{11}(l)$
2	-1	A_{22}		A_{24}	$\theta_y(0)$	$= B_{21}(l)$
3		A_{32}		A_{34}	$Q_y(l)$	$B_{31}(l)$
4		A_{42}	-1	A_{44}	$Q_y(0)$	$B_{41}(l)$

В результате решения этой системы получим значение функции прогибов $W(y)$:

$$W(y) = \theta_y(0)A_{12}(y) + Q_y(0)A_{14}(y) + B_{11}(y). \tag{3}$$

Истинное значение прогибов определяется в виде

$$W(x, y) = W(y)X(x), \tag{4}$$

где $X(x)$ – функция поперечного распределения прогибов [1,2].

Рассмотрим краевую задачу для варианта 2 (рис. 1,б). При жестком защемлении продольных кромок пластины нулевыми будут прогибы и углы поворотов, а на свободном краю отсутствуют изгибающие моменты и поперечные силы:

$$y = 0 : W(0) = 0; \theta_y(0) = 0;$$

$$y = l : M_y(l) = 0; Q_y(l) = 0.$$

Здесь можно выполнить следующие преобразования:

$$\begin{array}{cccccc}
 & 1 & 2 & 3 & 4 & X(0) & Y(l) \\
 1 & -1 & & A_{13} & A_{14} & W(0)=0; W(l) & \leftarrow W(l) & B_{11}(l) \\
 2 & & -1 & A_{23} & A_{24} & \theta_y(0)=0; \theta_y(l) & \leftarrow \theta_y(l) & B_{21}(l) \\
 3 & & & A_{33} & A_{34} & M_y(0) & - M_y(l) = & B_{31}(l) \\
 & & & & & & = 0; & \\
 4 & & & A_{43} & A_{44} & Q_y(0) & Q_y(l) = & B_{41}(l) \\
 & & & & & & = 0 &
 \end{array} , \quad (5)$$

где, как и раньше, A_{ij} , B_{il} ($i, j = 1, 2, 3, 4$) – аналитические выражения фундаментальных функций и компонентов вектора нагрузки, но уже при других условиях закрепления.

Система линейных алгебраических уравнений краевой задачи имеет вид

$$\begin{array}{cccccc}
 & 1 & 2 & 3 & 4 & & \\
 1 & -1 & & A_{13} & A_{14} & W(l) & B_{11}(l) \\
 2 & & -1 & A_{23} & A_{24} & \theta_y(0) & = B_{21}(l) \\
 3 & & & A_{33} & A_{34} & M_y(0) & B_{31}(l) \\
 4 & & & A_{43} & A_{44} & Q_y(0) & B_{41}(l)
 \end{array} . \quad (6)$$

После определения параметров $M_y(0)$ и $Q_y(0)$ получим функцию прогибов

$$W(y) = A_{13}(y)M_y(0) + A_{14}(y)Q_y(0) + B_{11}(y). \quad (7)$$

Истинное значение прогиба $W(x, y)$ вновь определяется формулой (4).

1. Дашенко А.Ф. Численно-аналитический метод граничных элементов / А.Ф. Дашенко, Л.В. Коломиец, В.Ф. Оробей, Н.Г. Сурьянинов — Одесса: ВМВ, 2010. — В 2-х томах. — Т. 1. — 416 с. — Т. 2. — 512 с.
2. Оробей В.Ф. Практикум по решению краевых задач механики: Учебное пособие для студентов технических специальностей / В.Ф. Оробей, Н.Г. Сурьянинов — Одесса: Астропринт, 2011. — 408 с.
3. Павленко И.В. Расчет ортотропных пластин численно-аналитическим методом граничных элементов / И.В. Павленко. — Праці ОНПУ, Вип.1(38), 2012. — С. 15-23.
4. Павленко И.В. Решение задачи изгиба ортотропной пластины численно-аналитическим методом граничных элементов / И.В. Павленко. — Вісник Хмельницького національного університету, Вип.1, 2013. — С. 28-31.

Стаття надійшла до редакції 24.09.2013.

УДК 378.147:53

И.Н. Пахомова**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СПЕЦКУРСА ПО ФИЗИКЕ «ОСНОВЫ ДИСЛОКАЦИОННОЙ ТЕОРИИ»**

Разработаны интерактивные слайд-лекции по спецкурсу «Основы дислокационной теории». Разработана методика обучения физике в вузе с применением интерактивных слайд-лекций, в частности: наполнено содержание учебного материала по спецкурсу, который целесообразно излагать в форме интерактивных слайд-лекций; разработаны модульные контроли в виде тестов в рамках кредитно-модульной системы оценивания.

Ключевые слова: информационно-коммуникационные технологии, интерактивные слайд-лекции, компьютерное тестирование.

Рис. 7. Лит. 12.

I.M. Пахомова**ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ РОЗРОБЦІ СПЕЦКУРСУ З ФІЗИКИ «ОСНОВИ ДИСЛОКАЦІЙНОЇ ТЕОРІЇ»**

Розроблено інтерактивні слайд-лекції за спецкурсом «Основы дислокаційної теорії». Розроблена методика навчання фізиці у виші з використанням інтерактивних слайд-лекцій, зокрема: наповнено зміст навчального матеріалу за спецкурсом, який доцільно викладати у формі інтерактивних слайд-лекцій; розроблені модульні контроли у вигляді тестів в рамках кредитно-модульної системи оцінювання.

Ключові слова: інформаційно-комунікаційні технології, інтерактивні слайд-лекції, комп'ютерне тестування.

I.N. Pakhomova**USE OF INFORMATION TECHNOLOGIES IN THE DEVELOPMENT OF A SPECIAL COURSE «FUNDAMENTALS OF DISLOCATION THEORY»**

It is developed an interactive slide-lectures of course "Fundamentals of dislocation theory". It is developed the technique of teaching physics in high school, with interactive slide-lectures. It is filled with educational material on a special course that is appropriate to state in the form of interactive slide-lecture. Modular controls are designed in the tests form as part of credit-modular system of assessment.

Key words: information and communication technology, interactive slide-lecture, computer testing.

В условиях развития информационных процессов во всех областях деятельности человека, на данный момент становится актуально и, на наш взгляд, совершенно необходимо внедрять информационные компьютерные технологии (ИКТ) в образовании. Особое место занимает внедрение ИКТ в преподавании физики, где ИКТ находят широкий спектр своего применения, начиная от интерактивных, мультимедийных лекций и виртуальных экспериментов, и заканчивая компьютерными способами тестирования и контроля результатов учебной деятельности студентов. Возможности компьютерных графических приложений невероятно широки и позволяют сделать лекцию иллюстративной, наглядной, очень интересной и более понятной [1]. Задача преподавателя адаптировать учебный процесс к современной жизни, модернизировать традиционные формы обучения и предоставить качественные услуги на рынке образования. Очевидные преимущества использования ИКТ в учебном процессе: наглядность, личностный подход, повышение интереса к предмету.

При чтении лекций на физическом факультете ХНУ имени В.Н. Каразина по спецкурсу «Основы дислокационной теории» была поставлена следующая задача. Сохранив преимущества традиционного обучения, повысить наглядность изложения материала, интерес студентов, создать возможность использования различных форм образовательного процесса, сделать излагаемый материал вариативным.

На наш взгляд, наилучшим вариантом для решения поставленной задачи является использование интерактивной доски с соответствующим программным обеспечением.

Однако, при отсутствии такой доски, большую часть методики можно реализовать с помощью специально подготовленных в Power Point слайд-лекций, проектора и белой доски.

Слайды проектируются не на экран, а на белую доску. Лектор, излагая материал, (например, при выводе формул) дописывает слайды маркером (места для записи оставляются заблаговременно (рис.1)). Только записи сделанные преподавателем, к сожалению, не сохраняются в электронном виде. Интерактивная слайд-лекция является не слайд-фильмом, не попыткой заменить преподавателя компьютером, она представляет собой традиционную лекцию. При такой форме организации учебного процесса преподаватель по-прежнему остается главным

действующим лицом, кроме того, у него появляется возможность в полной мере реализовать свой творческий потенциал, сделать лекцию более содержательной и насыщенной разнообразным информационным материалом.

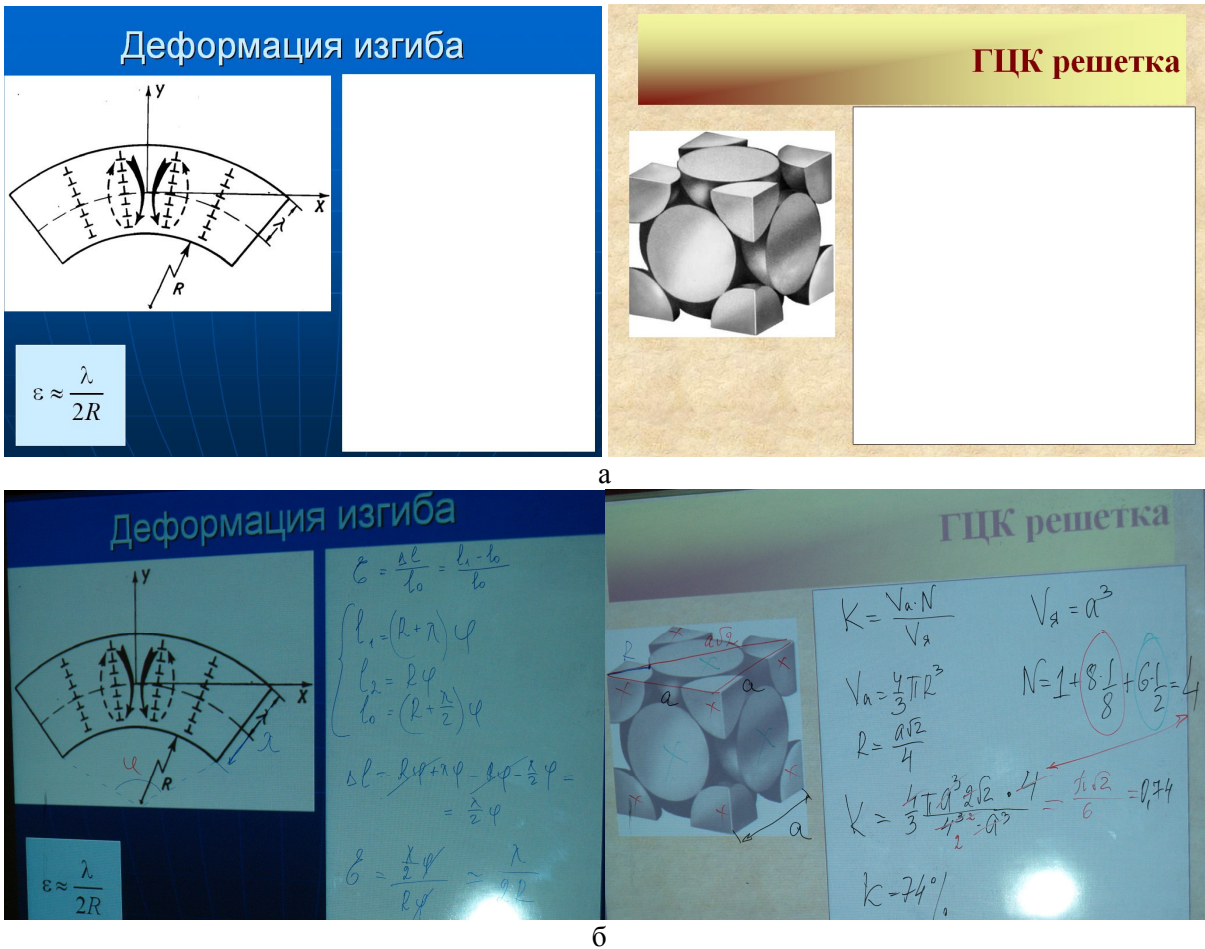


Рис. 1. Примеры слайдов с предварительно оставленными местами для записей: а) до лекции; б) в процессе чтения лекции

Данный курс рассчитан на 16 лекций и 2 модульных контроля и 18 часов самостоятельной работы студентов.

Разработано 16 лекционных презентаций в Power Point, каждая презентация в среднем содержит 40-50 слайдов, исключением является наиболее иллюстративная лекция по теме «Методы наблюдения дислокаций», которая насчитывает более 70 слайдов. Отдельный слайд представляет собой отдельную порцию информации. При желании слайды можно распечатать и использовать в качестве опорного конспекта лекции. Количество слайдов может быть увеличено или уменьшено в зависимости от организации учебного процесса, что обеспечивает вариативность образовательного процесса.

Каждая лекция подчиняется определенной структуре: тема, формулировка цели занятия, основные вопросы, излагаемый материал, основные выводы, вопросы для самоконтроля, рефлексия. Материал лекции структурирован, визуализирован и, по возможности, практико-ориентирован.

Для более успешного и долговременного запоминания нужно задействовать все виды памяти: визуальную, аудиальную, кинестетическую и дигитальную. Иными словами, желательно опираться на зрение, слух, двигательную память и мышление, то есть запоминаемый материал надо видеть (картинки на экране), слышать (сопутствующий голос лектора), и записывать (конспект) и анализировать (задавать вопросы или пояснять материал для студентов, которые не успели разобраться в материале). При этом доказано, что у большинства людей зрительная память преобладает над слуховой по степени «сохранности» предоставляемого материала [2].

Также немаловажную роль в обучении играет слуховое восприятие. Как показано в [3], смысл любого сообщения при живом разговоре собеседников на 7% передаётся словами

(вербально), на 38% – интонацией говорящего и более 50% – передаётся мимикой, жестами, позой говорящего. В речи каждого человека его эмоциональное состояние выражается в интонации это находит отклик у аудитории. Таким образом, присутствие визуально-психологического контакта с лектором является существенным преимуществом при традиционном изложении лекционного материала. Следовательно, грамотное соединение традиционной лекции с использованием ИКТ будет давать максимальную отдачу.

Наполнение презентаций. Слайд-лекция может содержать графики, схемы, иллюстрации, flash анимации, анимированные gif рисунки, видео-эксперименты, фотографии и видеоролики, демонстрирующие компьютерное моделирование физических процессов.

При создании слайдов были учтены эргономические требования визуального (зрительного) восприятия информации. К которым относятся: разборчивость шрифтов (не менее 18 пунктов) обозначений и надписей, отсутствие агрессивных цветов, сведение к минимуму динамических воспроизведений графических объектов или текстов, правильное расположение информации в поле восприятия, отсутствие цветового дискомфорта, оптимальное соотношение яркости графиков и основного фона, отсутствие засорения мелкими деталями главного материала [4]. Текст на слайдах должен быть в минимальном количестве. Что касается формул, то все аналитические выводы лектор проводит в традиционном режиме (маркером на доске), что способствует более последовательному и логичному усвоению материала (рис.1-б). Немаловажную роль играет личностный пример лектора, который скрупулезно шаг за шагом поясняет вывод формулы. Для пояснения уже полученного аналитического выражения целесообразно продемонстрировать полученную зависимость в виде графика или с помощью компьютерного моделирования проанализировать (посмотреть в динамике на экране) полученный результат. Например, при изучении темы «Взаимодействие параллельных краевых дислокаций с параллельными и антипараллельными векторами Бюргерса» по формуле Пича-Келера получаем зависимости сил, действующих на дислокацию от координат в аналитическом виде. Строим графики зависимостей. После демонстрируется поведение дислокаций в динамике с заданными векторами Бюргерса с помощью компьютерного моделирования [5] (рис. 2).

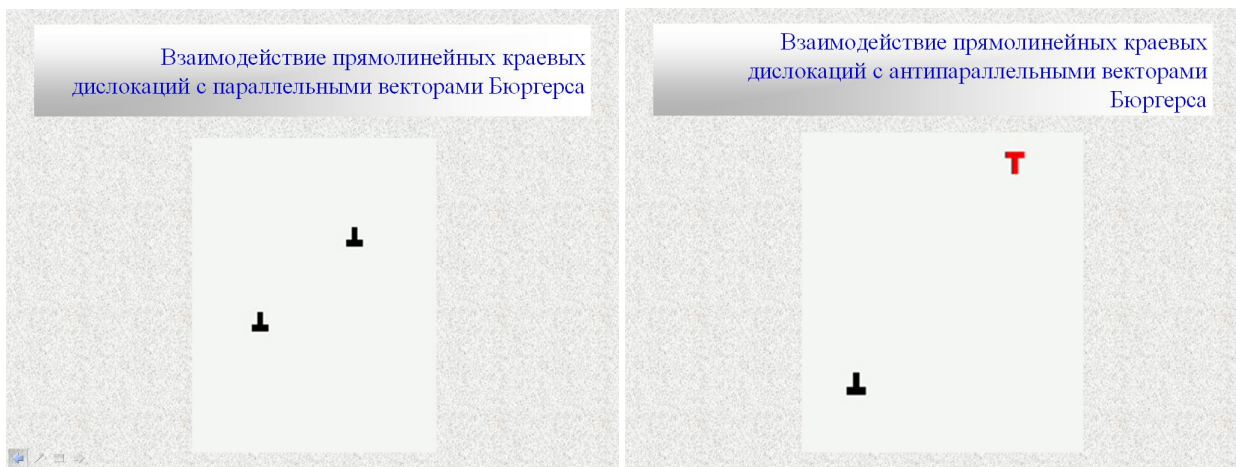


Рис. 2. Слайды, иллюстрирующие результаты компьютерного моделирования взаимодействия дислокаций с параллельными и антипараллельными векторами Бюргерса с учетом их переползания (анимация)

Всего при изложении спецкурса насчитывается более 10 учебных видеороликов, полученных с помощью авторской модели [5], которые показывают взаимодействие дислокационных ансамблей различных конфигураций, содержащих дислокации с параллельными, антипараллельными и перпендикулярными векторами Бюргерса. Результаты моделирования согласуются с экспериментальными данными, что подтверждается фотографиями экспериментов [6].

При чтении спецкурса используются компьютерные модели не только в рамках авторской модели, но и интернет ресурсы (рис. 3) [7-9]. Использование компьютерного моделирования, флеш анимаций позволяет помимо активизации теоретического понятийного мышления задействовать образное мышление студентов и привлечь механизмы практических видов

мышления (наглядно-образного и наглядно-действенного), что облегчает процесс понимания и запоминания материала.

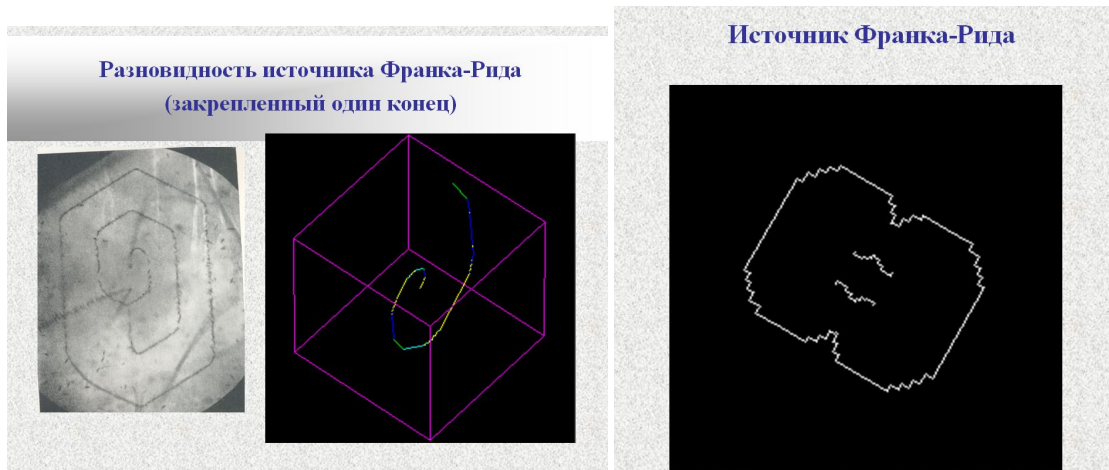


Рис. 3. Слайд лекции «Механизмы образования дислокаций». Фотография и компьютерное моделирование (анимация) [8]

Для создания анимированных рисунков кристаллических решеток, оценки коэффициентов компактности и координационных чисел, вычисления размеров октаэдрических и тетраэдрических пустот в кристаллических решетках за основу был взят фильм [10-11]. На базе [10-11] были созданы анимированные gif рисунки (не более 20 секунд, после чего цикл повторяется), что является удобным при объяснении лекционного материала (рис.4). После демонстрации пустот предлагается чертеж для расчета размеров пустот (рис. 5).

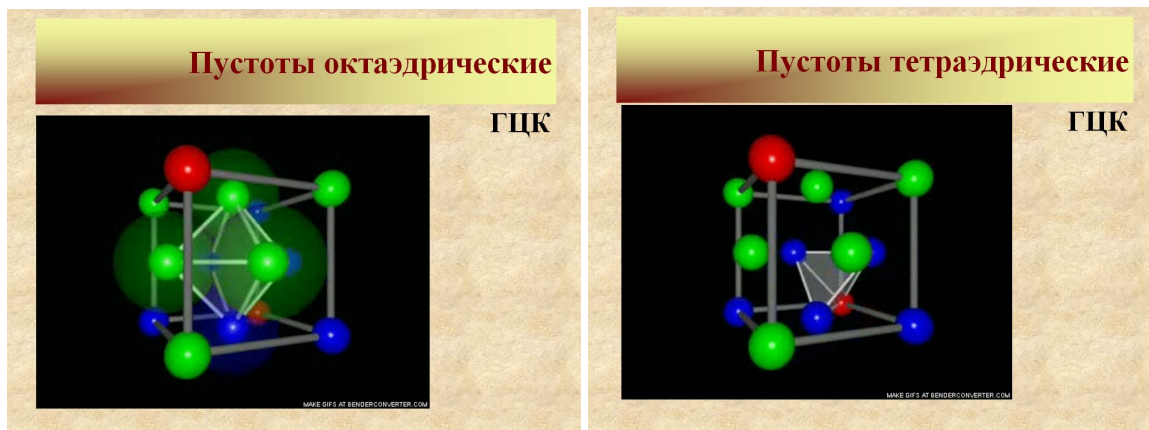


Рис. 4. Слайды по теме «Дефекты в кристаллах», иллюстрирующие расположение октаэдрических и тетраэдрических пустот в кристалле (анимация)

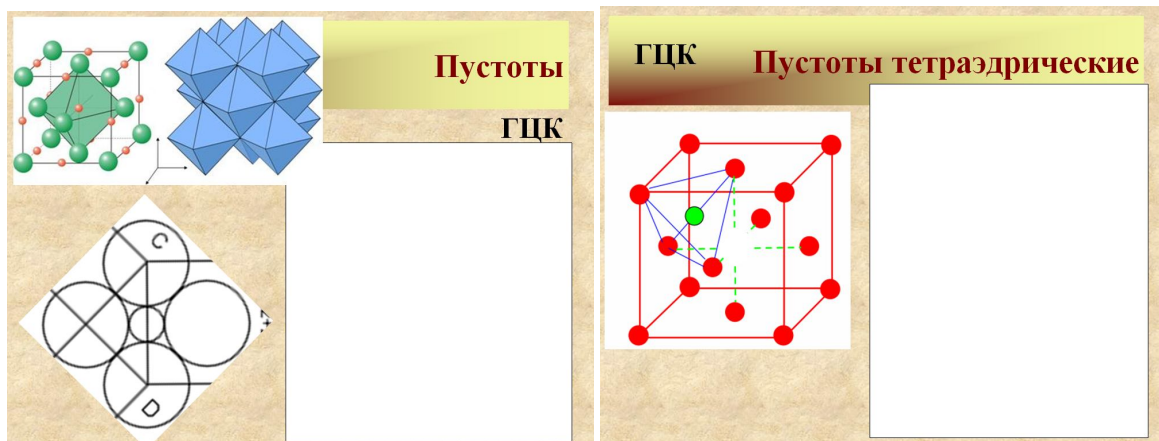


Рис. 5. Слайды по теме «Дефекты в кристаллах» для расчета размеров пустот

Разработано 2 модульных контроля в рамках кредитно-модульной системы оценивания в тестовой форме, используя программное обеспечение MyTestX. MyTest состоит из трех модулей: MyTestStudent, MyTestEditor, MyTestServer. С помощью MyTestStudent проходит тестирование студентов. База вопросов создается с помощью MyTestEditor. MyTestServer разрешает раздавать тест и список группы на каждый компьютер с компьютера преподавателя, а также принимать результаты тестирования и наблюдать за ходом выполнения теста (на каком вопросе студент сейчас, количество ошибок). В каждом модуле по 25 вопросов различной формы: выбор одного правильного ответа (рис. 6), множественный выбор (рис. 7), вопрос на соответствие, согласны вы с утверждением «да» или «нет», часть изображения [12], ввести ответ с клавиатуры.

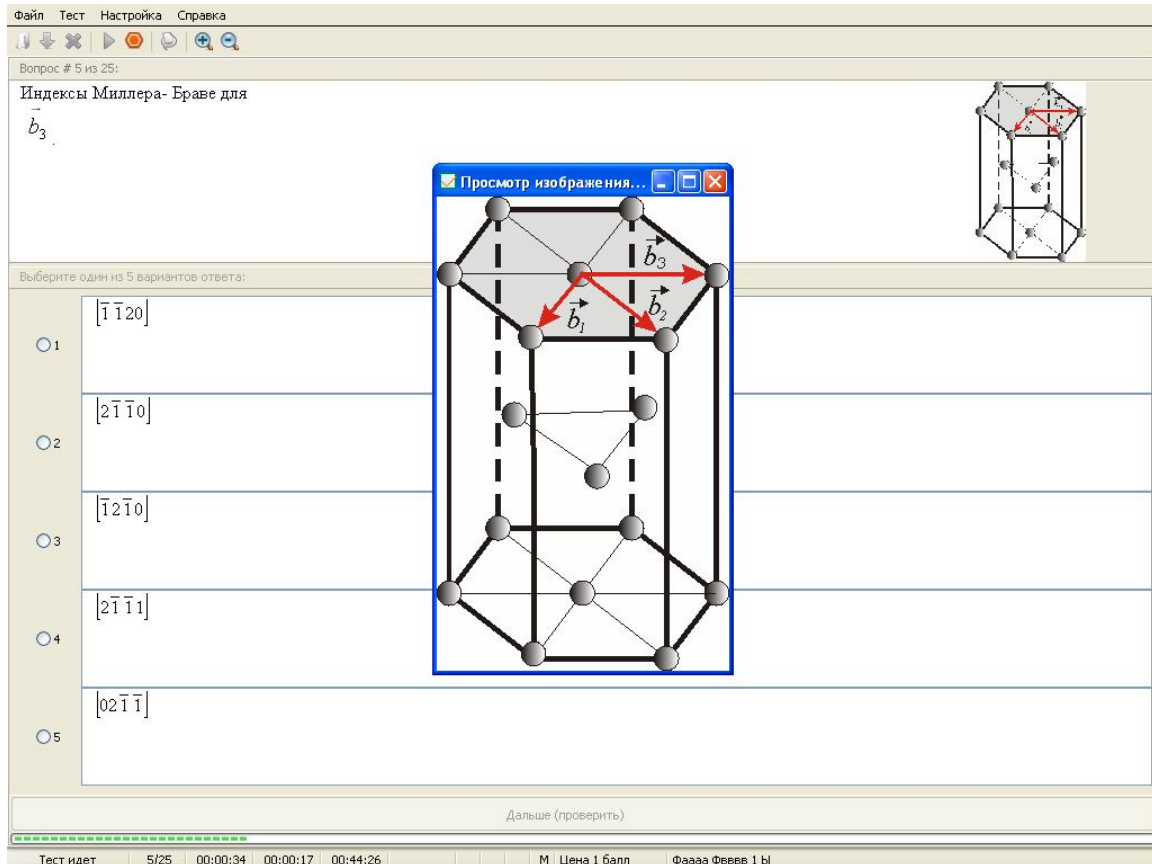


Рис. 6. Вариант вопроса с единственно правильным ответом

Вопросы составлены таким образом, чтобы не только проверить базовые знания студентов по предмету, но и выявить уровень понимания предмета. Это возможно в определенных типах вопросов: «логические цепочки» [9] или «да или нет». В тексте вопроса формулируются правдивые и ложные утверждения, направленные на анализ знаний по теме. Студенту предлагается согласиться или нет с данными утверждениями. После написания модуля студентам предлагается беседа с преподавателем, где они продемонстрируют уже знания предмета, навыки коммуникации и устной речи, остроту и оригинальность, логичность мышления, способность к анализованию.

Используя интерактивные слайд-лекции и модульное оценивание, спецкурс «Основы дислокационной теории» читался в течение двух семестров на кафедре физики кристаллов ХНУ имени Каразина. Можно отметить ряд преимуществ при использовании интерактивной слайд-лекции в процессе обучения:

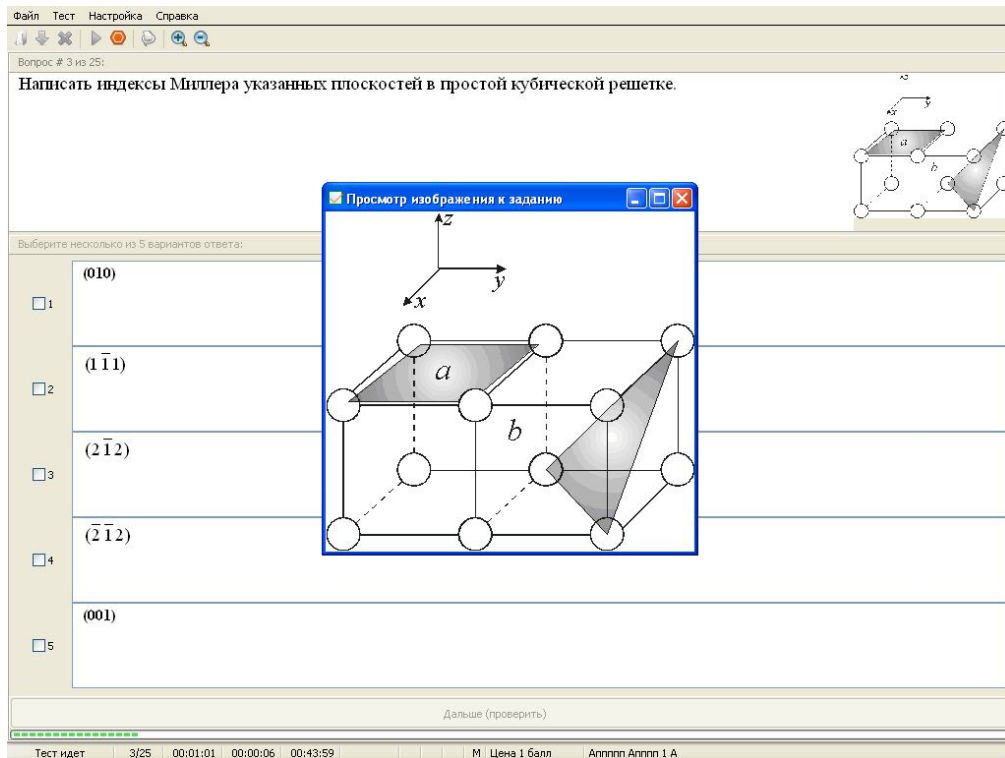


Рис. 7. Вариант вопроса множественного выбора

- наглядность, что углубляет и улучшает понимание сути физических процессов;
- возможность разнообразить формы образовательного процесса, внести проблемно-исследовательский подход в изложение лекции;
- вариативность излагаемого материала;
- повысить интерес у студентов к предмету;
- наличие опорного конспекта с фотографиями, что облегчает подготовку студентов к модульным контролям и экзамену.

Положительный опыт реализации описанной выше методики позволяет рекомендовать ее к применению в процессе обучения в высшей школе.

1. Стародубцев В.А., Чернов И.П. Разработка и практическое использование мультимедиа средств на лекциях // Физическое образование в вузах. – 2002. – т. 8, №1. – С. 86-91.
2. Роберт Солсо. Когнитивная психология. – СПб: Питер, 200. – 592 с.
3. Ильченко О.А. Психолого-педагогические требования при обучении с использованием средств компьютерных и телекоммуникационных технологий // Образование в информационную эпоху: Материалы конференции. М.: МЭСИ. – 2000. – С. 192-197.
4. Андреев В.Н. Психологические аспекты представления информации на экране дисплеев автоматизированных обучающих системах. М. – 1991. – 168 с.
5. Мацокин Д.В. Пахомова И.Н. Моделирование поведения дислокационных ансамблей в щелочно-галоидных монокристаллах // Вісник ХНУ. Серія «Фізика». – 2002. – № 558, вип. 6. – С. 85-91.
6. Мацокин Д.В. Пахомова И.Н. Использование компьютерного моделирования в изучении спецкурса «Физические основы прочности и пластичности» // «Проблеми сучасної освіти». Збірник науково-методичних праць, Харків. ХНУ імені В.Н. Каразіна. – 2012. – №3/1. – С. 111-119.
7. Discrete Dislocation Dynamics [Электронный ресурс] <http://www.numodis.fr/tridis/index.html>
8. The Dislocation Gallery. [Электронный ресурс] <http://zig.onera.fr/DisGallery/index.html>
9. Bubble raft movies (videos) and pictures. [Электронный ресурс] <http://homepages.cae.wisc.edu/~stone/bubble%20raft%20movies.htm>
10. Lattice Structures Part 1 [Электронный ресурс] <http://www.youtube.com/watch?v=Rm-i1c7zr6Q>
11. Lattice Structures Part 2 [Электронный ресурс] <http://www.youtube.com/watch?v=F4Du4zI4GJ0&list=PL1296E54CED2180B5>
12. Пахомова І.М. Застосування новітніх інформаційно-комунікаційних технологій при навчанні студентів фізиці у вищій школі України // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Інформаційно-комунікаційні технології в освіті: досвід, інновації, технічне забезпечення», Суми. – 2012. – С. 169-176.

Стаття надійшла до редакції 24.09.2013.

УДК 622.24

Д.Ю. Петрина
ЗВ'ЯЗОК В'ЯЗКОСТІ РУЙНУВАННЯ З МІКРОБУДОВОЮ ЗЛОМІВ ЗРАЗКІВ
ВИСОКОМІЦНИХ ДОЛОТНИХ СТАЛЕЙ

Електроннофрактографічним аналізом вивчені зломи зразків, утворених при поширенні тріщини в загартованих долотних сталях з різним вмістом вуглецю в залежності від температур відпуску та випробувань. Встановлено, що зона втомого поширення тріщини найчастіше переходить безпосередньо в зону витяжки. Встановлені кореляційні залежності між шириною зони витяжки і рівнем в'язкості руйнування K_{IC} .

Ключові слова: електроннофрактографічний аналіз, злом, тріщини, витяжки.

Рис. 6. Форм. 3. Табл. 1. Літ. 7.

Д.Ю. Петрин
СВЯЗЬ ВЯЗКОСТИ РАЗРУШЕНИЯ С МИКРОБУДОВОЮ ЗЛОМ ОБРАЗЦОВ
ВИСОКОПРОЧНЫХ ДОЛОТНЫХ СТАЛЕЙ

Електроннофрактографічним аналізом изучены изломы образцов, образованных при распространении трещины в закаленных долотных сталях с разным содержанием углерода в зависимости от температур отпуска и испытаний. Установлено, что зона усталостного распространения трещины чаще всего переходит непосредственно в зону вытяжки. Установлены корреляционные зависимости между шириной зоны вытяжки и уровнем вязкости разрушения K_{IC} .

Ключевые слова: електроннофрактографічний аналіз, злом, тріщини, витяжки.

D.Yu. Petrin
FRACTURE TOUGHNESS RELATIONSHIP WITH SAMPLES MIKROBUDOVOYU
BREAKING DUCTILE DRILLING STEELS

Fracture diffraction fractography analysis investigates breaking-offs of the samples formed at spreading of flaws in hardened bit steels with a different carbon content depending on tempering temperatures and trials. It is established, that the zone of fatigue spreading of a flaw passes immediately in a zone of an draw-forming more often. Correlation dependences between width of a zone of an draw-forming and a level of fracture toughness K_{IC} are established.

Keywords: електроннофрактографічний аналіз, злом, тріщини, витяжки.

Вирішення важливої державної проблеми забезпечення паливно-енергетичного комплексу сировиною вимагає для цієї галузі розробки і впровадження високоефективного устаткування. Техніко-економічні показники бурових робіт в значній мірі залежать від стійкості породоруйнуючих інструментів на вибої. Тому при розробці нових типів породоруйнуючих інструментів особлива увага приділяється питанням підвищення їх довговічності на всіх етапах створення, починаючи з конструювання і закінчуючи технологічним його забезпеченням і виготовленням. Вказані напрямки нерозривно зв'язані між собою, тому тільки комплексне вдосконалення всіх стадій створення породоруйнуючого інструменту може дати позитивний ефект.

Розвиток науково-технічного прогресу в області створення прогресивних видів породоруйнуючих бурових інструментів неможливий без раціонального застосування матеріалів для виготовлення доліт, а також обґрунтованості використання режимів термічної та хіміко-термічної обробки. В останні роки накопичений великий статистичний матеріал із застосування конструкційних сталей в долотобудуванні. Проте аналіз цього матеріалу показує, що використання високоякісних сталей не має наукового обґрунтування і носить випадковий характер. Таке положення не дозволяє на науковій основі підходити до вибору та застосування зносостійких сталей, що є актуальною науковою та прикладною задачею.

На практиці деталі бурових доліт, як правило, піддаються одночасній дії зношування та зовнішнього силового навантаження, що приводить до втрати їх працездатності. Тому обґрунтований вибір сталей для виробництва деталей бурових доліт можливий тільки на основі комплексного вивчення закономірностей їх зношування і руйнування в різних умовах контактної взаємодії та зовнішнього силового навантаження [1].

При цьому як у випробуваннях, так і в розрахунках опір матеріалів розвитку тріщин не враховується. Разом з тим досвід експлуатації сучасних високонантажених деталей машин показав, то створити матеріали, а також виготовити деталі конструкцій без дефектів типу тріщин (технологічні концентратори, розшарування та ін.) практично неможливо. Крім цього, прагнення до зменшення металоємності конструкцій веде до більш широкого застосування високоміцних і, як правило, менш пластичних матеріалів з підвищеною схильністю до крихкого руйнування. Останнім часом в ряді робіт науково обґрунтований перехід виробництва доліт малих розмірів з цементованих сталей на високоміцні [2, 3]. Необхідно також враховувати і те, що в умовах

експлуатації діють фактори, які додатково знижують їх пластичність, в'язкість і підвищують небезпеку крихкого руйнування. До таких факторів відносяться концентратори напружень (надрізи), низькі температури, високі швидкості навантаження збільшення розмірів деталей (масштабний фактор), поверхнево-активні та корозійно-агресивні середовища і т.п.. Часті пошкодження, аварії бурових доліт викликали проведення досліджень зразків і конструкцій з тріщинами та розробки методів оцінки тріщиностійкості конструкційних матеріалів.

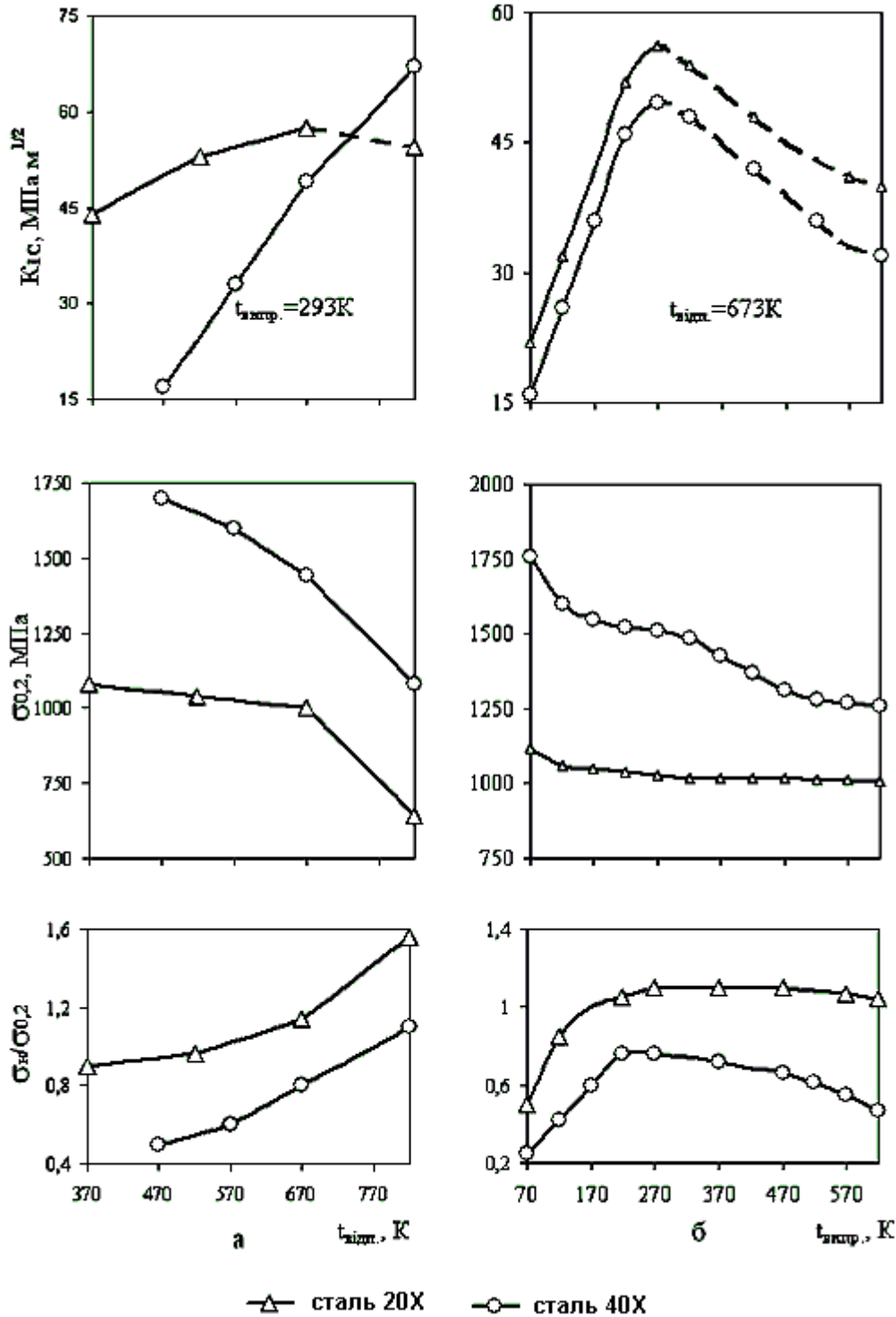


Рис. 1. Вплив температури відпуску (а) та температури випробувань (б) на механічні характеристики гартованих сталей

Питання про зв'язок мікробудови зломів зразків, на яких визначали в'язкість руйнування, з рівнем останньої заслуговує на значну увагу, оскільки структура злomu дає ключ для розуміння

механізму поширення критичної тріщини [4]. Щоб чіткіше з'ясувати мікромеханізм спонтанного зростання тріщини у високоміцних сталях внаслідок прикладення граничних навантажень, було проведено фрактографічне дослідження будови зломів, утворених при оцінці в'язкості руйнування деяких високоміцних долотних сталей [4]. При цьому вивченню підлягали перш за все стартові ділянки зломів, що відповідають початку спонтанного росту тріщини. В даній роботі ми ставили своєю метою дати мікроаналіз зломів, утворених при поширенні тріщин в загартованих долотних сталях з різним вмістом вуглецю, в залежності від температур відпуску та випробувань.

Випробуванням підлягали сталі 20X і 40X після гартування та відпуску, температуру якого змінювали в широкому діапазоні – від 373К до 923К. Дослідження проводили на циліндричних зразках з попередньо утвореною втомною кільцевою тріщиною, яку наводили шляхом циклічного тренування при обертовому згині зразків з концентратором типу V-подібної виточки. Методика визначення K_{IC} і нанесення тріщин описана в [5, 6].

Переважає більшість наших досліджень, була проведена при кімнатній температурі (рис. 1, а). Крім цього зроблено оцінку в'язкості руйнування і мікробудови зломів, одержаних при зміні температури випробувань в широкому діапазоні. Такий аналіз проведено на сталях 20X та 40X після відпуску при 673 К (рис. 1, б). Виявлено, що висока пластичність сталі 20X при температурі випробувань вищій за кімнатну не дає підстав для використання відомих методик при оцінці в'язкості руйнування в цій області. Такий висновок підтверджується характером залежності $\sigma_H / \sigma_{0,2}$ від температури випробувань (рис. 1, б). На рис. 1 наведені для обох сталей залежності K_{IC} від температури відпуску і температури випробувань; при цьому штриховими лініями на графіку з'єднані значення K_{IC} , підраховані для області підвищеної пластичності, де коректність обчислень є сумнівною.

На рис. 2 показані характерні макрозломи зразків, одержані після згаданих випробувань. На зломах безпосередньо біля ділянки концентратора видно втомну ділянку кільцевої тріщини, решта перерізу відповідає короткочасному поширенню тріщини. Навіть візуальний аналіз показує істотні відмінності в будові зломів, утворених при різних температурах випробувань. В міру зростання пластичності сталі кристалічна будова злому поступається місцем волокнистій, при цьому на зразках з підвищеною пластичністю часто спостерігали волокнисті зони початкового підростання тріщини.



Рис. 2. Зломи циліндричних зразків з попередньо наведеними втомними тріщинами, зруйновані з метою оцінки K_{IC}

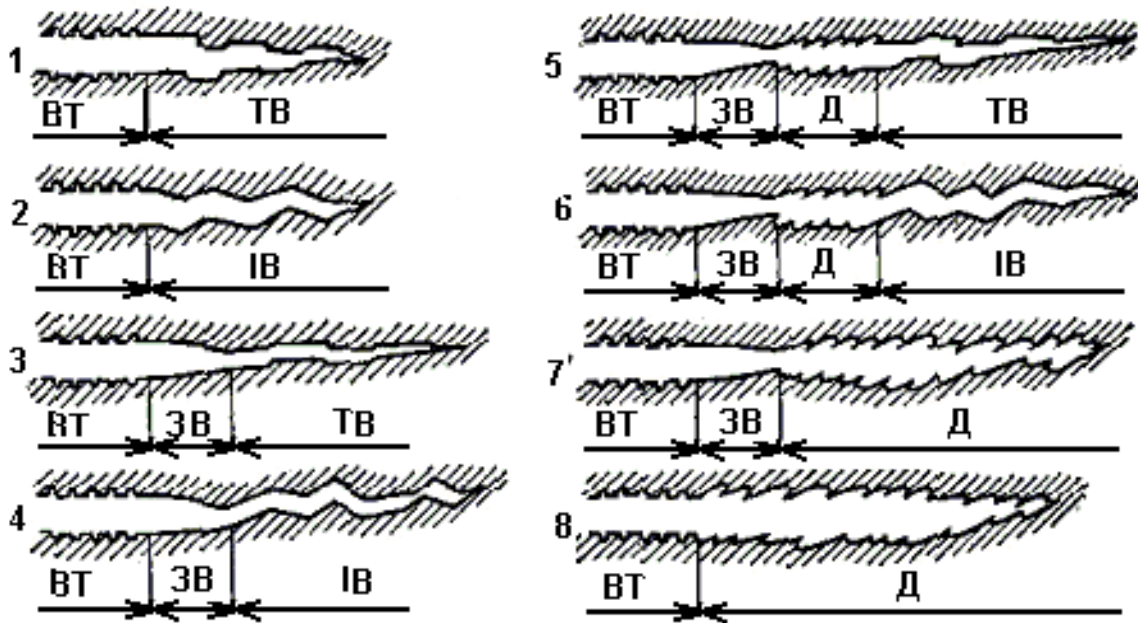
а, б, в – сталь 50XH; $t_{\text{відп}}$ дорівнює відповідно 473, 773, 923 К,
г, д, е – сталь 20X, $t_{\text{відп}}$ дорівнює відповідно 473, 773, 923 К

У зв'язку із значним збільшенням пластичності при підвищенні температури відпуску сталі 20X до 923К характер макрозлому різко змінюється. Гладкі периферійні ділянки злому, які безпосередньо прилягають до втомної зони, перетворюються в скоси, орієнтовані приблизно під

кутом 45° до нормальної початкової площини злому (рис. 2). Для цього випадку стає очевидною неправомірність використання діаграм руйнування для оцінки K_{1C} .

