

**Section: INTELLIGENT SYSTEMS OF MANUFACTURE**

UDC 004.896 (075.8)

Пальчевський Б. О., д.т.н., проф  
Заслужений діяч науки і техніки  
України

«Східноєвропейське наукове  
товариство» / Ukraine

**КЛАСИФІКАЦІЯ І АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИН ЗА  
ХАРАКТЕРОМ ВЗАЄМОДІЇ ЇХ РОБОЧИХ І ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ПРОЦЕСІВ**

***Анотація:** у статті описано деякі проблемні питання, що стосуються аналізу і класифікації технологічних машин і показані можливі шляхи підвищення їх досконалості при проектуванні на базі використання останніх досягнень інтелектуального виробництва, розвитку мехатроніки і цифрового моделювання. Метою роботи є удосконалення методів досягнення заданого рівня якості технологічного обладнання ще на стадії їх проектування, а також формування нового принципу прогнозування якості машин по параметру керованості.*

***Ключові слова:** інтелектуальна виробнича система, автоматична пакувальна машина, інтелектуальне виробництво, цифрова модель, автоматизована система керування, інформаційний процес, робочий процес, адаптивна система керування*

**ВСТУП, ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ**

Розвиток українського машинобудування сьогодні немислимий без створення високопродуктивного і конкурентоспроможного технологічного обладнання [3, 15]. Першочерговим завданням постає питання формування нових підходів до проблемних питань будови технологічного обладнання нових поколінь. На сьогоднішній день найкращих результатів в глобальній міжнародній конкуренції досягли машини, що базуються на ідеях інтелектуального виробництва, які на основі системного підходу об'єднують принципи і методологію цифрового моделювання, штучного інтелекту, мехатроніки. [2, 4, 6, 7,10,11].

Впродовж останніх десятиріч відзначається постійне зростання складності технологічного обладнання і виконуваних ним функцій [3, 5]. В цьому плані необхідно відзначити, що в зв'язку з ускладненням завдань, розв'язуваних технологічним обладнанням, багаторазово зростають і вимоги до їх систем автоматичного керування (САК). Одним з недоліків процесу створення обладнання є традиційно прийнята послідовність, коли спочатку конструюється механічна частина, потім для розробленої механіки підбирається система керування, що забезпечує необхідні закони переміщення і технологічні режими обробки [8, 11]. При цьому отримуємо систему, у якій все ніби оптимально, але

роздільно проєктовані частини не завжди виявляються оптимальними в цілому для всієї системи.

Ще понад 40 років тому створення і застосування в розробці технічних систем і конструкцій САД-систем було визнано Національним науковим фондом США (NSF) найбільшою подією, що дозволила різко підвищити продуктивність праці в проєктуванні машин і порівнянним в цьому сенсі, мабуть, лише з початком епохи електрики [13].

Очевидно, що в рамках розвитку четвертої промислової революції під назвою «Індустрія 4» виробники технологічних машин при їх створенні повинні враховувати тенденції цифрового проєктування і моделювання, комп'ютерного інжинірингу, багатокритеріальної оптимізації [1, 8, 12, 20].

Однак при цьому звертає на себе увагу той факт, що при проєктуванні нового технологічного обладнання все більшу роль відіграє єдність механіки і керування [18, 19, 21]. Сучасна обчислювальна техніка, що має високу швидкодію, дозволяє по-новому підійти до створення технологічної машини. Система керування спільно з датчиками інформації здатна виправляти "недоліки" механічної частини технологічної машини. Тому технологічну машину необхідно розглядати як єдину систему, що включає механічну частину, робочий процес і безпосередньо систему керування. Для здійснення подібного аналізу представимо технологічне обладнання як кібер-фізичну систему, функціонування якої здійснюється взаємоузгодженою роботою двох його взаємодіючих частин, а саме виконавчої (робочої або фізичної) частини, в якій виконується робочий процес, і керуючої (кібернетичної або інформаційної) частини, яка видає команди для виконавчої частини.

Якщо в традиційній техніці керування циклом обробки розглядається як основна функція САК, то в сучасних інтелектуальних технологічних системах на перший план висуваються вимоги оптимального керування і забезпечення довготривалої роботи технологічного обладнання без відхилень від побудованих математичних і комп'ютерних моделей їх функціонування. Спостерігається постійне зростання питомої ваги інформаційних процесів при функціонуванні кожного наступного покоління технологічного обладнання. Аналіз літературних джерел показав, що вивчення взаємодії робочих і інформаційних процесів при функціонуванні обладнання спеціально не проводилось, не кажучи вже про використання результатів такого вивчення для створення нових технологічних систем і для прогнозування їх розвитку.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### **Роль інформаційних процесів в функціонуванні технологічного обладнання**

**Технологічні машини** змінюють форму, розміри, стан, фізико-хімічні властивості, положення в просторі матеріального потоку виробів. При функціонуванні технологічного обладнання (машини) реалізується взаємодія робочого процесу  $R$ , що об'єднує матеріальний  $M$  і енергетичний потоки  $E$ , і інформаційного процесу  $I$  (рис.1).

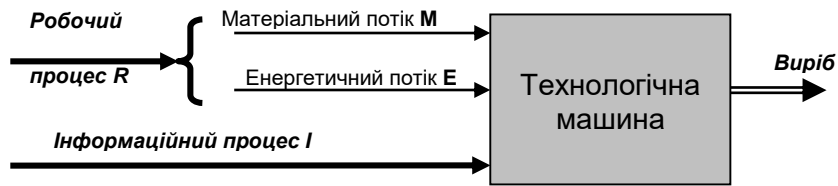


Рис. 1. Процеси і потоки в технологічному обладнанні

Для аналізу розвитку структури технологічного обладнання різних поколінь доцільно представити це обладнання як кібер-фізичну систему, в якій взаємодіють робочий (фізичний) і інформаційний (кібернетичний) процеси. Фізичний процес технологічної машини автомату визначається технологією виготовлення виробу, що задана технологічною картою, в той же час як інформаційний процес створює не тільки команди керування цим фізичним процесом, але і сприймає сигнали звітування в залежності від результатів проходження цих процесів і вказівок, заданих на вході процесу керування, і забезпечує обробку інформації, необхідної для довготривалого функціонування. При роботі технологічного обладнання відбуваються зміни зовнішніх умов та зміни стану обладнання, тобто виникає необхідність зміни робочого процесу шляхом переналагодження.