Проведено мікрофрактографічний аналіз будови поверхні зломів залежно від рівня в'язкості руйнування, що змінювалась внаслідок зміни температур відпуску і випробувань. Таке дослідження полягало в прицільно-статистичній оцінці будови поверхні злому за радіусом зразка від втомної зони до центра. Електроннофрактографічний аналіз виявив істотні відмінності в будові зломів залежно від рівня в'язкості руйнування, а також структурних особливостей матеріалів і температурних умов випробувань. Особлива увага була приділена ділянкам злому безпосередньо за зоною втоми; саме з цих ділянок починається тріщина, розвиток якої звичайно мав спонтанний характер.

Вивчення мікробудови зломів засвідчило, що залежно від рівня K_{1C} , структури сталі та температури випробувань може реалізуватися щонайменше вісім схем зміни мікроутворень на поверхні злому (рис. 3). Про конкретні режими термообробки і випробувань, при яких здійснювались ці схеми, можна судити з таблиці 1. Було виявлено, що зона втомного поширення тріщини ВТ найчастіше переходить безпосередньо в зону витяжки ЗВ. Проте при низькому рівні K_{1C} ($23 \text{ МПа} \sqrt{\text{м}}$ і нижче) зона витяжки відсутня зовсім, а розкриття тріщини здійснюється шляхом транскристалітного або інтеркристалітного відколу (рис. 4, а, г). Приклади старту тріщини без утворення зон витяжки спостерігали не тільки при малопластичному відкольному руйнуванні. Дослідження показали, що зона витяжки може бути відсутньою також у випадках, коли під час руйнування реалізується висока в'язкість (рис. 4, в); цей випадок відповідає схемі 8, коли втомна зона переходить безпосередньо в ділянку в'язкого димплогового руйнування.



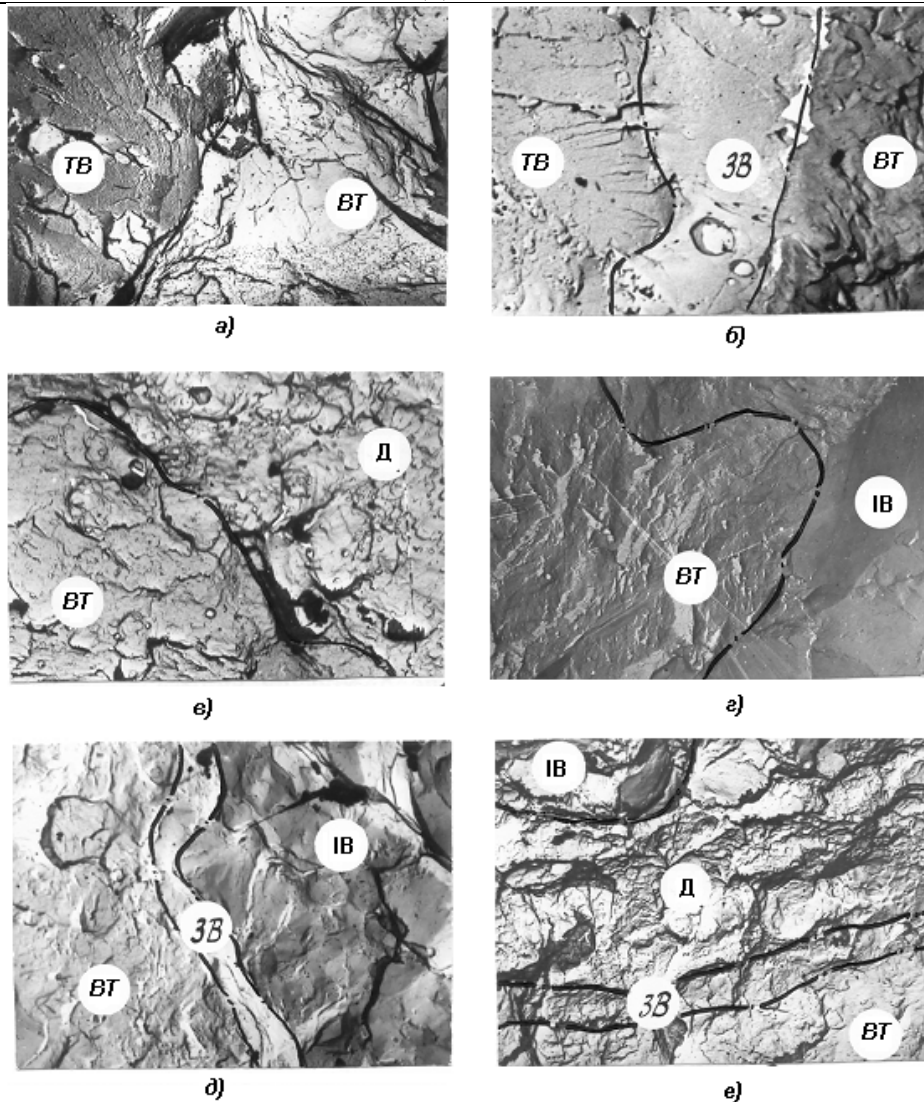
ВТ – зона втоми; ЗВ – зона витяжки; ТВ – транскристалітний відкол;
ІВ – інтеркристалітний відкол; Д – димплова зона

Рис. 3. Профільні схеми, що ілюструють імовірні типи мікробудови зломів, утворених при спонтанному розкритті втомної тріщини

Безструктурна зона витяжки найчастіше переходить в ділянку димплогового руйнування. Проте інколи у випадках низькоенергоємного руйнування спостерігався також перехід зони витяжки до відкольного руйнування (схеми 3 і 4, рис. 4 б, д). Було також помічено, що випадки руйнування досліджуваних сталей з середнім рівнем K_{1C} ($37 \dots 50 \text{ МПа} \sqrt{\text{м}}$) відповідають багатоступеневим схемам руйнування 5 і 6; тоді в міру просування тріщини окрихченість злому звичайно зростає, оскільки, як правило, димплова ділянка Д переходить в зону відкольного руйнування ТВ або ІВ (рис. 5). Це зумовлено ростом швидкості спонтанно

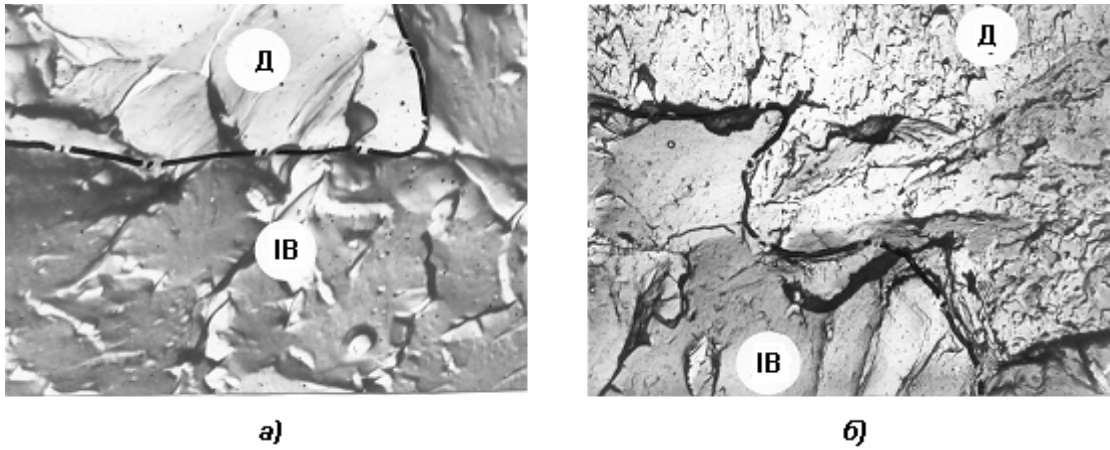
Таблиця 1. Особливості мікробудови зломів, утворених при оцінці сталей 20Х і 40Х (циліндричні зразки)

Сталь	K_{IC} МПа · $\sqrt{м}$	$t_{відп}$, К	$t_{випр}$, К	№ схеми	Реалізовані схеми зміни мікроутворень на поверхні злому*	Ширина зони втяжки, мкм	Середня довжина великих димплів, мкм			
20Х	35,65	673	173	1	BT → ТВ	1	1,5			
				3	BT → ЗВ → ТВ					
				5	BT → ЗВ → Д → ТВ					
	65,72	523	293	5	BT → ЗВ → Д → ТВ	5	7			
				86,8	673	293	5	BT → ЗВ → Д → ТВ	16	7
				108,5	823	293	7	BT → ЗВ → Д	20	7
				18,6	673	77	8	BT → Д	0	-
							2	BT → ІВ		
2	BT → ІВ	1	2							
46,5	523			293	4	BT → ЗВ → ІВ				
40Х	65,1	673	293	6	BT → ЗВ → Д → ІВ	3	6			
				93	823	293	6	BT → ЗВ → Д → ІВ	11	8
	8	BT → Д	-	-						



а) - в) - сталь 20Х; г) - е) - сталь 40Х
а) - схема 1; б) - схема 3; в) - схема 8; г) - схема 2; д) - схема 4; е) - схема 6
а, б, г - x2700; в, д, е - x1500

Рис. 4. Характерні різновидності мікробудови зломів на ділянці переходу від втомного до короточасного руйнування



а) в'язке руйнування → транскристалітний відкол (сталь 20Х);
 б) в'язке руйнування → інтеркристалітний відкол (сталь 40Х)

Рис. 5. Приклади зміни мікробудови зламу на ділянках доламу (x2770)

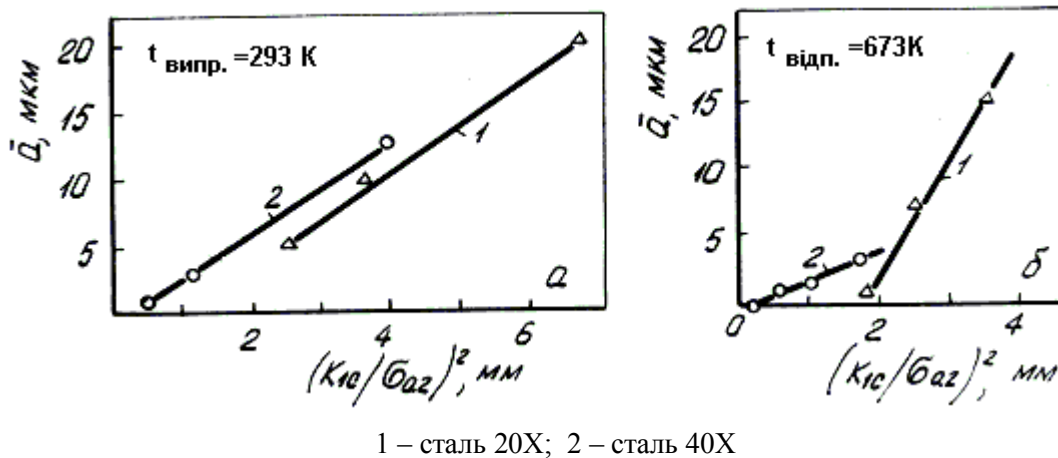


Рис. 6. Залежність ширини зони витяжки \bar{a} від $(K_{1c} / \sigma_{0.2})^2$ при зміні температури відпуску (а) та випробувань (б)

Зупинимось дещо детальніше на особливостях будови зони витяжки, якій, згідно з сучасними уявленнями про механізм розкриття критичної тріщини, відводиться роль бар'єрної ділянки, що забезпечує досяжний рівень в'язкості руйнування. Зона витяжки має зазвичай вигляд безструктурної гладкої смужки, розташованої безпосередньо за областю попереднього втомного руйнування. Проте часто поверхня зони витяжки має сліди вторинної смужкової фактури, що в умовах нечітко вираженої втомної боріздрчастості, характерної для високоміцних сталей, утруднює детермінацію границь зони витяжки. Явно виражені хвилясті лінії, які часто спостерігають в широких зонах витяжки в'язких сталей, підтверджують механізм розщеплення матеріалу шляхом поетапного зсуву. Для детермінації границь зони витяжки найбільше значення мають тіньові ефекти на її границях, оскільки внаслідок зміни нахилу поверхні руйнування освітленість суміжних ділянок істотно відмінна.

На значну увагу заслуговує питання про кореляцію між шириною зони витяжки та рівнем в'язкості руйнування K_{1c} . Спираючись на відомі аналітичні вирази для оцінки малої пластичної зони, що виникає в момент спонтанного поширення тріщини [7], при визначенні ширини зони витяжки використовують формулу

$$\bar{a} = B \left(\frac{K_{1c}}{\sigma_{0.2}} \right)^n, \quad (1)$$

де: B – постійна; n – показник, за величиною близький до двох.

Проте залежність (1) постулює існування зони витяжки незалежно від рівня K_{1c} . Разом з тим, наші дані свідчать про те, що для сталей з відносно низьким рівнем K_{1c} зона витяжки може бути відсутня зовсім, що характерно, зокрема, для випадків, коли поширення тріщини з самого початку

йде шляхом відколу. Відсутність зони витяжки характерна насамперед для сталей високої твердості із структурою мартенситу. Зона витяжки не властива також зломам, утвореним при руйнуванні високоміцних сталей в області низьких, зокрема криогенних температур. Як видно з характеру залежностей, представлених на рис. 6, зв'язок між шириною зони витяжки та K_{1C} задовільно описується формулою

$$\bar{a} = B \left(\frac{K_{1C}}{\sigma_{0,2}} \right)^2 - A, \quad (2)$$

де A – додаткова константа.

У випадку, коли рівняння (2) виражає зміну ширини зони витяжки залежно від зміни певних умов випробувань одного і того ж матеріалу, константа A характеризує мінімальний рівень K_{1C}^{\min} , при якому зникає зона витяжки

$$K_{1C}^{\min} = \sigma_{0,2} \sqrt{\frac{A}{B}}. \quad (3)$$

Отже, незважаючи на дуже сильний зв'язок рівня в'язкості руйнування з зоною витяжки, останню не можна признати універсальним структурним елементом, що визначає реалізований рівень K_{1C} . Додаткові спостереження, проведені на в'язких зломах з волокнистими ділянками докритичного підростання тріщини, свідчать також про те, що зона витяжки не є обов'язковим структурним елементом мікробудови злому, утвореного на ділянці, що відповідає спонтанному поширенню тріщини. Фрактографічний аналіз згаданих макрообластей докритичного підростання тріщини засвідчив, що вони складаються зазвичай з двох ділянок: безпосередньо до області втомних прилягає безструктурна зона витяжки, за нею спостерігається значно ширша від першої (вона покриває решту злому) ділянка в'язкого димплого розриву. В місці переходу злому з докритичної на критичну ділянку зона витяжки пов'язана зі стартом тріщини незалежно від того, який ріст тріщини знаменує собою цей старт – спонтанний чи докритичний.

Була також зроблена спроба виявити зв'язок між рівнем в'язкості руйнування та розміром (довжиною) ямок на димпловій поверхні злому (див. табл. 1). Констатували наявність в зломах великих і малих димплів (це стосується насамперед зломів високої в'язкості). При істотно крихкому руйнуванні переважають дрібні димпли. Якщо при оцінці кореляції в'язких сталей брати до уваги лише значні димпли, то із наведених у таблиці 1 даних складається враження про симбатну залежність в'язкості руйнування від довжини ямок – з ростом першої зростає розмір ямок. В зломах, одержаних при низьких значеннях в'язкості руйнування, переважають дисперсні димпли довжиною 1-2 мкм.

Отже, в роботі вивчено мікробудову зломів, що виникають при короткочасному руйнуванні зразків з високоміцних долотних сталей з попередньо нанесеними втомними тріщинами, призначеними для оцінки K_{1C} . Встановлені кореляційні залежності між шириною зони витяжки та рівнем в'язкості руйнування K_{1C} .

В подальших дослідженнях планується встановити кореляційні зв'язки між мікробудовою зломів зразків з цементованих сталей і рівнем їх в'язкості руйнування.

1. Механіка руйнування і міцність матеріалів: Довідн. посібник / Під заг.ред. В. В. Панасюка. – К.: Наук. думка, 1988. – Т 10: Міцність та довговічність нафтогазового обладнання / Під ред.. В.І. Похмурського, Є.І. Крижанівського. – Львів – Івано-Франківськ: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України; Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, 2006. – 1193 с.
2. Бобров С.Н. О применении высокопрочных сталей как износостойкого конструкционного материала // *Металловедение и термическая обработка металлов.* – 1993. – №8. – С. 13-17.
3. Сорокин Г.М. Системный анализ и комплексные критерии прочности сталей / Г.М. Сорокин, И.Б. куракин. – М. Недра, 2011. – 101 с.
4. Петрина Ю.Д., Павленко Т.В. Зв'язок в'язкості руйнування високоміцних долотних сталей з мікробудовою зломів // *Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ.* – 1996. – № 33. – С. 116-119.
5. Пат. 85519 Україна, МПК G01N3/20 (2006.01). Спосіб нанесення осесиметричних вихідних втомних тріщин на циліндричних зразках / Петрина Д.Ю., Роп'як Л.Я.; патентовласник ІФНТУНГ. – № а200705249; заявл. 14.05.2007; опубл. 26.01.2009, Бюл. № 2.
6. ГОСТ 25.506–85. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 62 с.
7. Механика разрушения и прочность материалов: Справочное пособие: В 4-х т. / Под. ред. В.В. Панасюка. Том 3. Характеристики кратковременной трещиностойкости материалов и методы их определения / С.Е.Ковчик, Е.М.Морозов. – К.: Наукова думка, 1988. – 435 с.

Стаття надійшла до редакції 30.09.2013.

УДК 621.0

М.І. Пилипець, А.П. Драган, А.Є. Дячун, І.М. Кучвара
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ФОРМОУТВОРЕННЯ НАВИВНИХ ЗАГОТОВОК

Розроблена математична модель формоутворення навивних заготовок. Виведені аналітичні залежності для розрахунку траєкторій переміщень формоутворюючого інструменту і силових та динамічних характеристик.

Ключові слова: математична модель, навивна заготовка.

Рис. 1. Форм. 12. Літ. 6.

М.И. Пилипец, А.П. Драган, А.Е. Дячун, И.М. Кучвара
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ НАВИВНЫХ ЗАГОТОВОК

Разработана математическая модель формообразования навивных заготовок. Выведенные аналитические зависимости для расчета траектории перемещения формообразующего инструмента и силовых и динамических характеристик.

Ключевые слова: математическая модель, навивные заготовка.

M.I. Pylypec, A.P. Dragan, A.Y. Dychun, I.M. Kuchvara
MATHEMATICAL MODEL OF WINDED BLANKS SHAPING

The mathematical model of winded blanks shaping was developed. Analytical dependences for determining the trajectories of shaping tools moving and power and dynamic performance were selected.

Keywords: mathematical model, winded blank.

Актуальність теми. Створення нових і удосконалення існуючих конструкцій гвинтових транспортних машин (ГТМ) з розширеними технологічними можливостями сприяє подальшому розвитку виробництва та підвищення їх ефективності використання. В сучасних конструкціях машин використання гвинтових механізмів, номенклатура яких та специфіка експлуатації постійно зростають, питома вага цих механізмів у підйомно-перевантажувальних машинах за різними даними складає 40-45%. Встановлено, що функціональні можливості і технологічні характеристики ряду ГТМ не відповідають вимогам сьогодення, за ознаками розширення номенклатури технологічних процесів, результатів теоретичних і експериментальних досліджень, стендовим оснащенням та інше.

Не зважаючи на значну кількість наукових праць, які присвячені розробленню і дослідженню ГТМ, рівень технологічного забезпечення залишається недостатнім, а наукова база для їх створення не завжди відповідає сучасним їх вимогам.

Тому вирішення наукової проблеми, яка полягає в розробленні математичної моделі формоутворення навивних заготовок, є актуальною і має важливе народногосподарське значення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питаннями теорії виготовлення ГЗ присвячені праці ряду авторів [1-6]. Однак цілий ряд теоретичних питань формування гвинтових навивних заготовок і визначення силових та динамічних характеристик потребують подальшого дослідження.

Метою роботи розробка математичної моделі формоутворення гвинтових заготовок з визначенням силових і динамічних характеристик.

Робота виконується в рамках пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки «Новітні та ресурсозберігаючі технології в промисловості, енергетиці та агропромисловому комплексі» на 2010...2015 роки.

Реалізація роботи. При виготовленні різнопрофільних навивних заготовок (НЗ) із складною геометрією, рухи робочих органів технологічного обладнання повинні відповідати заданому технологічному процесу формоутворення. Саме тому необхідно визначити співвідношення між характеристичними параметрами згаданого процесу. Зручним об'єктом для параметризації є формоутворюючий інструмент, рухи якого визначаються органами керування верстату та конструктивними особливостями схеми формоутворення.

Для вивчення характеру відносних переміщень введемо такі координатні системи (рис. 1):

UVW – система координат верстату, причому напрямки осей MU , MW , MV співпадають з напрямками відповідно поперечної, поздовжньої та вертикальної подачі.

XYZ – власна система координат навивної заготовки, причому $OX \parallel MU$, $OY \parallel MV$, $OZ \parallel MW$.

$X_K Y_K Z_K$ – рухома система координат з початком відліку у точці C_i контакту формуючого елемента інструменту з поверхнею навивної заготовки, а вісь $C_i X_K$ завжди направлена по дотичній до характеристичної лінії $L-L$ цієї заготовки, вісь $C_i Y_K$ направлена вздовж нормалі до лінії $L-L$, $C_i Z_K \parallel MW$.

Кут $\psi = \vec{n} \wedge C_i Y_K$ визначає відхилення контактної площини від координатної осі MW , де \vec{n} - нормаль до поверхні F НЗ.

У процесі виготовлення НЗ інструментом, твірна робочої поверхні якого не характеризується певним радіусом кривини (точковий контакт), характер взаємодії інструменту із заготовкою легко відслідковується у випадку подання її геометрії поверхонь у вигляді параметричного виразу:

$$\begin{aligned} x = & [r_o(t, \chi_o) + r_1(t, \chi_1) \cos(\alpha_o + \alpha_p + (t/b)(dv/dt)) + r_2(t, \chi_2) \sin(\alpha_o + \\ & + \alpha_p + (t/b)(dv/dt))] \cos(v_o + t dv/dt); \quad y = [r_o(t, \chi_o) + r_1(t, \chi_1) \cos(\alpha_o + \\ & + \alpha_p + (t/b)(dv/dt)) + r_2(t, \chi_2) \sin(\alpha_o + \alpha_p + (t/b)(dv/dt))] \sin(t dv/dt + \\ & + v_o); \quad z = z_o + r_1(t, \chi_1) \sin(\alpha_o + \alpha_p + (t/b)(dv/dt)) - r_2(t, \chi_2) \cos(\alpha_o + \\ & + \alpha_p + (t/b)(dv/dt)) + \mathcal{E}(t dv/dt + \alpha_o), \end{aligned} \quad (1)$$

де $r_o(t, \chi_o)$, $r_1(t, \chi_1)$, $r_2(t, \chi_2)$ - функціональні радіус-вектори;

$$b = (dv/dt)/(d\alpha/dt);$$

χ_i - незалежна змінна відповідного i -го функціонального радіус-вектора;

α_p - кутова характеристика профілю;

dv/dt , $d\alpha/dt$ – кутові швидкості обертання відповідно площини N (радіус-вектора $r_o(t, \chi_o)$) та радіус-вектора $r_1(t, \chi_1)$;

\mathcal{E} - параметр кроку гвинтової лінії: $\mathcal{E} = T/2\pi$.

У випадках, коли формоутворюючий інструмент має складу форму задача значно ускладнюється.

Припустимо, що рух точки E здійснюється у відповідності з переміщеннями, які задаються керуючими механізмами верстату. Так як задача керування верстатом зводиться до координації рухів окремих ланок його механізмів для реалізації необхідного процесу формоутворення, то вирішення забезпечується введеною параметризацією. Для цього достатньо виявити між координатами точок E і C взаємопов'язані співвідношення, тобто виявити вид функціональної залежності яка переводить довільну точку C у співпадання з іншою відповідною точкою E . Ця задача зводиться до вивчення групи твердих переміщень в рімановому просторі. Розглянемо, зокрема, безперервні групи переміщень для випадку виготовлення НЗ методом навивання для величини калібру співвідносного з шириною спіралі, а також оброблення НЗ різанням. Для цього припустимо, основна поверхня ГЗ задана у вигляді рівняння (1), яка визначена у власній системі координат. Для спрощення розрахунків приймемо: $\alpha'_i = 0$; $\chi_i = 0$, $i = \overline{1,3}$; $z_o = 0$; $\alpha_p = 0$; $b = 1$.

Групи перетворень твердих переміщень визначаються виходячи із таких умов:

1. Будь-який вектор, який є нормальним до траєкторії $\sum C$, є інваріантом загального переміщення групи g , які зберігають нерухомими точки E .

2. Якщо відомий рімановий простір розмірністю $m+f$, перетворений групою переміщень, траєкторії яких мають розмірність m , то завжди можна вибрати систему координат

$x^1, x^2, \dots, x^m; U^1, U^2, \dots, U^m$ так, щоб m перших координат перетворювались транзитивно між собою, а f наступних залишились інваріантними.

З врахуванням цих умов виконано геометричну побудову схеми рухів системи для знаходження груп перетворень, які зв'язані з заданим технологічним процесом і керуванням верстатом (рис. 1). Виходячи із такої побудови:

$$\vec{S}(E) = \vec{P} + \vec{G} + \vec{R} = \vec{P} + \vec{G} + \vec{Q} + \vec{R}_C, \tag{2}$$

де $\vec{Q} = U_Q \vec{i} + W_Q \vec{j} + V_Q \vec{k}; \vec{R} = U_C^k \vec{i} + W_C^k \vec{j} + V_C^k \vec{k}; \vec{S}(E) = U \vec{i} + W \vec{j} + V \vec{k};$

$\vec{P} = U_P \vec{i} + W_P \vec{j} + V_P \vec{k}; \vec{R}_C = (\Delta_1 x_C + \Delta_2 x) \vec{i} + (-\Delta_2 x + \Delta_1 x) \vec{j} + z_C^* \vec{k},$

де $\Delta_1 = \cos[\arctg(y/x) - \arctg(y_o/x_o)] = \cos(v'_t);$

$\Delta_2 = \sin[\arctg(y/x) - \arctg(y_o/x_o)] = \sin(v'_t).$

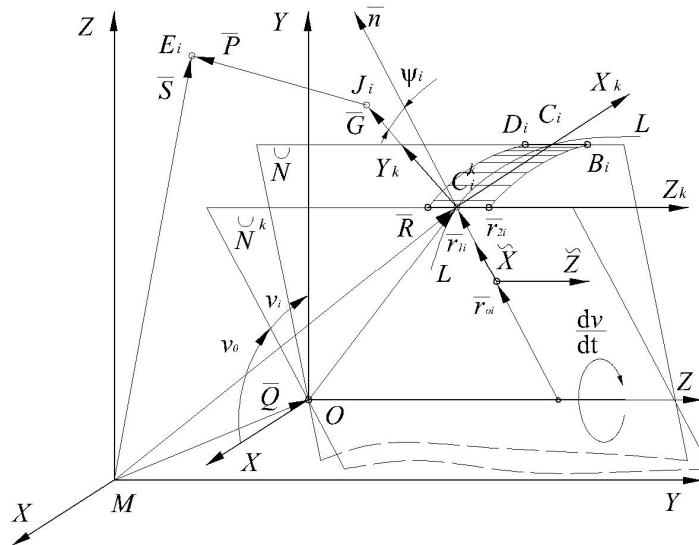


Рис. 1. Розрахункова схема для визначення координат розміщення виконавчих органів верстату і точки контакту інструменту з поверхнею навивної заготовки в процесі її формоутворення

Згідно умови (2.19) припустимо, що $\vec{G} \perp MW$, тоді вектор \vec{G} можна подати у вигляді:

$$\vec{G} = \rho_i \vec{n}_w = \rho_i \left(\frac{\text{grad}F(C_i)}{|\text{grad}F(C_i)|_{W=\cos}} \right) = \rho_i \left(-\frac{V'_{Ot} \vec{i}}{\sqrt{U'^2_{Ot} + V'^2_{Ot}}} + \frac{\vec{k}}{\sqrt{1 + V'^2_{Ot}/U'^2_{Ot}}} \right), \tag{3}$$

де ρ_i - характеристичний параметр інструменту;

\vec{n}_w - одиничний вектор: $\vec{n}_w \perp MW$.

Похідні по часу відповідних координат у точці контакту з інструментом визначаються із матричного перетворення:

$$\begin{pmatrix} U'_{Ot} \\ V'_{Ot} \\ W'_{Ot} \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U'_t \\ V'_t \\ W'_t \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta_1 & \Delta_2 & 0 & 0 \\ -\Delta_2 & \Delta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \tag{4}$$

Одиничний вектор \vec{n}_w вважається додатнім, якщо дивлячись із початку координат, спостерігач бачить, що при обході поверхні деталі зліва направо інструмент залишається з лівої сторони відносно поверхні і від'ємним – якщо з правої.

Величина характеристичного параметра інструменту ρ_i визначається розміщенням формоутворюючого інструменту у рухомій системі координат, за умови дотику контактної площини до оброблюваної поверхні. Однак в процесі формоутворення розташування інструменту

відносно рухомої системи координат змінюється в процесі відносного переміщення характеристичної лінії $L - L$, це дає підстави стверджувати, що $\rho_i = \rho_i(\xi)$. Ця умова особливо актуальна у випадках формоутворення поверхонь операціями різання та зміцнення.

Згідно побудови, вектор \vec{G} в напрямку співпадає з віссю $C_i Y_K$, а його значення у тій же системі координат слід визначати як функцію $Y_K = \rho_i(\xi)$, значення якої залежить від розташування формоутворюючого інструменту.

Проектуючи рівняння (2.19) на осі координат верстату, отримаємо:

$$\begin{aligned} U &= U_C^K \pm \left(U_P + \rho_i(\xi) V_i' / \sqrt{U_i'^2 + V_i'^2} \right); \\ W &= W_C^K + W_P; \\ V &= V_C^K \pm \left(V_P + \rho_i(\xi) / \sqrt{1 + (V_i'/U_i')^2} \right), \end{aligned} \quad (5)$$

де U, W, V - координати точки E , яка визначає розміщення виконавчих органів верстату; $\rho_i(\xi)$, $V_i' / \sqrt{U_i'^2 + V_i'^2}$ - функції кутів нахилу контактної площини формоутворюючого інструменту.

U_P, W_P, V_P - координати вектора P_E , величина якого визначається конструктивними особливостями технологічного устаткування. У багатьох випадках визначення його величини пов'язане зі значними труднощами, тому можна прийняти $U_P = W_P = V_P = 0$.

У рівнянні (4) верхні знаки -, "+", використовуються при додатньому значенні одиничного вектора, "-" при від'ємному.

Аналіз запропонованих рівнянь (5) показує, що існують поверхні, в процесі формоутворення яких не забезпечується змінний кут нахилу контактної площини. Для забезпечення цього зв'язку необхідно переміщувати формоутворюючий інструмент, розглядаючи його у просторі як жорстко зв'язаний з рухомою системою координат $CX_K Y_K Z_K$ і як рухоме тіло відносно цієї системи. В результаті такого підходу зв'язок між робочими переміщеннями можна виразити у вигляді рівнянь в переміщеннях:

$$\begin{aligned} \Delta U_E &= \left[1 - \frac{\rho_i(\xi) \varepsilon_{1i}}{(1 + \varepsilon_2^2)^{3/2}} + \frac{\rho_i(\xi) \xi_i' \varepsilon_2}{x_i' (1 + \varepsilon_2^2)^{1/2}} \right]; \\ \Delta W_E &= \rho_i(\xi) \xi_i' \operatorname{ctg} \xi \Delta U_C^K; \\ \Delta V_E &= \left[\varepsilon_2 - \frac{\rho_i(\xi) \varepsilon_{1i} \varepsilon_2}{(1 + \varepsilon_2^2)^{3/2}} - \frac{\rho_i(\xi) \xi_i'}{x_i' (1 + \varepsilon_2^2)^{1/2}} \right], \end{aligned} \quad (6)$$

де $\varepsilon_1 = \left| \begin{matrix} U_i' & V_i' \\ U_i'' & V_i'' \end{matrix} \right| / (U_i')^3$; $\varepsilon_2 = V_i' / U_i'$; $\Delta U_E, \Delta W_E, \Delta V_E$ - величини переміщень

виконавчих органів верстату; $\varepsilon_{1i} / (1 + \varepsilon_2^2)^{3/2}$ - кривина координатної лінії оброблюваної поверхні ГЗ.

В процесі формоутворення поверхонь вказаних заготовок в багатьох випадках має місце умова: $\psi = \psi(t)$. Тоді у рівнянні (2) вектор $\vec{G} = \vec{G}(\psi, C)$. Причому

$$\vec{G}(\psi, C) = \rho \zeta(\psi) \left(\frac{\operatorname{grad} F(C)}{|\operatorname{grad} F(C)|} \right)_{W=\cos t}, \quad (7)$$

де $\zeta(\psi)$ - матриця Верзора: $\zeta(\psi) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \psi & \sin \psi \\ 0 & -\sin \psi & \cos \psi \end{pmatrix}$.

Підставивши вираз (5) у рівняння (2) та спроектувавши його на осі координат, отримаємо:

$$\begin{aligned}\tilde{U} &= U_C^K \pm \left(U_P + \rho_i(\theta) V_t' / \sqrt{U_t'^2 + V_t'^2} \right); \\ W &= W_C^K + \left(W_P + \rho_i(\theta) \sin \psi / \sqrt{1 + (V_t'/U_t')^2} \right); \\ V &= V_C^K \pm \left(V_P + \rho_i(\theta) \cos \psi / \sqrt{1 + (V_t'/U_t')^2} \right).\end{aligned}\quad (8)$$

Розкладемо вираз (2.19), підставивши в нього залежність (2.22) у ряд Тейлора в околі довільної точки E_0 в момент часу t_0 :

$$\overline{S(E)} = \overline{S(E_0)} + \overline{S(E_0)'} + \overline{S(E_0)''} / 2 + \dots, \quad (9)$$

де E_0 - початкове положення точки E .

Обмежившись величиною малості другого порядку у формулі (8), слід відзначити, що закон переходу із будь-якого кінематичного стану верстату у сусідній в першому наближенні можна завжди характеризувати криволінійним переміщенням точки E по дотичній до траєкторії еквідистантної кривої, визначеній в околі цієї точки. Тоді вектор абсолютного переміщення точки E : $\overline{dS} = \overline{\Delta S(E)} = \overline{S(E)} - \overline{S(E_0)}$. Диференціюючи вираз (2.19), отримаємо:

$$\begin{aligned}\overline{dS} &= \overline{dR_{C_i}} + \overline{dP_i} + \rho \zeta'(\psi) d \left(\frac{\overline{\text{grad } F(C_i)}}{|\overline{\text{grad } F(C_i)}|} \right)_{W=\text{const}} + \\ &+ \rho \left(\frac{\overline{\text{grad } F(C_i)}}{|\overline{\text{grad } F(C_i)}|} \right)_{W=\text{const}} d\zeta'(\psi).\end{aligned}\quad (10)$$

Прийнявши, що $\vec{P} = 0$, а останній член цього виразу суттєво не впливає на кінематику розгляданого процесу, тоді процес формоутворення буде здійснюватись поєднанням декількох елементарних рухів. Розглядаючи одні з них як переносні, а інші як відносні, можна реалізувати їх взаємодією кінематичних ланцюгів механізмів верстату, які визначатимуть переміщення інструменту у відповідності з обертанням оправи.

Отже, взаємозалежні рухи кінематичних ланцюгів визначимо із проекцій векторів рівняння (2.27) на координатні вісі:

$$\begin{aligned}\Delta \tilde{U}_E &= \left(1 - \frac{\rho_i(\xi) \varepsilon_1 (1 + \varepsilon_2^2 - \varepsilon_2)}{(1 + \varepsilon_2^2)^{3/2}} \right) \Delta U - \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_3 \rho_i(\xi) (1 + \varepsilon_2^2 - \varepsilon_2)}{(1 + \varepsilon_2^2)^{3/2}} \Delta W; \\ \Delta \tilde{W}_E &= \left(1 - \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_3 \rho_i(\xi) \sin \psi}{(1 + \varepsilon_2^2)^{3/2}} \right) \Delta W + \frac{\rho_i(\xi) \varepsilon_1 \sin \psi}{(1 + \varepsilon_2^2)^{3/2}} \Delta U; \\ \Delta \tilde{V}_E &= \left(\frac{V_t'}{W_t'} - \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_3 \rho_i(\xi) \cos \psi}{(1 + \varepsilon_2^2)^{3/2}} \right) \Delta W + \left(\varepsilon_2 - \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_3 \rho_i(\xi) \cos \psi}{(1 + \varepsilon_2^2)^{3/2}} \right) \Delta U,\end{aligned}\quad (11)$$

де $\Delta \psi = d\psi$;

$\varepsilon_3 = x_t'/y_t'$.

Таким чином, абсолютна криволінійна траєкторія руху виконавчих органів верстату описуватиметься формулою:

$$S_{TP} = \sum_{i=1}^{\lambda} d\tilde{U}_i, d\tilde{W}_i, d\tilde{V}_i, d\psi_i, \quad (12)$$

де λ - кількість опорних точок характеристичної лінії контура поверхні навивної заготовки.

У випадку дослідження процесів формоутворення НЗ, ширина стрічки яких змінюється за відомою залежністю $B = B(t)$, можна розглядати рівняння оправи, як функцію, що диференціюється, а параметр інструменту $\rho_i = \rho_i(\xi) + B(t)$.

Таким чином, поданий метод розрахунку дає можливість:

- а) Визначити послідовність злагоджених переміщень ланок виконавчих механізмів, які забезпечують реалізацію заданих питань вихідного технологічного завдання;
- б) Розрахувати траєкторію переміщень формоутворюючого інструменту і підготувати необхідну документацію;
- в) Використовувати одержані формули для розрахунку і проектування необхідного технологічного устаткування та формоутворюючого інструменту.
- г) В процесі проектування нового обладнання правильно вибрати кінематику виконавчих органів верстату.
- е) Здійснювати попередні дослідження вказаних процесів в режимі аналітичного 3D-моделювання.

Висновки:

1. Розроблена математична модель формоутворення навивних заготовок;
2. Виведені аналітичні залежності для розрахунку траєкторії переміщень формоутворюючого інструменту і силових та динамічних характеристик.

1. Карпусь В.Є. Технологічні основи машинобудування. – Харків, 2007. – 290 с.
2. Кіндрацький Б. Концепція і алгоритм багатокритеріального структурного параметричного синтезу машинобудівних конструкцій // Вісник Тернопільського державного технічного університету . – 2003. – Т.8, число 1. – С. 80 – 82.
3. Кожевников С.Н. Динамика машин с упругими звеньями. – К.: Академия наук УССР, 1961. – 160 с.
4. Аверкиев Ю.А. Характер формоизменения и силовые усилия при гибке полосы на ребро // Вестн. Машиностроения, 1981. – №1. – С. 64-66.
5. Макаров А.Д. Оптимизация процессов резания. // М.: Машиностроение – 1976 – 278 с.
6. Комаров М.С. Динамика механизмов и машин . – М.: Машиностроение, 1969. – 296 с.

Стаття надійшла до редакції 04.09.2013.

УДК 621.941.2

Б.І. Придальний**ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ПРИВОДА ЗАТИСКУ З ГЕОМЕТРИЧНИМ ЗАМИКАННЯМ НА ВИСОКИХ ЧАСТОТИХ ОБЕРТАННЯ**

Проведено дослідження окремих експлуатаційних характеристик типових приводів механізму затиску токарних автоматів. Представлена оцінка впливу частоти обертання шпинделя на силові та енергетичні характеристики важільного та кулькового приводів затиску.

Ключові слова: привод, геометричне затискання, високі частоти обертання, шпиндель.

Рис. 5. Літ. 10.

Б.И. Придальный**ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ПРИВОДА ЗАЖИМА С ГЕОМЕТРИЧЕСКИМ ЗАМЫКАНИЕМ НА ВЫСОКИХ ЧАСТОТАХ ВРАЩЕНИЯ**

Проведено исследование отдельных эксплуатационных характеристик типичных приводов механизма зажима токарных автоматом. Представлена оценка влияния частоты вращения шпинделя на силовые и энергетические характеристики рычажного и шарикового приводов зажима.

Ключові слова: привод, геометрическое затискання, високі частоти обертання, шпиндель.

B.I. Prydalnyi**RESEARCH OF WORK ACTUATOR CLAMP WITH GEOMETRIC LOCKING ON HIGH SPEED**

Research of certain operational characteristics typical actuators mechanism chucking lathe machines. This assessment of the impact of frequency spindle for power and energy characteristics of ball and lever actuators clamp.

Ключові слова: привод, геометрическое затискання, високі частоти обертання, шпиндель.

Для привода механізму затиску, як структурного елемента металорізального верстата, характерна велика інертність, оскільки зміни в тенденції розвитку верстатів і їх вузлів не відбуваються миттєво. Важливим функціональним вузлом токарних автоматів є вузол автоматичного затиску заготовки, який суттєво впливає на точність і продуктивність обробки деталей, значною мірою визначає інтенсивність застосовуваних режимів різання, якість поверхні і точність оброблюваного виробу, а також час наладки, обслуговування та витрати на ремонт. Зважаючи на сучасні тенденції до підвищення режимів різання існуючі механізми затиску заготовок не повною мірою відповідають постійно зростаючим вимогам підвищення частоти обертання шпинделя та експлуатаційної надійності автоматичних та автоматизованих верстатів токарної групи. Це виражається, головним чином, у втраті зусилля затиску заготовки через дію відцентрових сил інерції.

Потужність та продуктивність металорізальних верстатів в значній частині випадків є обмеженою через неможливість надійного закріплення деталей. Це, в свою чергу, негативно відображається на техніко-економічних показниках верстата: продуктивності, якості та собівартості обробки, а також підвищує аварійність роботи обладнання. Стабілізація силових характеристик затискного механізму (ЗМ) сприяє максимальному використанню резервів токарного автомата з точки зору підвищення продуктивності і точності обробки, економії енергії та інше.

Раніше виконані дослідження роботи ЗМ токарних автоматів на високих частотах обертання, в основному присвячені затискним патронам [1, 2, 3], хоча ЗМ, як технічна система, в загальному випадку складається з джерела енергії, привода затиску (ПрЗ) та ЗП з'єднаних послідовним кінематичним зв'язком. Основним вузлом ПрЗ, що визначає його силові характеристики, є передавально-підсилювальний механізм (ППМ). Сукупність елементів ПрЗ, яка змонтована на шпинделі верстата і складає з ним єдину структуру (рис. 1) відіграє особливу роль, оскільки вона не лише суттєво впливає на його динамічні властивості, конструкцію і компоновку, але й визначає зусилля і переміщення на вході ЗП, а також силову взаємодію між шпинделем та іншими елементами ПрЗ в процесі затиску-розтиску заготовки. Найбільшого поширення набули ПрЗ з геометричним замиканням (рис. 1, 2). Найчастіше ці ПрЗ містять у своєму складі важільні ППМ (рис. 1, 2 а) та ППМ з розклинюючими елементами (кулькові, роликові) (рис. 2 б). Зазначені ПрЗ використовуються в більшості пруткових токарних автоматах і токарно-револьверних верстатах. При цьому їх робота на високих частотах обертання зовсім недосліджена.

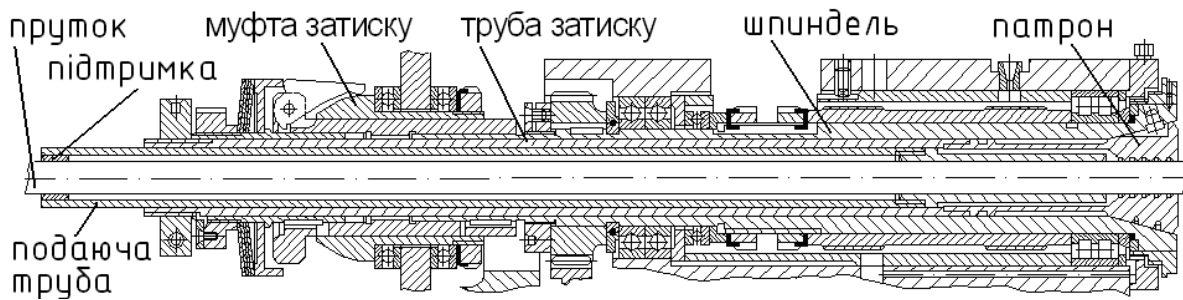


Рис. 1. Шпindelний вузол токарного автомата мод. 1Б240 із затискним механізмом

Вузли ЗМ (ПрЗ і ЗП) по різному реагують на зміну частоти обертання шпindelя, а тому можуть вносити різний вклад у зміну характеристик ЗМ. Взаємодіючи між собою вони підсилюють або взаємокомпенсують ті зміни, які відбуваються під дією відцентрових сил інерції.

Однією з основних умов придатності ПрЗ для роботи на високих частотах обертання є сприяння стабілізації зусилля затиску заготовки, для чого вихідне зусилля ПрЗ (сила затягування ЗП) повинно змінюватися відповідно до частоти обертання шпindelя і характеристик ЗП. Зміна вихідного зусилля ПрЗ при підвищенні частоти обертання шпindelя виникає внаслідок дії відцентрових сил інерції нерівноважених елементів ППМ. Таким чином, для визначення можливості і доцільності застосування ПрЗ з геометричним замиканням для роботи на високих частотах обертання необхідно:

- виявити елементи ППМ, що мають можливість зміщення під дією відцентрових сил інерції;
- виявити характер впливу (зростання чи спадання) такого переміщення на силові та енергетичні характеристики ПрЗ;
- визначити величину відцентрових сил, що діють на нерівноважені елементи ППМ;
- виявити (з допомогою розрахункової схеми), яким чином відбувається передача та перетворення (передаточне відношення) сил інерції у вихідне зусилля;
- враховуючи дію відцентрових сил інерції на нерівноважені елементи ППМ створити математичну модель передачі сил;
- на основі створеної математичної моделі виявити залежність від частоти обертання шпindelя коефіцієнта підсилення – силових характеристик ПрЗ, що визначається як відношення його вихідного зусилля S_{Σ} до вхідного Q (рис. 2). Визначення силових характеристик ПрЗ з врахуванням впливу відцентрових сил інерції дає змогу оцінити ефективність його роботи на високих частотах обертання шпindelя.

Оскільки ПрЗ і ЗП з'єднані між собою послідовним кінематичним зв'язком, то для розрахунку (визначення) параметрів ПрЗ, які необхідні для стабілізації зусилля затиску заготовки при підвищенні частоти обертання, потрібно розглядати також передачу сил в ЗП з врахуванням впливу відцентрових сил інерції. Співставляючи залежності силових характеристик ПрЗ і ЗП від частоти обертання шпindelя при умові стабільності зусилля затиску визначаються параметри (геометрично-масові характеристики) цих вузлів, що забезпечують взаємокомпенсацію впливу відцентрових сил інерції, тобто стабільність зусилля затиску заготовки [4]. Таким чином загальний алгоритм проектування ППМ, пристосованого для роботи на високих частотах обертання, враховує в якості вихідних даних результати, отримані на окремих рівнях проектування ЗМ, в тому числі при проектуванні ЗП та при компоновочній проробці ПрЗ.

З теоретичних досліджень [5, 6] видно, що працездатність і силові характеристики ПрЗ з геометричним замиканням і охопленою (зовнішня робоча фасонна поверхня) муфтою затиску (рис. 1, 2 б) з підвищенням частоти обертання збільшуються на відміну від ПрЗ з охоплюючою (внутрішня робоча фасонна поверхня) муфтою затиску (рис. 2 а). Тобто, характер (спадання, зростання) залежності силових та енергетичних характеристик ПрЗ з геометричним замиканням від частоти обертання шпindelя визначається конструкцією їх ППМ зокрема видом муфти затиску [5, 6]. Таким чином ПрЗ може впливати на величину натягу і зусилля затиску в ЗМ при зміні частоти обертання шпindelя [4]. Це явище пояснюється додатковим переміщенням нерівноважених елементів ППМ (розклинюючих елементів, важелів, ланок шарнірних механізмів і т.д.) під дією відцентрових сил інерції. Переважна більшість багатошпindelних токарних автоматів вітчизняного (СРСР) виробництва оснащена важільними ПрЗ з охоплюючою (погіршення силових характеристик при підвищенні частоти обертання) муфтою затиску (рис. 2

a): мод. 1Б265, 1Б290, 1216, 1Б225.

Для максимального використання роботи відцентрових сил з метою отримання додаткового вихідного зусилля ПрЗ, ППМ необхідно проектувати так, щоб рух його елементів (кульок, важелів, ланок шарнірних механізмів і т.д.) під час затиску був спрямований перпендикулярно (якомога ближче до перпендикуляру) від осі обертання шпинделя. Саме тому для затиску заготовок на високих частотах обертання доцільно застосовувати конструкцію ПрЗ з охопленою муфтою затиску (рис. 1, 2 б).

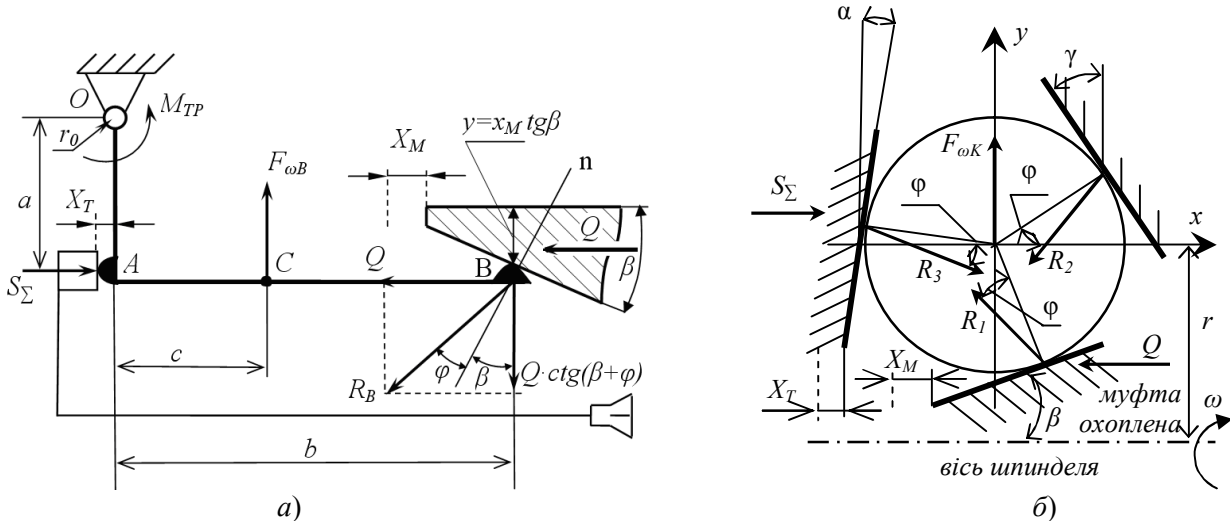


Рис. 2. Розрахункові схеми важільного ППМ з охоплюючою (а) та кулькового (роликowego) ППМ з охопленою (б) муфтами затиску

У відповідності із загальноприйнятим порядком [7, 8] проектування ПрЗ для роботи на високих частотах обертання варто вести від принципу компенсації втрати зусилля затиску до його конструкції. Через це процес проектування ППМ таких ПрЗ доцільно розділити на два етапи:

- вибір типу і конструктивної схеми ППМ, що дозволяє стабілізувати зусилля затиску ЗМ;
- розробка (розрахунок геометрично-масових параметрів) елементів конструкції ППМ.

Величина зміни вихідного зусилля ПрЗ при підвищенні частоти обертання залежить від геометричних і масових параметрів елементів ППМ [5, 6], тому стабілізація зусилля затиску ЗМ на високих частотах обертання залежить від відповідності (сумісності) геометрично-масових параметрів ППМ і ЗП [4]. Цілеспрямовано підбираючи геометрично-масові параметри ППМ у відповідності до параметрів ЗП (поєднуючи ППМ і ЗП з відповідними геометрично-масовими параметрами), можна отримувати зростаючі, спадаючі і стабільні силові характеристики ЗМ на різних частотах обертання шпинделя. Тому, завершальним етапам проектування ППМ є розробка елементів конструкції ППМ:

- на основі вихідних даних для проектування розраховуються значення геометрично-масових параметрів ППМ для стабілізації зусилля затиску на підвищених частотах обертання;
- враховуючи вимоги та обмеження при необхідності проводиться оптимізація параметрів елементів ППМ.

Після того як ПрЗ спроектовано, необхідно провести його випробування і аналіз роботи в процесі затиску-розтиску та в стані геометричного замикання при зміні частот обертання і у статиці, що дозволить додатково відкоригувати параметри конструкції, елементів та регулювання. Також можна скористатися способом макетних досліджень та врахувати результати досліджень аналогічних механізмів, що були спроектовані раніше.

Отже, при проектуванні ППМ для роботи на високих частотах доводиться вирішувати завдання, пов'язані з вибором типу ППМ, структури для вибраного типу ППМ, схеми для вибраної структури і конструкції з кращими (оптимальними) параметрами при вибраній схемі (рис. 3). Вдосконалення виробництва ПрЗ для високошвидкісної обробки пов'язане також з уніфікацією його вузлів і вдосконаленням технології виготовлення найбільш відповідальних деталей із застосуванням нових зносостійких і високоміцних матеріалів, здатних витримати великі навантаження (в т. ч. від дії відцентрових сил інерції) протягом тривалого періоду експлуатації.

Зменшити втрати енергії (особливо на високих частотах обертання) за рахунок усунення тертя між рухомими і нерухомими відносно корпуса верстата елементами ПрЗ і джерела енергії

можна шляхом подачі до ПрЗ вхідного зусилля з використанням електромагнітної взаємодії. Зазначений принцип реалізовано у двох запропонованих автором конструкціях ПрЗ [9, 10].

Запропонований ПрЗ пристрою для затиску пруткового матеріалу [9] містить встановлений на шпинделі 1 (рис. 4) корпус 2 з шарнірно приєднаним до нього з допомогою важелів 3 і 4 якорем електромагніту 5, що складається з окремо закріплених вантажів, виконаних у вигляді сегментів циліндру. Мале плече важеля 3 має можливість силової взаємодії із стаканом 6. На задньому кінці шпинделя 1 встановлена рухома в осьовому напрямі приводна втулка 7, що має можливість одночасної силової взаємодії з гайкою 8 нагвинченою на трубу затиску 9 та стаканом 6 за допомогою набору пружних елементів 10, для попереднього натягу яких використана гайка 11, що встановлена на приводній втулці 7. Правим кінцем труба затиску 9 з'єднана з цанговим патроном (на кресленні не показаний). Радіальна 12 та торцева 13 котушки електромагніту жорстко закріплені на шпиндельному барабані 14 таким чином, що вектори зусиль, які діють на якорь 5 (рис. 4 в, з) внаслідок його електромагнітної взаємодія з цими котушками знаходяться в різних площинах.

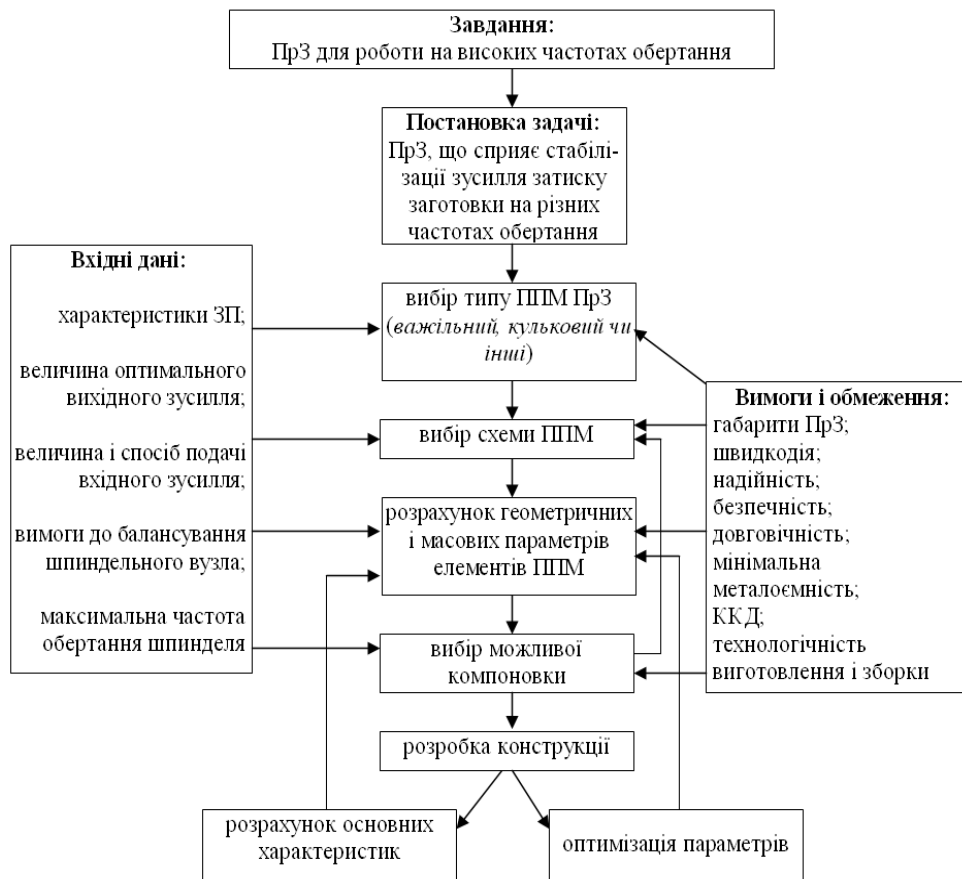


Рис. 3. Алгоритм проектування ІПМ ПрЗ, що сприяють стабілізації зусилля затиску заготовки на високих частотах обертання

Робота пристрою для затиску пруткового матеріалу відбувається наступним чином. Для здійснення процесу затиску (рис. 4 а) до радіальної котушки електромагніту 12 підводиться електричний струм. При цьому вантажі, що складають якорь електромагніту 5 притягуються до внутрішньої поверхні радіальної котушки 12, чому сприяє також вплив відцентрових сил інерції, які діють на вантажі під час обертання шпинделя.

Робота сил інерції, що діють на вантажі якоря 5, сприяє зменшенню потужності і габаритів котушки 12 та збільшенню вихідного зусилля (може бути використане для компенсації втрат зусилля затиску в ЗП) під час збільшення частоти обертання, а також запобігає різкій втраті зусилля затиску заготовки під час обертання шпинделя в разі аварійного відключення живлення котушки 12. Рух вантажів якоря 5 спричиняє повертання важелів 4 і 3, при цьому останній своїм коротким плечем натискає на стакан 6 і передає осьове зусилля через набір пружних елементів 10, гайку 11, рухома приводна втулка 7 та гайку 8 трубі затиску 9.

Для здійснення розтиску (рис. 4 б) необхідно припинити подачу електричного струму до

радіальної котушки 12 та подати електричний струм до торцевої котушки 13. При цьому вантажі, що складають якор електромагніту 5, притягуються до поверхні торцевої котушки 13, чим спричиняють провертання важелів 3 і 4 в зворотному напрямі відносно процесу затиску та знімають натяг в механізмі. При відсутності натягу під дією пружності пелюсток цанги (на кресленні не показана) відбувається розтиск заготовки, що супроводжується рухом труби затиску 9, рухомої приводної втулки 7 та розмішених на них елементів у зворотному напрямі відносно процесу затиску.

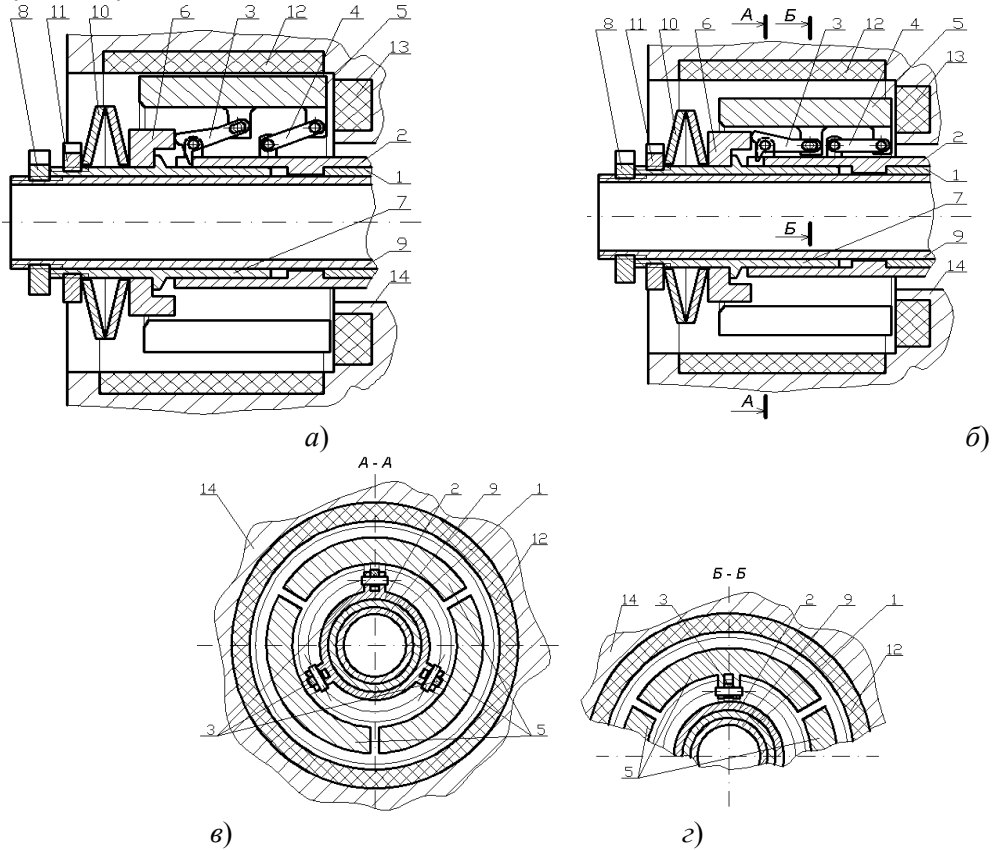


Рис. 4. Пр3 пристрою для затиску пруткового матеріалу по деклараційному патенту України № 47293 на корисну модель: а, б) поздовжні розрізи в стані "затиснуто" і "розтиснуто" відповідно; в, г) поперечні перерізи

Запропонований Пр3 пристрою для затиску пруткового матеріалу [10] містить встановлений на шпинделі 1 (рис. 5) та застрахований від провертання відносно нього шпонкою 2 корпус 3 з розмішеними на ньому муфту затиску 4, а також ротором 5 електродвигуна та гайкою 6, що базуються на різьбовій поверхні корпуса 3, причому муфта затиску 4 має можливість силової взаємодії з стаканом 7. На задньому кінці шпинделя 1 встановлена рухома в осьовому напрямі приводна втулка 8, що має можливість одночасної силової взаємодії з гайкою 9 нагвинченою на трубу затиску 10 та стаканом 7 за допомогою набору пружних елементів 11, для попереднього натягу яких використана гайка 12, що встановлена на приводній втулці 8. Правим кінцем труба затиску 10 з'єднана із ЗП (на кресленні не показаний). На роторі 5 розмішені електричні обмотки 13, які мають можливість електромагнітної взаємодії з електричними обмотками 14, які розмішені на статорі 15, що жорстко зв'язаний з шпиндельним барабаном 16. Обойма 17, що виконана як одне ціле з статором 15, має можливість силової взаємодії з муфтою затиску 4 через опорні підшипники 18, що зафіксовані гайкою 19, встановленою на муфті затиску 4.

Робота пристрою для затиску пруткового матеріалу відбувається наступним чином. Для здійснення процесу затиску (рис. 5 а) на обмотки 14 статора 15 подається електричний струм. При цьому навколо обмоток 14 утворюється електромагнітне поле, що взаємодіє з обмотками 13 ротора 5 і спричиняє в них появу обертового моменту. Внаслідок того, що обмотки 13 жорстко зв'язані з ротором 5 обертовий момент передається на ротор 5 і спричиняє його обертально-поступальне переміщення відносно різьбової поверхні корпуса 3 на величину, яка залежить від фактичного діаметра прутка, що затискається. Жорстко закріплена на роторі 5 обойма 17 передає осьове зусилля на муфту затиску 4 через опорні підшипники 18. Далі муфта затиску 4 передає

осьове зусилля на трубу затиску 10 через стакан 7, набір пружних елементів 11, гайку 12, приводну втулку 8 і гайку 9. Процес затиску продовжується до моменту досягнення необхідного зусилля затиску, яке залежить лише від параметрів струму, що подається на обмотки статора 14 і є стабільним, тобто не залежить від величини відхилення радіальних розмірів оброблюваного прутка. Обертально-поступальний рух ротора 5 (процес затиску) припиняється самовільно при досягненні необхідного зусилля затиску і, як наслідок, зростання зусилля, що протидіє його осьовому переміщенню. Момент закінчення процесу затиску (зупинки ротора) відображається у характеристиках струму, що проходить в обмотках статора 14. Після закінчення процесу затиску підведення струму до обмоток статора 14 припиняється, причому підтримка зусилля затиску відбувається за рахунок самогаальмовування в різьбовому з'єднанні ротора 5 і корпусу 3.

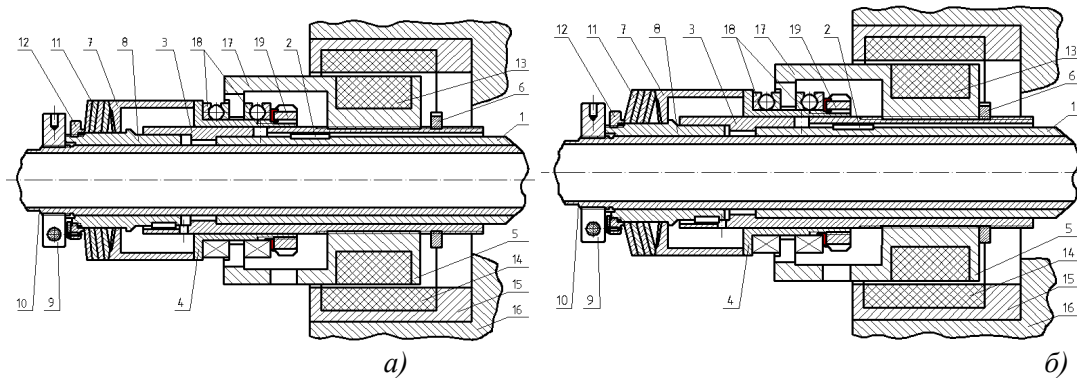


Рис. 5. ПрЗ пристрою для затиску пруткового матеріалу (заявка на винахід а 2009 06409), поздовжні розрізи пристрою без механізму підсилення осьового зусилля в стані: а) "затиснуто", б) "розтиснуто"

Для здійснення розтиску (рис. 5 б) на обмотки статора 14 подається струм з характеристиками, які зумовлюють рух ротора 5 в протилежному напрямі, порівняно з процесом затиску, до упору в гайку 6, розташовану на корпусі 3. Це спричиняє рух обойми 17, муфти затиску 4, стакана 7, приводної втулки 8 і труби затиску 10 в зворотному напрямі порівняно з процесом затиску. Заготовка розтискається під дією пружності пелюсток цангового патрона (на кресленні не показаний). Для покращення силових характеристик даного механізму його муфту затиску 4 можна виконати з фасонною поверхнею, а корпус 3 оснастити важелями (не зображені), які закріплені на осях і мають можливість провороту відносно корпусу 3 та одночасної силової взаємодії з муфтою затиску 4 і стаканом 7.

1. Эль-Дахаби Ф.В. Синтез высокоскоростных зажимных патронов токарных станков. Дис... канд. техн. наук. 05.03.01. – К.: 2006. – 165 с.
2. Ахрамович В. Н. Способы компенсации центробежных сил в кулачковых патронах // СТИН. – 1997. – № 2. – С. 35-38.
3. Кузнецов Ю.Н., Эль-Дахаби Фарук. Системно-морфологический подход при синтезе высокоскоростных зажимных патронов // Наукові праці КНТУ. – 2004. – №15. – 267 с.
4. Придальний Б.І. Вплив частоти обертання шпинделя на силові характеристики затискного механізму з важільним приводом // Всеукраїнський науково-технічний журнал "Промислова гідравліка і пневмоавтоматика". – 2007. – №3 (17). – С 64–72.
5. Кузнецов Ю.М., Редько Р.Г., Придальний Б.І. Вплив відцентрових сил інерції на передачу сил у важільних приводах затиску з геометричним замиканням. // Наукові нотатки. Випуск 18.– Луцьк 2006. – С. 230-240.
6. Придальний Б.І., Кузнецов Ю.М., Редько Р.Г. Вплив відцентрових сил на силові характеристики приводів затиску з розклинюючими елементами і геометричним замиканням. // Наукові нотатки. Випуск 25.– Луцьк – 2009р. с. 297– 303.
7. Кузнецов Ю.Н. Синтез зажимных механизмов прутковых автоматов.- Дис... докт. техн. наук.- М.: МВТУ им Н.Э.Баумана, 1984. – 515 с.
8. Кузнецов Ю.Н., Волошин В.Н., Неделчева П.М., Эль-Дахаби Ф.В. Зажимные механизмы для высокопроизводительной и высокоточной обработки резанием: Монография. В 2-х ч. / Под ред. Ю.Н. Кузнецова. – К: ООО «ЗМОК» – ООО «ГНОЗИС», 2010.
9. Декл. пат. на кор. модель 47293 Україна, (2009) В23В13/00. Пристрій для затиску пруткового матеріалу / Кузнецов Ю.М., Придальний Б.І., Редько Р.Г.; заявник і власник патенту Луцький національний технічний університет, опубл. 25.01.10. Бюл. №2.
10. Заявка на винахід а 2009 06409. Пристрій для затиску пруткового матеріалу / Кузнецов Ю.М., Придальний Б.І., Редько Р.Г.

Стаття надійшла до редакції 26.09.2013.

Б.І. Придальний
ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ КОНСТРУКЦІЇ МЕХАНІЗМУ ЗАТИСКУ
ТОКАРНИХ АВТОМАТІВ

Проаналізовано окремі аспекти розвитку механізму затиску токарних автоматів на основі аналізу максимальних частот обертання шпиндельних вузлів токарних автоматів. Також проведено прогноз зростання максимальної частоти обертання шпиндельних вузлів токарних автоматів.

Ключові слова: механізм, токарні автомати, обертання, шпиндельні вузли.

Рис. 1. Табл. 1. Літ. 6.

Б.И. Придальный
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ КОНСТРУКЦИИ МЕХАНИЗМА
ЗАЖИМЫ ТОКАРНЫХ АВТОМАТОВ

Проанализированы отдельные аспекты развития механизма зажима токарных автоматов на основе анализа максимальных частот вращения шпиндельных узлов токарных автоматов. Также проведено прогноз роста максимальной частоты вращения шпиндельных узлов токарных автоматов.

Ключевые слова: механизм, токарные автоматы, вращения, шпиндельные узлы.

B. Prydalnyi
Research of development trends design of the clamp mechanism of lathe machines

Analyzed some aspects of the mechanism of the clamp lathe machines by analyzing maximum speed of spindle lathe machine nodes. Also we have growth forecast maximum speed of spindle lathe machines units.

Keywords: gear, lathe machines, rotating, spindle units.

Сучасні токарні верстати здатні працювати на високих частоту обертання шпинделя і вимагають швидко переналаджуваного, швидкодіючого та придатного для роботи на високих частотах обертання оснащення. Очевидною і стійкою в часі є тенденція до підвищення швидкості різання під час обробки на токарних автоматах (ТА), що стало можливим в тому числі завдяки розвитку і впровадженню електроприводів нового покоління (електрошпинделів), сучасних різальних інструментів та широкому розповсюдженню мехатронних систем у верстатобудуванні. При цьому підвищення частоти обертання шпиндельних вузлів ТА стримується рядом факторів, зокрема непристосованістю до роботи на високих частотах обертання опор шпинделя, затискних механізмів (ЗМ), зубчато-пасових передач крутного моменту на шпиндель та коливаннями довгомірних прутків. Система верстата котра забезпечує фіксацію заготовки складається з двох основних вузлів: привода затиску (ПрЗ) та затискного патрона, які з'єднані послідовним кінематичним зв'язком і розміщені на шпинделі верстата. При цьому ПрЗ головним чином визначає величину зусилля та переміщення на вході затискного патрона, тобто величину зусилля затиску заготовки (її стабільність). Дія значних відцентрових сил на високих частотах обертання в більшості випадків є причиною суттєвого зменшення (втрати) сил затиску заготовки і додаткових витрат енергії для здійснення затиску, а отже втрати працездатності ЗМ. Це призводить до ряду негативних наслідків: необхідності обмеження режимів різання, зменшення надійності роботи технологічного обладнання, підвищення небезпеки для обслуговуючого персоналу (самовільний роз тиск деталі під час обробки), погіршення якості обробки і т.д.

Тому основними напрямками розвитку ПрЗ для ТА є:

- створення і дослідження широкоуніверсальних ПрЗ з можливістю ефективного затиску заготовок на високих частотах обертання;
- пошук і вибір принципів: підвищення стабільності затиску заготовки на високих частотах обертання; підвищення швидкодії і зменшення часу допоміжних рухів, несумісних і зв'язаних з переналадженням механізмів; високоефективного процесу "затиску-розтиску" на високих частотах обертання з мінімальними витратами енергії.

Для ПрЗ як структурного елемента металорізального верстата характерна велика інертність, оскільки зміни в тенденції розвитку верстатів і їх вузлів не відбуваються миттєво [1]. Тому ПрЗ як і металорізальні верстати розвиваються згідно закону прогресивного розвитку техніки [2]. Тобто еволюційні зміни, що відбуваються в конструкції ПрЗ, здебільшого викликані вимогами підвищення продуктивності, точності та надійності затиску. Еволюційний характер розвитку ПрЗ проявляється в межах одного і того ж самого технічного принципу, а сам розвиток є результатом

модернізації його конструкції і параметрів окремих компонентів: конструкції ППМ, маси та геометричних розмірів його елементів, матеріалів і т.д.. При цьому новоспроектований ПрЗ повинен мати кращі технічні характеристики від аналогу.

Оскільки розвиток ПрЗ визначається еволюційними змінами, що продиктовані вимогами забезпечення "якісного затиску" в заданих умовах експлуатації, то тенденція розвитку конструкцій і характеристик ПрЗ визначається також майбутніми умовами їх роботи, зокрема величиною максимальної частоти обертання шпindelних вузлів ТА. В разі підвищення частоти обертання шпindelних вузлів ТА в майбутньому більший розвиток (поширення) отримають конструкції ПрЗ, що пристосовані для роботи на високих частотах обертання, тобто сприяють покращенню техніко-економічних показників ЗМ (стабілізації зусилля затиску) при підвищенні частоти обертання.

На основі даних табл. 1 [1] проведемо прогнозування максимально можливих частот обертання шпindelних вузлів ТА.

Таблиця 1. Максимальні швидкості обробки і частоти обертання шпindelних вузлів багатшпindelних токарних автоматів, які випускались з 1950 по 2008 роки

Рік	1950	1953	1955	1957	1962	1965	1965	1965	1966	1966
швидкість різання, м/хв	261	260	266	266	270	265	345	357	314	320
частота шпindelя при $\varnothing 40$ мм, об/хв.	1720	2070	2120	2120	2150	2100	2750	2840	2500	2550
Рік	1968	1969	1970	1970	1971	1973	1973	1978	1980	1980
швидкість різання, м/хв	378	345	317	314	304	283	326	321	396	424
частота шпindelя при $\varnothing 40$ мм, об/хв.	3000	2750	2500	2500	2400	2250	2600	2560	3150	3370
Рік	1986	1988	1989	1992	1994	1996	1998	2001	2004	2008
швидкість різання, м/хв	577	424	408	520	563	580	660	680	730	750
частота шпindelя при $\varnothing 40$ мм, об/хв.	4600	3370	3250	4140	4480	4600	5250	5400	5800	6000

Згідно з рекомендаціями [1] для успішного рішення задачі прогнозування доцільно використовувати сполучення декількох взаємодоповнюючих статистичних методів прогнозування. Оскільки величина зміни частоти обертання шпindelя (швидкості різання) не має постійного характеру (табл. 1), то застосування лінійної моделі для прогнозування у цьому випадку не є ефективним. При створенні прогнозів на значні періоди (10-15р.) доцільно користуватись поліномними моделями вищого порядку [1]. Застосуємо екстраполяційний метод прогнозування і найбільш вживані у практиці прогнозування степеневі поліноми, що дозволить здійснити прогноз росту максимальної частоти обертання на якій буде працювати ПрЗ з високою точністю. Припускаючи, що тенденція розвитку ПрЗ, знайдена на проміжку часу внаслідок своєї інертності значно не зміниться і поза ним, екстраполяцію тенденцій розвитку механізму в межах 10-15 років можна здійснити з допустимою похибкою $\pm 15\%$. Вибір потрібного виду (форми) рівняння регресії також залежить від знання проблеми, тому за оцінкою графічного відображення точок (діаграми розсіювання, рис. 1) для опису залежності обираємо рівняння регресії другого степеня.

Для оцінки якості опису отриманої експериментальної залежності (повноти набору пояснювальних чинників) рівнянням регресії використовується коефіцієнт детермінації R^2 , який є величиною достовірності апроксимації, тобто вказує яка частина варіації значення частоти враховується в рівнянні регресії і дає кількісну оцінку міри аналізованого зв'язку. Оскільки, в даному випадку $R^2=0.9$ (рис. 1), то можна вважати, що 90% змін (варіацій) частоти обертання

шпинделя враховано у рівнянні регресії і обумовлюється варіацією чинника (розвитку токарних автоматів в часі) і лише 10% – за рахунок впливу інших неврахованих чинників. Обробка даних проводилася з використанням програми Microsoft Excel, до складу якого входить набір засобів аналізу даних (так званий пакет аналізу), призначений для вирішення статистичних і інженерних завдань. На рис. 1 кривій відповідає опис та прогноз росту частоти обертання (швидкості) шпинделя багатшпиндельного ТА поліномом другого степеня.

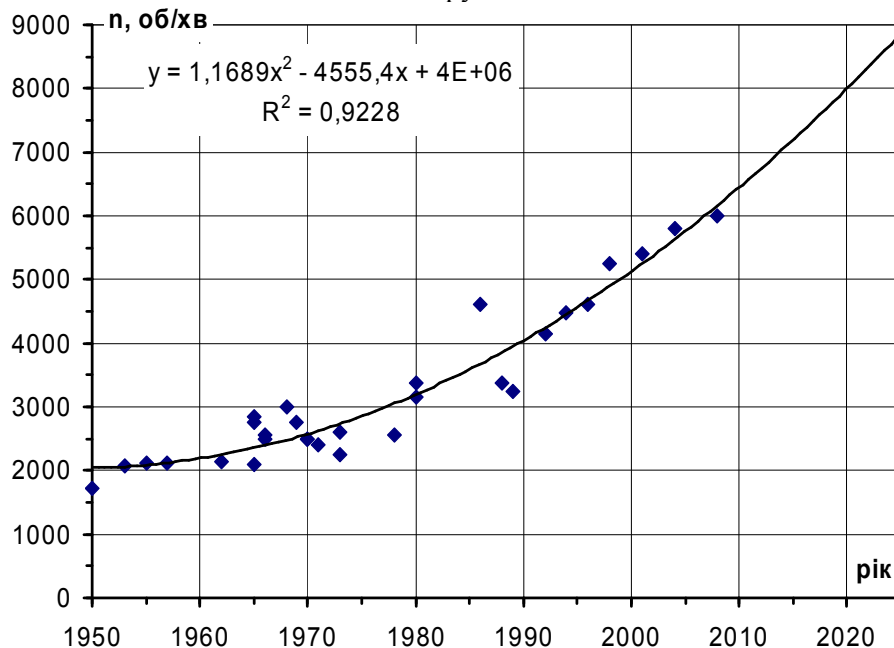


Рис. 1. Прогноз росту частоти обертання шпинделів БТА до 2025 року

Згідно прогнозу (рис. 1) підвищення частоти обертання шпиндельних вузлів БТА буде продовжуватися і в найближчі 15 років. Така тенденція означає необхідність створення (розвитку) ПрЗ пристосованих для роботи на високих частотах обертання. Зважаючи на це авторами статті були проведені дослідження [3, 4] впливу частоти обертання шпинделя на силові характеристики ПрЗ з геометричним замиканням найбільш поширених конструкцій. В результаті даних досліджень встановлено закономірності впливу конструктивних особливостей ПрЗ з геометричним замиканням (виду муфти затиску) на характер зміни (зростання, спадання) його силових характеристик при підвищенні частоти обертання шпинделя. З метою вирішення проблем пов'язаних з втратою зусилля затиску заготовки при підвищенні частоти обертання шпинделя, тобто можливості підвищення продуктивності обробки, автором також запропоновані нові конструкції ПрЗ [5, 6], які мають покращені експлуатаційні характеристики в тому числі при роботі на високих частотах обертання.

1. Кузнецов Ю.М., Склярів Р.А. Прогнозування розвитку технічних систем. Під загальною редакцією проф. Ю.М. Кузнецова. – К.: ТОВ "ЗМОК" – ПП "ГНОЗИС", 2004. – 323 с.: іл.
2. Кузнецов Ю.Н., Волошин В.Н., Неделчева П.М., Эль-Дахаби Ф.В. Зажимные механизмы для высокопроизводительной и высокоточной обработки резанием: Монография. В 2-х ч. / Под ред. Ю.Н. Кузнецова. – К.: ООО «ЗМОК» – ООО «ГНОЗИС», 2010.
3. Кузнецов Ю.М., Редько Р.Г., Придальний Б.І. Вплив відцентрових сил інерції на передачу сил у важільних приводах затиску з геометричним замиканням. // Наукові нотатки. Випуск 18.– Луцьк 2006. – С. 230-240.
4. Придальний Б.І., Кузнецов Ю.М., Редько Р.Г. Вплив відцентрових сил на силові характеристики приводів затиску з розклинаючими елементами і геометричним замиканням. // Наукові нотатки. Випуск 25. – Луцьк – 2009 р. – С. 297– 303.
5. Декл. пат. на кор. модель 30408 Україна, В23В 13/00. Механізм затиску прутка / Кузнецов Ю.М., Придальний Б.І.; заявник і власник патенту Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут". – №200712164; заявл. 02.11.2007; опубл. 25.02.2008, Бюл. №4.
6. Декл. пат. на кор. модель 31597 Україна, В23В 13/00. Пристрій для затиску пруткового матеріалу / Кузнецов Ю.М., Придальний Б.І.; заявник і власник патенту Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут". – №200714832; заявл. 26.12.2007; опубл. 10.04.2008, Бюл. №7.

Стаття надійшла до редакції 26.09.2013.

УДК667.64:678.026

О.О. Сапронов**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИРОДИ ХІМІЧНИХ І ФІЗИЧНИХ ЗВ'ЯЗКІВ ЕПОКСИДНИХ НАНОКОМПОЗИТІВ МЕТОДОМ ІЧ-, ЕПР-СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ТА ОПТИЧНОЇ МІКРОСКОПІЇ**

У роботі методом інфрачервоної спектроскопії та електронного парамагнітного резонансу досліджено природу хімічних і фізичних зв'язків, які виникають при структуроутворенні епоксидної матриці і композитного матеріалу, що містить частки нанодисперсного наповнювача. Методом оптичної мікроскопії досліджено поверхню зламу вихідних і модифікованих ультразвуком наноккомпозитів. Встановлено механізм міжмолекулярної взаємодії нанодисперсного наповнювача з епоксидним олігомером.

Ключові слова: матриця, епоксидний композит, нанонаповнювач.

Рис. 1. Табл. 2. Літ. 10.

А.А. Сапронов**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИРОДЫ ХИМИЧЕСКИХ И ФИЗИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ ЭПОКСИДНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ МЕТОДОМ ИК-, ЭПР-СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА И ОПТИЧЕСКОЙ МИКРОСКОПИИ**

Исследована природа химических и физических связей, которые возникают при структурообразовании эпоксидной матрицы и композитного материала, содержащего частицы нанодисперсного наполнителя. Установлен механизм межмолекулярного взаимодействия нанодисперсного наполнителя с эпоксидным олигомером.

Ключевые слова: матрица, эпоксидный композит, нанонаполнитель.

O.O. Saponov**STUDY OF THE NATURE OF CHEMICAL AND PHYSICAL LINKS OF EPOXY NANOCOMPOSITES BY IR, EPR SPECTRAL ANALYSIS AND OPTICAL MICROSCOPY**

The nature of the chemical and physical connections that occur in structure formation and the epoxy matrix composite material comprising particles nanodispersed filler. The mechanism of intermolecular interaction nanodispersed filler with epoxy oligomer.

Keywords: matrix epoxy composite, nanofillers.

Постановка проблеми. В останні роки дослідження, пов'язані із застосуванням наноккомпозитних матеріалів (НКМ), у різних галузях промисловості, у тому числі і в суднобудуванні, розвиваються досить активно. При введенні у епоксидний зв'язувач мікро- і нанодисперсних наповнювачів істотно змінюються у комплексі фізико-механічні, антикорозійні і технологічні властивості НКМ. Це зумовлено з локальними хімічними взаємодіями при зшиванні матриці, на що впливають такі основні параметри, як швидкість перебігу фізико-хімічних процесів, рухливість і деформованість олігомерних ланцюгів, упорядкованість їх структури, можливість утворення вільних радикалів навколо часток наповнювача.

Відомо [1, 2], що введення навіть невеликої кількості нанодисперсного наповнювача приводить до значного поліпшення властивостей композитних матеріалів (КМ) порівняно з композитами, які містять мікрочастки. Однак, з огляду на досить високу собівартість нанодисперсних наповнювачів, виняткову цікавість представляють саме ті напрямки застосування НКМ, у яких для досягнення промислово значущих макроефектів досить використання наноматеріалів в «гомеопатичних» дозах [1]. Проте можливе застосування і дешевих нанонаповнювачів, які є об'єктом дослідження у даній роботі.

Крім того, дослідження структури НКМ методом ІЧ- та ЕПР-спектроскопії та оптичної мікроскопії з метою наступного аналізу особливостей перебігу фізико-хімічних процесів при їх формуванні дозволяють більш глибоко зрозуміти процеси і закономірності структуроутворення епоксиккомпозитів, наповнених нанодисперсними частками. Це дозволить на основі отриманих результатів створювати нові захисні покриття з підвищеними антикорозійними властивостями і зносостійкістю для суднобудування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Слід зазначити, що при розробленні покриттів на основі епоксидної діанової смоли ЕД-20 важливим чинником на початковому етапі формування КМ є: технологія формування, оптимізація інгредієнтів та режимів впливу ультразвукової обробки (УЗО) на властивості матеріалів. Важливим також є дослідження механізму перебігу фізико-хімічних процесів зшивання при введенні нанодисперсних наповнювачів різної фізичної природи

у епоксидний зв'язувач. Відомо [2], що одним з важливих напрямків поліпшення міжфазової взаємодії при структуроутворенні КМ і, як наслідок, підвищення їх фізико-механічних та експлуатаційних характеристик є попередня обробка інгредієнтів композитів зовнішніми енергетичними полями. У цьому плані перспективним є використання УЗО епоксидних композицій до введення твердника, що забезпечує активацію процесів структуроутворення [3-5].

Додатково проведені дослідження показали, що найбільш вигідно вводити частки наноаповнювача в менш в'язке середовище. Тому нами для досягнення рівномірного розподілу нанодисперсного наповнювача спеченого композиту (ННСК) у епоксидному олігомері ЕД-20 була розроблена технологія введення часток у епоксидний зв'язувач (більш детально технологія описується далі в роботі), яка передбачає попереднє підігрівання олігомера до $T = 353 \text{ K}$ впродовж часу $t = 20 \pm 1 \text{ хв.}$ з наступною УЗО композиції. У такому середовищі процес диспергування за допомогою УЗО забезпечує як кавітаційні процеси, так і рівномірний розподіл часток у композиції, що в свою чергу зумовлює поліпшення властивостей матеріалів. Кавітаційні процеси, які відбуваються в композиції під час УЗО, приводять до активації епоксидних макромолекул, додаткового зниження в'язкості системи, а також до зростання температури полімерного зв'язувача. При цьому відбувається рівномірний розподіл наноаповнювача у об'ємі зв'язувача (за рахунок диспергування), а також утворення вільних радикалів (за рахунок кавітаційних процесів).

Виходячи з цього, цікавим з наукової і практичної точки зору, було проведення досліджень, пов'язаних з введенням наночасток у олігомери ЕД-20 і визначення природи хімічних зв'язків, які виникають при структуроутворенні НКМ.

Мета роботи – методом ІЧ- та ЕПР-спектроскопії і оптичної мікроскопії встановити закономірності формування і природу хімічних та фізичних зв'язків при структуроутворенні епоксидних наноккомпозитів.

Матеріали та методика дослідження. Виходячи з наведеного вище, як основний компонент для зв'язувача при формуванні епоксидних КМ вибрано епоксидний діановий олігомер марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84), який характеризується високою адгезійною та когезійною міцністю, незначною усадкою і технологічністю при нанесенні на поверхні складного профілю.

Для зшивання епоксидних композицій використано твердник поліетиленполіамін ПЕПА (ТУ 6-05-241-202-78), що дозволяє затверджувати матеріали при кімнатних температурах. Відомо [2], що ПЕПА є низькомолекулярною речовиною, яка складається з таких взаємозв'язаних компонентів: $[-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}-]_n$. Зшивали КМ, вводючи твердник у композицію при стехіометричному співвідношенні компонентів за вмісту (мас.ч.) – ЕД-20 : ПЕПА – 100 : 10.

Як наповнювач було використано нанодисперсні частки спеченого композиту ННСК, до складу якого входять оліго-елементи (мінерали, солі, метали). Зокрема, до оліго-елементів відносяться: вуглець, бікарбонати, залізо, цинк, магній, натрій, марганець. ННСК вводили у зв'язувач при вмісті 0,05 мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидного олігомеру ЕД-20 (тут і далі за текстом мас.ч. наводяться на 100 мас.ч. епоксидного олігомера ЕД-20).

Епоксидний композит з наноаповнювачем ННСК формували за такою технологією з виконанням температурно-часових режимів: попереднє дозування епоксидної діанової смоли ЕД-20, підігрівання смоли та нанодисперсного наповнювача до температури $T = 353 \pm 2 \text{ K}$ і витримка компонентів при даній температурі упродовж часу $\tau = 20 \pm 0,1 \text{ хв.}$; дозування наповнювача та подальше введення його в епоксидний зв'язувач; гідродинамічне суміщення олігомера ЕД-20 і наноаповнювача упродовж часу $\tau = 1 \pm 0,1 \text{ хв.}$; УЗО композиції упродовж часу $\tau_3 = 1,5 \pm 0,1 \text{ хв.}$; охолодження композиції до кімнатної температури упродовж часу $\tau = 60 \pm 5 \text{ хв.}$; введення твердника ПЕПА і перемішування композиції упродовж часу $\tau = 5 \pm 0,1 \text{ хв.}$ Надалі затверджували КМ за експериментально встановленим режимом: формування зразків та їх витримання упродовж часу $\tau = 12,0 \pm 0,1 \text{ год.}$ при температурі $T = 293 \pm 2 \text{ K}$, нагрівання зі швидкістю $v = 3 \text{ град / хв.}$ до температури $T = 393 \pm 2 \text{ K}$, витримання КМ упродовж часу $\tau = 2,0 \pm 0,05 \text{ год.}$ повільне охолодження до температури $T = 293 \pm 2 \text{ K}$. З метою стабілізації структурних процесів у матриці зразки витримували упродовж часу $\tau = 24 \text{ год.}$ на повітрі при температурі $T = 293 \pm 2 \text{ K}$ з наступним проведенням експериментальних випробувань.

Для визначення природи хімічних зв'язків, які виникають при структуроутворенні НКМ, використано метод ІЧ-спектроскопії. Якісний аналіз ІЧ-спектрів проводили за законом Ламберта-Бера, враховуючи при цьому значення оптичної густини (D) і напівширини (b) смуг поглинання на спектрах НКМ. Для підвищення точності результатів дослідження враховували поправки на часткове розсіювання інфрачервоного випромінювання та перекриття сусідніх піків поглинання. Для цього будували базову лінію за методикою, описаною у праці [6]. Далі оцінювали

характеристики смуг поглинання, аналізуючи інтенсивність пропускання зразком інфрачервоних променів. Розшифровували ІЧ-спектри за методиками, описаними у працях [6, 7]. При розшифруванні спектрів враховували хімічний склад макромолекул епоксидного олігомера ЕД-20, твердника ПЕПА і нанонаповнювача ННСК. ІЧ-спектри знімали за двома методами. За першим методом досліджували поглинання інфрачервоних променів рідких зразків, які знаходились між двома сольовими пластинками-скельцями (олігомер ЕД-20 без УЗО, олігомер ЕД-20 після УЗО і ПЕПА). За другою методикою аналізували ІЧ-спектри зшитої матриці без і після УЗО, НКМ без і після УЗО, а також нанонаповнювача ННСК.

Перша методика передбачала поміщення в кюветі краплі досліджуваного рідкого матеріалу між двома сольовими пластинками, після чого її встановлювали у спектрофотометр і знімали спектр. Бажано, щоб у межах перерізу світлового променя спектрометра товщина зразка була однаковою, тому в даному випадку було використано спейсери товщиною $d = 0,25$ мм. За другою методикою матеріал попередньо подрібнювали, просушували при температурі $T = 373$ К впродовж часу $t = 20 \pm 1$ хв, перемішували в агатовій ступці з порошком КВr, а далі на гідравлічному пресі з зусиллям $F = 20$ МПа формували таблетку при співвідношенні: досліджуваний матеріал – 1 мг, КВr – 300 мг. ІЧ-спектри досліджували на спектрофотометрі марки «IRAffinity-1» (Японія) у області частот $400 \dots 4000$ см^{-1} однопроменевим методом у відбитому світлі. Розгортку спектру за хвильовими числами $\lambda^{-1} = \nu$ здійснювали на діаграмі у межах 225 мм у діапазоні вибраних частот. Хвильові числа визначали за допомогою комп'ютерної програми IRsolution. Помилка при визначенні хвильового числа $\nu = \pm 0,01$ см^{-1} , визначення точності положення піку $\pm 0,125$ см^{-1} . Фотометрична точність становила $\pm 0,2$ % при програмному управлінні щільною і тривалістю інтегрування – $t = 10$ с. Крок інтегрування – $\Delta\lambda = 4$ см^{-1} .

Для визначення природи вільних радикалів у наночастках, матриці і композитах використано метод ЕПР-спектроскопії. В основі методу лежить явище резонансного поглинання енергії електромагнітних хвиль парамагнітними частками, поміщених у постійне магнітне поле. Поглинання здійснюється неспареними електронами, що перебувають у зразку полімеру. За формою, інтенсивністю, розташуванням й розщепленням спектру, а також, використовуючи атласи спектрів ЕПР ідентифікували природу радикалів.

Слід зазначити, що даний метод є єдиним для «прямого» спостереження неспарених електронів. Прилад видає першу похідну на кривій поглинання енергії. Інтенсивність ліній ЕПР-спектру – це площа під його кривою, що пропорційна числу неспарених електронів у зразку. У хімії полімерів цей метод широко використовується для визначення кількості вільних радикалів, що утворюються при окиснюванні й деструкції полімерів (у тому числі механодеструкції) і полімеризації. Це пов'язано з високою чутливістю методу, яка дозволяє виявляти концентрацію радикалів порядку 10^{-9} - 10^{-11} моль/л [8, 9].