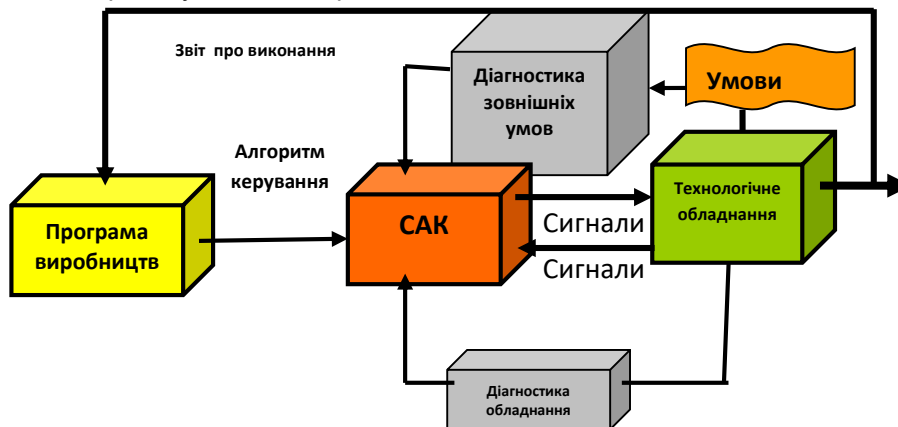


Рис. 2. Зв'язок інформаційних і робочого процесів при функціонуванні технологічного обладнання

В залежності від характеру взаємодії інформаційних і робочого процесів в обладнанні (рис.2), можна виділити такі покоління технологічних машин: машини з ручним, програмним, адаптивним, ситуаційним та інтелектуальним керуванням [15].

При програмному керуванні САК видає керуючі впливи відповідно до закладеної в неї заздалегідь програми незалежно від ситуації, що складається.

При адаптивному керуванні сигнали виробляються в залежності від рівня певного «відгуку», який є «зворотним зв'язком».

При ситуаційному керуванні рішення і керуючі впливи ґрунтуються на аналізі варіантів з врахуванням: поточного стану, наявних варіантів дій (наприклад:

підвищити, знизити, не змінювати продуктивність), прогнозу наслідків (наприклад, запас напівфабрикатів закінчиться швидше, ніж надійде нова партія, або є надлишкові його запаси).

Інтелектуальні системи керування дозволяють виробляти і використовувати нову інформацію для підвищення ефективності і зниження ризиків керування. Відхід від шаблонних рішень дозволяє синтезувати в таких технологічних системах нові знання на базі композиції відомих. Фундаментальна наукова основа інтелектуальних САК - забезпечення і використання в різних варіантах і комбінаціях існуючих знань для отримання нових знань, поширення цих знань на нові області. Використання інтелектуальних систем керування дозволяє «прораховувати» віддалені, зовсім не очевидні наслідки прийнятих рішень, а також керувати тенденціями до того, як вони «наберуть чинності».

Тому висувуються підвищені вимоги до САК технологічного обладнання, особливо до їх програмного забезпечення, що викликає необхідність аналізу вже на стадії проектування зв'язку між математичними методами опису реального функціонування технологічного обладнання і цифровими моделями. Складність такого аналізу ускладнюється можливістю, а іноді і необхідністю схематизації або спрощення значною мірою невивчених робочих процесів, що відбуваються при функціонуванні технологічного обладнання, і це може привести до значних розбіжностей результатів математичного моделювання і практичного дослідження роботи машини.

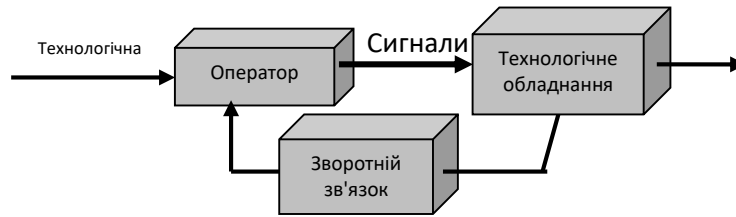
#### **Класифікація технологічного обладнання (машин) за характером взаємодії інформаційного і робочого процесів**

В основу класифікації і аналізу технологічного обладнання покладемо такі положення:

1. Технологічне обладнання розділяється на виконавчу підсистему і підсистему керування. Підсистема керування задає виконавчій підсистемі алгоритм функціонування.
2. Алгоритм функціонування технологічного обладнання задає послідовність і умови реалізації функцій робочого процесу в його виконавчій підсистемі.
3. Зміна алгоритму функціонування технологічного обладнання відбувається при його переналагодженні на інший виріб, при зміні зовнішніх умов, або при зміні стану технологічного обладнання за результатами її поточного діагностування.

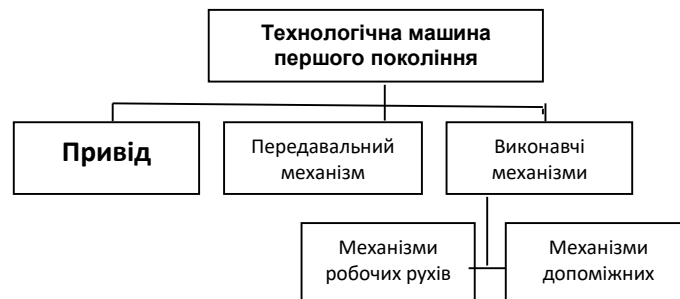
**Технологічні машини першого покоління.** В машинах першого покоління фізичний процес розбитий на простіші частини - технологічні переходи, а процес керування виконавчими механізмами, що виконують ці переходи, здійснюється оператором. При ручному управлінні використовуються різні пристрої: електричні, механічні, гідравлічні, пневматичні, електронні та комбіновані. У сучасних технологічних машинах та верстатах ручне управління часто поєднується з цифровою індикацією інформації (або відображенням її на дисплеї), що надходить від датчиків положення виконавчих органів.

### ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ №1 (16), 2019



*Рис. 3. Взаємодія інформаційного і робочого процесів в технологічних машинах першого покоління*

Структура **технологічної машини першого покоління** (рис.4). складається з двигуна, передавального і виконавчих механізмів. Виконавчий механізм складається з механізмів робочих і допоміжних ходів. Автоматичне керування машиною відсутнє.