ЕПР-спектри досліджували на спектрометрі марки «CMS-8400». При аналізі ЕПР-спектрів за допомогою програми «EPR Commander 4.0» визначали наступні характеристики: «*Width*» – ширина (розраховується, як різниця між величинами магнітного поля у точках мінімуму і максимуму спектру); «*Intensity*» – інтенсивність (максимальна різниця амплітуд на фрагменті); «*Concentration*» – концентрація парамагнітних центрів (розрахунок подвійного інтеграла фрагмента); H_0 – середня величина.

Дослідження структури КМ проводили на металографічному мікроскопі моделі XJL-17AT, який оснащений камерою 130 UMD (1,3 Mega Pixels). Діапазон збільшення зображення – від $\times 100$ до $\times 1600$. У роботі зразки досліджували при такому збільшенні: $\times 100$, $\times 200$, $\times 400$. Для обробки цифрових зображень використовували програмне забезпечення «Image Analyse».

Результати досліджень та їх обговорення. Попередніми дослідженнями фізико-механічних і теплофізичних властивостей НКМ було встановлено, що оптимальний загальний час УЗО композиції з частками ННСК (при вмісті наповнювача $q = 0,05$ мас.ч.) становить: $\tau_3 = (1,0 \dots 1,5) \pm 0,1$ хв, тривалість імпульсу $\tau_i = 10$ с. При цьому адгезійна міцність при зсуві КМ становить $\sigma_\tau = 15,0$ МПа, адгезійна міцність при розриві $\sigma_a = 76,6$ МПа, залишкові напруження – $\sigma_z = 1,4$ МПа, модуль пружності – $E = 3,7$ ГПа, руйнівні напруження при згинанні – $\sigma_{ze} = 100$ МПа, теплостійкість (за Мартенсом) – $T = 342$ К. Проте для визначення природи хімічних і фізичних зв'язків фізико-механічних і теплофізичних досліджень не є достатньо. Тому для більш детального вивчення і встановлення закономірностей перебігу фізико-хімічних процесів при структуроутворенні НКМ нами було проведено ІЧ- та ЕПР-спектральний порівняльний аналіз структури вихідних, наповнених і оброблених УЗО зразків.

При дослідженні природи хімічних зв'язків широко розповсюджений аналіз ІЧ-спектрів поглинання, які виникають при проходженні випромінювання через речовину. Відомо [6], що кожна речовина має свій коливальний спектр. Число смуг поглинання у спектрі, їх ширина, форма й інтенсивність визначаються структурою та хімічним складом речовини. Це дає можливість за ІЧ-спектрами проводити аналіз речовини у всіх агрегатних станах.

Аналіз ІЧ-спектрів епоксидного олігомера ЕД-20 без УЗО, олігомера ЕД-20 після УЗО, ПЕПА і наночасток ННСК дозволи виявити існування широкого спектру смуг поглинання, які характеризують валентні, маятникові та деформаційні коливання бокових груп та сегментів макромолекул (табл. 1). При порівнянні спектрів олігомера ЕД-20 без і після УЗО слід звернути увагу на смуги поглинання у області частот $\nu = 1242,16; 1454,33; 1604,77; 2291,43; 2870,08 \text{ см}^{-1}$ (олігомер без УЗО) і аналогічні смуги поглинання у області частот $\nu = 1238,30; 1458,18; 1608,63; 2283,72; 2873,64 \text{ см}^{-1}$ (олігомер після УЗО). Слід зауважити, що ці смуги є ідентичними, однак після УЗО вони зміщуються за частотою і характеризуються збільшеною оптичною густиною D % та напівшириною $b \text{ см}^{-1}$. Без УЗО смуга поглинання при хвильовому числі $\nu = 1242,16 \text{ см}^{-1}$ має оптичну густину $D = 35,2$ % і напівширину $b = 39,9 \text{ см}^{-1}$, а після УЗО олігомера ЕД-20 відбувається зміщення максимуму оптичної густини на $3,86 \text{ см}^{-1}$ у бік менших хвильових чисел і при $\nu = 1238,30 \text{ см}^{-1}$ оптична густина збільшується до $D = 46,6$ %, а напівширина до $b = 46,6 \text{ см}^{-1}$ відповідно. Дані смуги вказують про присутність деформаційних коливань груп -ОН- та валентних коливань -С-О- груп. Також смуга поглинання при хвильовому числі $\nu = 1454,33 \text{ см}^{-1}$ (без УЗО) свідчить про деформаційні коливання -СН-, метильної -СН₃-С- та метиленової -СН₂- груп, при цьому смуга має оптичну густину $D = 14,1$ % і напівширину $b = 25,9 \text{ см}^{-1}$, проте після УЗО відбувається зміщення максимуму оптичної густини на $\Delta\nu = 3,85 \text{ см}^{-1}$ у бік більших хвильових чисел, і при $\nu = 1458,18 \text{ см}^{-1}$ оптична густина збільшується до $D = 17,2$ %, а напівширина до $b = 27,9 \text{ см}^{-1}$ відповідно. З виявлених смуг поглинання також помітно, що у олігомері без УЗО при частоті $\nu = 1604,77 \text{ см}^{-1}$ оптична густина – $D = 38,9$ %, напівширина – $b = 18,9 \text{ см}^{-1}$, а у олігомері після УЗО при $\nu = 1608,63 \text{ см}^{-1}$ оптична густина збільшується до $D = 43,6$ %, а напівширина залишається незмінною. Додатково встановлено зміщення максимуму оптичної густини при даній частоті на $\Delta\nu = 3,86 \text{ см}^{-1}$ у бік більших хвильових чисел. Доведено, що дані смуги свідчать про присутність у олігомері подвійних зв'язків валентних коливань -С=С- груп [6], кількість яких після УЗО смоли ЕД-20 зростає.

При частоті $\nu = 2291,43 \text{ см}^{-1}$ оптична густина для вихідного олігомеру становить $D = 3,3$ % і напівширина – $b = 37,7 \text{ см}^{-1}$. Проте для олігомеру після УЗО відбувається зміщення максимуму оптичної густини на $\Delta\nu = 3,85 \text{ см}^{-1}$ в бік менших хвильових чисел і при $\nu = 2283,72 \text{ см}^{-1}$ оптична густина збільшується до $D = 7,7$ %, а напівширина до $b = 43,6 \text{ см}^{-1}$. Дані смуги виявлені внаслідок валентних коливань епоксидної групи.

При частоті $\nu = 2870,08 \text{ см}^{-1}$ виявлено смугу поглинання з плечем незначної інтенсивності, оптична густина якої становить $D = 2$ % і напівширина – $b = 25 \text{ см}^{-1}$. Після УЗО встановлено зміщення максимуму даної смуги на $\Delta\nu = 3,56 \text{ см}^{-1}$ в бік більших хвильових чисел, і при $\nu = 2873,64 \text{ см}^{-1}$ оптична густина практично не збільшується ($D = 2,1$ %) і напівширина також залишається незмінною. Виявлення смуги поглинання при цих частотах свідчить про валентні коливання -СН-, метильної -СН₃-С- та метиленової -СН₂-груп. Також при аналізі ІЧ-спектрів олігомера ЕД-20 без і після УЗО виявлено смуги поглинання у області частот $\nu = 2927,74 \dots 3510,45 \text{ см}^{-1}$, характерні для валентних коливань -ОН-груп.

Виходячи з наведеного вище і порівнявши спектри олігомера ЕД-20 без і після УЗО, можна стверджувати, що під час обробки олігомера виникають кавітаційні процеси, які супроводжуються не лише додатковим підігріванням композиції, але й активацією ланцюгів макромолекул з наступним утворенням вільних радикалів. Це, у свою чергу, сприяє підвищеній рухливості молекул олігомера і внаслідок цього ланцюги стають більш мобільними, порівняно з полімерними ланцюгами матеріалу без УЗО. Зміщення смуг поглинання, збільшення їх інтенсивності і ширини при різних хвильових частотах, які виявлено після ультразвукової обробки олігомера ЕД-20, можна пояснити лише вище зазначеними факторами.

Надалі аналізували ІЧ-спектри твердника ПЕПА. Встановлено, що у області хвильових чисел $\nu = 779,24 \dots 1072,42 \text{ см}^{-1}$ формується складний спектр набору смуг поглинання, який відповідає маятниковим коливанням -NH- і -СН-груп, а також валентним коливанням -С-С- і -СН-груп. Крім того, при частотах $\nu = 1303,88, 1458,18$ і $1597,06 \text{ см}^{-1}$ виявлено смуги, які характерні для -СН- і -NH-деформаційних коливань. Також при аналізі ІЧ-спектрів твердника ПЕПА виявлено смуги при $\nu = 3287,99; 2935,66$ і $2112,21 \text{ см}^{-1}$, які з'являються внаслідок валентних коливань -СН- і -NH-груп.

Таблиця 1. Характеристичні смуги поглинання і параметри їх інтенсивності згідно ІЧ-спектрального аналізу

Характеристики смуги		Олігомер ЕД-20 без УЗО	Олігомер ЕД-20 після УЗО	ПЕПА	Нанонаповнювач ННСК	Епокс. матриця без УЗО	Епокс. матриця після УЗО	НКМ без УЗО	НКМ після УЗО
Група	ν , см^{-1}								
-CH ₂ - валентні коливання	416,62	-	-	-	+	-	-	-	+
-CH- маятникові коливання, -CH ₂ - валентні коливання,	559, 36- 574, 79	+	-	-	-	+	-	+	+
-CH- маятникові коливання, алкени: C-CH ₂	651,94	-	-	-	-	-	-	-	+
-NH- і -CH- маятникові коливання	779,24	-	-	+	-	-	-	-	-
-OH- деформаційні коливання, -C-O- валентні коливання	1242,16- 1238,30	+	+	-	-	-	-	-	-
-CH- деформаційні коливання, -C-N- валентні коливання	1303,88	-	-	+	-	-	-	-	-
-CH- деформаційні коливання, метилен -CH ₂ -, метил CH ₃ -C	1454,33- 1458,18	+	+	+	-	-	-	+	+
-C=C- валентні коливання -NH-деформаційні коливання, -C=C- і -C=N- валентні коливання, первинні CH ₂ -NH ₂ , -NH ₂ аміногрупи	1604,77- 1608,63	+	+	-	-	+	+	+	+
-C-O- валентні коливання	1743,65- 2515,18	+	+	-	+	+	+	+	+
Валентні коливання епоксидної групи	2071,55- 2318,44	+	+	-	+	+	+	+	+
-CH- валентні коливання, -CH ₂ -метилен	2819,93- 2823,79	-	-	-	-	-	+	-	+
-OH- і -NH- валентні коливання	3356,14- 3645,46	-	-	-	+	+	+	+	-

Аналіз ІЧ-спектрів нанонаповнювача ННСК дозволив виявити смуги поглинання у області хвильових чисел $\nu = 416,62 \dots 567,07 \text{ см}^{-1}$, які з'являються внаслідок валентних коливань -CH₂-груп, а також маятникових коливань -CH- і -NH-груп у області хвильових чисел $\nu = 617,22 \dots 875,68 \text{ см}^{-1}$. Смуги високої інтенсивності, виявлені при хвильовому числі $\nu = 1442,75 \text{ см}^{-1}$, з'являються внаслідок деформаційних коливань -CH-груп. Також спостерігали смуги при хвильових числах $\nu = 2850,79$ і $2924,09 \text{ см}^{-1}$, які з'являються внаслідок валентних коливань -CH-, -OH- і -NH- груп. У області хвильових чисел $\nu = 1060,85 \dots 1188,15 \text{ см}^{-1}$ формується складний спектр набору смуг поглинання, який відповідає валентним коливанням -C-C-, -CN- і -C-O- груп, а також первинної аміногрупи CH₂-NH₂, а при хвильовому числі $\nu = 1446,02 \text{ см}^{-1}$, виявлено коливання деформаційних -OH-груп. Також у області хвильових чисел $1743,65 \dots 2515,18 \text{ см}^{-1}$ формується складний спектр набору смуг поглинання, які відповідають валентним коливанням -C-O-груп, а поглинання у області частоти $\nu = 3356,14 \text{ см}^{-1}$ свідчить про валентні коливання -OH- і -NH-груп. Тобто, можна припустити, що завдяки групі -NH-, яка виявлена в тверднику ПЕПА і нанонаповнювачі ННСК, а також -CH- і -OH-груп, які виявлено в усіх зазначених вище складових композиції, може відбуватись взаємодія компонентів, внаслідок чого утворюватимуться більш стійкі подвійні зв'язки і, як наслідок, повне зшивання НКМ.

На наступному етапі проводили порівняння ІЧ-спектрів зшитої матриці без УЗО із зшитою матрицею після УЗО, а також нанокompозиту без УЗО із нанокompозитом після УЗО (табл. 1). При порівнянні спектрів було встановлено, що у області хвильових чисел $\nu = 420 \dots 2318,44 \text{ см}^{-1}$

відбувається зміщення максимуму смуг поглинання матеріалу модифікованої УЗО епоксидної матриці порівняно з необробленою. Зокрема, на спектрі вихідної матриці виявлено смугу поглинання з частотою $\nu = 420,48 \text{ см}^{-1}$, яка має оптичну густину $D = 5,1 \%$ і напівширину $b = 9,7 \text{ см}^{-1}$, а для матриці після УЗО спостерігали зміщення максимуму даної смуги на $\Delta\nu = 3,86 \text{ см}^{-1}$ у бік більших хвильових чисел і при $\nu = 424,34 \text{ см}^{-1}$ її оптична густина збільшується до $D = 6,1 \%$, а напівширина до $b = 13,2 \text{ см}^{-1}$ відповідно. Дані смуги поглинання характеризують валентні коливання $-\text{CH}_2$ -груп. Також у матриці без УЗО на спектрі виявлено смугу з частотою $\nu = 559,36 \text{ см}^{-1}$, яка має оптичну густину $D = 7,7 \%$ і напівширину $b = 56,1 \text{ см}^{-1}$, а після УЗО відбувається її зміщення максимуму на $3,85 \text{ см}^{-1}$ у бік більших хвильових чисел і при частоті $\nu = 563,21 \text{ см}^{-1}$ її оптична густина збільшується до $D = 10,4 \%$, а напівширина до $b = 58,5 \text{ см}^{-1}$. Дана смуга характеризує валентні коливання $-\text{CH}_2$ -груп та алкеної $-\text{C}=\text{CH}_2$ -групи.

Смуга поглинання при хвильовому числі $\nu = 640,37 \text{ см}^{-1}$ свідчить про маятникові коливання $-\text{CH}$ -групи та наявність алкенів $-\text{C}-\text{CH}_2$ і має оптичну густину $D = 1,3 \%$ і напівширину $b = 6,7 \text{ см}^{-1}$. Проте у матриці після УЗО відбувається зміщення максимуму цієї смуги на $7,71 \text{ см}^{-1}$ у бік більших хвильових чисел і при частоті $\nu = 648,08 \text{ см}^{-1}$ оптична густина зменшується до $D = 0,9 \%$, а напівширина – до $b = 3,1 \text{ см}^{-1}$. Це свідчить про значний вплив УЗО на процеси зшивання і суттєву конверсію даних груп при полімеризації модифікованої матриці.

Смуга поглинання для вихідної матриці при хвильовому числі $\nu = 759,95 \text{ см}^{-1}$ має оптичну густину $D = 1,4 \%$ і напівширину $b = 10,2 \text{ см}^{-1}$, проте після УЗО відбувається зміщення її максимуму на $\Delta\nu = 3,86 \text{ см}^{-1}$ у бік більших хвильових чисел і при $\nu = 763,81 \text{ см}^{-1}$ оптична густина смуги збільшується до $D = 2,1 \%$, а напівширина збільшується до $b = 16,2 \text{ см}^{-1}$. Утворені смуги відносяться до маятникових коливань $-\text{CH}$ -, $-\text{NH}$ - груп і первинної аміногрупи $-\text{NH}_2$. Також виявлені валентні коливання епоксидних, $-\text{C}-\text{C}$ -, $-\text{C}-\text{N}$ - та $-\text{C}-\text{O}$ - груп на спектрі матриці без УЗО при частоті $\nu = 933,55 \text{ см}^{-1}$ і у матриці після УЗО при частоті $\nu = 937,40 \text{ см}^{-1}$. При цьому спектр з частотою $\nu = 933,55 \text{ см}^{-1}$ має оптичну густину $D = 3,3 \%$ і напівширину $b = 41,3 \text{ см}^{-1}$, проте на спектрі матриці після УЗО відбувається зміщення максимуму оптичної густини на $\Delta\nu = 3,85 \text{ см}^{-1}$ у бік більших хвильових чисел і при $\nu = 937,40 \text{ см}^{-1}$ оптична густина збільшується до $D = 4,8 \%$, а напівширина – до $b = 42,7 \text{ см}^{-1}$.

Слід відмітити наявність смуги поглинання з частотою $\nu = 1180,44 \text{ см}^{-1}$, яка має оптичну густину $D = 16,2 \%$ і напівширину $b = 10,1 \text{ см}^{-1}$, проте після УЗО відбувається зміщення максимуму цієї смуги на $\Delta\nu = 3,85 \text{ см}^{-1}$ у бік більших хвильових чисел і при $\nu = 1184,29 \text{ см}^{-1}$ оптична густина збільшується до $D = 16,7 \%$, а напівширина – до $b = 11,7 \text{ см}^{-1}$. Дана смуга свідчить про валентні коливання $-\text{C}-\text{C}$ -, $-\text{C}-\text{N}$ - і $-\text{C}-\text{O}$ -груп, а також первинних $-\text{CH}_2-\text{NH}_2$ - і вторинних $-\text{CH}_2-\text{NH}-\text{CH}_2$ аміногруп.

Смуга поглинання при хвильовому числі $\nu = 1647,21 \text{ см}^{-1}$ має оптичну густину $D = 2,3 \%$ і напівширину $b = 20,5 \text{ см}^{-1}$, проте після УЗО відбувається зміщення її максимуму на $\Delta\nu = 19,29 \text{ см}^{-1}$ у бік більших хвильових чисел і при $\nu = 1666,50 \text{ см}^{-1}$ оптична густина збільшується до $D = 5,3 \%$, а напівширина збільшується до $b = 52,4 \text{ см}^{-1}$. Наявність цієї смуги свідчить про наявність подвійних зв'язків валентних коливань $-\text{C}=\text{C}$ -, $-\text{C}=\text{N}$ - та $-\text{C}=\text{O}$ -груп, кількість яких збільшується у матриці після УЗО. Також виявлено валентні коливання епоксидної групи при частотах $\nu = 2306,86 \dots 2318,44 \text{ см}^{-1}$. При цьому смуга з частотою $\nu = 2306,86 \text{ см}^{-1}$ має оптичну густину $D = 1,4 \%$ і напівширину $b = 41,3 \text{ см}^{-1}$, проте у матеріалі після УЗО відбувається зміщення її максимуму на $\Delta\nu = 11,6 \text{ см}^{-1}$ у бік більших хвильових чисел і при $\nu = 2318,44 \text{ см}^{-1}$ оптична густина збільшується до $D = 2,9 \%$, а напівширина – до $b = 49,1 \text{ см}^{-1}$.

Тобто, можна зробити висновок, що зміщення у діапазоні хвильових чисел $\nu = 420,48 \dots 2318,44 \text{ см}^{-1}$ пояснюється як підвищеною рухливістю молекул олігомеру внаслідок впливу УЗО (кавітаційних процесів), так і тим, що у модифікованій матриці спостерігається значно більша кількість кратних зв'язків $\text{C}=\text{C}$, $\text{C}=\text{N}$, $\text{C}\equiv\text{C}$ -, $-\text{C}=\text{O}$ - і т.д. Виявлені такі характерні смуги поглинання пов'язані з коливаннями, у яких, в основному, відбувається розтягування відповідних зв'язків внаслідок перебігу кавітаційних процесів під час УЗО. Наявність групових частот викликано також тим, що в такому коливанні найбільшу участь приймає незначна група атомів, при цьому змінюються довжини усіх зв'язків і величини кутів між ними. Також при аналізі спектрів обох матриць було встановлено, що суттєві зміни відбуваються у області хвильових чисел $\nu = 2823,79 \dots 3645 \text{ см}^{-1}$. Поява на ІЧ-спектрі епоксидної матриці після УЗО смуги при частоті $\nu = 2823,79 \text{ см}^{-1}$ доводить, що в реакціях полімеризації не повністю беруть участь групи $-\text{CH}$ - і метиленового радикалу $-\text{CH}_2$ -. Також не менш важливим є відсутність після УЗО смуг поглинання при частоті $\nu = 3194,12$ та $\nu = 3271,27 \text{ см}^{-1}$. Вважали, що близькі за масою атоми з'єднані

зв'язками, які мають близькі силові коефіцієнти, внаслідок чого відбувається взаємодія груп $-CH_2-$, $-OH-$ і $-NH-$. Це є наслідком додаткового зшивання матриці після УЗО, підтвердженням чого є відсутність смуг поглинання у модифікованому енергетичним полем матеріалі.

Порівнюючи спектри вихідного і модифікованого НКМ можна стверджувати, що в області хвильових чисел $\nu = 420 \dots 1604,77 \text{ см}^{-1}$ відбувається також суттєве зміщення смуг поглинання і зміна їхніх характеристик після УЗО композицій з ННКС. Зокрема, зміщення смуг поглинання виявлено у області частот $\nu = 428,20; 459,06; 686,66; 729,09; 759,95; 937,40; 1033,85; 1103,28; 1184,29; 1249,87; 1411,89; 1458,18$ і $2063,83 \text{ см}^{-1}$. У вихідному композиті смуга поглинання при хвильовому числі $\nu = 428,20$ має оптичну густину $D = 2,7 \%$ і напівширину $b = 19,3 \text{ см}^{-1}$, а у НКМ після УЗО відбувається зміщення максимуму цієї смуги на $\Delta\nu = 11,58 \text{ см}^{-1}$ у бік менших хвильових чисел і при $\nu = 416,62 \text{ см}^{-1}$ оптична густина зменшується до $D = 1,65 \%$, а напівширина збільшується до $b = 37,8 \text{ см}^{-1}$. Це є підтвердженням того, що після обробки формується більш зшитий композит за $-CH_2-$ групами, позаяк оптична густина смуги поглинання, що характеризує їх валентні коливання зменшується, а напівширина навпаки суттєво збільшується.

Також при аналізі спектру необробленого НКМ встановлено існування смуги при частоті $\nu = 459,06 \text{ см}^{-1}$, яка має оптичну густину $D = 2,8 \%$ і напівширину $b = 14,1 \text{ см}^{-1}$ (рис. 1). На спектрі НКМ після УЗО спостерігали зміщення її максимуму на $\Delta\nu = 19,29 \text{ см}^{-1}$ у бік більших хвильових чисел і при $\nu = 478,35 \text{ см}^{-1}$ оптична густина збільшується та становить $D = 3,1 \%$, а напівширина зменшується до $b = 12,6 \text{ см}^{-1}$. Виникнення цієї смуги поглинання також свідчить про існування валентних коливань $-CH_2-$ груп у НКМ. Смуга поглинання при хвильовому числі $\nu = 686,66 \text{ см}^{-1}$ свідчить про маятникові коливання $-CH-$ і $-NH-$ груп та наявність алкенів $-C-CH_2-$, має оптичну густину $D = 2,9 \%$ і напівширину $b = 21,2 \text{ см}^{-1}$. Проте у НКМ після УЗО відбувається зміщення максимуму оптичної густини на $\Delta\nu = 19,29 \text{ см}^{-1}$ у бік менших хвильових чисел і при $\nu = 667,37 \text{ см}^{-1}$ оптична густина збільшується до $D = 3,1 \%$, а напівширина зменшується до $b = 15,7 \text{ см}^{-1}$.

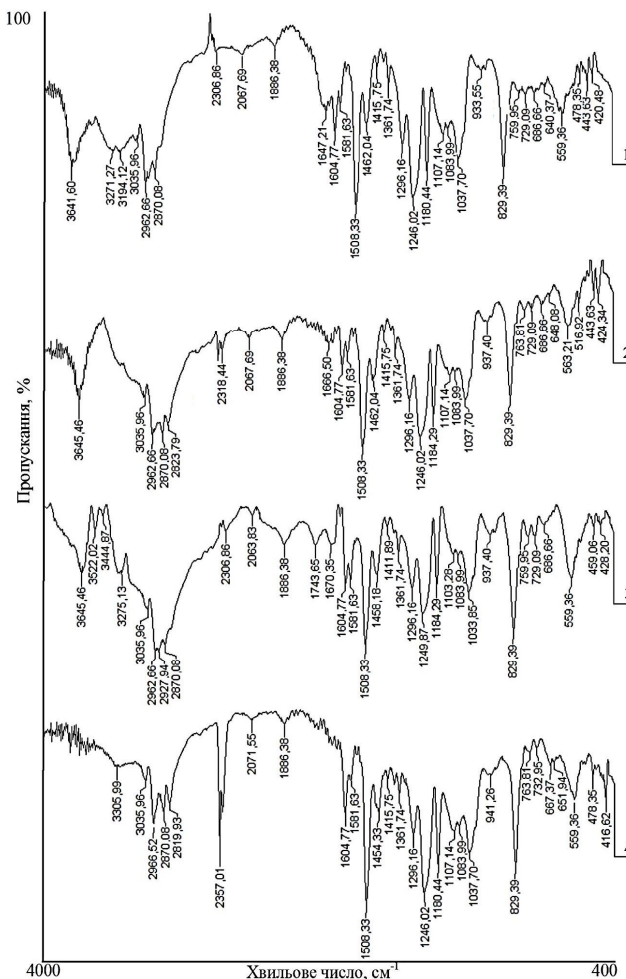


Рис. 1. ІЧ – спектри епоксидної матриці і нанокompозиту: 1 – матриця без УЗО; 2 – матриця після УЗО; 3 – нанокompозит без УЗО (з вмістом ННКС $q = 0,05$ мас.ч.); 4 – нанокompозит після УЗО (з вмістом ННКС $q = 0,05$ мас.ч.)

Смуга поглинання з частотою $\nu = 729,09 \text{ см}^{-1}$ має оптичну густину $D = 6,1 \%$ і напівширину $b = 28,9 \text{ см}^{-1}$, проте у НКМ після УЗО відбувається зміщення максимуму оптичної густини на $\Delta\nu = 3,86 \text{ см}^{-1}$ у бік більших хвильових чисел і при $\nu = 732,95 \text{ см}^{-1}$ оптична густина зменшується до $D = 2,2 \%$, а напівширина – до $b = 18,9 \text{ см}^{-1}$ відповідно. Дані числові максимуми піків свідчать про маятникові коливання -СН- та -NH- груп, а також про наявність первинної аміногрупи -NH₂ та метиленової -CH₂- групи. Зменшення їх оптичної густини і напівширини свідчить про значну конверсію даних груп і радикалів в результаті модифікації ультразвуком і наступного зшивання композиції. Смуга поглинання при хвильовому числі $\nu = 759,95 \text{ см}^{-1}$ має оптичну густину $D = 6,0 \%$ і напівширину $b = 30,2 \text{ см}^{-1}$, проте у модифікованому НКМ відбувається зміщення її максимуму на $\Delta\nu = 3,86 \text{ см}^{-1}$ у бік більших хвильових чисел і при $\nu = 763,81 \text{ см}^{-1}$ оптична густина зменшується до $D = 2,4 \%$, а напівширина до $b = 21,3 \text{ см}^{-1}$. Враховуючи те, що дана смуга характеризує наявність маятникових коливань -СН- та -NH-груп, метиленової -CH₂-групи та первинної аміногрупи -NH₂, можна стверджувати про їх зменшення і додаткове зшивання внаслідок УЗО композиції.

Смуга поглинання при хвильових числах $\nu = 937,40$ і $\nu = 941,26 \text{ см}^{-1}$ свідчить про валентні коливання епоксидних, -С-С-, -С-N- та -С-О-груп. При цьому смуга при $\nu = 937,40 \text{ см}^{-1}$ має оптичну густину $D = 6,1 \%$ і напівширину $b = 43,2 \text{ см}^{-1}$, проте у НКМ після УЗО відбувається зміщення максимуму оптичної густини на $\Delta\nu = 3,86 \text{ см}^{-1}$ у бік більших хвильових чисел і при $\nu = 941,26 \text{ см}^{-1}$ її оптична густина зменшується до $D = 1,2 \%$, а напівширина – до $b = 34,6 \text{ см}^{-1}$ відповідно. Смуга поглинання при хвильовому числі $\nu = 1033,85 \text{ см}^{-1}$ має оптичну густину $D = 9,9 \%$ і напівширину $b = 31,5 \text{ см}^{-1}$, проте у НКМ після УЗО відбувається зміщення її максимуму на $\Delta\nu = 19,29 \text{ см}^{-1}$ у бік більших хвильових чисел і при $\nu = 1037,70 \text{ см}^{-1}$ оптична густина зменшується до $D = 9,5 \%$, а напівширина залишається незмінною. Наявність даної смуги середньої інтенсивності дозволяє констатувати про наявність валентних коливань -С-О- і -С-N- груп, а також третинної -(CH₂)₃N-аміногрупи у НКМ.

Смуга поглинання при хвильовому числі $\nu = 1103,28 \text{ см}^{-1}$ для вихідного зразка з НКМ має оптичну густину $D = 1,2 \%$ і напівширину $b = 7,4 \text{ см}^{-1}$. Вона відповідає за валентні коливання -С-О-, С-С-, -С-N- груп, а також первинних -CH₂-NH₂- і вторинних -CH₂-NH-CH₂- амінів. У зразках НКМ після УЗО відбувається зміщення її максимуму на $\Delta\nu = 3,86 \text{ см}^{-1}$ у бік більших хвильових чисел і при $\nu = 1107,14 \text{ см}^{-1}$ оптична густина смуги поглинання збільшується до $D = 3,1 \%$, а напівширина збільшується до $b = 28,4 \text{ см}^{-1}$.

Смуга поглинання при хвильовому числі $\nu = 1184,29 \text{ см}^{-1}$ має оптичну густину $D = 14,6 \%$ і напівширину $b = 9,9 \text{ см}^{-1}$. Проте у спектрах НКМ після УЗО відбувається зміщення її максимуму на $\Delta\nu = 3,85 \text{ см}^{-1}$ у бік менших хвильових чисел і при $\nu = 1180,44 \text{ см}^{-1}$ оптична густина смуги залишається незмінною, а напівширина збільшується до $b = 10,9 \text{ см}^{-1}$. Отримані результати вказують про присутність валентних коливань груп -С-О-, -С-С-, -С-N- та первинної -СН-NH₂-, вторинної -СН-NH-СН- і третинної -(CH₂)₃N- аміногруп. Причому кількість аміногруп після УЗО зростає, свідченням чого є збільшення напівширини смуги поглинання і її зміщення по осі частоти. Це дозволяє додатково констатувати про вплив УЗО композиції на збільшення густини просторової сітки модифікованого полімеру після його зшивання.

Смуга поглинання при хвильовому числі $\nu = 1249,87 \text{ см}^{-1}$ має оптичну густину $D = 14,4 \%$ і напівширину $b = 42,1 \text{ см}^{-1}$, проте у НКМ після УЗО відбувається зміщення її максимуму на $\Delta\nu = 3,85 \text{ см}^{-1}$ у бік менших хвильових чисел і при $\nu = 1246,02 \text{ см}^{-1}$ оптична густина смуги збільшується до $D = 18,4 \%$, а напівширина – до $b = 47,1 \text{ см}^{-1}$. Дана смуга поглинання вказує на деформаційні коливання -ОН- груп, валентні коливання груп -С-О-, -С-N-, наявність епоксидних груп та вторинних -NH-R і третинних -N-R₂ аміногруп. Смуга поглинання при хвильовому числі $\nu = 1411,89 \text{ см}^{-1}$ свідчить про деформаційні коливання -СН- і -ОН- груп, має оптичну густину $D = 3,1 \%$ та напівширину $b = 12,7 \text{ см}^{-1}$, проте у зразках після УЗО відбувається зміщення її максимуму на $\Delta\nu = 3,86 \text{ см}^{-1}$ у бік більших хвильових чисел і при $\nu = 1415,75 \text{ см}^{-1}$ оптична густина смуги зменшується до $D = 2,2 \%$, а напівширина – до $b = 10,7 \text{ см}^{-1}$. Смуга поглинання при хвильовому числі $\nu = 1458,18 \text{ см}^{-1}$ має оптичну густину $D = 6,8 \%$ і напівширину $b = 25,1 \text{ см}^{-1}$. У НКМ після УЗО відбувається зміщення максимуму смуги на $\Delta\nu = 3,85 \text{ см}^{-1}$ у бік менших хвильових чисел і при $\nu = 1454,33 \text{ см}^{-1}$ її оптична густина незмінна, а напівширина збільшується до $b = 27,2 \text{ см}^{-1}$. Дана смуга поглинання вказує на деформаційні коливання -СН-груп, а також метиленової -CH₂- і метильної -CH₃-С- груп.

Відомо, що взаємодія між сусідніми ланцюгами забезпечує «розщеплення» смуг поглинання [6]. Даний фактор на ІЧ-спектрах спостерігали для різних смуг поглинання при частотах

$\nu = 2870,08; 2927,94; 2962,66 \text{ см}^{-1}$, характерних для вихідних НКМ, і при частотах $\nu = 2819,93; 2870,08; 2966,52 \text{ см}^{-1}$, характерних для НКМ після УЗО. При цьому кількість піків і їхня інтенсивність у розщепленій смузі може свідчити про кількість макроланцюгів у одиниці об'єму матеріалу. Смуга поглинання при хвильовому числі $\nu = 2063,83 \text{ см}^{-1}$ має оптичну густину $D = 1,3 \%$ і напівширину $b = 9,9 \text{ см}^{-1}$, проте при опроміненні зразків після УЗО спостерігали зміщення її максимуму на $\Delta\nu = 11,7 \text{ см}^{-1}$ у бік більших хвильових чисел. При $\nu = 2075,53 \text{ см}^{-1}$ оптична густина цієї смуги є незмінною, а напівширина збільшується до $b = 63,2 \text{ см}^{-1}$. Отже, можна припустити, що зміщення смуг поглинання (навіть незначного) у модифікованих УЗО зразках, порівняно з вихідним матеріалом, відбувається внаслідок зміни геометрії молекули як полімера у об'ємі, так і ланцюга макромолекул у зовнішніх поверхневих шарах навколо нанонаповнювача. Неможна не відмітити також збільшення інтенсивності смуги поглинання на ІЧ-спектрі зразків після УЗО при частоті $\nu = 2357,01 \text{ см}^{-1}$, яке пояснюється збільшенням потрійних зв'язків $-\text{C}\equiv\text{N}-$ груп, про що свідчить збільшення оптичної густини D і напівширини b смуги.

Особливу увагу необхідно звернути на смуги поглинання у області частот $\nu = 2870,08 \dots 3645,46 \text{ см}^{-1}$. Їхнє зміщення, а також збільшення характеристик (оптичної густини D та напівширини b) у зразках після УЗО свідчить про активацію перебігу фізико-хімічних процесів зшивання матриці в результаті попередньої зовнішньої модифікації. Відомо, що процес формування епоксидних КМ супроводжується руйнуванням і водночас активацією епоксидних, зростанням кількості гідроксильних, а також утворенням у вихідному олігомері незначної кількості карбонільних груп [7]. При подальшому зшиванні це приводить до збільшення густини сітки полімеру. Очевидно, цим пояснюється відсутність смуг поглинання на ІЧ-спектрах зразків після УЗО даних смуг поглинання при частотах $\nu = 1670,35; 1743,65; 3275,13; 3444,87; 3522,02; 3645,46 \text{ см}^{-1}$.

Тобто, з наведених спектрів композитів встановлено покращену взаємодію нанонаповнювача з олігомером ЕД-20 після УЗО композиції, внаслідок перебігу кавітаційних процесів, які зумовлюють як активацію, так і наступну взаємодію макромолекул з активними центрами на поверхні часток з утворенням хімічних зв'язків. Можна припустити, що взаємодія зв'язувача з активними центрами нанонаповнювача відбувається за рахунок активних груп $-\text{HN}-$, які виявлено як у наповнювачі ННСК, так і у тверднику ПЕПА, а також груп $-\text{SH}-$ і $-\text{OH}-$, які виявлено у вище зазначених складових КМ. Не менш важливим фактором є руйнування подвійних зв'язків $-\text{C}=\text{C}-$, $-\text{C}=\text{N}-$ та $-\text{C}=\text{O}-$ груп в області частот $\nu = 1670,35 \dots 1743,65 \text{ см}^{-1}$ після УЗО. Це надалі забезпечує збільшення ступеня зшивання НКМ. Крім того, відсутність або менша кількість $-\text{C}-\text{H}-$ і водневих $-\text{OH}-$ груп на спектрах НКМ після УЗО в області частот $\nu = 3275,13; 3444,87; 3522,02; 3645,46 \text{ см}^{-1}$ свідчить про збільшений вміст гель-фракції у модифікованому матеріалі, а, отже, і покращені його фізико-механічні і теплофізичні властивості.

З метою підтвердження наведених вище результатів експериментальних випробувань і теоретичних положень на наступному етапі досліджували вихідні і модифіковані УЗО матеріали методом ЕПР-спектроскопії. Відомо [8, 9], що розташування лінії на спектрі ЕПР характеризується величиною g – фактора. Для вільного електрона $g = 2$. З урахуванням поправки, зумовленої впливом флуктуації електрон-позитронного вакууму, ця величина складає $g = 2,00232$. У багатьох важливих випадках (органічні вільні радикали, парамагнітні дефекти кристалічних решіток та ін.) величини g – факторів відрізняються від чисто спінового значення не більше, ніж до другого знаку після коми. Причому, це не завжди так. Парамагнітні частки, досліджувані методом ЕПР, як правило, не є вільними атомами. Вплив анізотропних електричних полів, оточуючих атомів та інші ефекти часто призводять до суттєвих відхилень g – фактора від чисто спінового значення і його анізотропії (залежність g – фактора від орієнтації зразка у зовнішньому магнітному полі). Значні відхилення g – фактора від суто спінових значень ($g = 2,00232$) спостерігаються при наявності досить сильної спин-орбітальної взаємодії або локалізації електрона поблизу важкого атома.

Виходячи з цього, попередньо визначали g – фактор для досліджуваних НКМ за наступною формулою:

$$g = \frac{h \cdot \nu}{\beta \cdot H_r},$$

де

g – безрозмірний множник або фактор спектроскопічного розщеплення (g – фактор), який визначає характер резонуючої частки; h – стала Планка ($h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$); ν – резонансна

частота ($\nu = 9430,949$ МГц); β – магнетрон Бора ($\beta = 9,274096^{-24}$ А·м²); H_r – значення магнітного поля, при якому виконується умова резонансу ($H_r = 1,8$ мТл ≈ 3330 Гс). Дані характеристики відображено на панелі спектрометра перед початком дослідження (рис. 3).

Звідси, знаходимо g – фактор для НКМ :

$$g = \frac{(6,626196 \cdot 10^{-34}) \cdot (9,430 \cdot 10^9)}{9,274096^{-24} \cdot 3330} = 2,0232$$

Надалі досліджували кількість парамагнітних центрів, ширину та інтенсивність лінії спектрів у наповнювачі ННСК, необроблених та модифікованих УЗО епоксидній матриці і НКМ, що містить 0,05 мас.ч. наночастинок. Результати дослідження наведено у табл. 2.

Таблиця 2. Характеристики ЕПР-спектрів епоксидної матриці і НКМ

Зразок	Ширина лінії	Інтенсивність лінії	Концентрація парамагнітних центрів
ННСК	3,32	10810	$2,41 \times 10^{23}$
Матриця	9,16	2809	$1,64 \times 10^{21}$
Матриця після УЗО	9,84	2331	$1,22 \times 10^{21}$
НКМ	7,32	2765	$2,02 \times 10^{21}$
НКМ після УЗО	9,69	3574	$1,83 \times 10^{21}$

В спектропії ЕПР, як і в інших видах спектроскопії, важливими факторами є інтенсивність лінії та її ширина, а також концентрація парамагнітних центрів. Інтенсивність поглинання у спектрах ЕПР пропорційна парамагнітним часткам. Встановлено, що з усіх досліджуваних зразків найбільшою інтенсивністю лінії характеризується нанонаповнювач ННСК – 10810 (табл. 2), що вказує про наявність великої концентрації парамагнітних центрів – вільних радикалів. Тобто, можна припустити, що даний наповнювач має властивість до покращеної взаємодії зі зв'язувачем за рахунок великої кількості вільних радикалів, які, як відомо, мають один неспарений електрон, здатний приєднати електрон сегментів чи груп ланцюга макромолекули епоксидного олігомера.

Якщо проаналізувати спектри вихідних і модифікованих матриць та НКМ (табл. 2), можна стверджувати, що інтенсивність ліній після УЗО матриці значно знижується. Даний факт пояснюється меншою кількістю вільних радикалів. Вважали, що це і приводить до покращення фізико-механічних і теплофізичних властивостей модифікованих епоксикомпозитів.

Відомо [8, 9], що взаємодія між атомами вкорочує час життя спіну, внаслідок чого ширина спектральних ліній значно перевершує природну ширину. Основними типами взаємодії, які аналізуються спектром ЕПР є спін-решіткова (повздожня) і спін-спінова (поперечна). Спін-решітковою є взаємодія між орієнтованими магнітним полем парамагнітними частками і кристалічною решіткою (для рідких і газоподібних речовин – взаємодія парамагнітної частки з оточуючими її частками). Ця взаємодія призводить до перетворення енергії парамагнітної частки, яку вона отримує від зовнішнього магнітного поля, в енергію теплового руху навколишніх атомів або молекул. Спін-спінова взаємодія – взаємодія парамагнітних часток між собою, яка визначає перерозподіл енергії всередині «спінової системи», тобто всередині сукупності магнітних атомів. У теорії магнітного резонансу прийнято характеризувати взаємодію спінів з решіткою так званим часом спін-решіткової релаксації T_1 , а взаємодію між спінами – часом спін-спінової релаксації T_2 . Ширина лінії ЕПР обернено-пропорційна цим параметрам. Водночас часи релаксації T_1 і T_2 залежать від природи парамагнітних центрів, їх оточення та молекулярної рухливості. Отже, значна спін-спінова та спін-решіткова взаємодія зумовлює створення широкої лінії спектру. Виходячи з цього можна стверджувати, що збільшення ширини лінії спектру при аналізі модифікованих зразків, порівняно з вихідними, свідчить про поліпшення як спін-спінової, так і спін-решіткової взаємодії. Це, у свою чергу, дозволяє констатувати про підвищення когезійної міцності композитів після попередньої їх модифікації ультразвуком.

Крім того, при порівнянні спектрів вихідної і модифікованої епоксидних матриць встановлено, що концентрація парамагнітних центрів матриці до УЗО становить $1,64 \times 10^{21}$, проте в матриці після УЗО їх кількість значно зменшується і досягає $1,22 \times 10^{21}$. Відомо [10], що під час зшивання епоксидного зв'язувача внаслідок розкриття епоксидних груп утворюються вільні радикали – парамагнітні центри, які надалі приймають активну участь у зшиванні. Крім того, їх

кількість збільшується, як було підтверджено вище методом ІЧ-спектроскопії, не лише за рахунок розкриття епоксидних груп, але й за рахунок утворення інших видів радикалів під час обробки олігомеру ультразвуком. Надалі при зшиванні такі радикали активніше взаємодіють між собою та з іншими сегментами чи групами зв'язувача, порівняно з вихідними ланцюгами макромолекул, що приводить до кращого зшивання матриці. В результаті кількість парамагнітних центрів обробленої ультразвуком матриці є меншою, порівняно з вихідною, позаяк вміст гель-фракції у ній є вищим і міжмолекулярна маса, відповідно, нижчою. Наведені положення також підтверджено дослідженням фізико-механічних та теплофізичних властивостей обох матриць.

Крім того, даний механізм зшивання додатково підтверджується аналізом кількості парамагнітних центрів вихідного і модифікованого композитів з частками ННСК. Встановлено, що концентрація парамагнітних центрів у вихідному НКМ становить $2,02 \times 10^{21}$, проте у НКМ після УЗО їх вміст зменшується до $1,83 \times 10^{21}$. Слід зазначити, що у композитах, порівняно з матрицями, кількість парамагнітних центрів є вищою. Це пояснюється присутністю у них часток ННСК, які, як було показано вище, мають значну кількість активних центрів на поверхні ($2,40 \times 10^{23}$). Їх введення у зв'язувач і подальше зшивання композиції приводить до значного зменшення концентрації центрів у НКМ, що свідчить про активну взаємодію поверхневих центрів наповнювача з макромолекулами епоксидного олігомеру. Крім того, після УЗО кількість центрів у НКМ зменшується. Це свідчить про підвищення ступеня зшивання модифікованих композитів внаслідок утворення в результаті УЗО вільних радикалів і їх інтенсивнішої, порівняно з макромолекулами, взаємодії з активними центрами на поверхні наночасток. Тобто, можна припустити, що просторова сітка, яка утворена фізичними і хімічними зв'язками є більш зшитою при введенні наповнювача в епоксидний зв'язувач. Отже, після УЗО композиції формується НКМ з частками ННСК, який відзначається сітковою структурою полімеру з максимальним ступенем зшивання. Це, у свою чергу, забезпечує суттєве підвищення показників його фізико-механічних та теплофізичних властивостей.

На завершальному етапі методом оптичної мікроскопії досліджували морфологію зламу необроблених та модифікованих епоксидних матриць і НКМ. Дослідженню підлягала безпосередньо поверхня зразка, яку не піддавали механічній обробці. Порівнюючи фрактограми зламу вихідної і модифікованої матриць можна припустити, що УЗО суттєво впливає на формування структури матеріалу. Аналіз світлин при незначному збільшенні ($\times 100$, $\times 200$) дозволяє констатувати про наявність пологих ліній сколювання, які формують рельєф поверхні із в'язким характером руйнування. Однак, аналіз фрактограм при збільшенні $\times 400$ дозволяє стверджувати про формування значного напруженого стану при зшиванні епоксидних матриць. Зокрема показано, що поверхня зразка вихідної матриці характеризується присутністю кратерів блочної і пелюсткової структури, розділених широкими лініями сколу. Причому такі об'єкти, різні за формою і площею, розміщені у різних площинах. Складна топологія поверхні таких зразків опосередковано свідчить про суттєву крихкість вихідної матриці, яка відзначається підвищеними залишковими напруженнями, що зумовлює її швидке старіння під час подальшої експлуатації.

Навпаки, аналіз поверхні зразків модифікованої епоксидної матриці свідчить про формування більш в'язкої структури матеріалу. Поверхня зламу відзначається рельєфними лініями і глобулярною структурою, однак, на ній відсутні різкі переходи з лініями сколювання. Можна опосередковано стверджувати, що такий матеріал, хоч і відзначається значними показниками залишкових напружень, але його когезійні характеристики можуть бути достатньо високими при експлуатації матеріалу упродовж довгого проміжку часу.

Аналіз фрактограми НКМ без УЗО дозволяє констатувати про формування поверхні, яка має лінійний, майже прямий характер зламу. Також помітні темні фрагменти, які свідчать про неповну взаємодію часток нанопоповнювача із олігомером ЕД-20. Це, у першу чергу, зумовлено недостатнім змочуванням поверхні наночасток зв'язувачем, а також їхнім хаотичним розподіленням у об'ємі. В результаті структура поверхні зразків характеризується незначною кількістю дефектів, повітряними включеннями і кратерами невеликого об'єму, що призводить до зниження когезійних, а, отже, й фізико-механічних та теплофізичних властивостей композиту.

При дослідженні мікроструктури модифікованих УЗО НКМ встановлено, що після руйнування зразків формується полога, хоча й дещо рифлена, поверхня, у якій відсутні темні включення і кратери. Це пояснюється тим, що завдяки кавітаційним процесам у композиції під час УЗО наночастки інтенсивно змочуються і рівномірно розподіляються у зв'язувачі. Це сприяє їх активній фізичній взаємодії з макромолекулами вже на початковій стадії формування НКМ, а наступна хімічна взаємодія зумовлює формування композиту з поліпшеними властивостями.