*Рис. 4. Структура технологічної машини першого покоління*

Ручне управління ґрунтується на тому, що рішення про виконання тих чи інших елементів технологічного циклу приймає оператор, який на підставі цих рішень включає або вимикає відповідні механізми і задає режими їх роботи.

**Технологічні машини другого покоління.** Технологічні машини другого покоління – машини із цикловим і програмним автоматичним керуванням (САК). Ці машини автоматично здійснюють рухи за програмою з повторюваними циклами. Особливістю технологічних автоматів **другого покоління** є виконання наперед запланованої послідовності технологічних дій, яку називають програмою керування.

Під програмою керування розуміють сукупність правил подання керуючих дій для виконавчих механізмів машини, що забезпечують її функціонування при розв'язанні заданого технологічного завдання. Для автоматичного виконання програми керування вона повинна містити всю необхідну інформацію, яка забезпечить узгоджені рухи всіх виконавчих механізмів. Ця інформація може бути розділена на три групи [15]:

- функціональна або організаційна інформація, яка задає послідовність технологічних дій та рухів, напрями переміщень, виконання дій з включення – виключення переміщень тощо;
- технологічна інформація (при розмірній обробці – це кінематична інформація) задає швидкості переміщень при виконанні робочих

## ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ №1 (16), 2019

рухів та інші технологічні режими – такі як зусилля, тиск, температура, витримка часу тощо;

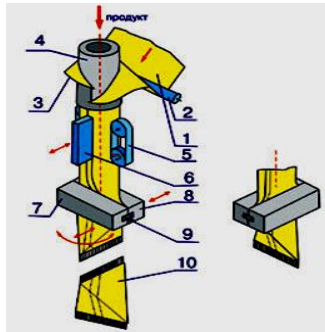
- геометрична інформація, яка задає величини переміщень виконавчих механізмів.

Машини другого покоління - механічні системи з одним або декількома електро - або пневмоприводами. У них застосовується кулачкове, вбудоване апаратно-програмоване або цифрове програмне управління. В залежності від того, які технічні засоби використовуються для передачі інформації для керування технологічною машиною, розрізняють такі види програмних САК:

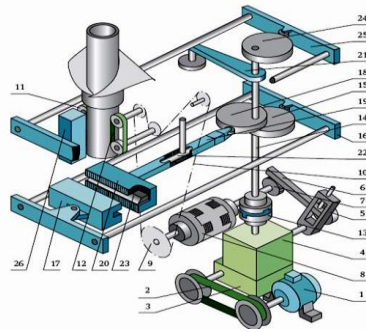
- механічна САК, в якій програмоносієм є кінематичні механізми, тобто набір розміщених на розподільчому валу циліндричних чи дискових кулачків, профіль яких забезпечує задані закони переміщень виконавчих механізмів (див.рис.6);
- електромеханічна циклова САК, в якій програмоносієм є штекерна панель, керування здійснюють за допомогою релеіно-контактної або безконтактної апаратури, а величини переміщень задаються кінцевими механічними упорами;
- контролерні САК, в якій програма керування заснована на використанні засобів програмованої логіки, а програмоносієм є програмований контролер чи мікроЕОМ, які за заданою програмою здійснюють послідовний опит всіх датчиків, порівняння результату із комбінацією вхідних даних, що задані програмою, та формування сигналів керування механізмами машини;
- числова система програмного керування - всі дані програми керування задаються в вигляді букво-числового коду, а програма керування представляє собою детальний набір покрокових команд, які повідомляють технологічній машині, які дії і в якій послідовності вона повинна виконувати.

Приклад машини другого покоління із механічною САК може бути машина для пакування сипких продуктів в пакет, який на цій же машині виготовляється із плівки [5]. Вона виконує переходи дозування сипкого матеріалу, засипання цієї дози в пакет, виготовлений згортанням плівки в трубу та заварювання відрізка труби поперечними швами знизу для утворення дна і зверху для герметизації засипаної в нього дози (рис.5). Машини другого покоління моделі Rovema MVP для реалізації цієї технологічної схеми має вигляд, показаний на рис.6.

Структура цієї машини (рис.7) включає двигун, передавальні і виконавчі механізми, які поєднані з системою автоматичного контролю вигляді командоапарата, яка забезпечує синхронізацію роботи всіх механізмів машини. Задаючий кулачковий вал такого командоапарата може обертатися або з постійною частотою (синхронно з рухом головного приводу), або в старт-стопному режимі, коли обертання включається лише за сигналом про виконання заданих переміщень.

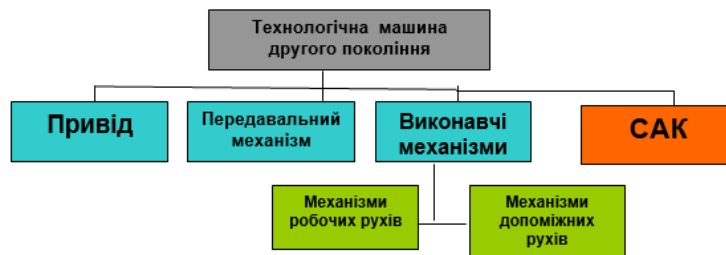


**Рис. 5.** Технологічна схема машини для пакування сипких матеріалів: 1 – плівка; 2 – натяжний валок; 3 – формуючий комірець; 4 – продуктопровід; 5 – механізм протягування; 6 – губки поздовжнього зварювання, 7 і 8 – губки періодичного поперечного зварювання; 9 – відрізний ніж; 10 – готовий пакет



**Рис. 6.** Пакувальна машина - автомат Roveta MVP із механічною САК : 1-електродвигун, 2-варіатор, 3-редуктор, 4-редуктор з двома валами, 5-кривошип, 6-зубчаста рейка, 7 – шестерня, 8- муфти, 9-зірочка, 10 –ланцюг транспортера, 11-12-транспортери протяжки, 13-муфта, 14-вал головний, 15-кулачок приводу передньої поперечної губки, 16-привід губки, 17-передня поперечна губка, 18,19,20 – кулачок, привід і сама задня поперечна губка, 21-штовхач приводу ножа, 22-привід ножа, 23-ніж, 24-кулачок приводу поздовжньої губки, 25-її привід, 26-поздовжня губка

В САК використовується один канал інформації, що несе в собі задану програмою інформацію керування механізмами. Більшість систем програмного керування мають також контури із зворотними зв'язками, які дозволяють подавати інформацію про закінчення кожного кроку програми раніше, ніж буде виконано наступний крок. Для контролю правильності виконання команд, що задаються пристроєм, застосовуються спеціальні датчики (датчики зворотного зв'язку).



**Рис.7.** Структура технологічної машини-автомату другого покоління

Інформація зворотного зв'язку може містити відомості про фактичну швидкість переміщення робочого органу, його положення, про закінчення циклу або окремих його елементів та інші відомості про протікання робочого процесу, але ця інформація не може використовуватися для зміни параметрів робочого процесу.

**Технологічні машини третього покоління.** Оскільки на протікання робочого процесу діють також різного роду збурення, то інформація про них використовується в САК адаптивного керування для зміни процесу функціонування технологічного обладнання третього покоління. Адаптивна САК разом із датчиками інформації здатна виправляти недоліки механічної частини технологічної машини шляхом коректування програми керування машиною за допомогою підсистем діагностування стану технологічної машини та адаптації до зміни умов функціонування, наприклад, при зміні щоденних відхилень характеристик інструментів, вхідних матеріалів і напівфабрикатів, температури і вологості навколишнього повітря тощо.

Широке застосування адаптивні САК знаходять в тих технологічних машинах, де висувуються високі вимоги до параметрів робочого процесу або до параметрів одержуваних виробів. Крім того, вони застосовуються в тих випадках, коли випадкові збурення на протікання робочого процесу в машині є значними, що дає можливість врахувати відхилення в його протіканні в програмі або скорегувати з пульта в процесі управління.

Адаптивні САК можуть відрізнитися способами контролю параметрів, що викликають збурення, і способами впливу на параметри регулювання. В адаптивних САК металорізальних верстатів, наприклад, найчастіше параметрами, які викликають збурення і використовуються для регулювання є: потужність і сила різання, діаметр обробки, припуск на обробку, температура в зоні різання, деформація в системі верстат - пристрій - інструмент - заготовка, знос ріжучого інструменту, вібрації при роботі тощо. Тобто в цих адаптивних САК для керування перебігом робочого процесу використовуються два і більше каналів додаткової інформації.

За характером вирішуваних завдань діагностування розрізняють наступні підсистеми діагностування:

- для перевірки функцій обладнання;
- для оцінки точності параметрів обробки виробів.

**Технологічні машини четвертого покоління** мають систему ситуаційного керування. Чим більше каналів інформації використовується в системі керування, тим вище якість її роботи, тим ефективніше процес керування. При ситуаційному керуванні рішення і створення керуючих впливів ґрунтуються на аналізі варіантів з врахуванням:

- поточного стану технологічного обладнання і умов середовища,
- наявних варіантів поведінки технологічного обладнання (наприклад: підвищити, знизити, або не змінювати продуктивність),
- прогнозу наслідків роботи (наприклад, запас напівфабрикатів закінчиться швидше, ніж надійде нова партія, або будуть створюватися надлишкові його запаси напівфабрикатів або готової продукції).

Системи ситуаційного керування використовують два і більше каналів додаткової інформації та мають пристрій для корекції керуючого сигналу. Ситуаційні системи керування повинні компенсувати зміну зовнішніх умов за допомогою внесення певних змін в керування окремими характеристиками технологічної машини для досягнення оптимальних характеристик системи. Оптимізація в системах, що реалізують оптимальне ситуаційне керування,



полягає в тому, щоб найкращим чином в сенсі заданого критерію досягти поставленої мети при реальних умовах і обмеженнях.

Для цього ці системи керування повинні оцінити зовнішні умови для того, щоби внести необхідні зміни в власні характеристики. Ситуаційна система керування реалізує три функції керування.

1. *Ідентифікація системи* полягає в отриманні оцінки миттєвої якості процесу чи функціонування машини за допомогою визначення деякого показника якості, як правило, за даними зворотного зв'язку. Складна функція ідентифікації передбачає вирахування показника якості системи на основі даних вимірювання параметрів процесу, який може порівнюватися із його заданим значенням.
2. *Прийняття рішення* полягає в пошуку напряму зміни програми керування в напрямі підвищення якості процесу. Така процедура реалізується за допомогою закладеного в програмі блоку логічних команд, який дозволяє змінити в бажаному напрямі значення одного або декількох керуючих впливів процесу.
3. *Настроювання* виконує реалізацію прийнятого рішення. Якщо функція прийняття рішення є логічною функцією, то функція настроювання передбачає фізичну або механічну зміну в керуванні машиною.

Функціональна схема системи ситуаційного керування наведена на рис.8. На технологічний процес впливають зовнішні умови  $Z, V$ , що змінюються. Система керування визначає біжучі значення вхідних  $X$  і вихідних  $Y$  параметрів системи і визначає якість процесу  $u'$ . Приймається рішення про зміни в налагодженні  $u$ , які є необхідними для підвищення якості функціонування технологічної машини. При зміні стану керованого об'єкту така система буде адаптуватися, міняти дисципліну керування з урахуванням мінливих конкретних умов, тобто пристрій керування буде виробляти додаткові інструкції керування до існуючої програми. В програмі формується мета керування, до якої повинна прагнути система керування.

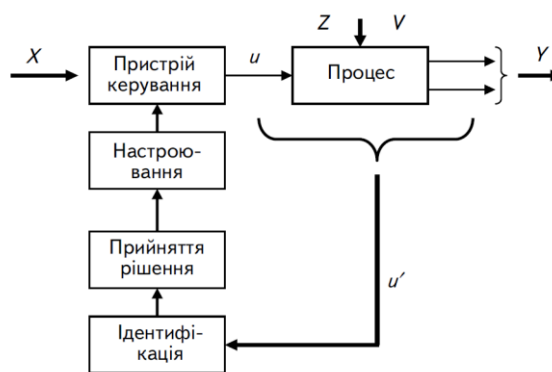


Рис. 8. Ситуаційна система керування

**Технологічні машини п'ятого покоління** – це інтелектуальні технологічні машини із самоорганізованим принципом керування та використанням елементів штучного інтелекту в їх системах керування. Інтелектуальні

технології керування дозволяють на базі відомих знань отримувати в процесі роботи нові знання і на їх основі міняти, удосконалювати мету, завдання, методи роботи для отримання принципово нового результату для зростання ефективності функціонування. У самоорганізовуваних системах під час роботи змінюються не тільки алгоритм роботи як послідовність дій керування, але і їх структура.