Наведені положення підтверджено результатами досліджень методами ІЧ- та ЕПР-спектроскопії, описаними вище.

Висновки. На основі проведених досліджень можна констатувати наступне.

1. Методом ІЧ-спектрального аналізу досліджено природу хімічних зв'язків, які виникають при структуроутворенні епоксидної матриці і композитного матеріалу, що містить частки нанодисперсного наповнювача. Встановлено механізм міжмолекулярної взаємодії нанодисперсного наповнювача з епоксидним олігомером ЕД-20, про що свідчить зміщення смуг поглинання, зменшення їх оптичної густини та напівширини у діапазоні хвильових чисел $\nu = 1670,35 \dots 1743,65 \text{ см}^{-1}$ (розщеплення і наступне зшивання подвійних зв'язків -C=C- , -C=N- , -C=O-) та у діапазоні хвильових чисел $\nu = 3275,13; 3444,87; 3522,02; 3645,46 \text{ см}^{-1}$ (зшивання -C-N- і водневих ОН-груп з утворенням нових зв'язків). В результаті формуються композити з підвищеними показниками фізико-механічних і теплофізичних властивостей.

2. Методом ЕПР-спектрального аналізу досліджено природу вільних радикалів, які наявні у нанонаповнювачі і утворюються в матриці та композиті після ультразвукової обробки. Встановлено, що величина g – фактора, кількість парамагнітних центрів, ширина та інтенсивність лінії на спектрі свідчать про когезійні властивості композитів. Виявлено значну концентрацію парамагнітних центрів $2,41 \times 10^{23}$ та інтенсивність лінії – 10810 на спектрі нанонаповнювача, що свідчить про його активність до взаємодії з компонентами зв'язувача. Встановлено, що після обробки ультразвуком зв'язувача концентрація парамагнітних центрів у матриці зменшується з $1,64 \times 10^{21}$ до $1,22 \times 10^{21}$, а у композиті з наночастками – з $2,02 \times 10^{21}$ до $1,83 \times 10^{21}$. Отримані дані свідчать про доцільність і необхідність проведення обробки композицій з наночастками для отримання матеріалу з рівномірно розподіленою структурою та поліпшеними властивостями.

3. Методом оптичної мікроскопії досліджено поверхню зламу вихідних і модифікованих ультразвуком епоксидних матриць і нанокompозитів. Доведено, що у модифікованих ультразвуком матеріалах, порівняно з необробленими, формується полога, хоча й дещо рифлена, поверхня, у якій відсутні темні включення і кратери. Це пояснюється тим, що завдяки кавітаційним процесам у композиції під час УЗО наночастки інтенсивно змочуються і рівномірно розподіляються у зв'язувачі. Це сприяє їх активній фізичній взаємодії з макромолекулами вже на початковій стадії формування композитів, а наступна хімічна взаємодія зумовлює формування матеріалу з поліпшеними властивостями.

1. Пономарев А.Н. Технологии микромодификации полимерных и неорганических композиционных материалов с использованием наномодификаторов фуллероидного типа // Труды международной конференции ТПКММ.- Москва. – 2003. – С. 508-518.
2. Букетов А.В., Стухляк П.Д., Чихіра І.В. Властивості модифікованих ультразвуком епоксипластів. – Тернопіль: Крок, 2011. – 201 с.
3. Трофимов Н.Н., Пугачев С.И. Применение ультразвука в технологии создания адгезионных соединений. – Л.: ЛДНТП, 1979. – 20 с.
4. Москалев Е.В., Вишневская Л.П., Тризно М.С. Опыт ультразвукового склеивания при использовании эпоксидных адгезивов. – Л.: ЛДНТП, 1983. – 16 с.
5. Советская энциклопедия в пяти томах / Под ред. Н.С.Зефирова.-М.: Большая российская энциклопедия, 1988. - Т.5. – 783 с.
6. Рабек Я.Р. Экспериментальные методы в химии полимеров: пер. с англ. под ред. В.В. Коршака. – М.: Мир, 1983. – Ч.1. – 384 с.
7. Вербицкая Н.А. Влияние комплексных соединений рения (R), молибдена (V) с макроциклическими лигандами на процессы структурообразования эпоксиполиуретанового связующего // Пластические массы. – 2001. – № 7. – С.10-14.
8. Абрагам А., Блини Б. Электронный парамагнитный резонанс переходных ионов. – М.: Мир, 1972. – 312 с.
9. Вертц Дж., Болтон Дж. Теория и практическое применение метода ЭПР. – М.: Мир, 1975. – 424 с.
10. Стухляк П.Д., Митник М.М., Кашуба Ю.В. Вплив фізико-хімічної взаємодії між компонентами системи епоксикompозиту на його теплопровідність // Вісник ДДТУ. – 2001. – Т.3, Ч.4. – С. 136-151.

Стаття надійшла до редакції 24.09.2013.

УДК 536.423.4

В.В. Серeda

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ КАРТ РЕЖИМОВ ТЕЧЕНИЯ ДВУХФАЗНОГО ПОТОКА ПРИ КОНДЕНСАЦИИ В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ТРУБАХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АПАРАТОВ

В работе проведен обзор карт режимов течения двухфазного потока при конденсации внутри гладких горизонтальных труб. Выполнена сравнительная оценка современных карт режимов и показано влияние режима течения на значение коэффициента теплоотдачи.

Ключевые слова: конденсация, гладкая труба, режим течения, теплоотдача

Рис. 5. Форм. 3. Лит. 5.

В.В. Серeda

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ КАРТ РЕЖИМІВ ПЕРЕБІГУ ДВОФАЗНОГО ПОТОКУ ПРИ КОНДЕНСАЦІЇ У ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ТРУБАХ ТЕПЛОБІМНИХ АПАРАТІВ

В роботі проведено огляд карт режимів течії двофазного потоку при конденсації всередині гладких горизонтальних труб. Проведена порівняльна оцінка існуючих сучасних карт режимів і показаний вплив режимів течії на коефіцієнт тепловіддачі.

Ключові слова: конденсація, гладка труба, режим течії, тепловіддача.

V.V. Sereda

ANALYSIS OF MODERN CARD MODES TWO-PHASE FLOW DURING CONDENSATION IN HORIZONTAL PIPES HEAT EXCHANGERS APARATAS

This paper presents a review of two-phase flow pattern maps for condensation inside horizontal plain tubes. Comparative assessment of contemporary flow condensation maps is made and influence of flow pattern on heat transfer is shown.

Keywords: condensation, smooth pipe flows regime, heat.

Интерес к исследованию процессов гидродинамики и теплообмена при конденсации внутри горизонтальных труб постоянно актуален в связи с необходимостью совершенствования конструкции различных теплообменников (конденсаторы холодильных установок, горизонтально-трубные пленочные испарители опреснительных установок, подогреватели и конденсаторы энергетических установок и химпроизводств, тепловые трубы и термосифоны). Структура течения парожидкостного потока оказывает большое влияние на теплоотдачу со стороны рабочего тела и режим работы теплообменного аппарата в целом. Поэтому для определения интенсивности теплоотдачи и моделирования работы теплообменного оборудования необходимы знания о режимах течения двухфазного потока.

При течении двухфазного потока возможен широкий диапазон конфигураций границ раздела фаз, но представление о парожидкостных потоках до некоторой степени упрощают, выполняя классификацию типов распределения фаз по отношению друг к другу в ряд категорий, получивших название режимов течения [1]. Из всего множества допустимых режимов течения в настоящее время выделяются типичные режимы, которые обобщенно описывают всю структуру течения двухфазного потока при конденсации в горизонтальной трубе. Распределение этих режимов по длине трубы в зависимости от скорости потока рассмотрено в работе [2] и показано на рис. 1.

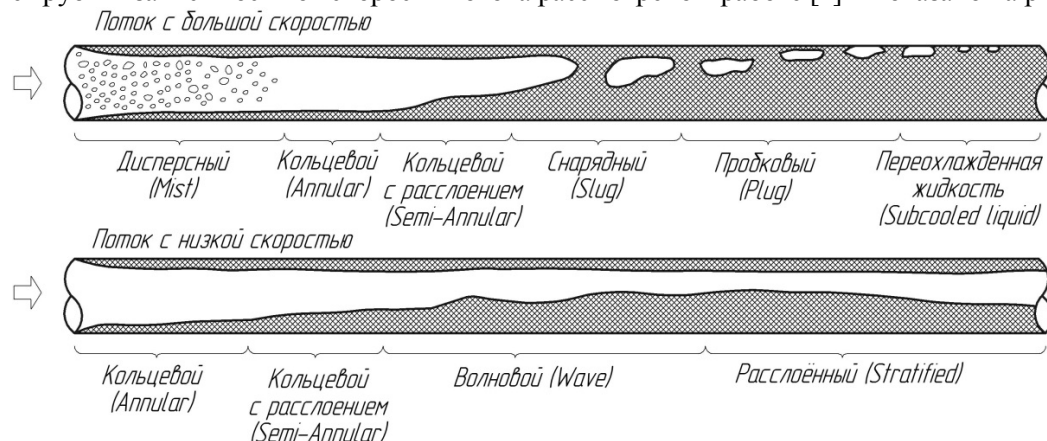


Рис. 1. Типичные режимы течения при конденсации в горизонтальной трубе

При очень больших скоростях потока на входе в трубу может иметь место дисперсный режим течения, когда жидкость срывается со стенок и уносится в виде маленьких капель непрерывным потоком пара. Далее поток имеет кольцевой режим течения, конденсатная пленка течет по периметру стенок, пар – по центру ядра потока. Поскольку процесс конденсации протекает вдоль трубы, то скорость пара уменьшается и, следовательно, уменьшается размер парового сечения. Пленка конденсата становится в нижней части трубы толще, чем на верхней. Новообразованный конденсат увеличивает толщину конденсатной пленки. Поскольку количество жидкости вдоль трубы возрастает, происходит образование паровых пробок, которые продолжают движение вдоль трубы до тех пор, пока весь пар не превратится в жидкость. При малых расходах на входном участке имеет место кольцевое течение, но оно быстро переходит в волновое течение с большой амплитудой волн, которые омывают верхнюю часть трубы, или же в расслоенно-волновое с малой амплитудой волн. Если жидкость не заполняет поперечное сечение трубы, то пар может достигать конца трубы не сконденсировавшись.

Большое количество диаграмм для определения режимов течения двухфазных потоков было построено на основе визуальных наблюдений и анализа экспериментальных данных. Наиболее известные из них карты Бейкера (Baker) [3], Солимена и Азера (Soliman and Azer) [4], Мендхена и др. (Mandhane et al.) [5], Тайтеля и Даклера (Taitel and Dukler) [6], А.А. Малышева [7], Хашизуме (Hashizume) [8] и Стейнера (Steiner) [9]. Все эти диаграммы не учитывают реальные условия работы горизонтальных теплообменных аппаратов, поскольку они получены при исследовании адиабатных потоков водо-воздушных или пароводяных смесей.

К современным картам режимов относятся карты, которые предложены специально для процесса конденсации, и используются учеными, инженерами и конструкторами с целью определения режима течения по известным значениям массового расхода, диаметра трубы и физических свойств хладагента. Наиболее распространенные из них диаграммы Бребера и др. (Breber et al.) [10], Солимена (Soliman) [11], Тандона и др. (Tandon et al.) [12], Каваллини и др. (Cavallini et al.) [13,14], Ель Хаяла и др. (El Hajal et al.) [2], Яссима и др. (Jassim et al.) [15]. В работах Ацкерса и Россона (Ackers and Rosson) [16], Сардеса и др. (Sardesai et al.) [17], Шаха (Shah) [18], Добсона и Чато (Dobson and Chato) [19] представлены методы определения расслоенного режима течения двухфазного потока.

В настоящее время новые диаграммы, которые появляются в процессе изучения режимов течения, являются модификациями уже существующих карт. В этих картах происходит уточнение границ переходов режимов или объединение схожих режимов в группы на основе новых экспериментальных данных.

Например, одна из последних карт режимов, которая предложена в работе [2], построена на основе диаграммы Тома и Ель Хаяла (Thome and El Hajal) [20], которая является упрощенной версией карты Каттана и др. (Kattan et al.) для режимов течения при кипении в горизонтальных трубах малого диаметра [21]. В свою очередь карта Каттана и др. является модификацией диаграммы Стейнера [9]. А уже в работе [22] авторы пытаются улучшить диаграмму Ель Хаяла и др. [2]. Аналогично, карта режимов Каваллини и др. [14] основана на диаграмме Сардеса и др. [17], которая является модифицированной версией карты Тайтеля и Даклера [6].

Рассмотрим более детально одну из наиболее распространенных карт режимов – диаграмму Ель Хаяла и др. [2].

С целью упрощения построения карты, авторы вводят в расчет режимов объемное паросодержание, значение которого определяется по формуле (1), как среднее логарифмическое между объемными паросодержаниями, определенными по формуле для гомогенной модели (2) и по формуле Роухани-Ахелссона (Rouhani-Axelsson) (3).

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_h - \varepsilon_{ra}}{\ln\left(\frac{\varepsilon_h}{\varepsilon_{ra}}\right)}; \quad (1)$$

$$\varepsilon_h = \left[1 + \left(\frac{1-x}{x}\right)\left(\frac{\rho_v}{\rho_l}\right)\right]^{-1}; \quad (2)$$

$$\varepsilon_{ra} = \frac{x}{\rho_v} \left(\left[1 + 0,12(1-x) \right] \left[\frac{x}{\rho_v} + \frac{1-x}{\rho_l} \right] + \frac{1,18(1-x) \left[g\sigma(\rho_l - \rho_v) \right]^{0,25}}{G\rho_l^{0,5}} \right)^{-1}, \quad (3)$$

где x – паросодержание; G – массовая скорость потока на входе в трубу, кг/м²/с; ρ_v, ρ_l – плотности паровой и жидкой фазы соответственно, кг/м³; σ – коэффициент поверхностного натяжения, Н/м; g – ускорение свободного падения, м/с².

Эта карта показана на рис. 2 и позволяет определить следующие режимы течения: эмульсионный (mist), кольцевой (annular), скачкообразный (intermittent), расслоенный (fully-stratified) и стратифицировано-волновой (stratified-wavy). При этом скачкообразный режим включает снарядный (slug) и пробковый (plug) режимы, а к стратифицировано-волновому можно отнести и волновой (wavy) режим. В работе [22] авторы предложили добавить к данной карте переходной (transition) режим, который проходит между стратифицировано-волновым и кольцевым или скачкообразным режимами (рис. 2). Введение данного режима позволило увеличить точность расчета коэффициента теплоотдачи при низких массовых расходах на 9%.

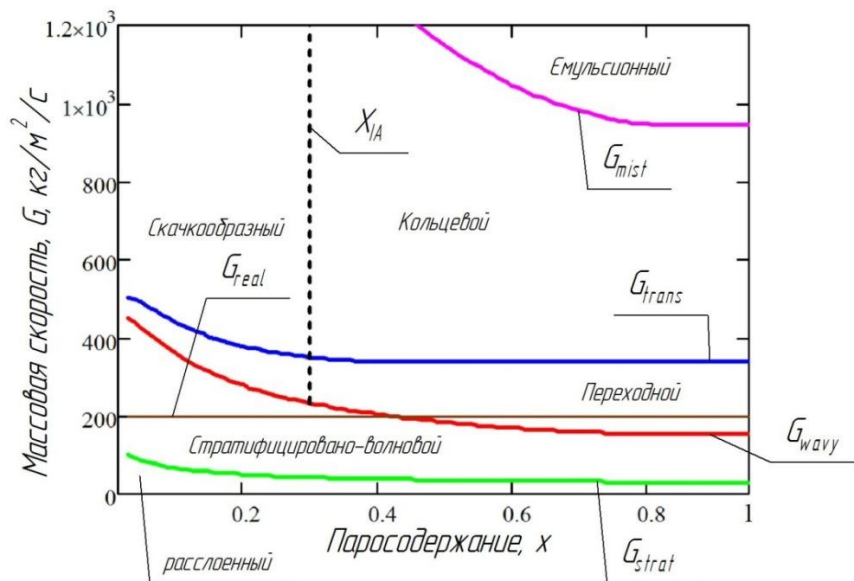


Рис. 2. Карта режимов течения при конденсации хладона R-22 с $t_k=35$ °C в трубе $d=8$ мм при массовом расходе $G_{real}=199,4$ кг/(м²·с)

Границы режимов определяются по следующим зависимостям:

$$G_{mist} = \left\{ \frac{7680 A_{vd}^2 g \rho_L \rho_V}{x^2 \pi^2 \xi} \left(\frac{Fr}{We} \right)_L \right\}^{0,5}; \quad (4)$$

$$G_{trans} = \left\{ \frac{16 A_{vd}^3 g d \rho_L \rho_V}{x^2 \pi^2 (1 - (2h_{Ld} - 1)^2)^{0,5}} \left[\frac{\pi^2}{25 h_{Ld}^2} \left(\frac{We}{Fr} \right)_L^{-0,4} + 1 \right] \right\}^{0,5} + 80 - 75 e^{\frac{-(x^2 - 0,97)^2}{x(1-x)}}; \quad (5)$$

$$G_{wavy} = \left\{ \frac{16 A_{vd}^3 g d \rho_L \rho_V}{x^2 \pi^2 (1 - (2h_{Ld} - 1)^2)^{0,5}} \left[\frac{\pi^2}{25 h_{Ld}^2} \left(\frac{We}{Fr} \right)_L^{-1,023} + 1 \right] \right\}^{0,5} + 50 - 75 e^{\frac{-(x^2 - 0,97)^2}{x(1-x)}}; \quad (6)$$

$$G_{strat} = \left\{ \frac{(226,3)^2 A_{Ld} A_{vd}^2 \rho_V (\rho_L - \rho_V) \mu_L g}{x^2 (1-x) \pi^3} \right\}^{\frac{1}{3}} + 20x; \quad (7)$$

$$x_{IA} = \left\{ \left[0,2914 \left(\frac{\rho_V}{\rho_L} \right)^{-1/1,75} \left(\frac{\mu_L}{\mu_V} \right)^{-1/7} \right] + 1 \right\}^{-1}, \quad (8)$$

где A_{vd} , A_{Ld} , h_{Ld} , d – геометрические параметры двухфазного потока в круглой трубе, которые показаны на рис. 3 и определяются по формулам (9-14); μ_v , μ_l – динамическая вязкость паровой и жидкой фазы соответственно, Па·с;

$$\left(\frac{We}{Fr}\right)_L = \frac{gd^2\rho_L}{\sigma}; \quad \xi = \left[1,138 + 2 \log\left(\frac{\pi}{1,5A_{Ld}}\right)\right]^{-2}.$$

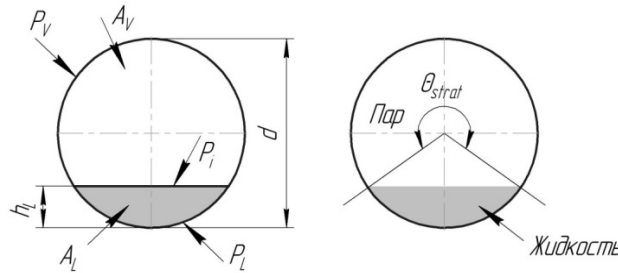


Рис. 3. Геометрические параметры двухфазного потока в круглой трубе

$$h_{Ld} = \frac{h_L}{d}, \quad P_{id} = \frac{P_i}{d}, \quad A_{Ld} = \frac{A_L}{d^2}, \quad A_{vd} = \frac{A_v}{d^2}; \quad (9)$$

$$A_L = A(1 - \varepsilon), \quad A_v = A\varepsilon; \quad (10)$$

$$A_{Ld} = \frac{1}{8}[(2\pi - \theta_{strat}) - \sin(2\pi - \theta_{strat})]; \quad (11)$$

$$\theta_{strat} = 2\pi - 2 \left\{ \begin{array}{l} \pi(1 - \varepsilon) + \left(\frac{3\pi}{2}\right)^{\frac{1}{3}} \left[1 - 2(1 - \varepsilon) + (1 - \varepsilon)^{\frac{1}{3}} - \varepsilon^{\frac{1}{3}}\right] \\ - \frac{1}{200}(1 - \varepsilon)\varepsilon[1 - 2(1 - \varepsilon)][1 + 4((1 - \varepsilon)^2 + \varepsilon^2)] \end{array} \right\}; \quad (12)$$

$$h_{Ld} = 0,5 \left(1 - \cos\left(\frac{2\pi - \theta_{strat}}{2}\right)\right); \quad (13)$$

$$P_{id} = \sin\left(\frac{2\pi - \theta_{strat}}{2}\right). \quad (14)$$

Более подробно построение данной карты описано в работе [2].

В работе [1] рассмотрены карты режимов, описанные в [3-7,10,12]. Отмечено, что при идентификации режимов течения с использованием фазовых диаграмм возникает проблема согласования названий режимов течения, т.к. различные авторы используют различные названия для обозначения режимов течения. Автором разработана математическая модель для идентификации режимов течения двухфазных парожидкостных потоков. Несмотря на то что работа была опубликована в 2006 году, в ней отсутствует анализ современных карт режимов Каваллини и др. [13, 14], Ель Хаяля и др. (El Hajal et al.) [2], Сардеса и др. [17], Добсона и Чато [19], а экспериментальные данные взяты из адиабатных карт режимов. Хотя сама идея создания математической модели на основе базы данных по диаграммам режимов течения и опытным данным весьма интересна.

В работе [2] изложены результаты сравнения карты режимов, показанной на рис.2 с картами [10-12,14,17,19]. Обращено внимания на то, что режимы течения на разных картах имеют различные названия, используются разные параметры для определения границ между ними. И если на одной карте некоторые режимы объединены в группы, то на другой эти же режимы определяются по отдельности. Авторами отмечено хорошее количественное согласование предлагаемой карты с экспериментальными данными в последних исследованиях процессов конденсации. Также показано хорошее качественное согласование новой карты с методами расчета существующих границ переходов режимов.

В работе [23] описаны карт режимов из работ [2,3,5,6,10,11,13-15,17,19] и проведено их сравнение. Обращено внимание на то, что из-за больших границ переходов режимов возможен вариант, когда на одном участке трубы периодически будут присутствовать разные режимы при одних и тех же параметрах потока. Это приводит к субъективной оценки границ режимов,

поэтому один автор может классифицировать режим иначе от другого. Поэтому, не смотря на наличие большого количества диаграмм режимов течения, нет возможности определить какая из диаграмм лучше подходит для конкретного применения. Автором рекомендуется к использованию карта Ель Хаяла и др. [2], как самая обширная и точная. В качестве альтернативы предложена простая карта Каваллини [14], на которой выделяется только два режима: зависимый и независимый от Δt . Использование этой диаграммы не требует сложных расчетов для идентификации режимов течения.

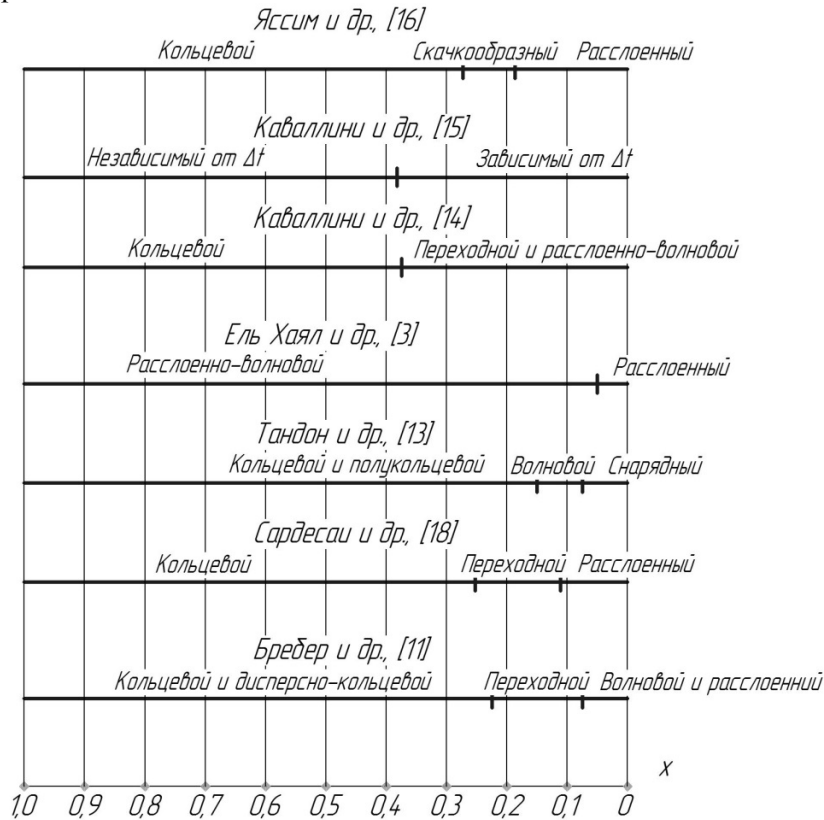


Рис. 4. Сравнение современных карт режимов при конденсации водяного пара с $t_k=100\text{ }^\circ\text{C}$ в трубе $d=10\text{ мм}$ при массовом расходе $G=50\text{ кг}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$

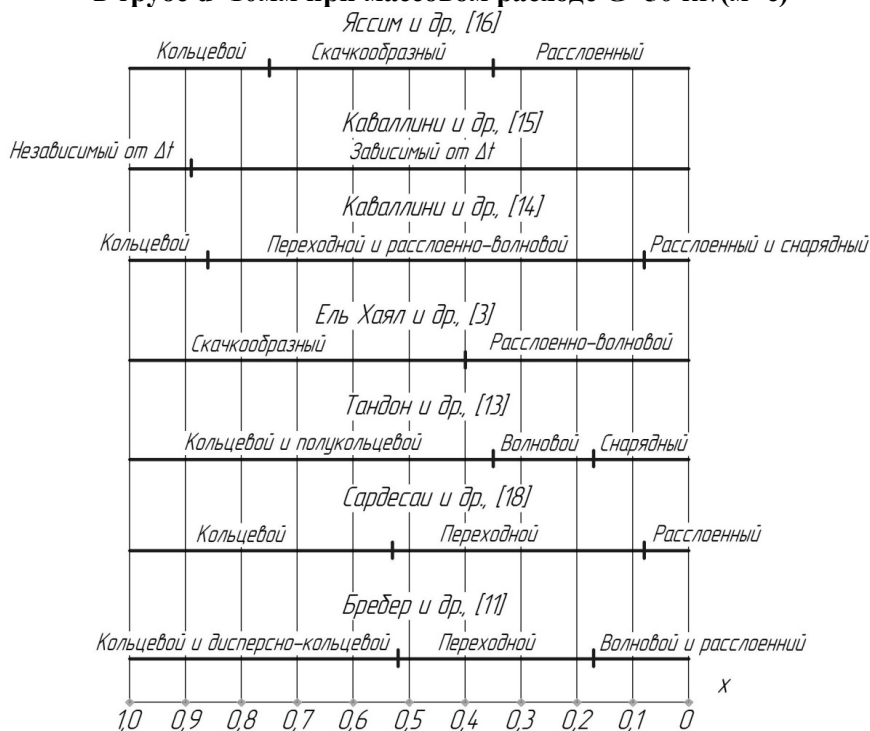


Рис. 5. Сравнение современных карт режимов при конденсации хладона R-22 с $t_k=33,5\text{ }^\circ\text{C}$ в трубе $d=8\text{ мм}$ при массовом расходе $G=199,4\text{ кг}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$

Таким образом, идентификация режима течения по одной отдельной диаграмме может быть произведена только для условий, в которых проводились исследования, на основании которых была построена диаграмма. При других условиях течения двухфазного потока (различные массовые скорости, диаметры труб, хладоны), использование различных диаграмм может дать разные результаты при идентификации режимов течения, что показано на рис. 4-6.

При конденсации водяного пара в пленочных испарителях опреснительных установок при больших скоростях ($w_v=83\text{ м/с}$) (рис. 4), погрешность в определении кольцевого режима может достигать 75% (карты Ель Хаяла и Яссима), а при определении других режимов до 60%. Также следует отметить отсутствие кольцевого режима на карте Ель Хаяла.



Рис. 6. Сравнение современных карт режимов при конденсации пропана с $t_k=40\text{ }^\circ\text{C}$ в трубе $d=8,8\text{ мм}$ при массовом расходе $G=300\text{ кг/(м}^2\cdot\text{с)}$

При конденсации хладона R-22 со скоростью $w_v=3,6\text{ м/с}$ (рис. 5) погрешность а в определении кольцевого режима может достигать 46% (карты Каваллини и Тандона), в определении других режимов до 66%.

В последнее время в качестве хладонов широко используются такие углеводороды, как бутан, пропан и пропен. В качестве примера рассмотрим распределение режимов течения при конденсации пропана со скоростью $w_v=10\text{ м/с}$ (рис. 6). Погрешность в определении кольцевого режима может достигать 88% (карты Бребера и Сардесаи), а в определении других режимов – 32%. Следует отметить, что дисперсный режим присутствует только на карте Тандона.

В работе [24] показано, что разница между коэффициентами теплоотдачи, посчитанными с помощью зависимостей для разных режимов может достигать 75%.

Таким образом, при сравнении экспериментальных данных и расчетных зависимостей по теплообмену при конденсации в горизонтальных трубах разных авторов [2,13-15,18,19,22,24] использование различных карт режимов может привести к погрешности в определении коэффициента теплоотдачи больше чем в два раза.

Выводы:

1. Как показал анализ, существует несогласование между картами режимов разных авторов.
2. Это несогласование существенно влияет на определение значения коэффициента теплоотдачи, что приводит к погрешности при сравнении расчетных зависимостей по теплообмену разных авторов с опытными данными, полученными в экспериментах с различными жидкостями.

3. Проведенный анализ свидетельствует про необходимость проведения дальнейших исследований процессов конденсации и разработки соответственной методики расчета теплоотдачи, которая корректно будет учитывать влияние разных режимов потока на процессы передачи теплоты.

1. Умертов А.Н. Моделирование процесса идентификации режимов течения двухфазных парожидкостных потоков в горизонтальных трубах теплообменных аппаратов: дис. канд. тех. наук: 05.13.08 / Умертов Альберт Наильевич. – Астрахань, 2006. – 120 с. – Библиогр.: С. 96-107.
2. J. El Hajal, J.R. Thome, A. Cavallini. Condensation in horizontal tubes. Part 1: Two-phase flow pattern map. International Journal of Heat and Mass Transfer 46 (2003) – P. 3349-3363.
3. Baker O. Simultaneous Flow of Oil and Gas // Oil Gas J. – 1954. – Vol. 53: pp.185-190.
4. Soliman H. M. and Azer N. Z. «Flow Patterns during Condensation inside a Horizontal Tube» ASHRAE Transactions 77, Part 1 (1971): 210-224.
5. Mandhane J. M., Gregory G. A., and Aziz K. «A Flow Pattern Map for Gas-Liquid Flow in Horizontal Pipes» International Journal of Multiphase Flow 1 (1974): 537-553.
6. Taitel Y., Dukler A.E. A Model for Predicting Flow Regime Transition in Horizontal and Near Horizontal Gas-Liquid Flow // AIChE J.— 1976.— Vol.22.—No. 47-55.
7. Методика расчёта средних коэффициентов теплоотдачи при кипении фреонов внутри горизонтальных труб / Малышев А.А., Данилова Г.Н., Азарсков В.М., Земсков Б.Б. // Холодильная техника. – 1982. - №8. – С. 30-34.
8. K. Hashizume, Flow pattern and void fraction of refrigerant two-phase flow in a horizontal pipe, Bull. JSME 26 (219) (1983) 1597-1602.
9. D. Steiner, Heat transfer to boiling saturated liquids, in: VDI-Wär meatlas (VDI Heat Atlas), Chapter Hbb, VDI-Gessellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (GCV), Düsseldorf, 1993 (Translator: J.W. Fullarton)
10. Бребер, Нейлен, Таборек. Расчет конденсации чистых компонентов на стенке горизонтальной трубы с помощью критериев режимов течения // Теплопередача. – 1980. – №3 – 93 с.
11. H. Soliman. On the Annular-to-Wavy Flow Pattern Transition during Condensation inside Horizontal Tubes. The Canadian Journal of Chemical Engineering, 60:475-481, 1982.
12. Tandon T.N., Varma H.K. and Gupta C.P. A New Flow Regimes Map for Condensation Inside Horizontal Tubes. Journal Heat Transfer, vol. 104, pp. 763-768, 1982.
13. Cavallini A., Censi G., Del Col D. et al. Condensation of refrigerants in smooth tubes: a new heat transfer model for heat exchanger design. 3-rd International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics, 21-24 June 2004, Cape Town, South Africa.
14. Cavallini A., Censi G., Del Col D. et al. Condensation inside and outside smooth and enhanced tubes – a review of recent research. International Journal of Refrigeration 26 (2003) 373-392.
15. E.W. Jassim, T.A. Newell, J.C. Chato. Prediction of two-phase condensation in horizontal tubes using probabilistic flow regime maps. International Journal of Heat and Mass Transfer 51 (2008) 485-496.
16. W.W. Ackers, H.F. Rosson, Condensation inside a horizontal tube, Chem. Eng. Prog. Symp. Series 56 (1960) 145-149.
17. Sardesai R.G., Owen R.G., Pulling D.J. Flow regimes for condensation of a vapour inside a horizontal tube. Chem. Eng. Science, 36 (1981) 1173-1180.
18. Shah M.M. A general correlation for heat transfer during film condensation inside pipes. Int. J. Heat Mass Transfer 22 (1979) 547-556.
19. . Dobson M. K. and Chato J. C. Condensation in Smooth Horizontal Tubes, Journal Heat Transfer, vol. 120 (1998) 193-213.
20. J.R. Thome, J. El Hajal. Two-phase flow pattern map for evaporation in horizontal tubes: latest version, in: Proceedings of the 1st International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics, Kruger Park, Soth Africa, vol. 1, 2002, pp. 182-188.
21. N. Kattan, J.R. Thome, D. Favrat, Flow boiling in horizontal tubes: Part 1 – Development of diabatic two-phase flow pattern map, J. Heat Transfer 120 (1998) 140-147.
22. R. Suliman, L. Liebenberg, J.P. Meyer. Improved flow pattern map for accurate prediction of heat transfer coefficients during condensation of R-134a in smooth horizontal tubes and within the low-mass flux range. International Journal of Heat and Mass Transfer 52 (2009) 5701-5711.
23. Eugene van Rooyen, Time-fractional Analysis of Flow Patterns during Refrigerant Condensation, Department of Mechanical and Aeronautical Engineering University of Pretoria, march 2007, 172.
24. O. Garcia-Valladares, Review of In-Tube Condensation Heat Transfer Correlations for Smooth and Microfin Tubes. Heat Transfer Engineering, vol. 24(4): 6-24, 2003.

Стаття надійшла до редакції 27.08.2013.

Н.А. Сторчак
ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ КОМПАС-3D В ПРЕПОДАВАНИИ ИНЖЕНЕРНЫХ
ДИСЦИПЛИН

Широкое внедрение компьютерных технологий в производство предполагает подготовку квалифицированных специалистов, способных использовать современные системы автоматизированного проектирования.

Ключевые слова: системы КОМПАС-3D, квалифицированные специалисты, автоматизированное проектирование.

Рис. 5.

Н.А. Сторчак
ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ КОМПАС-3D У ВИКЛАДАННІ ІНЖЕНЕРНИХ
ДИСЦИПЛІН

Широке впровадження комп'ютерних технологій у виробництво передбачає підготовку кваліфікованих фахівців, здатних використовувати сучасні системи автоматизованого проектування.

Ключові слова: системи КОМПАС-3D, кваліфіковані фахівці, автоматизоване проектування.

NA Storchak
APPLICATION ENGINE KOMPAS-3D IN PREPODAVANYU YNZHENERNYH
DISCIPLINE

Broad vnedrenye of computer technology in the Production Preparation predpolahaet kvalyfytyrovannyh SPECIALISTS, sposobnyh Require avtomatyzyrovannoho Modern system design.

Keywords: system KOMPAS-3D, kvalyfytyrovanye Specialists, avtomatyzyrovannoe design.

Город Волжский является одним из крупнейших промышленных городов Нижнего Поволжья, и подготовка высококвалифицированных инженеров является одной из актуальных задач для города. Волжский политехнический институт (филиал Волгоградского ГТУ) одним из первых ввел в программу обучения дисциплины «Машинная графика», «Компьютерная графика» и «Инженерная и компьютерная графика». Целью данных дисциплин является изучение компьютерного проектирования на базе известных графических программ. Преподавание компьютерной графики в Волжском политехническом институте осуществляется на кафедре «Механика». Одной из базовых программ, используемых в учебном процессе, является система автоматизированного проектирования КОМПАС-3D.

КОМПАС-3D – это отечественный программный продукт, позволяющий не только автоматизировать создание конструкторских документов, но и выполнять их в строгом соответствии с ЕСКД, что отличает его от ведущих иностранных систем проектирования.

По данной программе преподавателями ВПИ разработаны учебные пособия и лабораторные практикумы, рекомендованные Учебно-методическим объединением вузов по образованию в области автоматизированного машиностроения в качестве учебных пособий для студентов, обучающихся по направлению «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

Как правило, современные студенты не знакомы с такими понятиями как кульман, балеринка, рейсшина и т.п. Теперь в конструкторской практике все чаще используются не циркуль и линейка, а компьютер, специализированные программы, графопостроители. Утратило актуальность и использование аксонометрии (наглядного проецирования на некоторую плоскость). Создание объемных моделей с помощью специальных программ – куда более легкий и удобный способ увидеть пространственную фигуру. Еще в начале XX века знаменитый голландский художник Мориц Корнилис Эшер пытался в своих гравюрах соединить плоские и пространственные изображения (рис. 1).

Компьютер и систему КОМПАС-3D можно представить как некий электронный кульман, который позволяет получать более качественную и точную конструкторскую документацию за более короткий срок.

Задача преподавателя научить студентов использовать не только различные команды в построении чертежа, но и применять определенные методики, например, построение графических образов с помощью слоев или вспомогательных линий.



Рис. 1. Гравюра М. К. Эшера «Рептилии»

Трехмерное моделирование получило широкое развитие с начала 90-х годов. К сожалению, еще многие конструкторы, инженеры и преподаватели, особенно старшего поколения, недооценивают возможностей виртуальной модели в разработке нового изделия, и воспринимают этот процесс, как некую игру, детское развлечение. Однако плоское проектирование все-таки неестественно для человека и требует достаточно сложной подготовки. Мы живем в окружении трехмерных объектов и мыслим в трехмерном пространстве. Нам легче воспринимать виртуальную объемную модель, нежели воображать трехмерное тело при прочтении плоского чертежа.

Новое направление компьютерной графики — 3D-моделирование, в основе которого лежит не чертеж, а трехмерная геометрическая модель, получило широкое развитие в самых различных областях человеческой деятельности. Поэтому в процессе обучения в нашем вузе значительное внимание уделяется методикам построения трехмерных моделей деталей и моделей сборочных единиц. При этом особое место отводится использованию параметризации.

Нашими преподавателями разработана лабораторная работа «Создание параметрических (гибких) моделей сложной формы и построение ассоциативных видов в КОМПАС-3D». Данная работа позволяет обучать студентов не просто использовать программный продукт, а использовать его максимально эффективно. Студентам предлагается по заданным вариантам построить модель детали, а потом преподаватель меняет определенные параметры. Если после внесенных изменений модель перестроилась, не потеряв своего гармоничного вида, и не распалась на отдельные элементы, то студент успешно справился с заданием.

В процессе обучения инженерной графике преподаватели часто используют термин «чтение чертежей»: студенту выдается сборочный чертеж и предлагается выполнить по нему несколько чертежей отдельных деталей. Студент должен «прочитать» сборочный чертеж, то есть увидеть за плоскими линиями объемные тела, их конструкцию и форму.

Темы «чтения чертежей» уже на более высоком уровне продолжается в лабораторной работе «Моделирование сборок»: студенты учатся не только видеть отдельные формы и конструкции в сборочном чертеже, но и получают уникальную возможность создать виртуальные модели отдельных деталей и собрать их в какой-либо механизм, тем самым постигая некоторые навыки слесаря-сборщика.

Результатом такого разностороннего обучения стало активное участие наших студентов в Конкурсе Будущих Асов компьютерного 3D-моделирования, учрежденном компанией АСКОН. В 2009 и 2012 году наши работы «Вариатор конусный» (автор проекта: Виталий Платонов), «Приспособление для проверки пружин» (авторы проекта: Николай Суботин и Александр Рыльков) и «Насос 3В 40/63ГТ-ВМ» (автор проекта: Никита Журкин), заняли первые места в номинации до 200 деталей.

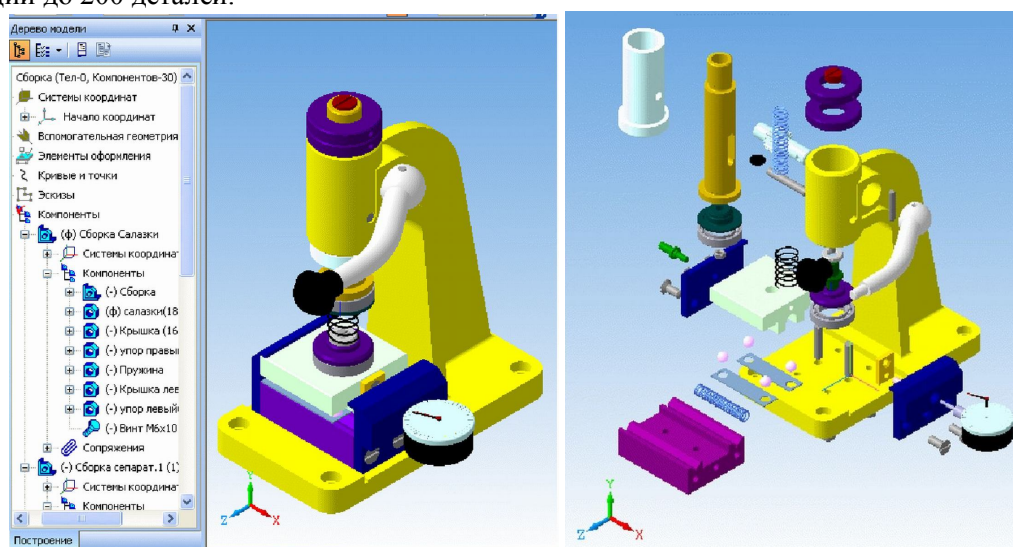


Рис. 2. Конкурсная работа «Приспособление для проверки пружин»

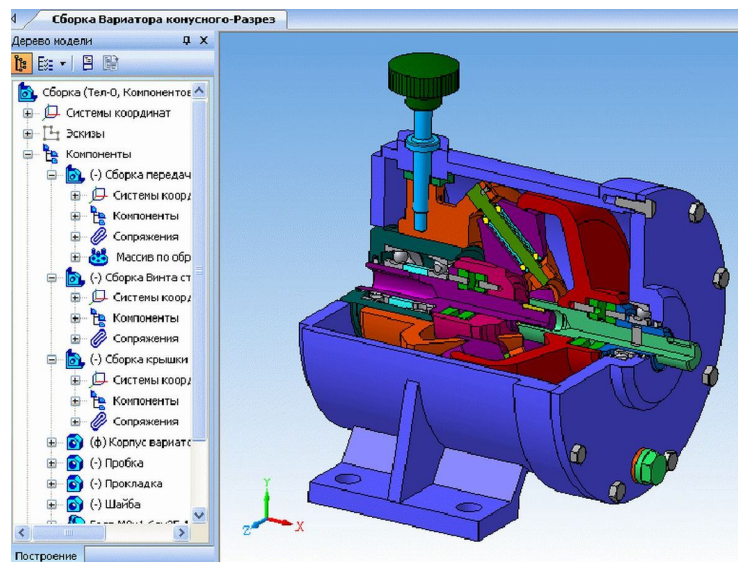


Рис. 3. Вариатор конусный

Преподаватели Волжского политехнического института не только обучают студентов работе в системе КОМПАС-3D, но и используют возможности данного программного продукта в процессе изложения материала по начертательной геометрии и инженерной графике. Как уже говорилось выше, далеко не каждому дано умение видеть за изображением плоских линий объемные тела. При выполнении построений на доске студенты часто не понимают их смысла. И в данном случае КОМПАС-3D становится для преподавателя настоящим помощником. В системе мы имеем возможность одновременно построить комплексный чертеж гиперболического параболоида на доске, и увидеть его в объеме на плазменной панели или экране компьютера.

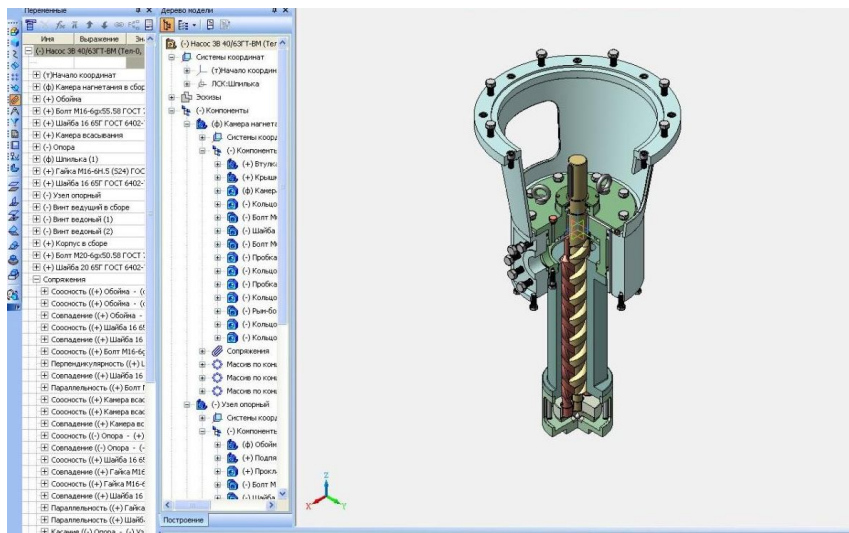


Рис. 4. Насос

При рассмотрении позиционных задач, которые считаются наиболее сложными в инженерной графике, с помощью трехмерных моделей можно показать студентам сечение геометрических тел плоскостями и сферами, а также линии пересечения различных поверхностей.

КОМПАС-3D используются преподавателями и в научных исследованиях. С помощью этой САПР разработана новая методика определения площади контакта вала с поверхностью подшипника скольжения и объем износа вала. Методика достаточно проста и не требует сложных расчетов, одновременно позволяет получать требуемые величины с большей точностью.

САПР КОМПАС-3D позволяет моделировать реальные вкладыши подшипников скольжения, с учетом их разнотолщинности, полученной в процессе изготовления. При этом разную толщину могут иметь не только два вкладыша, но и сам вкладыш по различным сечениям. Соединяя модели вкладышей в условную втулку и определяя положение центра масс, можно подобрать варианты, в которых центр масс будет иметь наименьшее отклонение от теоретической модели, тем самым определяя наиболее благоприятные сочетания вкладышей для оптимизации работы ДВС и других механизмов и машин, в которых применяются подшипники скольжения.

Осуществляя процесс обучения, необходимо все время помнить, что развитие науки и техники требует постоянной корректировки и совершенствования рабочих программ. Внедрение системы КОМПАС-3D в учебный процесс дает возможность вести обучение на качественно новом уровне. Студенты, изучающие данную программу в рамках дисциплин «Машинная графика» и «Компьютерная графика» (рис. 5), становятся специалистами высокого класса, обладающими всеми необходимыми в современных условиях профессиональными навыками.