Узагальнюючи міркування багатьох дослідників [18,19], можна стверджувати, що виробнича система стає інтелектуальною, якщо при вирішенні завдань виробництва, вона діє, не маючи точного алгоритму вирішення проблеми, а тільки мету функціонування. Вона адаптується для роботи в зовнішніх умовах, що змінюються з часом, опираючись на відповідну базу знань, які дозволяють створити алгоритм адаптації. Для цього інтелектуальні САК повинні бути придатними для роботи з базами знань [15, 20]. На відміну від традиційної програми керування технологічною машиною, коли алгоритм досягнення мети задано спочатку, а в інтелектуальній – він будується по ходу досягнення мети з урахуванням ситуації, що складається.

Щоб здійснити цей технологічний прорив, потрібні зміни у всіх складових елементах виробничої системи. Очевидно, що умовами реалізації інтелектуального виробництва є наявність у його компонентів наступних специфічних характеристик:

1. **Робоча підсистема** – наявність гнучкості технологічного і допоміжного обладнання (універсальність і мобільність).
2. **Інформаційна підсистема** – наявність блоків діагностики зовнішніх умов роботи і стану обладнання, блоку аналізу протікання робочого процесу і цифрової моделі, які дозволяють у взаємодії здійснювати оптимізацію алгоритму функціонування робочої підсистеми.

Робоча підсистема технологічних машин п'ятого покоління створюється на основі мехатронних функціональних модулів, які не тільки автоматично виконують переходи технологічної операції, але і здійснюють контроль їх протікання, діагностування стану машини, а також, при потребі, подають інформацію для зміни алгоритму функціонування машини.

Мехатронні модулі із розвиненою структурою мають власний привід, систему керування і систему діагностики, тобто мають структуру подібну до структури технологічної машини-автомату третього покоління (рис.9).



**Рис. 9.** Структура розвинуеного мехатронного модуля технологічної машини

Організація інформаційних процесів в інтелектуальних технологічних машинах передбачає відслідковування робочого процесу, діагностування стану мехатронних модулів і їх адаптацію до зміни умов роботи машини в процесі її функціонування. Суть відслідковування робочого процесу діагностування стану

## ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ №1 (16), 2019

мехатронних модулів зводиться до порівняння досягнутих показників з необхідними. Очевидно, що ідеальними показниками технологічного обладнання є:

- необхідна якість кінцевого продукту,
- коефіцієнт ефективності використання, що наближається до одиниці,
- повна (100%) безаварійність роботи.

Оскільки при формуванні програми керування необхідно враховувати можливі виробничі ситуації, результати аналізу протікання робочого процесу і стану мехатронних модулів, то інтелектуальні САК повинні забезпечувати компенсацію їх відхилень від заданих шляхом внесення певних змін в алгоритм керування машиною. Для реалізації таких можливостей інтелектуальна САК повинна бути забезпеченою моделлю, що описує виробничу ситуацію в задані моменти часу, так званою «цифровою моделлю», тобто цифровим двійником її правильного функціонування. Цифрова модель машини дозволяє швидко отримувати правильні рішення при діагностуванні поточного стану машини в різних умовах виробництва, а також знайти приховані закономірностей в функціонуванні машини та виявити її критичні елементи.

Розумні машини організують міст між інформаційними технологіями і операційними технологіями, роблячи доступними виробничі дані, які можна використовувати в плануванні виробництва (наприклад, контроль запасу напівфабрикатів і виробів, складання графіків для операторів з технічного обслуговування машин, управління енергопостачанням і заміщення продукту тощо). Використання інтелектуальних САК дозволяє «прораховувати» віддалені, зовсім не очевидні наслідки прийнятих рішень, а також керувати тенденціями змін до того, як вони «наберуть чинності».

У інтелектуальних САК, при зміні зовнішніх умов або характеристик об'єкта керування, відбувається автоматична (заздалегідь не задана програмою) зміна параметрів керуючого пристрою або структури її елементів. Таким чином, забезпечуються стійка робота системи на заданому оптимальному рівні. Такі САК повинні не тільки пристосовуватися до всіх змін зовнішніх умов і характеристик об'єкта, а й функціонувати нормально навіть при наявності несправностей або відмов окремих елементів, створюючи нові ланцюги замість порушених. Інтелектуальні САК можна змусити самовдосконалюватися, «здобувати досвід» шляхом швидкого випробування декількох варіантів, відбору і «запам'ятовування» кращого з них. Однак такі САК, за невеликим винятком, ще не реалізовані для керування технологічним обладнанням.

**Порівняльний аналіз технологічного обладнання різних поколінь.** Якщо розташувати технологічне обладнання різних поколінь за таким показником як складність інформаційних потоків в них, то отримуємо такий розподіл як в таблиці 1.

За даними опитування, проведеного фахівцями аналітичного агентства Aberdeen Group, що включав понад 550 респондентів, компаній - світових лідерів з різних галузей промисловості, за останні кілька років вироблене технологічне обладнання стало значно складнішим: зросла кількість механічних і електронних компонентів, число рядків програмного коду для керування машинами [1, 14 ].