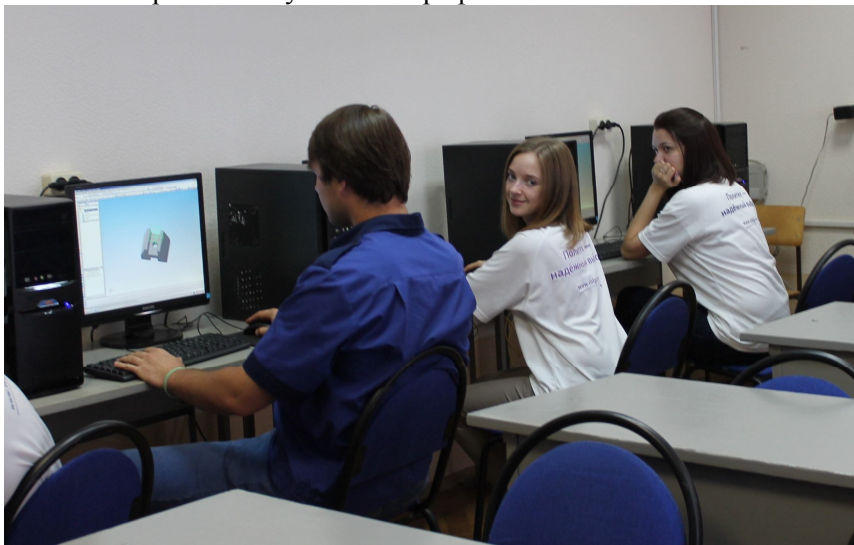


Рис. 5. Студенты, изучающие КОМПАС-3D

Стаття надійшла до редакції 24.09.2013.

Н.Г. Сурьянинов, Е.В. Слабенко
ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ВНЕШНЕЙ НАГРУЗКИ В ЗАДАЧЕ ИЗГИБА ДЛИННОЙ
ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ

Рассмотрено преобразование внешней нагрузки на цилиндрическую оболочку, которая зависит от двух переменных, к функции нагрузки, которая зависит только от одной переменной, что соответствует алгоритму численно-аналитического метода граничных элементов

Ключевые слова: внешняя нагрузка, цилиндрическая оболочка, граничные элементы, продольные кромки.

Рис. 2. Табл. 2. Форм. 7. Лит. 2.

М.Г. Сурьянинов, Є.В. Слабенко
ПЕРЕТВОРЕННЯ ЗОВНІШНЬОГО НАВАНТАЖЕННЯ В ЗАВДАННІ ВИГІНУ ДОВГОЇ
ЦИЛИНДРИЧНОЇ ОБОЛОНКИ

Розглянуте перетворення зовнішнього навантаження на циліндричну оболонку, що залежить від двох змінних, до функції навантаження, що залежить тільки від однієї змінної, відповідно до алгоритму чисельно-аналітичного методу граничних елементів

Ключові слова: зовнішнє навантаження, циліндрична оболонка, граничні елементи, поздовжні кромки.

N.G. Suryaninov, E.V. Slabenko
THE TRANSFORMATION OF THE EXTERNAL LOAD IN THE PROBLEM OF
BENDING A LONG CYLINDRICAL SHELL

A transformation of the external load on the cylindrical shell, which depends on two variables, a function of the load, which depends only on one variable that corresponds to the algorithm of the numerical-analytic boundary element method

Keywords: vneshnyaya load, cylindrical shell, hranychnye elements, prodolnye edge.

В соответствии с известной концепцией численно-аналитического метода граничных элементов [1, 2], внешняя нагрузка, приложенная к цилиндрической оболочке, зависящая от двух переменных x и θ , должна быть преобразована к нагрузке, зависящей только от одной переменной θ , при известной функции распределения вдоль оси x системы координат. Рассмотрим наиболее общий случай внешней нагрузки на оболочку (рис. 1, 2) в системе осей x , S ($S = R\theta$).

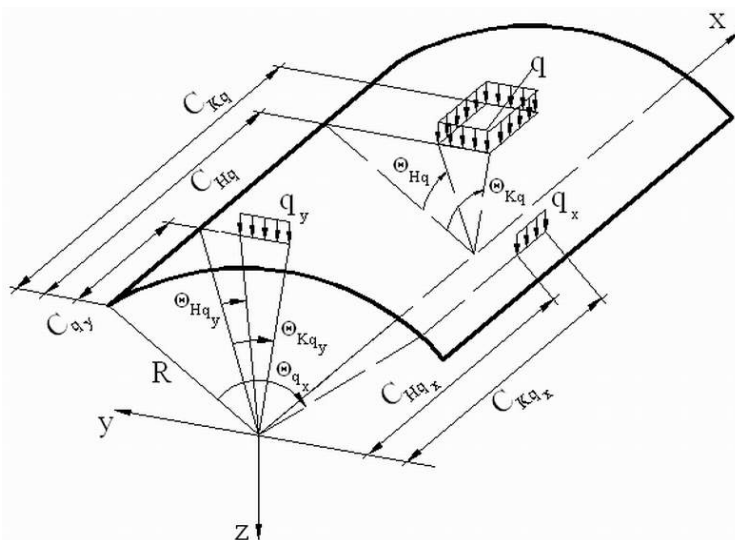


Рис. 1. Распределенные нагрузки на цилиндрическую оболочку

Искомую функцию внешней нагрузки можно представить в виде [1]

$$q(\theta) = \int_0^{l_1} q(x, \theta) X(x) dx. \quad (1)$$

При принятых обозначениях (рис. 1, 2) начальное выражение нагрузки $q(x, \theta)$, как функции двух переменных, запишем следующим образом:

$$\begin{aligned}
 q(x, \theta) = & \frac{F}{R} \delta(x - c_F) \delta(\theta - \theta_F) + M_x \delta'(x - c_{M_x}) \frac{1}{R} \delta(\theta - \theta_{M_x}) + \\
 & + M_y \delta(x - c_{M_y}) \frac{1}{R^2} \delta'(\theta - \theta_{M_y}) + \\
 & + q_x \left[H(x - c_{Hq_x}) - H(x - c_{Kq_x}) \right] \frac{1}{R} \delta(\theta - \theta_{q_x}) + \\
 & + q_y \left[H(R\theta - R\theta_{Hq_y}) - H(R\theta - R\theta_{Kq_y}) \right] \delta(x - c_{q_y}) + \\
 & + q \left[H(x - c_{Hq}) H(R\theta - R\theta_{Hq}) - H(x - c_{Kq}) H(R\theta - R\theta_{Kq}) \right],
 \end{aligned} \tag{2}$$

где δ и H — функции Дирака и Хевисайда соответственно.

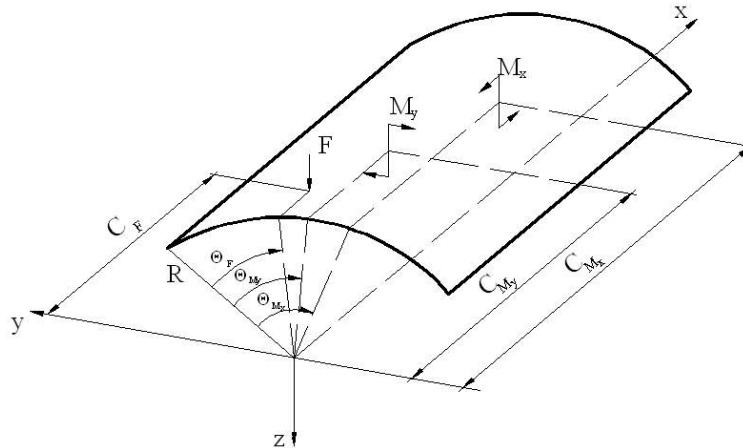


Рис. 2. Сосредоточенные нагрузки на цилиндрическую оболочку

Таблица 1. Аналитическое выражение функции $X(x)$

Схема балки	Форма собственных колебаний
	$X(x) = \sin(\omega x / l_1) - \text{sh}(\omega x / l_1) - \alpha_* [\cos(\omega x / l_1) - \text{ch}(\omega x / l_1)]$ $\alpha_* = \frac{\sin \omega - \text{sh} \omega}{\cos \omega - \text{ch} \omega}$
	$X(x) = \sin(\omega x / l_1) - \text{sh}(\omega x / l_1) - \alpha_* [\cos(\omega x / l_1) - \text{ch}(\omega x / l_1)]$ $\alpha_* = \frac{\sin \omega + \text{sh} \omega}{\cos \omega + \text{ch} \omega}$
	$X(x) = \sin(\omega x / l_1) - \text{sh}(\omega x / l_1) - \alpha_* [\cos(\omega x / l_1) - \text{ch}(\omega x / l_1)]$ $\alpha_* = \frac{\sin \omega + \text{sh} \omega}{\cos \omega + \text{ch} \omega}$
	$X(x) = \sin(\omega x / l_1)$
	$X(x) = \sin(\omega x / l_1) + \alpha_* \text{sh}(\omega x / l_1); \quad \alpha_* = \frac{\sin \omega}{\text{sh} \omega}$
	$X(x) = \sin(\omega x / l_1) + \text{sh}(\omega x / l_1) - \alpha_* [\cos(\omega x / l_1) + \text{ch}(\omega x / l_1)]$ $\alpha_* = \frac{\sin \omega - \text{sh} \omega}{\cos \omega - \text{ch} \omega}$

Выведем выражение $q(\theta)$ с учётом (2), рассматривая вариант жесткого защемления продольных кромок оболочки, при котором

$$X(x) = \sin \frac{\omega x}{l_1} - \text{sh} \frac{\omega x}{l_1} - \alpha_* \left[\cos \frac{\omega x}{l_1} - \text{ch} \frac{\omega x}{l_1} \right], \tag{3}$$

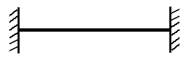
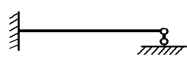
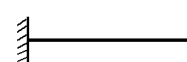
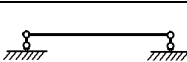
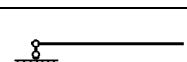
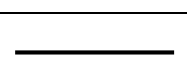
где $\alpha_* = \frac{\sin \omega - \text{sh} \omega}{\cos \omega - \text{ch} \omega}$, $\omega = 4,73004075$.

Выражения функции $X(x)$ при других условиях закрепления продольных кромок цилиндрической оболочки приведены в табл. 1. Значения частот ω при разных условиях закрепления даны в табл. 2.

Подставим (3) в (1):

$$q(\theta) = \int_0^{l_1} q(x, \theta) \left[\sin \frac{\omega x}{l_1} - sh \frac{\omega x}{l_1} - \alpha_* \left(\cos \frac{\omega x}{l_1} - ch \frac{\omega x}{l_1} \right) \right] dx. \quad (4)$$

Таблиця 2. Значения частот ω ($l = 1$)

Схема	Уравнение	Частоты
	$\cos \omega \cdot ch \omega = 1$	$\omega_1 = 4,730; \omega_2 = 7,859;$ $\omega_3 = 10,996; \omega_4 = 14,137$
	$\sin \omega \cdot ch \omega = \cos \omega \cdot sh \omega$	$\omega_1 = 3,927; \omega_2 = 7,069;$ $\omega_3 = 10,210; \omega_4 = 13,352$
	$\cos \omega \cdot ch \omega = -1$	$\omega_1 = 1,875; \omega_2 = 4,694;$ $\omega_3 = 7,855; \omega_4 = 10,996$
	$\sin \omega = 0$	$\omega_1 = \pi; \omega_2 = 2\pi;$ $\omega_3 = 3\pi; \omega_4 = 4\pi$
	$\sin \omega \cdot ch \omega = \cos \omega \cdot sh \omega$	$\omega_1 = 0; \omega_2 = 3,927;$ $\omega_3 = 7,069; \omega_4 = 10,210$
	$\cos \omega \cdot ch \omega = 1$	$\omega_1 = 0; \omega_2 = 4,730;$ $\omega_3 = 7,853; \omega_4 = 10,996$

Таким образом, задача сводится к вычислению четырёх интегралов, алгебраическая сумма которых и будет представлять собой аналитическое выражение функции $q(\theta)$.

$$\begin{aligned} & 1) \int_0^{l_1} q(x, \theta) \sin \frac{\omega x}{l_1} dx = \int_0^{l_1} \frac{F}{R} \delta(x - c_F) \delta(\theta - \theta_F) \sin \frac{\omega x}{l_1} dx + \\ & + \int_0^{l_1} \frac{M_x}{R} \delta'(x - c_{M_x}) \delta(\theta - \theta_{M_x}) \sin \frac{\omega x}{l_1} dx + \\ & + \int_0^{l_1} \frac{M_y}{R^2} \delta(x - c_{M_y}) \delta'(\theta - \theta_{M_y}) \sin \frac{\omega x}{l_1} dx + \\ & + \int_0^{l_1} \frac{q_x}{R} [H(x - c_{Hqx}) - H(x - c_{Kqx})] \delta(\theta - \theta_{qx}) \sin \frac{\omega x}{l_1} dx + \\ & + \int_0^{l_1} q_y [H(R\theta - R\theta_{Hy}) - H(R\theta - R\theta_{Ky})] \delta(x - c_{qy}) \sin \frac{\omega x}{l_1} dx + \\ & + \int_0^{l_1} q [H(x - c_{Hq}) H(R\theta - R\theta_{Hq}) - \\ & - H(x - c_{Kq}) H(R\theta - R\theta_{Kq})] \sin \frac{\omega x}{l_1} dx = \\ & = \frac{F}{R} \sin \frac{\omega c_F}{l_1} \delta(\theta - \theta_F) - \frac{M_x \omega}{R l_1} \cos \frac{\omega c_{M_x}}{l_1} \delta(\theta - \theta_{M_x}) + \\ & + \frac{M_y}{R^2} \sin \frac{\omega c_{M_y}}{l_1} \delta'(\theta - \theta_{M_y}) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{l_1 q_x}{\omega R} \left(\cos \frac{\omega c_{Hq_x}}{l_1} - \cos \frac{\omega c_{Kq_x}}{l_1} \right) \delta(\theta - \theta_{q_x}) + \\
 & + q_y R \sin \frac{\omega c_{qy}}{l_1} [H(\theta - \theta_{Hq_y}) - H(\theta - \theta_{Kq_y})] - \\
 & - \frac{q R l_1}{\omega} \left[(\cos \omega - \cos \frac{\omega c_{Hq}}{l_1}) H(\theta - \theta_{Hq}) - \right. \\
 & \left. - (\cos \omega - \cos \frac{\omega c_{Kq}}{l_1}) H(\theta - \theta_{Kq}) \right]; \\
 2) & \int_0^{l_1} q(x, \theta) sh \frac{\omega_1 x}{l_1} dx = \int_0^{l_1} \frac{F}{R} \delta(x - c_F) \delta(\theta - \theta_F) sh \frac{\omega x}{l_1} dx + \\
 & + \int_0^{l_1} \frac{M_x}{R} \delta'(x - c_{M_x}) \delta(\theta - \theta_{M_x}) sh \frac{\omega x}{l_1} dx + \\
 & + \int_0^{l_1} \frac{M_y}{R^2} \delta(x - c_{M_y}) \delta'(\theta - \theta_{M_y}) sh \frac{\omega x}{l_1} dx + \\
 & + \int_0^{l_1} \frac{q_x}{R} [H(x - c_{Hq_x}) - H(x - c_{Kq_x})] \delta(\theta - \theta_{q_x}) sh \frac{\omega x}{l_1} dx + \\
 & + \int_0^{l_1} q_y R [H(\theta - \theta_{Hq_y}) - H(\theta - \theta_{Kq_y})] \delta(x - c_{qy}) sh \frac{\omega x}{l_1} dx + \\
 & + \int_0^{l_1} q R [H(x - c_{Hq}) H(\theta - \theta_{Hq}) - H(x - c_{Kq}) H(\theta - \theta_{Kq})] sh \frac{\omega x}{l_1} dx = \\
 & = \frac{F}{R} sh \frac{\omega c_F}{l_1} \delta(\theta - \theta_F) - \frac{M_x \omega}{R l_1} ch \frac{\omega c_{M_x}}{l_1} \delta(\theta - \theta_{M_x}) + \\
 & + \frac{M_y}{R^2} sh \frac{\omega c_{M_y}}{l_1} \delta'(\theta - \theta_{M_y}) - \\
 & - \frac{l_1 q_x}{\omega R} \left(ch \frac{\omega c_{Hq_x}}{l_1} - ch \frac{\omega c_{Kq_x}}{l_1} \right) \delta(\theta - \theta_{q_x}) + \\
 & + q_y R sh \frac{\omega c_{qy}}{l_1} [H(\theta - \theta_{Hq_y}) - H(\theta - \theta_{Kq_y})] + \\
 & + \frac{q R l_1}{\omega} \left[(ch \omega - ch \frac{\omega c_{Hq}}{l_1}) H(\theta - \theta_{Hq}) - \right. \\
 & \left. - (ch \omega - ch \frac{\omega c_{Kq}}{l_1}) H(\theta - \theta_{Kq}) \right]; \\
 3) & \int_0^{l_1} q(x, \theta) \cos \frac{\omega_1 x}{l_1} dx = \int_0^{l_1} \frac{F}{R} \delta(x - c_F) \delta(\theta - \theta_F) \cos \frac{\omega x}{l_1} dx + \\
 & + \int_0^{l_1} \frac{M_x}{R} \delta'(x - c_{M_x}) \delta(\theta - \theta_{M_x}) \cos \frac{\omega x}{l_1} dx + \\
 & + \int_0^{l_1} \frac{M_y}{R^2} \delta(x - c_{M_y}) \delta'(\theta - \theta_{M_y}) \cos \frac{\omega x}{l_1} dx + \\
 & + \int_0^{l_1} \frac{q_x}{R} [H(x - c_{Hq_x}) - H(x - c_{Kq_x})] \delta(\theta - \theta_{q_x}) \cos \frac{\omega x}{l_1} dx +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \int_0^{l_1} q_y R [H(\theta - \theta_{Hqy}) - H(\theta - \theta_{Kqy})] \delta(x - c_{qy}) \cos \frac{\omega x}{l_1} dx + \\
& + \int_0^{l_1} q R [H(x - c_{Hq}) H(\theta - \theta_{Hq}) - \\
& - H(x - c_{Kq}) H(\theta - \theta_{Kq})] \cos \frac{\omega x}{l_1} dx = \\
& = \frac{F}{R} \cos \frac{\omega c_F}{l_1} \delta(\theta - \theta_F) + \frac{M_x \omega}{R l_1} \sin \frac{\omega c_{M_x}}{l_1} \delta(\theta - \theta_{M_x}) + \\
& + \frac{M_y}{R^2} \cos \frac{\omega c_{M_y}}{l_1} \delta'(\theta - \theta_{M_y}) - \\
& - \frac{l_1 q_x}{\omega R} \left(\sin \frac{\omega c_{Hqx}}{l_1} - \sin \frac{\omega c_{Kqx}}{l_1} \right) \delta(\theta - \theta_{qx}) + \\
& + q_y R \cos \frac{\omega c_{qy}}{l_1} [H(\theta - \theta_{Hqy}) - H(\theta - \theta_{Kqy})] + \\
& + \frac{q R l_1}{\omega} \left[\left(\sin \omega - \sin \frac{\omega c_{Hq}}{l_1} \right) H(\theta - \theta_{Hq}) - \right. \\
& \left. - \left(\sin \omega - \sin \frac{\omega c_{Kq}}{l_1} \right) H(\theta - \theta_{Kq}) \right] \\
& 4) \int_0^{l_1} q(x, \theta) ch \frac{\omega_1 x}{l_1} dx = \int_0^{l_1} \frac{F}{R} \delta(x - c_F) \delta(\theta - \theta_F) ch \frac{\omega x}{l_1} dx + \\
& + \int_0^{l_1} \frac{M_x}{R} \delta'(x - c_{M_x}) \delta(\theta - \theta_{M_x}) ch \frac{\omega x}{l_1} dx + \\
& + \int_0^{l_1} \frac{M_y}{R^2} \delta(x - c_{M_y}) \delta'(\theta - \theta_{M_y}) ch \frac{\omega x}{l_1} dx + \\
& + \int_0^{l_1} \frac{q_x}{R} [H(x - c_{Hqx}) - H(x - c_{Kqx})] \delta(\theta - \theta_{qx}) ch \frac{\omega x}{l_1} dx + \\
& + \int_0^{l_1} q_y R [H(\theta - \theta_{Hqy}) - H(\theta - \theta_{Kqy})] \delta(x - c_{qy}) ch \frac{\omega x}{l_1} dx + \\
& + \int_0^{l_1} q R [H(x - c_{Hq}) H(\theta - \theta_{Hq}) - H(x - c_{Kq}) H(\theta - \theta_{Kq})] ch \frac{\omega x}{l_1} dx = \\
& = \frac{F}{R} ch \frac{\omega c_F}{l_1} \delta(\theta - \theta_F) - \frac{M_x \omega}{R l_1} sh \frac{\omega c_{M_x}}{l_1} \delta(\theta - \theta_{M_x}) + \\
& + \frac{M_y}{R^2} ch \frac{\omega c_{M_y}}{l_1} \delta'(\theta - \theta_{M_y}) - \\
& - \frac{l_1 q_x}{\omega R} \left(sh \frac{\omega c_{Hqx}}{l_1} - sh \frac{\omega c_{Kqx}}{l_1} \right) \delta(\theta - \theta_{qx}) + \\
& + q_y R ch \frac{\omega c_{qy}}{l_1} [H(\theta - \theta_{Hqy}) - H(\theta - \theta_{Kqy})] +
\end{aligned}$$

$$+ \frac{qRl_1}{\omega} \left[(sh\omega - sh \frac{\omega c_{Hq}}{l_1}) H(\theta - \theta_{Hq}) - (sh\omega - sh \frac{\omega c_{Kq}}{l_1}) H(\theta - \theta_{Kq}) \right].$$

Подставим эти четыре интеграла в (4):

$$\begin{aligned} q(\theta) = & \frac{F}{R} \delta(\theta - \theta_F) \left[\sin \frac{\omega c_F}{l_1} - sh \frac{\omega c_F}{l_1} - \alpha_* \left(\cos \frac{\omega c_F}{l_1} - ch \frac{\omega c_F}{l_1} \right) \right] - \\ & \frac{M_x \omega}{Rl_1} \delta(\theta - \theta_{Mx}) \left[\cos \frac{\omega c_{Mx}}{l_1} - ch \frac{\omega c_{Mx}}{l_1} + \alpha_* \left(\sin \frac{\omega c_{Mx}}{l_1} + sh \frac{\omega c_{Mx}}{l_1} \right) \right] + \\ & + \frac{M_y}{R^2} \delta'(\theta - \theta_{My}) \left[\sin \frac{\omega c_{My}}{l_1} - sh \frac{\omega c_{My}}{l_1} - \alpha_* \left(\cos \frac{\omega c_{My}}{l_1} - ch \frac{\omega c_{My}}{l_1} \right) \right] + \\ & + \frac{l_1 q_x}{\omega R} \delta(\theta - \theta_{qx}) \left[\cos \frac{\omega c_{Hqx}}{l_1} - \cos \frac{\omega c_{Kqx}}{l_1} + ch \frac{\omega c_{Hqx}}{l_1} - ch \frac{\omega c_{Kqx}}{l_1} + \right. \\ & \left. + \alpha_* \left(\sin \frac{\omega c_{Hqx}}{l_1} - \sin \frac{\omega c_{Kqx}}{l_1} - sh \frac{\omega c_{Hqx}}{l_1} + sh \frac{\omega c_{Kqx}}{l_1} \right) \right] + \\ & + q_y R [H(\theta - \theta_{Hy}) - H(\theta - \theta_{Ky})] \times \\ & \times \left[\sin \frac{\omega c_{qy}}{l_1} - sh \frac{\omega c_{qy}}{l_1} - \alpha_* \left(\cos \frac{\omega c_{qy}}{l_1} - ch \frac{\omega c_{qy}}{l_1} \right) \right] - \\ & - \frac{qRl_1}{\omega} \left\{ H(\theta - \theta_{Hq}) \left[\cos \omega - \cos \frac{\omega c_{Hq}}{l_1} + ch\omega - ch \frac{\omega c_{Hq}}{l_1} + \right. \right. \\ & \left. \left. + \alpha_* \left(\sin \omega - \sin \frac{\omega c_{Hq}}{l_1} - sh\omega + sh \frac{\omega c_{Hq}}{l_1} \right) \right] - \right. \\ & \left. - H(\theta - \theta_{Kq}) \left[\cos \omega - \cos \frac{\omega c_{Kq}}{l_1} + \right. \right. \\ & \left. \left. - ch \frac{\omega c_{Kq}}{l_1} + \alpha_* \left(\sin \omega - \sin \frac{\omega c_{Kq}}{l_1} - sh\omega + sh \frac{\omega c_{Kq}}{l_1} \right) \right] \right\}. \quad (5) \end{aligned}$$

Введём дополнительные обозначения для составляющих выражения (5), которые не зависят от θ :

$$\begin{aligned} K_1 &= \sin \frac{\omega c_F}{l_1} - sh \frac{\omega c_F}{l_1} - \alpha_* \left(\cos \frac{\omega c_F}{l_1} - ch \frac{\omega c_F}{l_1} \right); \\ K_2 &= \cos \frac{\omega c_{Mx}}{l_1} - ch \frac{\omega c_{Mx}}{l_1} + \alpha_* \left(\sin \frac{\omega c_{Mx}}{l_1} + sh \frac{\omega c_{Mx}}{l_1} \right); \\ K_3 &= \sin \frac{\omega c_{My}}{l_1} - sh \frac{\omega c_{My}}{l_1} - \alpha_* \left(\cos \frac{\omega c_{My}}{l_1} - ch \frac{\omega c_{My}}{l_1} \right); \\ K_4 &= \cos \frac{\omega c_{Hqx}}{l_1} - \cos \frac{\omega c_{Kqx}}{l_1} + ch \frac{\omega c_{Hqx}}{l_1} - ch \frac{\omega c_{Kqx}}{l_1} + \\ & + \alpha_* \left(\sin \frac{\omega c_{Hqx}}{l_1} - \sin \frac{\omega c_{Kqx}}{l_1} - sh \frac{\omega c_{Hqx}}{l_1} + sh \frac{\omega c_{Kqx}}{l_1} \right); \quad (6) \end{aligned}$$

$$K_5 = \sin \frac{\omega c_{qy}}{l_1} - sh \frac{\omega c_{qy}}{l_1} - \alpha_* \left(\cos \frac{\omega c_{qy}}{l_1} - ch \frac{\omega c_{qy}}{l_1} \right);$$

$$K_6 = \cos \omega - \cos \frac{\omega c_{Hq}}{l_1} + ch\omega - ch \frac{\omega c_{Hq}}{l_1} + \\ + \alpha_* \left(\sin \omega - \sin \frac{\omega c_{Hq}}{l_1} - sh\omega + sh \frac{\omega c_{Hq}}{l_1} \right);$$

$$K_7 = \cos \omega - \cos \frac{\omega c_{Kq}}{l_1} + ch\omega - ch \frac{\omega c_{Kq}}{l_1} + \\ + \alpha_* \left(\sin \omega - \sin \frac{\omega c_{Kq}}{l_1} - sh\omega + sh \frac{\omega c_{Kq}}{l_1} \right).$$

Учитывая (6), окончательно функцию внешней нагрузки можно представить в виде:

$$q(\theta) = K_1 \frac{F}{R} \delta(\theta - \theta_F) - K_2 \frac{M_x \omega}{R l_1} \delta(\theta - \theta_{M_x}) + \\ + K_3 \frac{M_y}{R^2} \delta'(\theta - \theta_{M_y}) + \\ + K_4 \frac{l_1 q_x}{\omega R} \delta(\theta - \theta_{q_x}) + \\ + K_5 q_y R [H(\theta - \theta_{Hq_y}) - H(\theta - \theta_{Kq_y})] - \\ - \frac{q R l_1}{\omega} [K_6 H(\theta - \theta_{Hq}) - K_7 H(\theta - \theta_{Kq})]. \quad (7)$$

Отметим, что рассмотренный случай жесткого закрепления продольных кромок цилиндрической оболочки можно считать "базовым" в том смысле, что при всех других условиях закрепления (табл. 1) выражение $q(\theta)$ строится на основе той или иной комбинации вычисленных четырёх интегралов.

1. Дашенко А.Ф. Численно-аналитический метод граничных элементов / А.Ф. Дашенко, Л.В. Коломиец, В.Ф. Орбей, Н.Г. Сурьянинов – Одесса: ВМВ, 2010. – В 2-х томах. – Т.1. – 416 с. – Т. 2. – 512 с.
2. Дашенко А.Ф. МАТЛАВ в механике деформируемого твердого тела. Алгоритмы и программы / А.Ф. Дашенко, В.Ф. Орбей, Н.Г. Сурьянинов – Харьков: БУРУН КНИГА, 2011. – 480 с.

Стаття надійшла до редакції 24.09.2013.

УДК 621.86

І.В. Фльонц
МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ
ЗБИРАННЯ КОРЕНЕПЛОДІВ

Приведені результати експериментальних досліджень дальності польоту коренеплодів L, при їх викиданні на полотно коливними скребками, виведено рівняння регресії та побудовано поверхні відгуку її двомірні перерізи зміни пошкодження тіла коренеплодів від одночасної зміни двох факторів за відповідного постійного третього фактора.

Ключові слова: кут нахилу пруткового полотна, стендове оснащення, пруткові і скребкові транспортери.

Рис. 2. Форм. 10. Літ. 5.

И.В. Фльонц
МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПРОЦЕССА УБОРКИ КОРЕНЕПЛОДОВ

Приведены результаты экспериментальных исследований дальности полета коренеплодов L, при их выбрасывании на полотно колеблющимися скребками, выведено уравнение регрессии и построены поверхности отклика ее двухмерные сечения изменения поврежденной тела коренеплодов от одновременного изменения двух факторов при соответствующем постоянном третьем факторе.

Ключевые слова: угол наклона пруткового полотна, стендовое оснащение, прутковые и скребковые транспортеры.

I.V. Flonts
METHODS AND RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF ROOT
GATHERING PROCESS

Results of experimental research of roots cleaning quality and flight distance L, during it's throw-out on transporter by vibrational scrapers, were presented. Regression equation and the reviews surfaces and it's two-dimensional cross-sections of root damage changes from simultaneous changes in two factors corresponding constant for the third factor were selected.

Keywords: rods canvases angle, stand equipment, rods and scrapers conveyors.

Постановка проблеми Розробка сучасної бурякозбиральної техніки повинна бути направлена на підвищення її функціональних та експлуатаційних показників, що визначає технічний рівень коренезбиральних машин, розвиток і виробництво яких в останні роки ведеться надзвичайно повільно.

У зв'язку з цим розробка та обґрунтування раціональних параметрів поздовжніх транспортерів сепараторів з коливними скребкам та регульованою інтенсивністю очищення коренеплодів дозволить підвищити показники якості виконання технологічного процесу бурякозбиральними машинами, що в даний час є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питаннями теорії викопування коренеплодів присвячені праці ряду авторів [1-5]. Однак цілий ряд теоретичних питань досліджень дальності польоту коренеплодів, степені їх очищення та пошкодження потребують подальшого дослідження.

Мета роботи – розроблення методики і стендового оснащення для проведення якісної сепарації коренеплодів при мінімальному їх пошкодженні.

Реалізація роботи. Для визначення дальності польоту коренеплодів L, при їх викиданні на полотно коливними скребками використовували розроблений стенд, опис якого наведений у попередньому підрозділі.

Експериментальні дослідження проводили при різних положеннях коренеплодів на скребках (головкою вгору, вниз і паралельно до прутків), а також з різною масою цукрових буряків.

Також змінними параметрами були кут нахилу пруткового полотна транспортера до горизонту γ , а також кут відхилення групи скребків β від їх початкового положення.

Досліди для конкретних параметрів проводили у п'ятикратній повторюваності і відповідно точки, які вказані на графіках є їх середньостатистичними значеннями.

Експериментальні дослідження проводили наступним чином.

Попередньо, раму транспортера встановлювали під заданим кутом γ . Далі, на певний кут β повертали скребки з наступною їх фіксацією і розташовували коренеплід в заданому положенні.

Далі здійснюється різке виведення із зачеплення ролика з кулачком і під дією пружини скребки повертаються, що спричиняє викидання коренеплодів на прутки полотна.

Так, на рис.1 зображено графічні залежності дальності польоту коренеплодів L до їх повторної взаємодії з прутковим полотном від маси буряків m при розташуванні коренеплоду головкою вгору. З аналізу даних залежностей встановлено, що зростання маси коренеплодів у вищезазначених межах призводить до зменшення їх дальності польоту. Так для кута нахилу транспортера до горизонту $\gamma = 40^\circ$ збільшення маси коренеплоду від 0,92 до 1,96 кг призводить до зменшення L на 26% при $\beta = 15^\circ$; на 25% при $\beta = 20^\circ$; на 27% при $\beta = 30^\circ$.

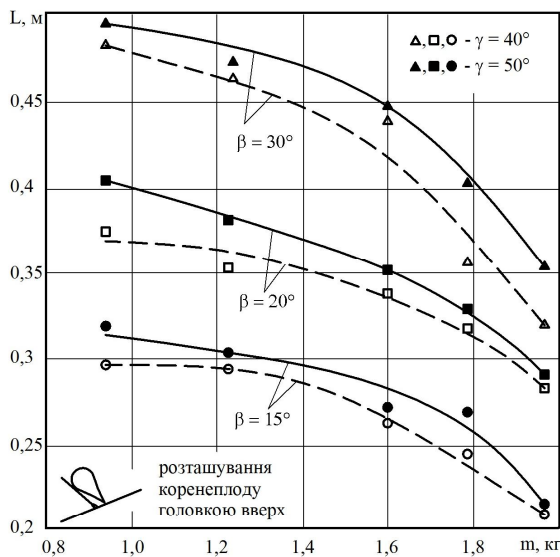


Рис. 1. Графічні залежності дальності польоту коренеплодів L до їх повторної взаємодії з прутковим полотном від маси буряків m при розташуванні коренеплоду головкою

відстані центра мас буряків відносно осі провертання скребків і відповідно зменшення абсолютної величини L . На рис.2 зображено графічні залежності дальності польоту коренеплодів L до їх повторної взаємодії з прутковим полотном від маси буряків m при розташуванні коренеплоду головкою вниз.

Їх аналіз показує, що в порівнянні з попередньо розглянутим випадком тенденція зміни L в загальному зберігається, однак її абсолютні значення суттєво менші ніж при розташуванні коренеплодів головкою вгору.

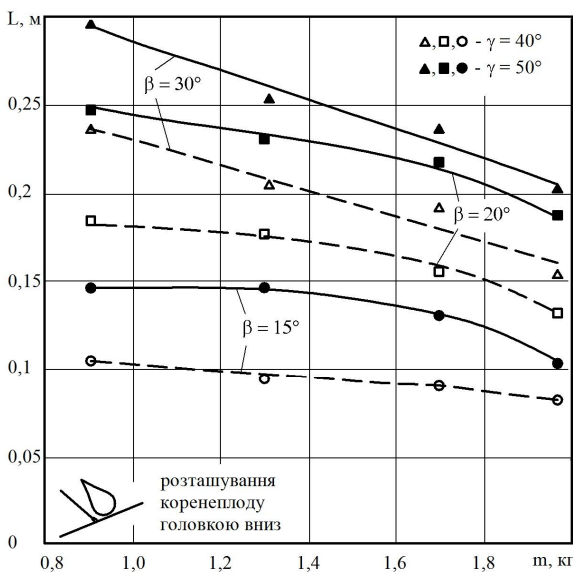


Рис. 2. Графічні залежності дальності польоту коренеплодів L до їх повторної взаємодії з прутковим полотном від маси буряків m при розташуванні коренеплоду головкою

вниз.

В той же час зростання кута нахилу транспортера від 40° до 50° призводить до збільшення абсолютної величини L на 7,4%...2,1% для вказаного діапазону зміни кута β .

Найбільш суттєвий вплив на дальність польоту коренеплодів L має кут відхилення скребків β від початкового положення. Так, зростання кута β від 15° до 30° для найменшої маси коренеплодів, які досліджували ($m = 0,92$ кг), призводить до збільшення абсолютної величини L в 1,55 рази. Для максимальної маси коренеплодів ($m = 1,96$ кг) зміна β у зазначеному діапазоні спричиняє зростання величини L в 1,65 рази.

Таким чином, з проведених досліджень встановлено, що найбільший вплив на дальність польоту коренеплодів має кут β , далі за інтенсивністю впливу є маса коренеплодів m і найменше на величину L впливає кут нахилу транспортера до горизонту γ .

Аналогічні дослідження проведені при розташуванні коренеплодів на скребках головкою вниз. Таке розташування спричиняє зменшення дальності польоту коренеплодів L . Так для кута нахилу транспортера до горизонту $\gamma = 40^\circ$ збільшення маси коренеплоду від 0,92 до 1,96 кг призводить до зменшення L на 34% при $\beta = 30^\circ$; на 27,7% при $\beta = 20^\circ$; на 23,8% при $\beta = 30^\circ$.

В той же час зростання кута нахилу транспортера від 40° до 50° призводить до збільшення абсолютної величини L на 29,7%...18,6% для вказаного діапазону зміни кута β , що значно перевищує отримані значення в порівнянні з попередньо розглянутим випадком.

Збільшення кута β від 15° до 30° для найменшої маси коренеплодів, які досліджували ($m = 0,92$ кг), призводить до зростання абсолютної величини L в 2,19 рази. Для максимальної маси коренеплодів ($m = 1,96$ кг) зміна β у зазначеному діапазоні спричиняє зростання величини L в 1,95 рази. Аналіз результатів досліджень при розташуванні центральної осі коренеплоду паралельно до прутків полотна показав, що

отримані значення знаходяться в середині перших двох варіантів, а тому побудова графічних залежностей є не доцільною. При виборі раціональних параметрів транспортера-сепаратора необхідно враховувати найбільш несприятливий варіант розташування коренеплодів, при якому відбувається їх пошкодження внаслідок виникнення удару в задню поверхню наступної групи скребків.

Тому, при розрахунку параметрів робочих органів транспортера необхідно застосовувати результати досліджень для першого варіанту розташування коренеплодів, дальність польоту буряків для якого є максимальною.

Методика проведення експериментальних досліджень була наступною. Попередньо встановлювали раму із скребковим полотном під фіксованим кутом α до горизонту. Далі коренеплоди з налиплим ґрунтом сортували по масі, зважували і розташовували на поверхні скребків. Масу домішок ґрунту яка безпосередньо просипалась в процесі завантаження коренеплодів на скребки відбирали і окремо зважували. Таким чином, маса дослідної партії коренеплодів з налиплим ґрунтом, які підлягають сепарації, визначається з різниці початкової маси вороху коренеплодів і маси домішок ґрунту, яка просипалась на лотки в процесі завантаження коренеплодів на скребки. Процес доочищення імітували наступним чином. Підтиснуті пружинами скребки разом з коренеплодами повертали на певний кут β і відпускали. В результаті різкого повертання скребків коренеплоди викидались на пруткове полотно. Відстань польоту коренеплодів від поверхні скребків до контакту з полотном фіксувалась за допомогою відеокамери, з наступною розкладовкою відеоінформації.

Внаслідок ударної взаємодії коренеплодів з прутками полотна та їх перекочування з ковзанням по поверхні прутків, відсепарований ґрунт просипався на лотки, ширина яких становила 10мм. Експериментальні дослідження для кожної партії коренеплодів проводились в п'ятикратній повторюваності. Відбір маси відсепарованого ґрунту здійснювали з кожного лотка з подальшим його зважуванням. Використання набору лотків дозволило встановити ступінь сепарації коренеплодів по мірі їх віддалення від робочих скребків.

При проведенні експериментальних досліджень маса відібраних коренеплодів з налиплим ґрунтом коливалась в межах від 1650 до 2900 грам.

Кут нахилу скребкового полотна транспортера до горизонту дискретно змінювали в межах від 40° до 50° , а кут відхилення скребків з коренеплодами від 15° до 25° .

Оскільки, в процесі експерименту, коренеплоди на поверхню скребків подавали у довільному порядку то відповідно їх розташування мало хаотичний характер. Тому, чітких закономірностей при встановленні дальності польоту коренеплодів не спостерігалось. В той же час, за результатами досліджень встановлено, що максимальний ступінь відділення налиплого ґрунту спостерігається при ударних взаємодіях коренеплодів з прутками полотна.

При проведенні експериментальних досліджень коренеплоди розташовували головкою вверх, оскільки в такому випадку дальність польоту та швидкість ударної взаємодії буряка з прутками полотна є максимальною.

Глибину пошкодження тіла коренеплодів визначали за допомогою штангельциркуля.

Для чистоти експерименту застосовували коренеплоди повністю звільнені від налиплого ґрунту, що дозволяло виявити максимальну глибину пошкодження тіла цукрових буряків від тих чи інших параметрів.

Дослідження проводились при одночасній зміні всіх факторів за планом багатофакторного експерименту ПФЕ-2³.

Функція відгуку знаходилась у вигляді неповного квадратного полінома:

$$Y = v_0 + v_1 x_1 + v_2 x_2 + v_3 x_3 + v_{12} x_1 x_2 + v_{13} x_1 x_3 + v_{23} x_2 x_3 + v_{123} x_1 x_2 x_3, \quad (1)$$

де x_i – кодові фактори, $i = 1, 2, 3$;

$v_0, v_1, v_2, v_3, v_{12}, v_{13}, v_{23}, v_{123}$ – коефіцієнти за відповідних значень x .

Зв'язок між кодovими та натуральними значеннями факторів встановлюється за залежністю:

$$x_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\Delta X_i}, \quad (2)$$

де x_i, X_i – відповідно кодове та натуральне значення i -го фактора;

X_{i0} – натуральне значення i -го фактора на основному рівні;

ΔX_i – інтервал варіювання i -го фактора.

В кожній i -тій точці визначаємо дисперсію S_u^2 :

$$S_u^2 = \frac{1}{m_0 - 1} \sum_{i_n=1}^{m_0} (Y_{i_n} - \bar{Y}_u)^2, \quad (3)$$

де i_n – номер повторюваності;

Y_{i_n} – вихідний параметр при i_n повторюваності;

\bar{Y}_u – середнє значення вихідного параметра в кожному досліді.

Перевірка відтворюваності здійснюється за критерієм Кохрена, значення якого визначається з відношення максимальної дисперсії до суми дисперсій

$$G = S_{u \max}^2 / \sum_{u=1}^n S_u^2. \quad (4)$$

Результати отриманих даних у відсотковому вимірі та розрахунків внесено в таблицю 3.2.

За формулою (4) визначаємо: $G = 0,572/2,183 = 0,262$.

Табличне значення критерію Кохрена при $n=8$ і $f_u = m_0 - 1 = 4$ буде становити $G_T = 0,398$.

Оскільки $G_T > G$, то процес відтворюється.

Оскільки процес відтворюється, то коефіцієнти регресії визначаємо за такими залежностями:

$$\begin{cases} \epsilon_0 = \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n \bar{Y}_u; \\ \epsilon_i = \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n x_{iu} \bar{Y}_u; \\ \epsilon_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n x_{iu} x_{ju} \bar{Y}_u, \end{cases} \quad (5)$$

де x_{iu} , x_{ju} – відповідно значення i -го та j -го кодіваних факторів в u -му досліді.

Значення коефіцієнтів регресії становлять:

$$\begin{aligned} \epsilon_0 &= 4,06; & \epsilon_1 &= 0,8; & \epsilon_2 &= 0,93; & \epsilon_3 &= 0,095; \\ \epsilon_{12} &= -0,01; & \epsilon_{13} &= 0,115; & \epsilon_{23} &= -0,245; & \epsilon_{123} &= 0,475. \end{aligned}$$

В такому випадку рівняння регресії має вигляд:

$$Y = 4,06 + 0,8x_1 + 0,93x_2 + 0,095x_3 - 0,01x_{12} + 0,115x_{13} - 0,245x_{23} + 0,475x_{123}.$$

Оцінка значущості коефіцієнтів регресії здійснюється за допомогою критерію Стюдента.

Коефіцієнт вважається значущим, якщо виконується нерівність

$$|\epsilon_a| \geq \Delta \epsilon_a = t(0,05; f_y) \frac{S_y}{\sqrt{n}} \quad (6)$$

де ϵ_a – коефіцієнти $\epsilon_0, \epsilon_i, \epsilon_{ij}$ у формулах (3.8);

$\Delta \epsilon_a$ – довірча границя;

$t(0,05; f_y)$ – критерій Стюдента при 5% рівні значущості та числі ступенів вільності

дисперсії відтворюваності $f_y = n(m_0 - 1)$.

Рівень значущості дорівнює $1 - \alpha$, де α – довірча ймовірність. Оскільки при 5%-му рівні значущості $\alpha = 0,05$, а $f_y = 8(5 - 1)$, то табличне значення $t = 2,0$. Дисперсія дослідів стосовно

пошкоджень коренеплодів рівна $S_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n S_u^2 = 0,273$. Довірча границя

рівна: $\Delta \epsilon_a = 2,0 \sqrt{0,273} / \sqrt{8} = 0,369$.

В рівняннях регресії коефіцієнтами, які менші довірчої границі нехтуємо. Такими коефіцієнтами в рівнянні регресії є x_3, x_{12}, x_{13} і x_{23} .

Таким чином, рівняння регресії, яке визначає пошкодження тіла коренеплодів має вигляд:

$$Y = 4,06 + 0,8x_1 + 0,93x_2 + 0,475x_{123}. \quad (7)$$

Перевірку адекватності проводимо за критерієм Фішера. Адекватність має місце, коли виконується нерівність:

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2} < F(0,05; f_{ad}; f_y), \quad (8)$$

де S_{ad}^2 – дисперсія адекватності;

$F(0,05; f_{ad}; f_y)$ – критерій Фішера при 5%-му рівні значущості;

f_{ad} – число ступенів вільності ($f_{ad} = n - k - 1 = 8 - 3 - 1 = 4$);

k – число факторів у досліді.

Дисперсія адекватності стосовно пошкоджень коренеплодів визначається

$$S_{ad}^2 = \frac{1}{n - k - 1} \sum_{u=1}^n (Y_T - Y_u)^2 = 0,164, \quad (9)$$

де Y_T – розрахункове значення відгуку в і-му досліді, яке визначається за формулою (8). Тоді

$$F = \frac{0,164}{0,273} = 0,6 < F_T = 2,67.$$

Отже, рівняння регресії (3.10) адекватно відтворює результати експерименту.

Відповідно в натуральних координатах рівняння регресії прийме вигляд

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i \left(\frac{X_i - X_{i0}}{\Delta X} \right);$$

$$Y = 4,06 + 0,8 \left(\frac{m - 1,2}{0,4} \right) - 0,93 \left(\frac{\beta - 25}{10} \right) + 0,475 \left(\frac{m - 1,2}{0,4} \right) \left(\frac{\beta - 25}{10} \right) \left(\frac{\gamma - 40}{10} \right).$$

Після проведення перетворень рівняння регресії в натуральних координатах набуде вигляду

$$\Pi = -3,88 + 4,679m + 0,2216\beta + 0,08\gamma - 0,067m\gamma - 0,0032\beta\gamma - 0,107m\beta + 0,0027m\beta\gamma. \quad (10)$$

Таким чином, застосовуючи рівняння регресії 3.13 можна визначити ступінь пошкодження тіла коренеплодів цукрових буряків, про їх доочищенні на прутковому транспортері-сепараторі з коливними скребками у вказаному діапазоні зміни параметрів m , β і γ .

На рис.3 зображено поверхні відгуку та її двомірні перерізи зміни пошкоджень тіла коренеплодів від одночасної зміни двох факторів за відповідного постійного третього фактора.