Таблиця 1

Характеристики технологічного обладнання різних поколінь

Покоління технологічного обладнання	Вид керування	Основні інформаційні процеси		Додаткові інформаційні процеси		
		Подання команд	Звіти про виконання	Діагностика стану обладнання і коректування параметрів	Діагностика зовнішніх умов функціонування і коректування параметрів	Зміна алгоритму керування його структури
I	Ручне	Вручну	Автоматична сигналізація	Вручну	Вручну	Вручну
II	Програмне	Автоматично	Автоматично	Вручну	Вручну	Вручну
III	Адаптивне	Автоматично	Автоматично	Автоматично	Вручну	Вручну
IV	Ситуаційне	Автоматично	Автоматично	Автоматично	Автоматично	Вручну
V	Самоорганізовувальне	Автоматично	Автоматично	Автоматично	Автоматично	Автоматично

За даними опитування, проведеного фахівцями аналітичного агентства Aberdeen Group, що включав понад 550 респондентів, компаній - світових лідерів з різних галузей промисловості, за останні кілька років вироблене технологічне обладнання стало значно складнішим: зросла кількість механічних і електронних компонентів, число рядків програмного коду для керування машинами [1, 14]. Їх відносна кількість показує, що кількість компонент, що реалізують інформаційний потік, зростає порівняно швидше ніж саме обладнання в цілому (рис. 10).

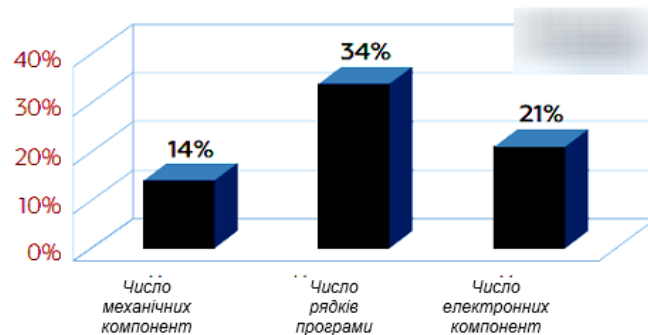


Рис. 10. Співвідношення компонент в структурі сучасного технологічного обладнання

Для кількісної оцінки структури технологічного обладнання використаємо співставлення витрат  $W_R$  і  $W_I$  на реалізацію робочого і інформаційних потоків відповідно. Тоді відносний рівень інформаційного забезпечення технологічного обладнання може бути визначений як:

$$I = \frac{W_I}{W_R + W_I} \quad (1)$$

## ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ №1 (16), 2019

де:  $W_R$  – витрати на реалізацію робочого потоку в технологічному обладнанні;

$W_I$  - витрати на реалізацію інформаційного потоку в в технологічному обладнанні.

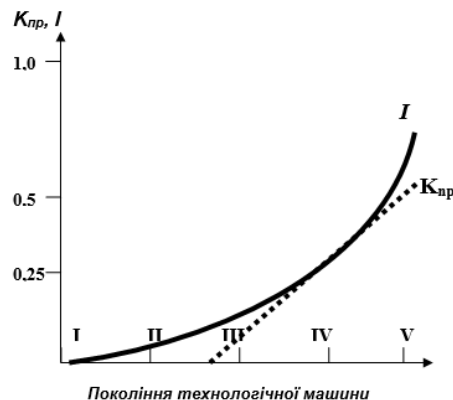
Досконалість САК може характеризуватися співвідношенням складностей її апаратної і програмної частин за наступним виразом, яким назовемо коефіцієнтом програмованості  $K_{np}$

$$K_{np} = \frac{Q_{np}}{Q_{an} + Q_{np}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

де:  $Q_{an}$  - кількість елементів апаратної частини САК,

$Q_{np}$  - кількість рядків програмного коду в САК.

Аналіз даних багатьох дослідників показує [17,19,21], що показники  $K_{np}$  і  $I$  мають тенденцію до зростання при зміні покоління технологічних машин (рис.11).



**Рис. 11.** Діаграма зміни характеристик технологічного обладнання різних поколінь

Статистичні дані показують, що фактична доля компонент інформаційного забезпечення технологічного обладнання починає все більш стрімко зростати, що характерно для нових поколінь технологічного устаткування. Як бачимо, САК нових поколінь технологічного обладнання ускладнюються за рахунок зростання кількості виконуваних ними функцій, кількості інформаційних каналів в них, числа рядків програмного коду в алгоритмах керування.

При аналізі суміщеної діаграми (рис.11) чітко простежується взаємозв'язок між кількістю компонент інформаційного забезпечення та рівнем досконалості технологічного обладнання, що може бути враховано ще на стадії проектування.

### ВИСНОВКИ

Досягнення якості світового рівня для продукції вітчизняного машинобудування в великій мірі залежить від системного підходу до розв'язання конструкторських і технологічних завдань не тільки на стадії

проектування, але і практично на всіх етапах життєвого циклу технологічного обладнання. Аналіз взаємодії робочого і інформаційних процесів в технологічному обладнанні дозволяє розглядати його як кібер-фізичну систему. Структура цієї системи визначається складністю і умовами взаємодії в ній робочого і інформаційних процесів. Складність інформаційних процесів може бути описана кількістю додаткових каналів інформації, а складність інформаційних потоків в цих процесах – співвідношенням складності апаратної і програмної компонентів інформаційних потоків.

Для виключення проблем низької ефективності при експлуатації сучасної техніки доцільно проводити аналіз і експертну оцінку проекту, знаходити конструктивні, технологічні та експлуатаційні рішення, що гарантують надійне функціонування технологічного обладнання.