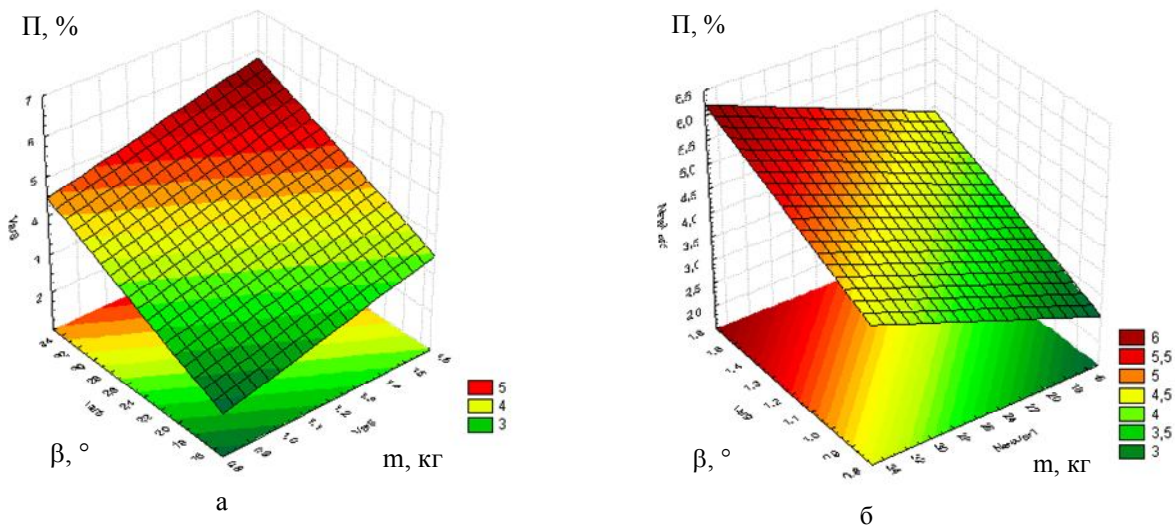


Рис. 3. Поверхня відгуку та її двомірний переріз залежності $\Pi = f(m, \beta)$: а – при $\gamma = 30^\circ$; б – при $\gamma = 50^\circ$

З проведеного аналізу, можна встановити, що максимальний вплив на ступінь пошкодження коренеплодів має кут відхилення групи скребків (β), далі маса коренеплодів цукрових буряків (m) і найменше впливає кут нахилу пруткового полотна до горизонту (γ).

Висновки. Приведені результати експериментальних досліджень дальності польоту коренеплодів L , при їх викиданні на полотно коливними скребками, виведено рівняння регресії та

побудовано поверхні відгуку її двомірні перерізи зміни пошкоджень тіла коренеплодів від одночасної зміни двох факторів за відповідного постійного третього фактора.

1. Адамчук В.В. Механіко-технологічні і технічні основи підвищення ефективності внесення твердих мінеральних добрив та хіммеліорантів: Автореф. дис.д-ра техн. наук: 05.05.11, 2006. – 40 с.
2. Босой Е.С., Верняев О.В., Смирнов И.И. и др. Теория, конструкция и расчет сельхозмашин. – М.: Машиностроение, 1978. – 567 с.
3. Булгаков В.М., Лінник М.К., Гурченко О.П. Розрахунок основних параметрів технологічного процесу збирання буряків // Збірник наукових праць Національного аграрного університету. “Теорія і розрахунок сільськогосподарських машин”. Том 6.- Київ: НАУ. – 2000. – С. 219-224.
4. Гевко Б.М. Научные основы разработки винтовых транспортирующих механизмов сельскохозяйственных машин: Автореф. дис....д-ра техн. наук: 05.20.04.- Ростов-на-Дону: РИСМ. – 1987. – 40 с.
5. Гевко Р.Б., Ткаченко І.Г., Фльонц І.В. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів транспортера-сепаратора для коренеплодів// Вісник Тернопільського державного технічного університету. – Тернопіль: ТДТУ, 2010. – №1. – С. 94-101.

Стаття надійшла до редакції 20.09.2013.

УДК 621.87

І.В. Фльонц**СТЕНДОВЕ ОСНАЩЕННЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ З ВИЗНАЧЕННЯ ДАЛЬНОСТІ ПОЛЬОТУ КОРЕНЕПЛОДІВ НА ПРУТКОВЕ ПОЛОТНО**

Приведені конструкції стенда і пристроїв для визначення дальності польоту коренеплодів при їх сепарації, згупчення, їх пошкодження та якості очищення, а також механізм регулювання положення скребків. Виведені аналітичні залежності для визначення конструктивних, кінематичних і технологічних параметрів технологічного процесу сепарації коренеплодів.

Ключові слова: сепарація коренеплодів, стендове оснащення, пруткові і скребкові транспортери.

Рис. 5. Форм. 3. Літ. 5.

И.В. Фльонц**СТЕНДОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ С ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ ПОЛЕТА КОРНЕПЛОДОВ НА ПРУТКОВОЕ ПОЛОТНО**

Приведенные конструкции стенда и устройств для определения дальности полета корнеплодов при их сепарации, скопления, их повреждения и качества очистки, а также механизм регулировки положения скребков. Выведены аналитические зависимости для определения конструктивных, кинематических и технологических параметров технологического процесса сепарации корнеплодов.

Ключевые слова: сепарация корнеплодов, стендовое оснащение, прутковые и скребковые транспортеры.

I.V. Flonts**STAND EQUIPMENT FOR EXPERIMENTAL RESEARCH CARRYING OUT OF DETERMINING DISTANCE OF ROOT-CROP FLIGHT TO RODS CANVAS**

The summary: Constructions of stand and devices for determining root-crop flight distance during its separation, accumulation, damage and cleaning quality, and mechanism of scrapers position adjustment, were presented. Analytical dependences for determining construction, kinematic and technological parameters of root-crop separation manufacturing process, were selected.

Key words: root-crop separation, stand equipment, rods and scrapers conveyors.

Постановка проблеми. Розробка сучасної бурякозбиральної техніки повинна бути направлена на підвищення її функціональних та експлуатаційних показників, що визначає технічний рівень коренезбиральних машин, розвиток і виробництво яких в останні роки ведеться надзвичайно повільно.

Особливі вимоги висуваються до якості виконання технологічного процесу машинами в екстремальних умовах роботи у зв'язку зі складними реологічними властивостями вітчизняних ґрунтів.

В таких умовах роботи бурякозбиральні машини допускають значне забруднення вороху коренеплодів та їх пошкодження. Також у переважній більшості як вітчизняних так і зарубіжних конструкцій машин відсутнє регулювання інтенсивності очищення коренеплодів в залежності від зміни ґрунтово-кліматичних умов. При цьому, значна частина переміщення коренеплодів по технологічних руслах здійснюється їх пасивним транспортуванням, що знижує ступінь сепарації вороху коренеплодів і потребує додаткового їх очищення у стаціонарних умовах.

У зв'язку з цим розробка та обґрунтування раціональних параметрів поздовжніх транспортерів сепараторів з коливними скребкам та регульованою інтенсивністю очищення коренеплодів дозволить підвищити показники якості виконання технологічного процесу бурякозбиральними машинами, що в даний час є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питаннями теорії викопування коренеплодів присвячені праці ряду авторів [1-5]. Однак цілий ряд теоретичних питань досліджень дальності польоту коренеплодів, степені їх очищення та пошкодження потребують подальшого дослідження.

Мета роботи – розроблення методики і стендового оснащення для проведення якісної сепарації коренеплодів при мінімальному їх пошкодженні.

Реалізація роботи. Для проведення експериментальних досліджень розроблено та виготовлено експериментальний стенд, який дозволяє встановити основні показники якості виконання технологічного процесу в лабораторних умовах. До них в першу чергу необхідно віднести ступінь відділення налиплого ґрунту, а також глибину пошкодження тіла коренеплодів в

залежності від дальності польоту коренеплодів та параметрів їх ударної взаємодії з прутками полотна.

Стенд для дослідження даних показників, а також встановлення дальності польоту коренеплодів від впливу конструктивних і силових параметрів механізму повороту групи скребоків зображено на рис. 1. Він складається з таких основних частин: нижньої 1 та верхньої 9 рам виготовлених з кутників, які з'єднані між собою шарнірно за допомогою болтового з'єднання. З іншої сторони нижня та верхня рами також зв'язані між собою шарнірним механізмом регулювання кута піднімання пруткового полотна 7 транспортера за допомогою тяги 11 з нарізаною різью по всій довжині.

На верхній рамі на кронштейні та натяжному барабані 10 встановлене пруткове полотно 7, причому сила натягу полотна регулюється дискретним кутом повертання барабану з наступною його фіксацією. В нижній частині полотна, з можливістю повертання відносно прутка встановлена група скребоків 2, які підтиснуті пружинами 5 в напрямку транспортування коренеплодів. Обмеження кута повертання групи скребоків здійснюється за допомогою опорних пластин 3, які впираються у задні прутки відносно прутка, який забезпечує повертання групи скребоків.

По боках групи скребоків розташовані кулачки 4, які періодично взаємодіють з опорними роликками, закріпленими на рухомому кронштейні 6. Кронштейн 6 встановлений на направляючих пластинах бокового щитка 8.

На нижній рамі встановлені повздовжні лотки 12, ширина яких становить 10мм. В процесі проведення експериментальних досліджень, відділені домішки ґрунту просипаються на них і зважуються.

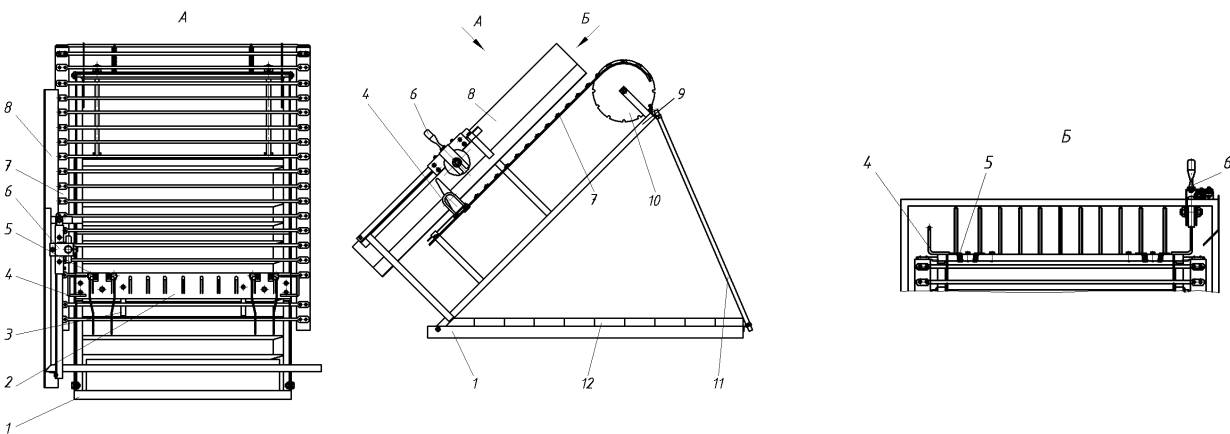


Рис. 1. Стенд для визначення дальності польоту коренеплодів, ступеня їх сепарації та пошкоджень

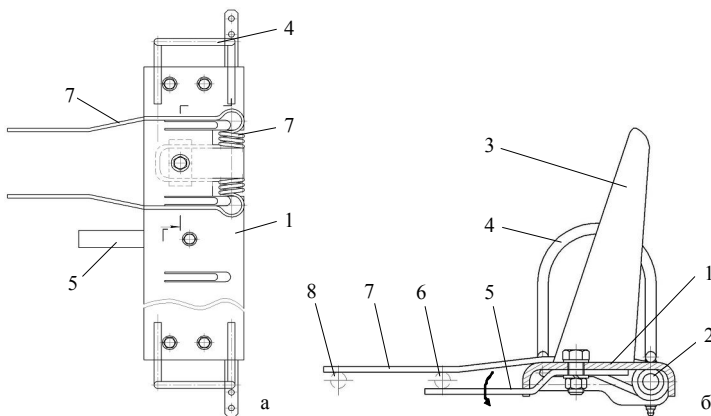


Рис. 2. Варіант виконання підтиснутих пружиною скребоків:
а – вигляд зверху, б – вигляд збоку

Варіант виконання підтиснутих пружинами кручення групи скребоків зображено на рис. 2.

Її конструктивне виконання полягає в тому, що до основи 1, яка охоплює один пруток 2 полотна транспортера, із заданим кроком закріплені скребки 3. По боках, на основі встановлені кулачки 4. Знизу до основи кріпляться обмежувальні пластини 5, які знизу впираються в пруток 6 полотна.

Пружина кручення 7 охоплює пруток 2 і з однієї сторони впирається в нижню поверхню основи 1, а з іншої сторони вільними кінцями взаємодіє з прутками 6 і 8.

В процесі взаємодії кулачка з опорним роликком відбувається повертання основи зі скребками (за напрямком стрілки, рис. 2б) відносно прутка 2 з відповідною деформацією пружини.

При виході із зачеплення кулачка з роликом основа зі скребками під дією пружини повертається в початкове положення, оскільки зворотнє кутове повертання обмежене пластинами 5.

Експериментальні дослідження на стенді проводяться наступним чином.

Спочатку встановлюємо стенд на рівну площадку і за допомогою рівня виставляємо горизонтальне положення. Встановлюємо кут піднімання полотна транспортера за допомогою тяги 11. Далі на групу скребок подають не очищені коренеплоди і відводять скребки на заданий кут повороту, який визначається величиною перекриття ролика з кулачком.

Після цього, за допомогою кронштейна 6, здійснюється різке виведення із зачеплення ролика з кулачком і під дією пружини скребки повертаються в початкове положення, що спричиняє викидання коренеплодів на прутки полотна.

Для знімання геометричних параметрів польоту коренебульбоплодів застосовують відеокамеру, яка закріплена на штативі і направлена строго перпендикулярно до фрагменту полотна транспортера. Параметри польоту коренеплодів записуємо з відеокамери на жорсткий диск комп'ютера. Після цього за допомогою програм для обробки відеоінформації (в даному випадку використовувалась PINNACLE STUDIO) по кадрово проглядаємо досліди у місці максимального польоту, фіксуємо зображення і конвертуємо в графічний формат (наприклад GIF або JPEG) перейменувавши його відповідно до номеру досліду і фракції. Далі проводиться масштабування дальності польоту кожного з коренеплодів. При цьому використовувалась програма КОМПАС - 10.

В процесі проведення експериментальних досліджень коренеплоди, після їх викидання скребками, взаємодіють з прутками полотна (як правило відбувається ударна взаємодія), що призводить до відділення налиплого ґрунту, який через між прутковий простір просипається на лотки. Далі відсепаровані домішки зважуються, що дає змогу оцінити в яких зонах відбувається максимальне і мінімальне відділення ґрунту.

При певних параметрах ударної взаємодії коренеплодів з прутками полотна відбувається пошкодження тіла цукрових буряків, глибина яких вимірюється штангенциркулем і оцінюється згідно ДСТУ 2258-93.

Загальний вигляд стенда при проведенні експериментальних досліджень та його окремих елементів зображено на рис. 3.

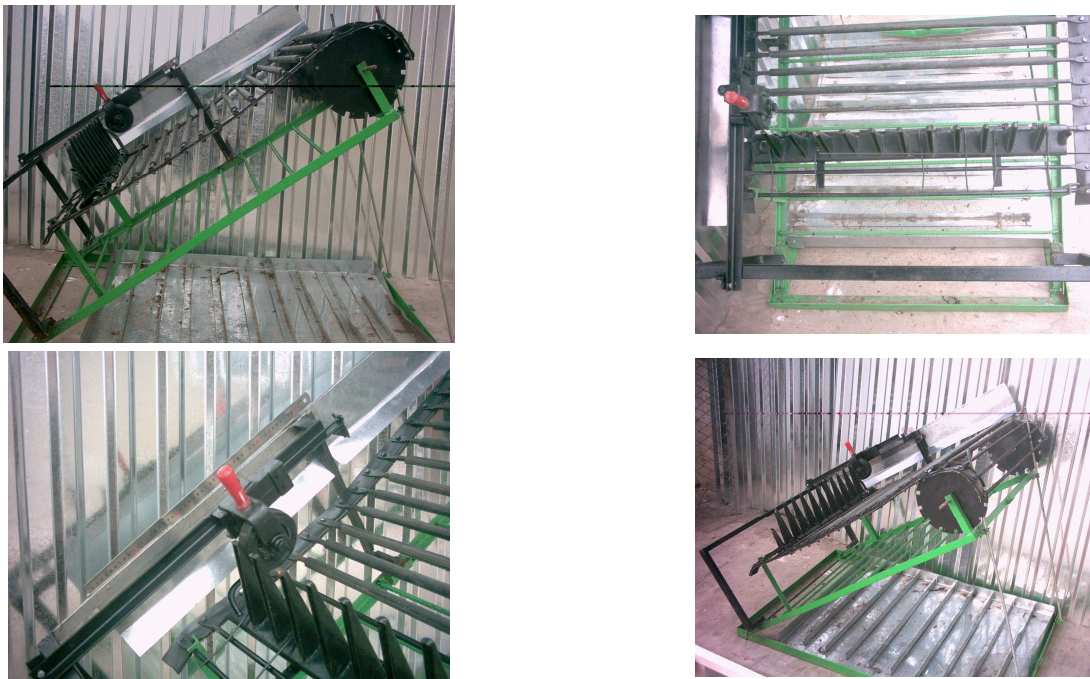


Рис. 3. Загальний вигляд стенда та його окремих елементів для проведення експериментальних досліджень

Для визначення впливу лінійної швидкості полотна на характер переміщення коренеплодів також розроблено стенд, конструктивна схема якого зображена на рис.4. Він містить основу 2, на якій жорстко закріплені вертикальні кронштейни 3 і платформа 1. До кронштейнів жорстко

кріпляться щоковини 4, які з іншої сторони шарнірно з'єднані з нижньою частиною рами доочисного транспортера 5.

З платформою шарнірно з'єднані регульовані тяги 9, які з протилежної сторони зв'язані з вертикальною частиною рами доочисного транспортера. Тяги 9 дозволяють регулювати кут нахилу транспортера до горизонту.

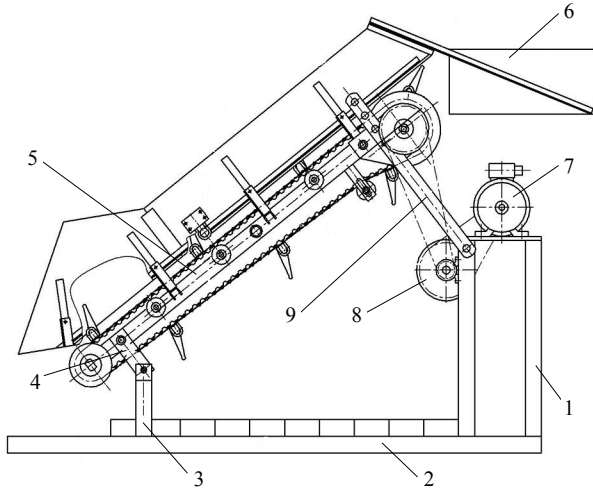


Рис. 4. Стенд для визначення впливу кінематичних параметрів полотна на характер руху коренеплодів

На платформі встановлений асинхронний електродвигун 7 тип 4AM132S8У3 потужністю 4 кВт, який через проміжний вал 8 передає оберти на привідний барабан транспортера.

В зоні вивантаження закріпленій лоток 6 для збору відсепарованих коренеплодів.

Як було зазначено в розділі 2.2 лінійна швидкість транспортерів коренезбиральних машин, як правило, знаходиться в межах 1,4...2,2 м/с. Визначимо необхідні кінематичні параметри лабораторної установки з метою забезпечення лінійної швидкості транспортера у згаданих межах.

Число обертів привідного вала транспортера для забезпечення заданої швидкості v_m полотна визначається за формулою

$$n_m = \frac{v_m \cdot 60}{\pi \cdot D_n}, \quad (1)$$

де D_n – діаметр нейтрального шару полотна на привідному барабані, м.

Максимально і мінімально необхідні частоти обертання вала складають

$$n_{m\min} = \frac{1,4 \cdot 60}{3,14 \cdot 0,24} = 111,45 \text{ хв}^{-1}; \quad n_{m\max} = \frac{2,2 \cdot 60}{3,14 \cdot 0,24} = 175,16 \text{ хв}^{-1}.$$

Передаточне відношення, необхідне для приводу стенду від двигуна 4AM132S8У3 з номінальною частотою обертання $n_d = 720 \text{ хв}^{-1}$ на валу якого встановлена зірочка, що має $z_d = 11$ зубів становить

$$i = \frac{n_d}{n_m}; \quad i_{\max} = \frac{720}{111,45} = 6,46; \quad i_{\min} = \frac{720}{175,16} = 4,11.$$

Кінематична схема лабораторної установки зображена на рис. 5. Визначимо необхідну кількість зубів z_1 за умови, що $z_2 = 11$ (мінімально можливе значення кількості зубів для зірочки) і $z_m = 32$ (кількість зубів на серійній зірочці приводу поздовжнього транспортера).

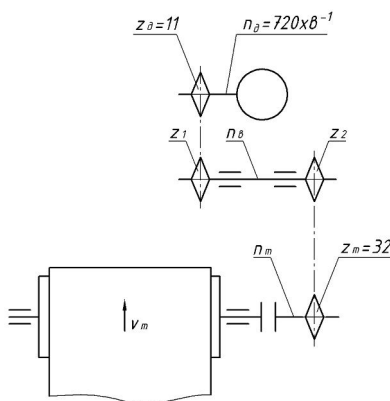


Рис. 5. Кінематична схема експериментального стенду

$$z_1 = \frac{i \cdot z_d \cdot z_2}{z_m}; \quad z_{1\max} = \frac{6,46 \cdot 11 \cdot 11}{32} = 24,4;$$

$$z_{1\min} = \frac{4,11 \cdot 11 \cdot 11}{32} = 15,5.$$

Приймаємо $z_1 = 25; 22; 19; 16$ і уточнюємо частоту обертання вала та швидкість полотна транспортера

$$n_m = \frac{n_0 z_0 z_2}{z_1 z_m}; \quad (2)$$

$$n_{m(25)} = \frac{720 \cdot 11 \cdot 11}{25 \cdot 32} = 108,9 \text{ хв}^{-1}; \quad n_{m(22)} = \frac{720 \cdot 11 \cdot 11}{22 \cdot 32} = 123,7 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_{m(19)} = \frac{720 \cdot 11 \cdot 11}{19 \cdot 32} = 143,3 \text{ хв}^{-1}; \quad n_{m(16)} = \frac{720 \cdot 11 \cdot 11}{16 \cdot 32} = 170,2 \text{ хв}^{-1};$$

$$v_m = \frac{\pi D_n n_m}{60}; \quad (3)$$

$$v_{m(25)} = \frac{3,14 \cdot 0,24 \cdot 108,9}{60} = 1,37 \text{ м/с}; \quad v_{m(22)} = \frac{3,14 \cdot 0,24 \cdot 123,7}{60} = 1,55 \text{ м/с};$$

$$v_{m(19)} = \frac{3,14 \cdot 0,24 \cdot 143,3}{60} = 1,80 \text{ м/с}; \quad v_{m(16)} = \frac{3,14 \cdot 0,24 \cdot 170,2}{60} = 2,14 \text{ м/с}.$$

Таким чином, шляхом підбору відповідного комплекту зірочок в кінематичному ланцюгу приводу повздовжнього доочисного транспортера можна змінювати лінійну швидкість пруткового полотна у даному діапазоні (1,37... 2,14 м/с).

В процесі проведення експериментальних досліджень окремі коренеплоди з різною масою подають на рухоме пруткове полотно в зону перед механізмом повертання скребків. При проходженні скребків в зоні опорного ролика коренеплоди викидаються на полотно, а далі вивантажуються в лоток.

Метою експериментальних досліджень з визначення впливу лінійної швидкості пруткового полотна на характер переміщення коренеплодів є встановлення того, яким чином даний параметр впливає на процес сумісного повертання скребків з їх одночасним контактом з коренеплодами.

Також очевидним є той факт, що на даний процес суттєво впливає кут нахилу основи транспортера до горизонту, який встановлюється за допомогою регульованої тяги.

В процесі проведення експериментальних досліджень необхідно встановити обмеження для лінійної швидкості полотна в залежності від кута підйому транспортера.

Дане обмеження необхідно визначити для того, щоб в момент повертання скребків коренеплоди під дією сили тяжіння спадали і контактували з поверхнею скребків. В іншому випадку відбуватиметься холосте повертання скребків, а коренеплоди фактично залишатимуться на місці. При цьому коренеплоди не будуть викидатись на поверхню пруткового полотна і відповідно не відбудеться процес їх доочищення.

Аналогічні дослідження також можна проводити безпосередньо на коренезбиральних машинах застосовуючи різнонахилені скребкові транспортери і механізми повертання скребків.

В цьому випадку необхідно проводити зміну зірочок приводу транспортерів враховуючи реальні значення частот обертання попередньо розташованих привідних валів.

Висновок. На основі приведених досліджень можна зробити наступні висновки:

Приведені конструкції станда і пристроїв для визначення дальності польоту коренеплодів при їх сепарації, скупчення, їх пошкодження та якості очищення, а також механізм регулювання положення скребків. виведені аналітичні залежності для визначення конструктивних, кінематичних і технологічних параметрів технологічного процесу сепарації коренеплодів.

1. Адамчук В.В. Механіко-технологічні і технічні основи підвищення ефективності внесення твердих мінеральних добрив та хіммеліорантів: Автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.05.11, 2006. – 40 с.
2. Гевко Б.М., Білик С.Г., Влас Н.С., Петрикович Ю.Я. Технологічні основи підвищення якісних показників роботи коренезбиральних машин. – Тернопіль: 2007. – 246 с.
3. Булгаков В.М., Лінник М.К., Гурченко О.П. Розрахунок основних параметрів технологічного процесу збирання буряків // Збірник наукових праць Національного аграрного університету. "Теорія і розрахунок сільськогосподарських машин". Том 6.- Київ: НАУ. – 2000. – С. 219-224.
4. Гевко Б.М. Научные основы разработки винтовых транспортирующих механизмов сельскохозяйственных машин: Автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.20.04. – Ростов-на-Дону: РИСМ. – 1987. – 40 с.
5. Гевко Р.Б., Ткаченко І.Г., Фльонц І.В. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів транспортера-сепаратора для коренебуряків// Вісник Тернопільського державного технічного університету. – Тернопіль: ТДТУ, 2010. – №1. – С. 94-101.

Стаття надійшла до редакції 24.09.2013.

УДК 624.012.25

О.С. Чапюк

**ВПЛИВ ПОВТОРНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА МЕЖУ ЗЧЕПЛЕННЯ
АРМАТУРИ СЕРПОВИДНОГО ПРОФІЛЮ КЛАСУ А500 З БЕТОНОМ**

В статті О.С. Чапюка "Вплив повторних навантажень на межу зчеплення арматури серповидного профілю класу А500 з бетоном" досліджено залежність повторних навантажень різних рівнів на величину залишкового проковзування стержнів відносно бетону та напруження в арматурі у граничному стані.

Ключові слова: арматурний прокат серповидного профілю, зчеплення арматури з бетоном, напруження зчеплення, рівні навантаження, втомленість зчеплення.

Рис. 6. Табл. 2. Літ. 8.

А.С. Чапюк

**ВЛИЯНИЕ ПОВТОРНЫХ НАГРУЗОК НА ГРАНЬ СЦЕПЛЕНИЯ АРМАТУРЫ
СЕРПОВИДНОГО ПРОФИЛЯ КЛАССА А500 С БЕТОНОМ**

Аннотация: В статье А.С. Чапюка "Влияние повторных нагрузок на грань сцепления арматуры серповидного профиля класса А500 с бетоном" исследована зависимость повторных нагрузок различных уровней на величину остаточного проскальзывания стержней относительно бетона и напряжения в арматуре в предельном состоянии.

Ключевые слова: арматурный прокат серповидного профиля, сцепления арматуры с бетоном, напряжение сцепления, уровни нагрузки, усталость сцепления.

O.S. Chapiuk

**INFLUENCE OF REPEATED LOADINGS ON THE LIMIT OF ADHESION OF SICKLE-
SHAPED PROFILE CLASS A500 ARMATURE WITH CONCRETE**

Abstract: The article "Influence of repeated loadings on the limit of adhesion of sickle-shaped profile class A 500 armature with concrete" written by O.Chapiuk investigates the dependence of repeated loadings of various levels on the amount of residual slipping of rods relatively to concrete and tension in the armature in the boundary condition.

Keywords: reinforcing bars of sickle-shaped profile, adhesion of reinforcement with concrete, cohesive stress, levels of stress, tiredness of grip.

Зчеплення арматури з бетоном є визначальним фактором в забезпеченні їхньої спільної роботи в складі залізобетонних конструкцій. Теорія зчеплення арматури з бетоном розроблена в достатній мірі при дії короткочасних навантажень, виконано велику кількість експериментальних досліджень зчеплення бетону з арматурою кільцевого профілю класів А-II, А-III, А-IV та іншою, яка зараз не випускається і не застосовується при виготовленні залізобетонних конструкцій. Але відомо, що переважна більшість конструкцій піддається дії повторних навантажень, які можуть певним чином впливати на механічні характеристики матеріалів. Таким питанням присвячені тільки поодинокі дослідження [1, 2]. Наразі для залізобетону використовується прокат арматурний серповидного профілю [3, 4], зчеплення якого з бетоном мало досліджено, а при дії повторних навантажень майже не розглядалося.

З огляду на наведене, вивчення особливостей зчеплення з бетоном арматури серповидного профілю є важливою задачею, особливо це стосується впливу повторних навантажень різних рівнів на межу зчеплення арматурного прокату класу А500 та А500С (який можна зварювати) з бетоном.

В комплексі досліджень зчеплення з бетоном арматури серповидного профілю поставлене питання вивчалось при дослідженні зразків другої та п'ятої серій, які виготовляли у вигляді бетонних призм квадратного перерізу зі стороною 15 см і висотою призм $5d$, що рівне 8 см і центрально розташованої арматури діаметром 16 мм (табл. 1, рис. 1).

В позначенні зразків цифра перед буквою «П» (призма) означає номер серії, друга цифра – номер зразка, а третя - відносний рівень навантаження. Букви „к” і „п” вказують, що зразки випробувані відповідно короткочасним одноразовим і повторними навантаженнями.

Арматурні стержні розташовували в призмах таким чином, щоб їхні поздовжні осі співпадали, а виступаючі частини стержнів дозволяли з одного боку закріплювати їх в захваті преса, а з другого (вільного) - вимірювати переміщення (проковзування) відносно торця призм.

Таблиця 1. Об'єм експериментальних досліджень

Серія	Класс бетону	Діаметр стержнів, мм	Рівень навантаження	Кількість зразків, шт.	Марка зразків
2	С20/25	16	0,6	3	П-к1,2,3
			0,75		2П-0,6п-1,2,3
			0,9		2П-0,75п-1,2,3
5			0,98		2П-0,9п-1,2,3
			0,95		5П-0,98п-1,2,3
			0,93		5П-0,95п-1,2,3
			0,91		5П-0,93п-1,2,3
					5П-0,91п-1,2,3

Для дослідження вибрані стержні діаметром 16 мм ($\text{Ø}16\text{A}500$), механічні характеристики яких визначали шляхом випробування на розтяг в розривній машині за стандартною методикою. Тимчасовий опір розриву стержнів склав $f_{tk} = 672,2 \text{ МПа}$, умовна межа текучості - $f_{p0,2k} = 497,3 \text{ МПа}$ і модуль пружності - $E_s = 1,99 \times 10^5 \text{ МПа}$.



Рис. 1. Загальний вигляд зразків

Бетон використовували проектного класу С20/25, механічні характеристики якого визначали шляхом випробування бетонних кубів з розміром ребер 15 см і призм з поперечним перерізом 15×15 см і висотою 60 см, які виготовлялися одночасно з виготовленням основних зразків. Характеристики бетону: кубкова міцність у віці 28 діб - $f_{ck} = 30,5 \text{ МПа}$, призмova міцність у віці 57 діб (вік бетону на початку випробувань основних зразків) $f_{cd} = 21,3 \text{ МПа}$. Випробування серії зразків виконували на протязі 15 діб, а тому можна вважати, що за цей час міцність бетону не змінювалася.



Рис. 2. Загальний вигляд випробування зразків

Дослідження зчеплення арматури з бетоном виконували шляхом висмикування (витягання) стержня з бетонної призми з використанням спеціального натяжного пристрою в розривній гідравлічній машині. Навантаження до стержня прикладали ступенями, рівними 2,0 кН. Під час навантажень вимірювали проковзування (переміщення) вільного кінця стержня відносно торця призми годинниковим індикатором з ціною поділки 0,001 мм (Рис. 2).

Призми 2П-к випробовували одноразовим навантаженням до руйнування, а призми 2П-0,6п, 2П-0,75п і 2П-0,9п піддавалися повторним десятикратним навантаженням до рівнів відповідно $\eta_{\text{сус}} = 0,6$, $\eta_{\text{сус}} = 0,75$, $\eta_{\text{сус}} = 0,9$ ($\eta_{\text{сус}} = P_{\text{сус}}/P_u$; P_u – граничне значення зусилля зчеплення; $P_{\text{сус}}$ – зусилля на циклах повторного навантаження). На одинадцятому циклі ці призми довантажувалися до граничного стану, коли повне проковзування складало $\delta_u = 0,2$ мм.

За граничний стан зчеплення арматури з бетоном згідно з Британським стандартом BS 4449:1997 прийнято стан, коли проковзування (переміщення) вільного кінця стержня відносно торця призми складає $\delta_u = 0,2$ мм.

Результати дослідів засвідчили достатню однорідність бетону в зразках - близнюках. В трьох зразках 2П-к значення $\delta_u = 0,2$ мм було досягнуто при напруженнях в стержнях відповідно $f_{s0} = 136,8$; 134,3; 134,3 МПа при середньому значенні $f_{s0m} = 135,1$ МПа (коефіцієнт мінливості $v = 0,0107$). В усіх трьох зразках проковзування почалося при значенні напруження $f_s = 9,95$ МПа і складало $\delta = 0,001$ мм.

Треба зазначити, що усі призми при збільшенні навантаження після досягнення $\delta_u = 0,2$ мм крихко руйнувалися, при цьому спостерігалось їхнє розколювання вздовж стержнів. Величина проковзування вільного кінця стержня в бетоні, рівна $\delta_u = 0,2$ мм, може бути прийнята за критерій визначення граничного стану зчеплення з бетоном арматури серповидного профілю.

На першому циклі в призмах 2П-0,6п середні (по трьом зразкам-близнюкам) зміщення арматури відносно бетону при максимальному рівні повторних навантажень ($f_s = 79,6$ МПа) становили 0,015 мм, а величина залишкового проковзування після першого циклу склала 0,003 мм (рис. 3). На другому циклі навантаження-розвантаження максимальне проковзування становило 0,017 мм, а залишкове збільшилися до 0,004 мм (23,5 % від максимального). В подальшому зі збільшенням циклів максимальне і залишкове проковзування дещо збільшувалися і після п'ятого циклу відбулася їхня стабілізація на рівні: максимальне проковзування склало 0,02 мм, а залишкове – 0,006 мм. На 11-му циклі зміщення вільного кінця стержня відносно торця призми на 0,2 мм відбулось при напруженні $f_{s0m} = 134,3$ МПа, при цьому ж навантаженні зразок зруйнувався.

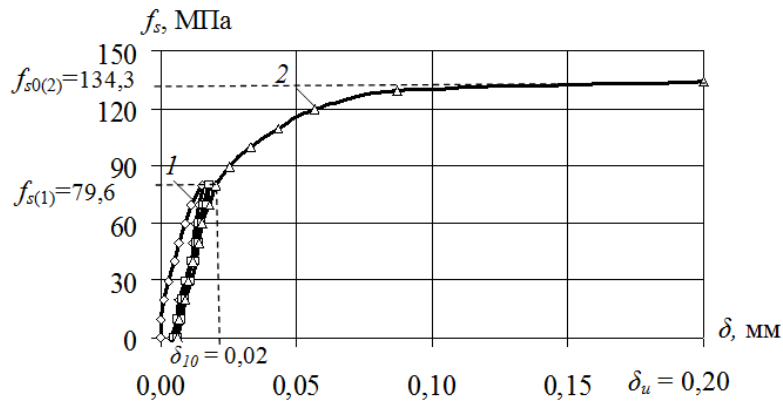


Рис. 3. Зміна проковзування стержня δ залежно від напруження f_s в призмах 2П-0,6п:
1 – перший цикл; 2 – одинадцятий цикл (в проміжку третій і сьомий цикли)

На першому циклі в зразках 2П-0,75п середні зміщення арматури відносно бетону при максимальному рівні повторних навантажень ($f_s = 99,45$ МПа) становили 0,019 мм, а величина залишкового проковзування після першого циклу склала 0,003 мм (рис. 4). На другому циклі навантаження-розвантаження максимальне проковзування становило 0,022 мм, а залишкове збільшилися до 0,005 мм.

В подальшому зі збільшенням циклів максимальне і залишкове проковзування збільшувалися всередньому на 0,001 мм з кожним циклом і після десятого циклу максимальне проковзування склало 0,033 мм, що на 6,5 % більше ніж в зразках 2П-0,6п, а залишкове – 0,010 мм.

На 11-му циклі зміщення вільного кінця стержня відносно торця призми на 0,2 мм відбулось при такому ж напруженні $f_{s0m} = 134,26$ МПа, як і в зразках 2П-0,6п.

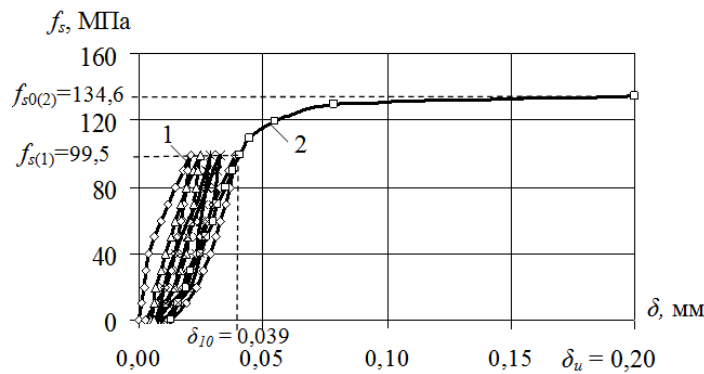


Рис. 4. Зміна проковзування стержня δ залежно від напруження f_s в призмах 2П-0,75п: 1 – перший цикл; 2 – одинадцятий цикл (в проміжку третій, п’ятий сьомий і десятий цикли)

На першому циклі в призмах 2П-0,9п середні зміщення арматури відносно бетону при максимальному рівні повторних навантажень ($f_s = 120,83$ МПа) становили 0,045 мм (22,5 % від руйнівного), а величина залишкового проковзування після першого циклу склала 0,024 мм (рис. 5). На другому циклі навантаження-розвантаження максимальне проковзування становило 0,055 мм, а залишкове збільшилося до 0,030 мм. В подальшому зі збільшенням циклів максимальне і залишкове проковзування збільшувалися значно інтенсивніше і після десятого циклу максимальне проковзування склало 0,096 мм, що на 38 % більше, ніж у зразках 2П-0,6п, а залишкове – 0,063 мм. На 11-му циклі зміщення вільного кінця стержня відносно торця призми на 0,2 мм відбулось при напруженні в стержнях $f_{s0m} = 134,76$ МПа, при цьому ж навантаженні зразок зруйнувався.

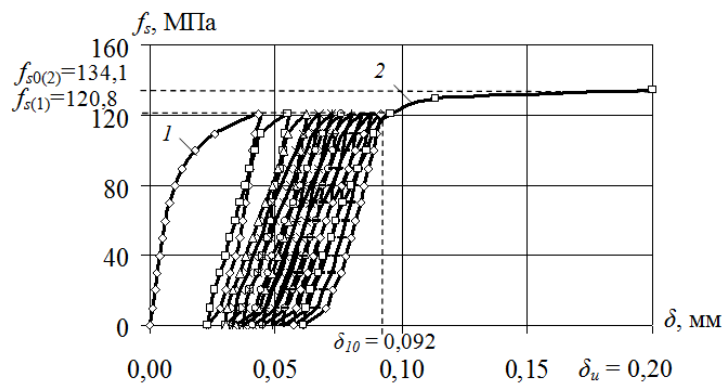


Рис. 5. Зміна проковзування стержня δ залежно від напруження f_s в призмах 2П-0,9п: 1 – перший цикл; 2 – одинадцятий цикл (в проміжку з другого по десятий цикли)

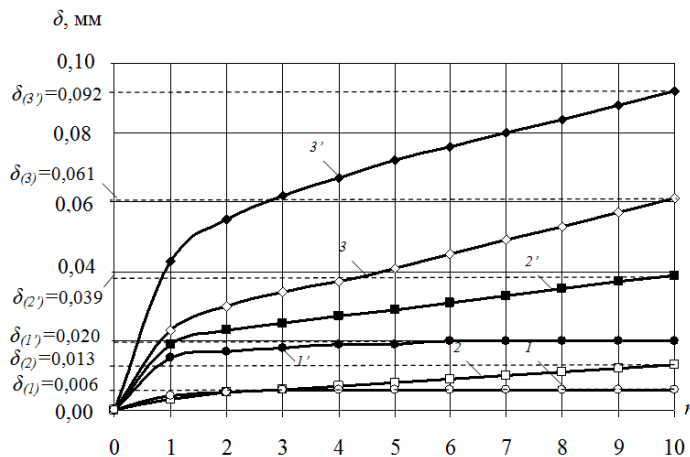


Рис. 6. Зміна проковзування стержня δ на циклах: 1, 2, 3 – залишкові, 1', 2', 3' – повні в зразках 2П-0,6п, 2П-0,75п і 2П-0,9п

Повторні навантаження до рівнів 0,6, 0,75 та 0,9 призводять до виникнення залишкового проковзування стержнів і практично не впливають на величину напружень в арматурі в граничному стані порівняно з одноразовим навантаженням (рис. 7).

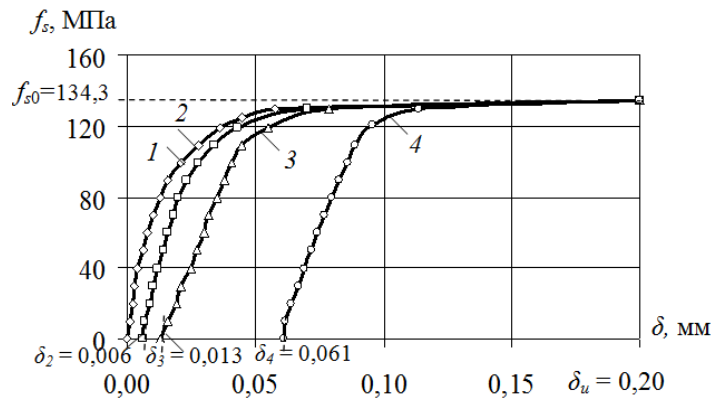


Рис. 7. Зміна проковзування стержня δ залежно від напруження σ_s в зразках 1 – 2П-к, 2 – 2П-0,6п, 3 – 2П-0,75п, 4 – 2П-0,9п на одинадцятих циклах

Зразки п'ятої серії піддавалися повторним навантаженням з відносним рівнем $\eta_{cyc} = f_{s,cyc}/f_{s0}$, який змінювався: 0,98, 0,95, 0,93, 0,91. Повторні навантаження прикладалися до тих пір, коли проковзування стержнів складало $\delta_{u,cyc} = 0,2$ мм.

Для чотирьох зразків (5П-0,98/1п ... 5П-0,98/4п) рівень повторних навантажень був прийнятий, рівним $\eta_{cyc} = 0,98$. Два зразки досягли граничного стану на другому циклі, два інших – відповідно на третьому і четвертому циклах. Таким чином, можна вважати, що при $\eta_{u,cyc} = 0,98$ для згаданих зразків наступила втомленість на 2 ... 4 циклах ($\eta_{u,cyc} = \eta_{cyc}$ на циклі руйнування). Взагалі малоциклова втомленість матеріалів визначається як їхня втомленість, за якої руйнування або пошкодження відбуваються при пружно-пластичному деформуванні [5, 6, 7]. Зважаючи на це, під малоцикловою втомленістю зчеплення арматури з бетоном будемо розуміти його втомлене порушення при пружно-пластичному проковзуванні арматурного стержня в бетоні. При зменшенні рівня повторних навантажень до $\eta_{u,cyc} = 0,95$ прогнозовано збільшилась кількість циклів до настання руйнування: два зразки зруйнувалися на третьому циклі і один на сьомому. Треба зазначити, що на циклах навантаження спостерігалось поступове збільшення залишкових деформацій проковзування, що свідчить про те, що втомленість наступила при пружно-пластичному проковзуванні арматурного стержня.

Таблиця 2. Результати експериментальних досліджень втомленості зчеплення бетону з арматурними стержнями

Марка зразків	$f_{u0,cyc}$, МПа	$\eta_{u,cyc}$	$\tau_{u0,cyc}$, МПа	$n_{u,cyc}$	$\eta_{u,cyc,th}$	$\frac{\eta_{u,cyc}}{\eta_{u,cyc,th}}$
5П-0,98/1п	131,6	0,98	6,58	2	0,989	0,991
5П-0,98/2п	131,6	0,98	6,58	2	0,989	0,991
5П-0,98/2п	131,6	0,98	6,58	3	0,979	1,001
5П-0,98/4п	131,6	0,98	6,58	4	0,971	1,009
5П-0,95/5п	127,5	0,95	6,38	3	0,979	0,970
5П-0,95/6п	127,5	0,95	6,38	3	0,979	0,970
5П-0,95/7п	127,5	0,95	6,38	7	0,954	0,996
5П-0,93/8п	124,8	0,93	6,24	9	0,945	0,983
5П-0,93/9п	124,8	0,93	6,24	10	0,942	0,987
5П-0,93/10п	124,8	0,93	6,24	12	0,936	0,993
5П-0,91/11п	122,4	0,91	6,12	35	0,906	1,006
5П-0,91/12п	122,4	0,91	6,12	41	0,903	1,009
5П-0,91/13п	122,4	0,91	6,12	44	0,903	1,010

В наступних зразках рівень повторних навантажень був зменшений до $\eta_{cyc} = 0,93$, що збільшило кількість циклів до втомленого руйнування порівняно з попередніми зразками (див. табл. 2). Зразки 5П-0,93/8п, 5П-0,93/9п і 5П-0,93/10п досягли граничного стану на дев'ятому, десятому і дванадцятому циклах. В усіх зразках до цього стану спостерігалось пружно-пластичне проковзування стержнів. В зразку 5П-0,93/10п [8], який зруйнувався на 12-му циклі, повне проковзування стержня на 10-му і 11-му циклах відповідно склало $\delta_{cyc} = 0,154$ і $0,162$ мм, що становить 77 і 81 % від граничного значення, яке було досягнуто на 12-му циклі. До останнього циклу також спостерігалось збільшення залишкового проковзування, яке на 11-му циклі склало 55% від максимального. При цьому тут проковзування збільшилося на $0,005$ мм, що значно менше, ніж в зразку 5П-0,95/7п, в якому на передостанньому циклі збільшення залишкового проковзування склало $0,027$ мм. Це свідчить про те, що подальший зменшений рівень повторних навантажень буде наближатися до межі малоциклової витривалості.

Для зразків 5П-0,91/11п, 5П-0,91/12п і 5П-0,91/13п рівень повторних навантажень був зменшений до $\eta_{cyc} = 0,91$ ($f_{s,cyc} = 122,4$ МПа). Це призвело до збільшення кількості циклів до настання втомленого руйнування: зразки витримали відповідно 35, 41 і 44 цикли. В зразку 5П-0,91/12п на перших п'яти циклах повне проковзування змінилося з $\delta_{cyc} = 0,049$ на першому до $\delta_{cyc} = 0,081$ на п'ятому. В подальшому проковзування поступово зростало і 20-го по 25-й цикл змінилося з $0,136$ до $0,151$. Тобто, на 25-тому циклі проковзування склало 75,5 % від граничного значення. З 35-го по 40-й цикл проковзування монотонно збільшувалося і на 40-му циклі склало $\delta_{cyc} = 0,199$, що практично рівне граничному, але зразок ще працював на 41-му циклі, на якому і зруйнувався (див. рис. 8).

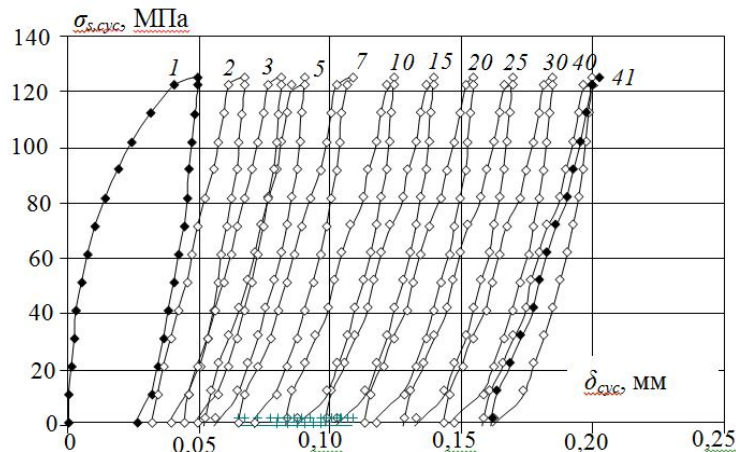


Рис. 8. Проковзування стержня при випробуваннях зразка 5П-0,91/12п (цифрами указані номери циклів)

Заслуговує на увагу аналіз залишкового проковзування стержня, яке після першого циклу навантаження склало $0,026$ мм, що становить 13 % від граничного значення $\delta_{u,cyc} = 0,2$ мм. Після 25-го циклу залишкове проковзування збільшилося до $0,117$ мм (58,5 % від граничного), а після 40-го – $0,159$ мм (79,5 % від граничного). Короточасні повні проковзування під час навантаження після першого циклу дещо зменшилися, а потім до 11-го циклу стабілізувалися і були сталими аж до руйнування. Але частка пластичного проковзування в таких деформаціях постійно збільшувалася.

Приріст залишкового проковзування зі збільшенням кількості циклів зменшувалася і на 38-му ... 40-ому циклах складав $0,003$ мм, що менше ніж в зразках з $\eta_{cyc} = 0,93$. Тобто, зразки з $\eta_{cyc} = 0,91$ досягали мало циклової втомленості, але вони вже були близькими до межі багатоциклової витривалості.

Аналізуючи результати, можна припустити, що межа малоциклової витривалості складе $\eta_{u,cyc} = 0,88 \dots 0,9$. Оскільки малоциклова втомленість настає за пружно-пластичного проковзування стержнів, певно, для уточнення значення $\eta_{u,cyc}$ необхідно провести дослід з бетонами різних класів, які б мали різні пружно-пластичні характеристики. Експериментально підтверджено, що при повторних навантаженнях до рівня $0,6$ стабілізація деформацій відбувається на п'ятому-шостому циклах, а при навантаженнях до рівня $0,75$ деформації помірно зростають на $0,001$ мм з кожним циклом.

1. Барашиков А.Я., Мурашко Л.А., Георгиев Г.Д. Методика экспериментальных исследований сил сцепления арматуры с керамзитобетоном при периодическом нагружении / Сопротивление предварительно напряженных элементов железобетонных конструкций с арматурой без сцепления с бетоном. – Владивосток, 1982. – С. 55-57.
2. Сайдахмедов А.Ш. Сцепление арматуры периодического профиля с бетоном при кратковременных малоцикловых нагрузках / Новые исследования в области бетонных и железобетонных конструкций. – Ташкент, 1985. – С. 80-84.
3. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови. ДСТУ 3760:2006 .- Київ: Держспоживстандарт України, 2007. – 28 с.
4. Худик Ю.Т., Рыбалка Е.М., Кекух А.В., Жильцов Н.П., Климов Ю.А. Производство и применение арматурного проката класса А500С / Будівельні конструкції: Збірник наукових праць. – Київ: НДІБК, 2003, - Випуск 59. – Книга 1. – С. 22-25.
5. ГОСТ 23207-78. Сопротивление усталости. Основные термины, определения и обозначения.- Москва: Издательство стандартов, 1978. – 48 с.
6. Бабич Є.М., Крусь Ю.О. Бетонні і залізобетонні елементи в умовах малоциклових навантажень.- Рівне: Видавництво Рівненського державного технічного університету, 1999. – 119 с.
7. Бабич Є.М. Дослідження малоциклової втомленості зчеплення бетону з арматурою серповидного профілю / Чапюк О.С / Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. – Рівне: НУВГП, 2008. – Випуск 17. – С. 105-113.
8. Чапюк О.С. Зчеплення арматури з арматурним прокатом серповидного профілю при короткочасних одноразових і повторних навантаженнях / Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук: 05.23.01. – Луцьк: ЛНТУ, 2009. – 169 с.

Стаття надійшла до редакції 24.09.2013.

УДК 621.785

С.М. Чернега, І.Ю. Медова

ХАРАКТЕРИСТИКА БОРИДНИХ ПОКРИТТІВ ЛЕГОВАНИХ КРЕМНІЄМ НА СТАЛІ 45

Представлено результати дослідження по нанесенню боросиліцидних покриттів порошковим методом на сталі 45. Визначено товщину та мікротвердість отриманих покриттів та їх фазовий і хімічний склад. Встановлено, що боридні покриття леговані кремнієм є більш пластичними, мають в 1,5 разів вищу тріщиностійкість (K_{Ic}) та зносостійкість порівняно із нелегованими.

Ключові слова: борування, боросиліціювання, тріщиностійкість.

Рис. 6. Табл. 2. Форм. 2. Літ. 7.

С.М. Чернега, И.Ю. Медова

ХАРАКТЕРИСТИКА БОРИДНЫХ ПОКРЫТИЙ ЛЕГИРОВАННЫХ КРЕМНИЕМ НА СТАЛИ 45

Представлены результаты исследования по нанесению боросилицидных покрытий порошковым методом на стали 45. Определены толщина и микротвердость полученных покрытий и их фазовый и химический состав. Установлено, что боридного покрытия легированные кремнием более пластичными, имеют в 1,5 раз выше трещиностойкость (K_{Ic}) и износостойкость по сравнению с нелегированной.

Ключевые слова: борирования, боросилицирование, трещиностойкость.

S.M. Chernega, I.Ju. Medova

DESCRIPTION OF COATINGS BORYDNYH DOPED SILICON ON STEEL 45

The results of research on drawing borosilytsydyh powder coatings on steel by 45. Defined thickness and microhardness of the coating and the phase and chemical composition. Established that borydni coating doped silicon is more plastic, are 1.5 times higher fracture toughness (K_{Ic}) and wear resistance compared to undoped.

Keywords: boruvannya, borosyliysiyuvannya, crack.

Вступ. Експлуатаційні властивості і довговічність будь-якого механізму в значній мірі визначаються станом поверхневих шарів матеріалу, в яких концентруються найбільші напруги і які відповідальні за такі властивості, як корозійна стійкість, жаростійкість й зносостійкість виробу або механізму в цілому.

Одним з основних методів збільшення терміна служби деталей машин і інструмента є хіміко-термічна обробка, що дозволяє додати поверхні металів і сплавів високу твердість і зносостійкість, опірність корозії й ерозії, підвищену жаростійкість і стійкість проти радіаційного опромінення. У багатьох випадках ХТО являється єдиною можливим засобом для рішення конкретної технічної задачі.

Підвищення надійності і довговічності роботи машин і механізмів багато в чому залежить від зносостійкості поверхні деталей, що працюють на тертя. Однак, найбільше поширені види ХТО - цементация, ціанування, азотування часто не можуть задовольняти зростаючим вимогам до зносостійкості робочих поверхонь. У зв'язку з цим останнім часом приділяється велика увага розробці нових типів зносостійких покриттів.

Серед відносно нових процесів ХТО особливе місце займає дифузійне борування металів і сплавів з додаванням інших легуючих елементів, що дозволяє змінити структуру і фазовий склад боридних шарів і, як наслідок, одержати більш високу твердість і зносостійкість поверхні, в порівнянні з іншими видами поверхневої обробки.

З метою підвищення зносостійкості, жаростійкості та корозійної стійкості металів та сплавів, застосовують борування з легуючими добавками кремнію. В результаті дифузійного насичення змінюється структура поверхневих боридних шарів на сталі та формується підшарок збагачений легуючими елементами, який володіє високим комплексом експлуатаційних властивостей. Боросиліціювання дозволяє покращити якість поверхні, зменшити крихкість покриття та забезпечити високу експлуатаційну стійкість виробів та низьку собівартість. Цей процес може застосовуватися у металургійній, хімічній, авіаційній, машинобудівній та суднобудівній галузях промисловості.

Матеріали і методика експерименту. Борування з легуючими добавками здійснювали порошковим методом у спеціальному контейнері за умов зниженого тиску при температурі 970 °С протягом 4 годин. Дослідження проводилось на зразках із сталі 20, 45, У8А.

Вибір оптимальної температури процесу насичення є важливим фактором при боросиліціюванні. Наприклад, при температурі нижче 900 °С, процес насичення значно

сповільнюється і зменшується вміст елементів у дифузійному шарі, а при температурах вище 1000 °С, утворюється шар з підвищеною крихкістю, пористістю та з глибокими радіальними тріщинами, що призводять до погіршення експлуатаційних властивостей. Тому обрана температура є найбільш оптимальною для даного виду поверхневої обробки.

Зразки, попередньо, піддавалися шліфуванню, поліруванню та знежиренню в етиловому спирті, а потім завантажувалися в контейнер з нержавіючої сталі і засипалися насичуючою сумішшю. При цьому відстань між зразками і стінками контейнера складала не менше 5 мм. Насичення сталі бором та кремнієм проводили у сумішах, які містять технічний карбід бору В₄С, а також порошки Fe-Si та Si. В якості активуючої добавки використовували фторопласт.

Для відділення реакційного простору контейнера від пічної атмосфери і запобігання проникненню в нього повітря контейнер закривали листом азбесту і засипали натросилікатним склом завтовшки 10 мм. При нагріві до температури борування, натросилікатне скло розплавляється (750 – 800 °С) і герметизує контейнер. Нагрівання тиглів і наступну ізотермічну витримку проводили в лабораторній печі типу СНОЛ - 1,6,2,5.1/11М.

По закінченню ізотермічної витримки контейнер з деталями діставали з печі і охолоджували до кімнатної температури на повітрі. Після охолодження контейнера, силікат розбивали, контейнер розпаковували і витягували деталі з чистою поверхнею, які не вимагають додаткового очищення.

Цей метод має наступні переваги: простота технологічного процесу, дозволяє обробку виробів різної конфігурації, можна отримати дифузійні шари різної товщини.

Візуальне вивчення і мікроструктурні дослідження боридних покриттів проводили на металографічному мікроскопі Carl Zeiss в інтервалі збільшення 100...1000 разів. Полірування шліфів проводили на полірувальних кругах алмазною пастою зернистістю від 28 до 1 мкм, що забезпечувало одержання високої якості поверхні дослідження. У якості реактиву для хімічного травлення використали 3...5% -ий розчин азотної кислоти в етиловому спирті; витримка - 30с.

Вимірювання товщини дифузійних шарів та мікротвердості проводили на приладі ПМТ-3 не менш, ніж в 10 - 15 полях зору при навантаженні 0,49 – 0,98 Н. Точність вимірювання мікротвердості складала ± 500 МПа. Аналізували фазовий склад покриттів на рентгенівському дифрактометрі ДРОН 2.0 у мідному K_{α1},K_{α2} монохроматичному випромінюванні і визначали їх хімічний склад на аналізаторі «Сameбах Sx50».

Результати досліджень. Отриманий дифузійний шар при нанесенні в насичуючому середовищі із додаванням кремнію на відміну від боридних покриттів отриманих без легування складався з боридних фаз FeB, Fe₂B та додатково виявленої фази графіту, що підтверджено рентгеноструктурними дослідженнями (рис.3). Фаза графіту вперше виявлена при додаванні в насичуючу суміш для борування кремнію. При введенні в насичуюче середовище Ti, Cr, V, Nb, Mo, W чи інших елементів, фаза графіту не виділяється. Фазовий аналіз проведений з поверхні зразка з боридним покриттям, легованим кремнієм, при цьому рентгенівське проміння проникає на глибину до 15 мкм, встановив кількісний розподіл фаз в приповерхневій зоні. Виявлено, що фаза FeB становить 68,13 мас %, Fe₂B 28,36 мас %, графіт 3,51 мас %. При відповідних дослідженнях боридного покриття без легування кремнієм в поверхневому шарі виявляється тільки фаза FeB. Рентгеноструктурні дослідження підтверджують об'ємний перерозподіл фаз FeB та Fe₂B в боридному покритті, при легуванні кремнієм і фіксують зменшення об'єму фази FeB.

В таблиці 1 наведено параметри кристалографічної ґратки боридної фази FeB та результати дослідження зміни періодів кристалічної ґратки фази FeB після легування кремнієм.

Із даних наведених в таблиці видно, що спостерігається зміна періодів кристалічної ґратки фази FeB, що обумовлено утворенням твердих розчинів заміщення (Fe,Si)B та (Fe,Si)₂B. Радіус атома Si має 0,111 нм, а радіус атома Fe – 0,156 нм та B - 0,087 нм. Зменшення періодів елементарної кристалічної ґратки, за рахунок легування боридних фаз елементами з меншим радіусом атома, сприяє зростанню міцності кристалічної ґратки при утворенні твердих розчинів заміщення.

Зменшення об'єму елементарної кристалічної ґратки приводить до зміни міжатомних зв'язків в кристалічній ґратці, що сприяє зростанню мікротвердості в боридних фазах легованих Si.

При легуванні Si періоди ромбічної решітки фази FeB зменшуються, найбільші зміни спостерігаються для параметру b.

Таблиця 1. Параметри кристалічної ґратки фаз після борування та боросиліювання

Назва фази	Параметри кристалічної ґратки, А		
	a	b	c
FeB (після боросиліювання)	4,0549	5,4899	2,9457
Fe ₂ B(після боросиліювання)	5,1021	-	4,2450
Графіт(після боросиліювання)	2,6040	-	6,6963
FeB (після борування)	4,0603	5,5023	2,9504
Зміна параметрів кристалічної ґратки фази FeB після боросиліювання	$\Delta a = - 0,0054\text{А,}$	$\Delta b = - 0,0124$	$\Delta c = - 0,0047$

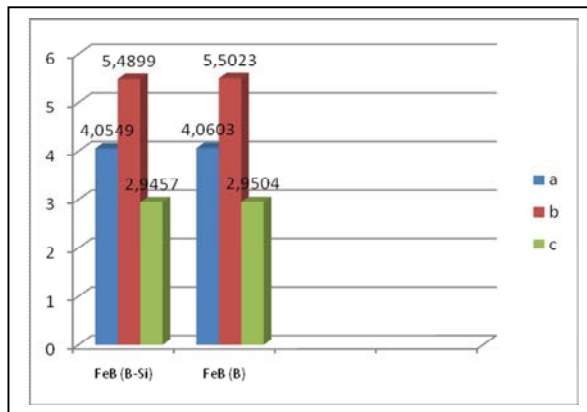


Рис. 1. Параметри кристалічної ґратки фази FeB після борування та боросиліювання

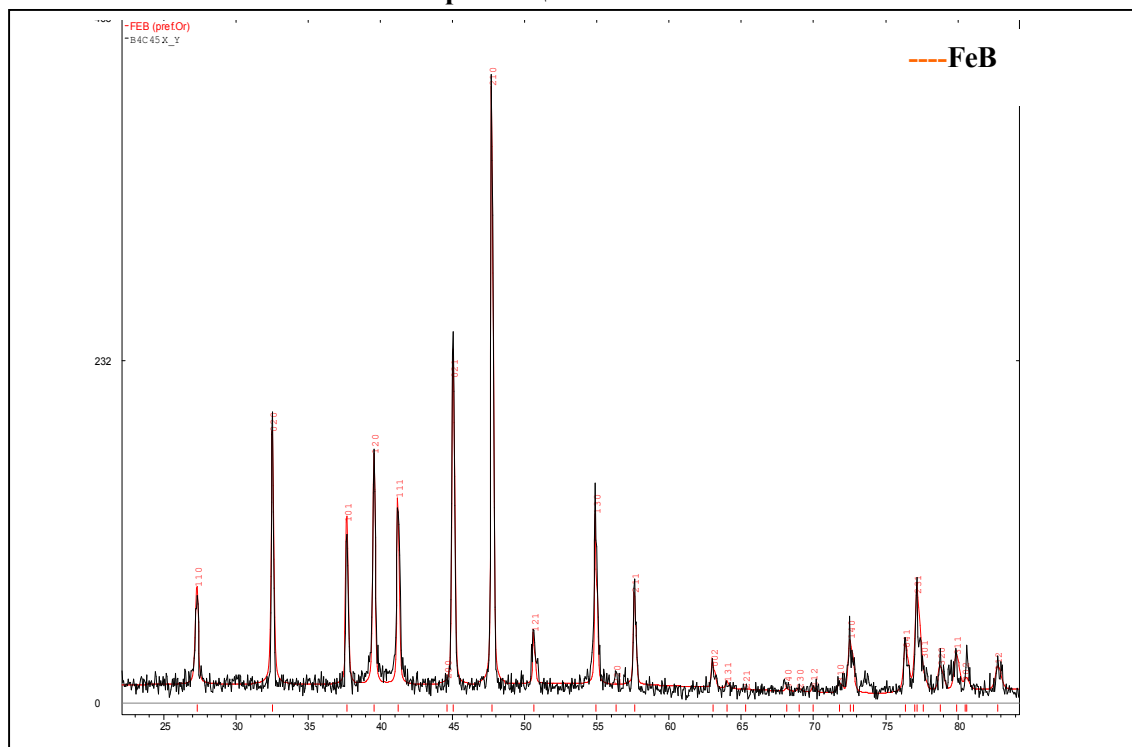


Рис. 2. Дифрактограма сталі 45 з боридним покриттям

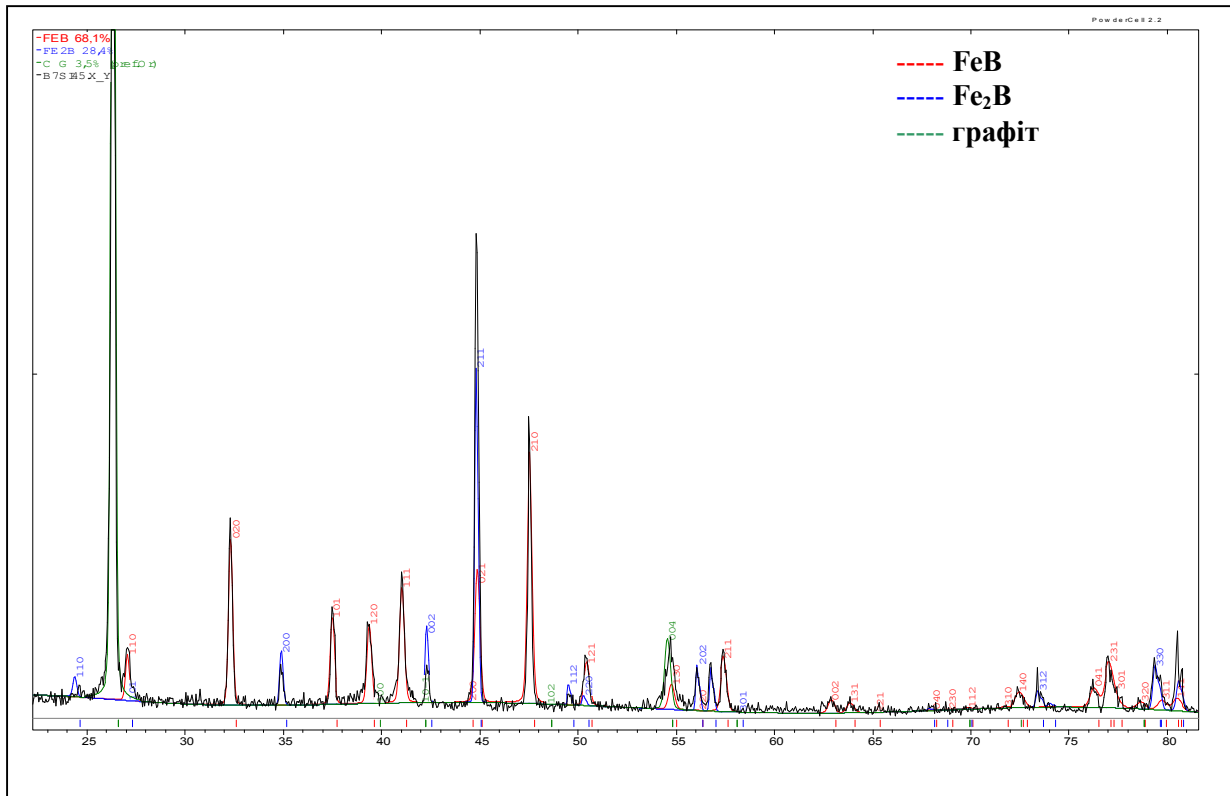


Рис. 3. Дифрактограма сталі 45 з боросиліцидним покриттям

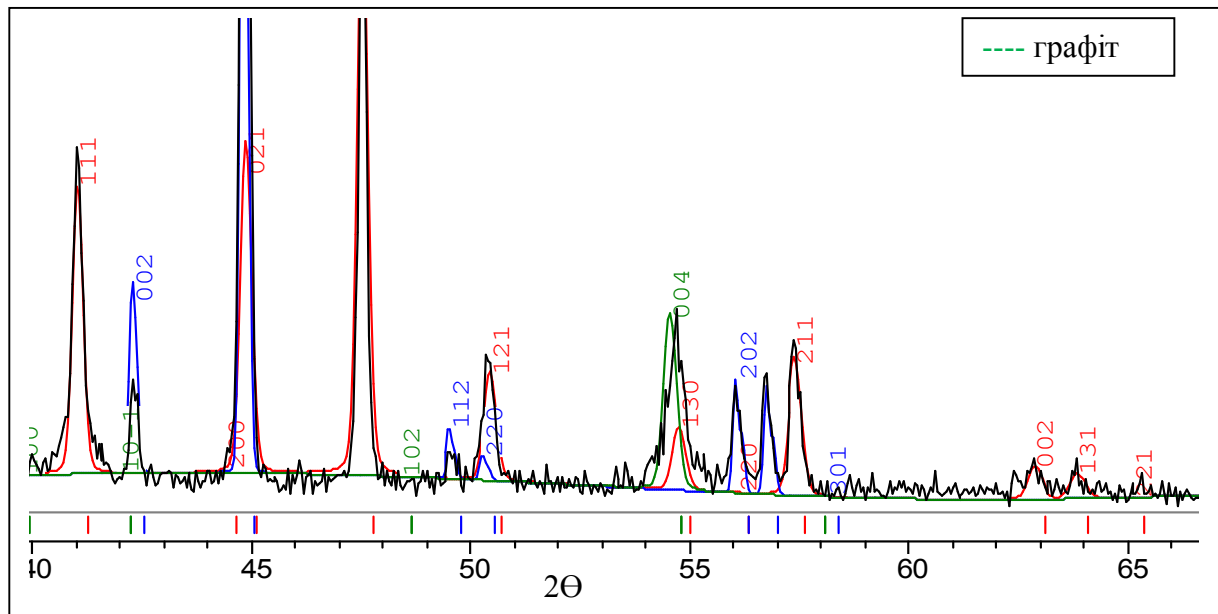


Рис. 4. Дифрактограма сталі 45 з боросиліцидним покриттям

Мікроструктура боридного шару представляє собою голки боридів, котрі орієнтовані перпендикулярно поверхні зразка і вклинюються в матрицю та включень графіту, які нами виявлено (рис.5). Голкоподібна будова боридних шарів вказує на те, що при їх формуванні відбувається ріст боридних фаз в напрямку, перпендикулярному до поверхні зразка, в той час як вздовж поверхні розвиток цих фаз протікає слабо. Фаза графіту зосереджена в поверхневій та при поверхневій зоні покриття, скупчується в порах у вигляді темних зон, які чергуються із світлими ділянками фази FeB, що добре виявлено на структурі поперечних шліфів боридних покриттів на рис.5. Розміри і кількість пор, які можна ідентифікувати як темну складову структури при поверхневого шару зростає із збільшенням вмісту вуглецю в сталі, що піддається насиченню. Так, для сталі У8, (рис.5) до 40% поверхні зайнята порами, в яких може знаходитись графіт.

Для виміру в'язкості руйнування монокристалів твердих кристалічних матеріалів

застосовували метод Еванса – Чарльза [5, 6]. При цьому K_{1c} визначається по довжині радіальних тріщин, що утворюються навколо відбитка від індентора Вікерса, з напівемпіричного співвідношення:

$$K_{1c} = 0,015 \cdot (E/H)^{1/2} \cdot P/C^{3/2} \quad (1)$$

або графічної залежності між $(K_{1c} - \Phi/H) - (H/E - \Phi)$ і c/a , де Φ - постійна Маршу; H - твердість по Вікерсу; a - напівдіагональ відбитку; c - довжина радіальної тріщини; E - модуль Юнга.

Критичну напругу руйнування визначали за формулою:

$$\sigma = K_{1c} / \alpha \cdot L^{0,5} \quad (2)$$

де σ – критична напруга руйнування, L – поперечний розмір боридного зерна, α – геометрична константа (π).

Розрахункові дані напружень сколювання, які можуть виникати в боридних фазах в залежності від параметру K_{1c} на сталі 45 представлено в таблиці 2.

Таблиця 2. Розрахункові дані напружень сколювання боридних покриттів (фаза FeB)

Джерело кремнію при насиченні	$K_{1c} \cdot 100$ МПа*м ^{0,5}	σ сколювання при $L =$	
		15 мкм	20 мкм
		МПа	МПа
Si	197	237,18	299,27
Феросиліцій	194	229,93	289,07
Без легування	110	189,53	218,69

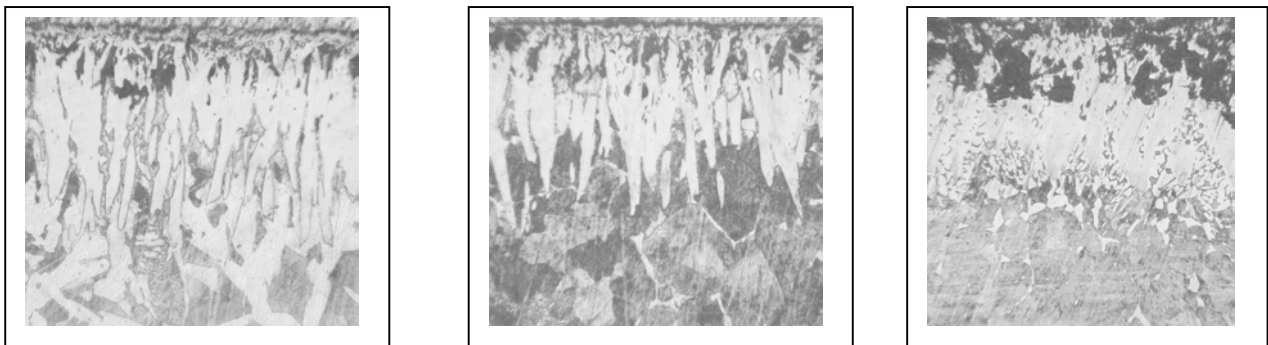


Рис. 5. Мікроструктура покриттів після боросиліціювання на сталях 20, 45, У8А, Х 200

Для визначення хімічного складу покриттів був застосований мікрорентгеноспектральний аналіз, який проводили, використовуючи електронний растровий мікроскоп – РЕМ 106І при збільшенні 2000 раз, точністю 0.01% мас. Визначення хімічного складу виконано методом EDS, розрахунок кількісного хімічного складу – по методу ZAF.

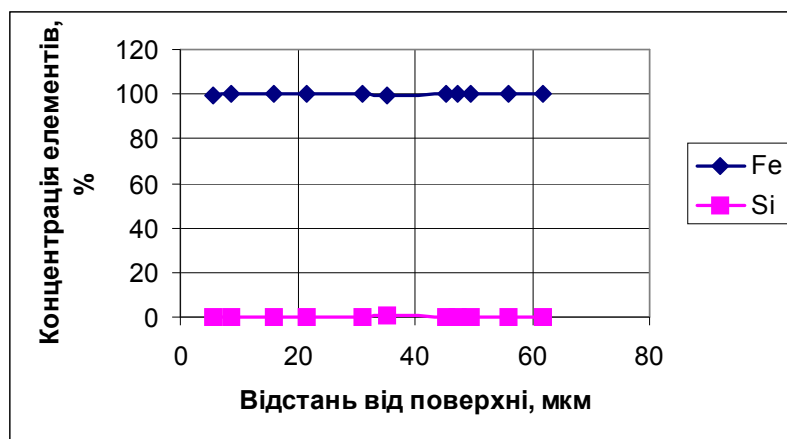


Рис. 6. Розподіл елементів по перерізу дифузійного шару на сталі 45 після боросиліціювання

Встановлено, що кремній рівномірно розподіляється по товщині покриття в кількості до 0,8 % по об'єму. Крім того, спостерігаються ділянки, в яких кремнію міститься до 50% по об'єму.

Висновки. Боросиліціювання забезпечує зміну фазового складу боридних фаз, а саме: виділення фази графіту та зменшення об'єму фази FeB на 30% в покритті. Також спостерігається перерозподіл характеристик боридних фаз, а саме: підвищення мікротвердості фази FeB до 20 - 22 ГПа, фази Fe₂B до 17 ГПа та зростання тріщиностійкості K_{1C} в 1,8 разів і збільшення значень напружень сколювання в 1,3-1,4 рази. Зростання пористості в поверхневих зонах боридних покриттів при заповненні пор графітом сприяє підвищенню зносостійкості боридних шарів за рахунок зменшення коефіцієнта тертя, що встановлено нашими випробуваннями. Підвищення мікротвердості фази FeB, Fe₂B після боросиліціювання порівняно із мікротвердістю цих фаз після борування пов'язано із легуванням фаз кремнієм – (Fe, Si)B, (Fe, Si)₂B, що підтверджено зміною періодів а, в, с ромбічної решітки фази, причому параметри решітки зменшуються. Встановлено, що вміст вуглецю у сталі впливає на товщину дифузійного шару. Це пов'язано із тим, що вуглець витісняється у перехідну зону. Тому зі збільшенням вмісту вуглець у матеріалі основи, товщина покриття зменшується.

1. Ляхович Л.С. Состояние и перспективы развития процесса борирования. – К.: «Наукова думка», 1972. – 194 с.
2. Похмурский В.И., Далисов В.Б., Голубец В.М.. Повышение долговечности деталей машин с помощью диффузионных покрытий. – Киев.: Наукова думка, 1980. – 188 с.
3. Спиридонова І.М. Фазові перетворення в композиційних матеріалах з залізними зв'язками, що містять бор та вуглець / І.М. Спиридонова, О.В. Сухова, О.Г. Безрукава // Доповіді НАН України. – 2002. – № 10. – С. 93-97.
4. Баландин Ю.А. Комплексное насыщение поверхности инструментальных сталей бором, медью, хромом в псевдоожигеном слое// Изв. Вуз. Черная металлургия. – 2005. – №5. – 50 с.
5. Чернега С.М. Комплексное насыщение углеродистых сталей бором и хромом в активированной среде// Изв. Вуз. Черная металлургия. – 1999. – №1. – 58 с.
6. Нарва В.К. Полеченко А.В. Нанесение покрытий карбидосталей на стальную основу// Изв. Вуз. Черная металлургия. – 1995. – №1. – 47 с.
7. Баландин Ю.А. Диффузионное силицирование в псевдоожигеном слое // МиТОМ. – 2006 – №3. – 31 с.

Стаття надійшла до редакції 24.05.2013.

УДК 621

Т.І. Четвержук
ВПЛИВ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕТАЛЕЙ І ВУЗЛІВ ВЕРСТАТІВ

Якість поверхневого шару надає істотний вплив на багато експлуатаційних властивостей деталей машин, їх з'єднань, а внаслідок цього на експлуатаційні властивості і надійність виробу. Формування мікрогеометрії поверхні і якості поверхневого шару є складним фізичним процесом з активною фізико-хімічною взаємодією усіх матеріалів, що знаходяться у зоні обробки.

Експлуатаційні характеристики деталей і вузлів верстатів залежать не стільки від якості металу всього перерізу, скільки від фізико-хімічних властивостей та стану поверхні виробів. Обумовлено це тим, що в поверхневих шарах при різних схемах навантаження виникають найбільші напруження. При виготовленні деталей машин необхідно забезпечити оптимальні показники якості поверхні, зокрема шорсткість, макро- і мікроструктуру матеріалу, твердість, величину і знак залишкових напружень.

Ключові слова: коефіцієнт тертя, мікрогеометрія, жорсткість стиків, деформації, хвилястість, зношення.

Рис. 2. Форм. 1. Літ. 7.

Т.И. Четвержук
ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ СТАНКОВ

Качество поверхностного слоя оказывает существенное влияние на многие эксплуатационных свойств деталей машин, их соединений, а вследствие этого на эксплуатационные свойства и надежность изделия. Формирование микрогеометрии поверхности и качества поверхностного слоя является сложным физическим процессом с активной физико-химическим взаимодействием всех материалов, находящихся в зоне обработки.

Эксплуатационные характеристики деталей станков зависят не столько от качества металла всего сечения, сколько от физико-химических свойств и состояния поверхности изделий. Обусловлено это тем, что в поверхностных слоях при различных схемах нагружения возникают наибольшие напряжения. При изготовлении деталей машин необходимо обеспечить оптимальные показатели качества поверхности, в частности шероховатость, макро- и микроструктуру материала, твердость, размер и знак остаточных напряжений.

Ключевые слова: коэффициент трения, микрогеометрия, жесткость стыков, деформации, волнистость, износ.

T.I. Chetverzhuk
EFFECT OF SURFACE LAYER ON QUALITY PERFORMANCE PARTS AND
COMPONENTS OF MACHINE TOOLS

The quality of the surface layer has a significant impact on many performance properties of machine parts and their connections, and consequently the performance and reliability properties of the product. Formation of microgeometry and surface quality of the surface layer is a complex physical process with an active physical and chemical interaction of all materials found in the treatment zone.

Performance parts and components of machines depend not only on the quality of the metal section just as the physico-chemical properties and surface condition of products. This is due to the fact that in the surface layers at different load circuits having the greatest stress. In the manufacture of machine parts to ensure optimal performance surface quality, including roughness, macro-and microstructure of the material hardness, the magnitude and sign of the residual stresses.

Keywords: friction, microgeometry, stiffness of joints, warping, waviness, wear.

Аналіз останніх досліджень і публікацій Нижче приводиться короткий перелік властивостей, функціональна залежність яких від параметрів поверхневого шару встановлена експериментально: експлуатаційні властивості, пов'язані з процесами тертя (коефіцієнт тертя, зносостійкість, інтенсивність і час прироблення, схильність до схоплювання поверхонь при терті, гідравлічна підйомна сила в парах ковзання); властивості, обумовлені стиковими явищами (жорсткість стиків в нормальному напрямі, дотична жорсткість стиків, теплопровідність стиків, демпфуючі властивості стиків); властивості міцності (втомна, циклічна, статична, термічна втомна міцність, пластичність металу, ударна в'язкість, міцність клейових з'єднань, міцність пресових з'єднань; опір агресивним середовищам (корозійна, ерозійна і кавітаційна стійкість); оптичні властивості (відбивна здатність і прозорість); аеро- і гідравлічні властивості (опір потоку рідини або газу, зміна коефіцієнтів тепловіддачі і теплопередачі); точнісні показники деталей; інші властивості (електричні, електромагнітні, акустичні).

З фізико-механічних властивостей на якість поверхні надає вплив структура металу поверхневого шару деталі. В процесі обробки під впливом високого тиску інструменту і високого нагрівання, структура поверхневого шару змінюється, і значно відрізняється від структури

основного металу. Поверхневий шар отримує підвищену твердість в наслідок наклепу, в ньому виникають внутрішні напруження. Глибина і ступінь наклепу залежать від властивостей металу деталей, способів і режимів обробки. Після механічної обробки в поверхневому шарі виникають внутрішні напруження, величина і знак залежить від методів і режимів обробки. Внутрішні напруження виникають під сумісною дією силових і теплових факторів. Силкові фактори (пластичні деформації) викликають утворення стискаючих напружень, теплові – розтягуючих.

З приведенного переліку видно, що якість поверхневого шару надає вплив на багато властивостей деталей і їх з'єднань. Проте об'єм теоретичних і експериментальних досліджень по встановленню конкретних залежностей не однорідний.

Метою дослідження є визначення впливу якості поверхневого шару на різні експлуатаційні та деформаційні властивості при металообробці.

Деформації стиків грають значну роль в загальному балансі жорсткості металоріжучих верстатів і їх вузлів, що вперше було відмічено ще К.В. Вотіновим. Як показали численні досліди, стикова деформація Δ може бути підрахована по формулі $\Delta = c \cdot p^x$, де c і x – коефіцієнти; p – нормальний контактний тиск.

Великий вплив на стикову деформацію роблять мікрогеометрія, хвилястість і макрогеометрія. У загальному вигляді великим нерівностям відповідають великі деформації. Проте тільки одна висота нерівностей не визначає величину деформації. Великий вплив на деформацію здійснює також форма вершин нерівностей, яка в першому наближенні може бути оцінена усередненою формою опорної кривої $\eta = b \cdot e^v$. Докладні експериментальні дані по впливу режимів і методів обробки на коефіцієнти b , v , а також на величини радіусів закруглень вершин мікронерівностей отримані Е.В. Рижовим.

Аналіз процесів, що відбуваються при стикових деформаціях, дозволив дати ряд аналітичних формул за їх розрахунком (рис. 1).

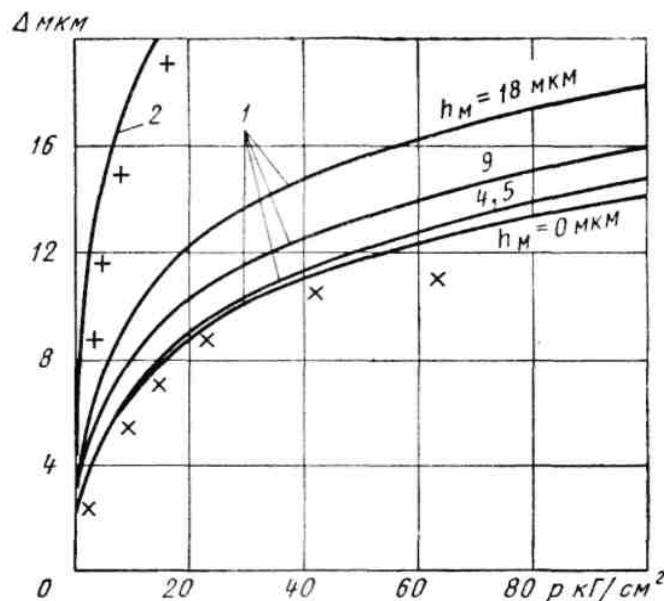


Рис. 1. Розрахункові криві впливу контактної тиску на стикові деформації струганих поверхонь при: 1 - $s = 0,28$; 2 - $s = 0,56$ мм/дв. хід

Для випадку контакту двох однакових шорстких поверхонь була отримана формула

$$p = \frac{12\sigma_0\sigma^4}{S^2h^2} \left(\frac{S}{4H_m} - \frac{H_m}{S} \right) \cdot I^5 \varphi \left(\frac{z}{\sqrt{2}} \right) \quad (1)$$

де σ_0 — середній тиск на майданчику контакту;

σ — середнє квадратичне відхилення для розподілу висот вершин мікронерівностей;

S — середній крок мікронерівностей;

I^5 — спеціальна табульована функція, що є кратним інтегралом 5-го порядку від функції нормального розподілу;

$\frac{2b-x}{\sigma\sqrt{2}}$ (b — відстань між медіаною кривої розподілу висот вершин мікронерівностей і середньою лінією профілю, x — деформація).

Форма розрахункових кривих «тиск – стикова деформація», їх відповідність експериментальним даним для струганих поверхонь і вплив макронерівностей представлені на рис. 2.

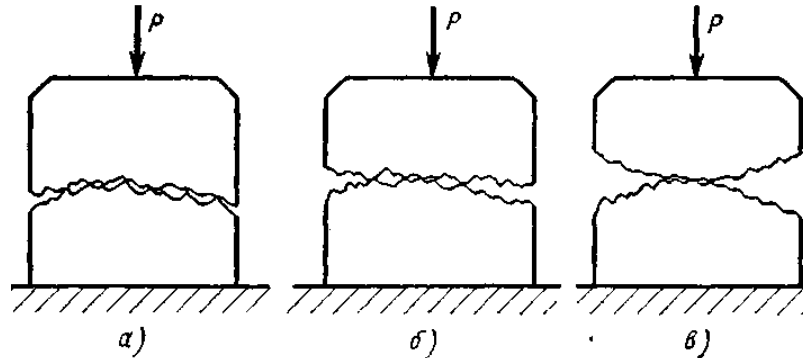


Рис. 2. До аналізу впливу форми і взаємного розташування макронерівностей на жорсткість стику

Ряд формул аналогічного призначення були отримані Н. Б. Демкиним, Е. В. Рижовим.

Окрім мікрогеометрії, на стикові деформації великий вплив роблять макронерівності, причому в загальному вигляді збільшення макронерівностей також призводить до зниження жорсткості.

Проте на практиці облік їх впливу важчий. Умови контакту двох поверхонь можуть бути різними залежно від взаємного розташування і форми макронерівностей. Розрахувати заздалегідь взаємне розташування хвиль макронерівностей для конкретних деталей можна лише з певним ступенем вірогідності. Цей момент обумовлює значне розсіювання результатів вимірів жорсткості стиків за наявності нерівностей макрогеометричного порядку.

Залежно від умов контакту розрізняють три основні види тертя: сухе, граничне і рідинне. Найпомітніше вплив геометрії поверхні на коефіцієнт тертя для перших двох випадків. Як показують аналітичні формули, дана залежність визначається, в першу чергу, висотою мікронерівностей h_M , формою опорної кривої (коефіцієнти b , ν), радіусом закруглення вершин мікронерівностей.

На коефіцієнт сухого тертя, окрім параметрів мікрогеометрії, впливає і величина макронерівностей, що визначає контурний тиск q_c . Аналіз теоретичних формул показує, що поліпшення чистоти поверхонь підвищує величину коефіцієнта тертя. Проте для порівняно грубо оброблених поверхонь стає помітним механічне зачеплення вершин мікронерівностей, що приводить до збільшення коефіцієнта тертя, що у формулах не враховується. Тому в загальному вигляді залежність від висоти мікронерівностей має екстремальний характер. Певний вплив на коефіцієнт тертя надає і взаємне розташування рисок, отриманих при обробці на поверхнях ковзання. Висоти мікронерівностей роблять вплив на коефіцієнт тертя і за наявності мастила. Ця залежність зазвичай також має екстремальний характер.

Зношення, що відбувається в процесі тертя, викликає зміна мікро- і макрогеометрія поверхонь, що труться, що обумовлює зміну і коефіцієнта тертя. Тому в кінці періоду прироблення поверхні з різною початковою мікро- і макрогеометрією можуть мати приблизно однакові значення коефіцієнтів тертя.

Зношення є складним процесом, на інтенсивність зносу впливає велике число чинників. В даний час найбільш вивчені наступні види зносу: абразивний, окислюваний, зношення схоплюванням 1-го і 2-го роду, дифузійний і втомний.

В процесі зносу відбувається безперервна зміна параметрів поверхневого шару. Тому найпомітніше їх вплив в період прироблення. Проте є приклади, коли параметри початкової поверхні впливають на процес зношення і після його прироблення.

Таким чином, що на інтенсивність зносу роблять вплив висота мікро- і макронерівностей, форма опорної кривої, радіус закруглення вершин мікронерівностей, механічні характеристики

матеріалу мікронерівностей. Залежність інтенсивності зносу від висоти мікронерівностей в умовах граничного і гідродинамічного тертя зазвичай носить екстремальний характер, причому мінімальному значенню відповідає їх висота, яка виходить в процесі прироблення.

На тривалість прироблення великий вплив роблять макрогеометрія поверхні. Як показано Прониковим А.С., що відбуваються при цьому перерозподіл і зміна епюр контактної тиску істотно позначаються на працездатності і надійності даних вузлів машин.

Тривалість процесу прироблення залежить від інтенсивності зносу і погіршеності макрогеометричного порядку. У реальних умовах нерідкі випадки, коли період прироблення займає істотну частку часу від загального часу роботи з'єднання. У цих випадках вплив якості поверхневого шару на довговічність і надійність особливо великий.

Істотний вплив робить величина мікронерівностей на пластичні властивості металу. Численні досліді різних вчених показали, що збільшення мікронерівностей призводить до різкого зниження пластичності.

Дослідження С.С.Кедрова, Кудинова Д.Н.та ін. присвячені вивченню впливу характеристик стиків на вібростійкість верстатів. Особливо показано суттєвий вплив демпфуючої здатності стиків.

У контактній деталі машин дійсна площа дуже мала. При стисненні куль і циліндрів це пов'язано з формою деталей. В умовах контакту по площини або по циліндровій поверхні це пов'язано з мікро- і макронерівностями, внаслідок чого при малих навантаженнях дійсна площа складає долі відсотка від номінальної. Тому в прецизійних машинах контактні деформації превалюють над власними. Це особливо відноситься до металоріжучих верстатів, які характеризуються: великою кількістю рухомих сполучень деталей, малими навантаженнями при остаточних точних операціях і особливо високими вимогами до точності. Роль контактних деформацій ілюструється наступним прикладом: контактні деформації в направляючих верстатів, що мають величини порядку 1 мкм на кожен 0,1 МПа тиску, в середньому рівні деформації чавунного стрижня довжиною 1 м під дією стискуючої напруги, рівної тиску в направляючих.

Контактні деформації при ідеальній площинній стиків або досконалому макроприляганні деталей невеликі. Спостережувані великі зближення в контактах деталей машин відбуваються внаслідок збільшених контактних деформацій на контактуючих вершинах макрохвиль, розпрямлення хвиль і загальних пружних деформацій деталей в зоні контакту. Контактні деформації знижують точність роботи приладів, верстатів і інших прецизійних машин, а також впливають на працездатність деталей і вузлів машин: на коливання і динамічні навантаження, на концентрацію і розподіл тиску в контактній деталі машин, а отже, на їх зносостійкість і довговічність. Ефект контактних деформацій не завжди негативний. Вони вирівнюють розподіл тиску між деформуються поверхнями, що контактують пружно.

Висновки. Значний інтерес представляє вивчення жорсткості стиків безпосередньо у вузлах машин і жорсткості всієї машини, коли враховується реальний стан поверхневого шару, розміри його номінальної і фактичної площі, напрям дії навантаження, наявність мастила і тому подібне.

При великих номінальних площах контакту пружні зближення значно більше і вони ближче слідуєть закону Гука. Це пов'язано з великими відхиленнями поверхонь, що сполучаються, від площини, великими власними деформаціями контактуючих деталей і більшою їх роллю в балансі переміщень, а також великим місцевим тиском на макроплямах контакту.

Контактуючі поверхневі шари володіють не тільки нормальною, але і дотичною податливістю. Для особливо точних розрахунків переміщення (переважно в умовах пружного повороту), а також для розрахунків міцності фрикційних зчеплень і демпфування коливань представляє інтерес знання дотичної контактної податливості.

1. Вогинов К.В. Жесткость станков. Л.: ЛОНИТОМАШ, – 1940 – 256 с.
2. Демкин Н.Б. Фактическая площадь касания твердых поверхностей. М.: Изд-во АН СССР, 1962. – 110 с.
3. Демкин Н.Б., Э.В. Рыжов. Качество поверхности и контакт деталей машин. – М.: Машиностроение, 1981. 224 с.
4. Кудинов В.А. Динамика станков – М. машиностроение, 1967 – 360 с
5. Проников А.С. Параметрическая надежность машин. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 560 с.
6. Решетов Д.Н., Левина З.М. Расчеты на контактную жесткость в машиностроении // Вопросы прочности материалов и конструкций. Сборник. М.: Изд. АН СССР, 1959. – С. 375-392.
7. Рыжов Э.В. Контактная жесткость деталей машин. М.: Машиностроение, 1966. – 196 с.

Стаття надійшла до редакції 24.09.2013.