Запропонована методика класифікації і аналізу технологічного обладнання дозволить вдосконалити принципи їх проектування і вже на стадії проектування оцінити її майбутні експлуатаційні показники та керованість функціонування. Тому розробка науково-обґрунтованих методів оптимізації структури технологічного обладнання шляхом забезпечення раціональної взаємодії з робочим процесом їх інформаційного забезпечення є актуальною науково-технічною проблемою.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Павлевич А.Л., Староверов Н.Н., к.т.н., Хитрых Д.П.. Эффективная платформа прикладных исследований и всестороннего численного моделирования на основе решений ANSYS //CAD/CAM/CAE Observer #3 (119) / 2018.-с.70-75
- [2] Подураев Ю.В. Мехатроника: основы, методы, применение. – Москва «Машиностроение», 2007. – 256 с.
- [3] Расторгуев Г. А. Перспективы развития технологических процессов в машиностроении / Г. А. Расторгуев, В. А. Рогов // Технология машиностроения. – 2009. – № 2. –С. 68-71.
- [4] Тимченко А. А. Основы системного проектирования та системного аналізу складних об'єктів. – Київ: «Либідь», 2003. – 270 с.
- [5] Ульянов В. Классификация оборудования для упаковки продуктов в термосвариваемые пакеты. - ПАКЕТ, №2, 2004.
- [6] Яхно О.М., Узунов А.В., Луговской А.Ф. и др. Введение в мехатронику. Киев, 2008 – 527 с.
- [7] Banaszak Z., Pisz I., Project-driven production flow management. In. Project Driven Manufacturing., WNT, Warszawa, 2003, 53-71.
- [8] Gaines B.R., Norrie D.H. Knowledge Systematization in the International IMS Research Program // Proc. of IEEE Conference on Systems, Man and Cybernetics Intelligent Systems for 21st Century. -1995. - Vol.1. - P. 958 - 963.
- [9] Gola A., Świć. A. Design of FFMS Storage Subsystem Using Computer Simulation Method. Actual Problems of Economics/ Актуальні Проблеми Економіки 2013, 4(142), s. 312-318.
- [10] Goldman S.L. Agile competitors and virtual organizations: strategies for enriching the customer / S.L. Goldman, R.N. Nagel, K. Preiss. - N.Y.: Van Nostrand Reinhold, 1995. - 640 p
- [11] Groover M.P., Zimmers E.W., CAD/CAM: computer-aided design and manufacturing. New Jersey: Prentice-Hall, 1984. – 528 p.
- [12] Intelligent Systems for Manufacturing -Multi-agent systems and virtual organizations / L.M. Camarinha-Matos, H. Afsarmanesh, V. Marik - Editores. - Kluwver Academic Publishers, 1998. - IFIP Vol. 130. - P. 137-140.

## ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ №1 (16), 2019

- [13] Krouse J.K. What Every Engineer Should Know About Computer-Aided Design and Computer-Aided Manufacturing: The CAD/CAM Revolution. – New York; Basel: Marcel Dekker, 1982.
- [14] Mauricio Armellini and Tim Pike, Bank Underground – блог сотрудников Банка Англии (Bank of England).
- [15] Palchevsky B., Swic A., Krestianpol H., Computer integrated designing of flexible manufacturing systems, Lublin University of Technology, Lublin 2015.-376 p.
- [16] Palchevskiy B., Swic A., Krestyanpol H. INCREASING EFFICIENCY OF FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEMS BASED ON COMPUTER PRODUCT GROUPING // Advances in Science and Technology Research Journal, Volume 12, Issue 2, June 2018, pages 6–10 - DOI: 10.12913/22998624/92093
- [17] Policymaker's A. Guide to Smart Manufacturing, Information Technology & Innovation Foundation (ITIF), 30 November 2016, <https://www.itif.org/publications/2016/11/30/policymakers-guide-smart-manufacturing>.
- [18] Prasanth, S. P.; Pramod, V.R.; Jagathy Raj, V. P. Barriers in TPM Implementation in Industries. // International Journal of Scientific & Technology Research. 2, 5(2013), pp. 28-33.
- [19] Romero David, Johan Stahre, Thorsten Wuest, Ovidiu Noran, Peter Bernus, Åsa Fast-Berglund and Dominic Gorecky, Towards an Operator 4.0 Typology: A HumanCentric Perspective on the Fourth Industrial Revolution Technologies, International Conference on Computers and Industrial Engineering (CIE46) Proceedings, October 2016, Tianjin, China
- [20] Schwaninger M., Intelligent Organizations. Powerful Models for Systemic Management, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009.
- [21] Tolio T. (red.), Design of Flexible Production Systems. Methodologies and Tools, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg 2009.

### **CLASSIFICATION AND ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL MACHINES BY THE NATURE OF THE INTERACTION OF THEIR WORKING AND INFORMATION PROCESSES**

**Palchevskiy B.**, DThSc., Prof.,

Honored Worker of Science and  
Technology of Ukraine

**«Eastern European Scientific  
Society» / Ukraine**

**Abstract:** *The article describes some problematic issues related to the analysis and classification of technological machines and shows possible ways to improve their perfection in designing based on the use of the latest achievements of intellectual production, development of mechatronics and digital modeling. The purpose of the work is to improve the methods of achieving a given level of quality of technological equipment at the stage of their design, as well as the formation of a new principle for predicting the quality of machines by the controllability parameter.*

**Keywords:** *intelligent production system, automatic packaging machine, intellectual production, digital model, automated control system, information process, workflow, adaptive control system*

#### **REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)**

- [1] Pavlevich, A.L., Staroverov, N.N., & Heathrich, D.P. (2018). An effective platform for applied research and comprehensive numerical modeling based on ANSYS solutions. *CAD / CAM / CAE Observer*, 3 (119), 70-75. (in Russian).

- [2] Poduraev, Yu.V. (2007). *Mechatronics: basics, methods, application*. Moscow «Mechanical Engineering». (in Russian).
- [3] Rastorguev, G.A., & Rogov, V.A. (2009). Prospects for the Development of Technological Processes in Mechanical Engineering. *Technology of Mechanical Engineering*, 2, 68-71. (in Russian).
- [4] Timchenko, A.A. (2003). *Fundamentals of system design and system analysis of complex objects*. Kyiv: Lybid. (in Ukrainian).
- [5] Ulyanov, V. (2008). Classification of equipment for packaging products in heat-sealed packages. *PACKAGE*, 2. (in Russian).
- [6] Yakhno, O.M., Uzunov, A.V., & Lugovskaya, A.F. (2008). *Introduction to Mechatronics*. Kiev. (in Russian).
- [7] Banaszak, Z., & Pisz, I. (2003). *Project-driven production flow management*. In: *Project Driven Manufacturing*. WNT, Warszawa, 53-71. (in English).
- [8] Gaines, B., & Norrie, D. (1995). Knowledge systematization in the international IMS research program. *1995 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Intelligent Systems for the 21st Century*, 1, 958-963. doi:10.1109/icsmc.1995.537891 (in English).
- [9] Gola, A., & Świć, A. (2013). Design of FFMS Storage Subsystem Using Computer Simulation Method. *Actual Problems of Economics*, 4(142), 312-318. (in English).
- [10] Goldman, S.L., Nagel, R.N., & Preiss, K. (1995). *Agile competitors and virtual organizations: strategies for enriching the customer*. N.Y.: Van Nostrand Reinhold. (in English).
- [11] Groover, M.P., & Zimmers, E.W. (1984). *CAD/CAM: computer-aided design and manufacturing*. New Jersey: Prentice-Hall. (in English).
- [12] Camarinha-Matos, L.M., Afsarmanesh, H., & Marik, V. (1998). Intelligent Systems for Manufacturing -Multi-agent systems and virtual organizations. *Kluwver Academic Publishers*, 130, 137-140. (in English).
- [13] Krouse, J.K. (1982). *What Every Engineer Should Know About Computer-Aided Design and Computer-Aided Manufacturing: The CAD/CAM Revolution*. New York, Basel: Marcel Dekker. (in English).
- [14] Mauricio Armellini & Tim Pike. (2019). *Bank Underground*. Bank of England. (in English).
- [15] Palchevsky, B., Swic, A., & Krestianpol, H. (2015). *Computer integrated designing of flexible manufacturing systems*. Lublin University of Technology, Lublin. (in English).
- [16] Palchevskiy, B., Swic, A., & Krestyanpol, H. (2018). Increasing efficiency of flexible manufacturing systems based on computer product grouping. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 12 (2), 6–10 - DOI: 10.12913/22998624/92093 (in English).
- [17] Policymaker's, A. (30 November, 2016). Guide to Smart Manufacturing. *Information Technology & Innovation Foundation (ITIF)*. Retrieved from <https://www.itif.org/publications/2016/11/30/policymakers-guide-smart-manufacturing>. (in English).
- [18] Prasanth, S. P. Pramod, V.R., & Jagathy Raj, V. P. (2013). Barriers in TPM Implementation in Industries. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 2, (5), 28-33. (in English).
- [19] Romero, D., Stahre, J., Wuest, T., Noran, O., & Bernus, P. (October, 2016). Åsa Fast-Berglund and Dominic Gorecky, Towards an Operator 4.0 Typology: A HumanCentric Perspective on the Fourth Industrial Revolution Technologies, *International Conference on Computers and Industrial Engineering (CIE46) Proceedings*, Tianjin, China. (in English).
- [20] Schwaninger, M. (2009). *Intelligent Organizations. Powerful Models for Systemic Management*. Springer-Verlag, Berlin: Heidelberg. (in English).
- [21] Tollo, T. (2009). *Design of Flexible Production Systems. Methodologies and Tools*. Springer-Verlag, Berlin: Heidelberg. (in English).

Стаття надійшла до редакції 12.11.2019



**Розділ: ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ**

**УДК 621.798**

**Палаш А.**, к.т.н., директор

**Полтавський коледж харчових технологій (ПКХТ НУХТ) / Україна**

**Піддубний В.**, д.т.н., професор  
Лауреат державної премії України  
в галузі науки і техніки

**Київський національний торговельно-економічний університет / Україна**

**Головкіна Л.**, викладач

**Уманський національний університет садівництва / Україна**

**ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ АЕРОБНОГО БРОДІННЯ**

**Анотація:** у статті показано, що аеробне зброджування цукровмісних середовищ потребує присутності в них розчиненого кисню. Остання умова виконується за рахунок введення і диспергування в рідинній фазі повітря. В дослідженні наведено узагальнення, які стосуються співвідношень динаміки приросту біомаси і корелюються з кількістю введеного в систему кисню. До числа факторів інтенсифікації масообмінних процесів відносять гідродинамічний стан і міжфазну поверхню.

Також показано, що номінальну оцінку гідродинамічного стану газорідинних середовищ слід визначати приведеною швидкістю газової фази.

Показано особливості подвійного впливу температур середовищ в проявах оптимальних щодо мікроорганізмів і щодо розчинності газів у відповідності до закону Генрі, наведено значення констант Генрі. До переліку факторів впливу віднесено такі фізичні параметри середовищ, як в'язкість, поверхневий натяг, осмотичний тиск, гідростатичний тиск, температура.

Визначено, що присутність розчиненого азоту має вплив на гідродинаміку газорідинних середовищ у зв'язку зі змінами гідростатичного тиску в циркуляційних контурах.

**Ключові слова:** аеробне бродіння, розчинений кисень, концентрація, циркуляційний контур, осмотичний тиск, гідродинаміка.

**ВСТУП**

Процеси вирощування хлібопекарських дріжджів та інших аеробних мікроорганізмів здійснюються на живильних середовищах, які вміщують необхідні органічні і мінеральні комплекси, біостимулятори тощо у присутності розчиненого кисню. Результативність цих процесів у значній мірі визначається динамікою співвідношень концентрацій мікроорганізмів, компонентів, кисню, величин осмотичних тисків середовищ тощо.

Метою цього дослідження є оцінка впливів параметрів газорідинних

середовищ в умовах процесів аеробного зброджування цукровмісних середовищ. У статті використано феноменологічні узагальнення на основі відомих законів з математичною формалізацією взаємозв'язків фізичних та термодинамічних параметрів.

#### АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

Визначальний вплив на приріст біомаси має температура культивування. Її підвищення до оптимальних рівнів при забезпеченні інших умов приводить до зростання приросту біомаси. З переходом на повітряно-приточні методи вирощування хлібопекарських дріжджів за барботажних аераційних систем досягаються концентрації мікроорганізмів на рівнях від 40 до 90 кг/м<sup>3</sup>. Проте більшим значенням концентрацій відповідають погодинні прирости біомаси 9...11 %, а за менших – до 16...17 %. Очевидно, що при цьому принципове значення має абсолютний приріст, оскільки саме він визначає динаміку притоку живлення і навантаження на аераційні системи. Саме можливості останніх у більшості випадків лімітують технологічні процеси [6, 9, 10, 12].

Пояснити це можливо наступним. Ефективність найбільш розповсюджених барботажних систем складає по масі розчиненого кисню по відношенню до маси повітря біля 0,5 % у перерахунку на 1 м висоти апарата. Останнє є наслідком відносно низької розчинності кисню, як фізичної властивості останнього. Порівняння його з азотом в абсолютному обчисленні говорить на користь O<sub>2</sub>, але у зв'язку з тим, що парціальний тиск кисню у повітрі складає лише 21 %, то за аерації сталі насичення на N<sub>2</sub> переважають.

Сучасні заходи щодо розв'язання проблеми пов'язують зі спробами підвищити рівень аерації, тобто за рахунок збільшення потоку повітря, що продувається через середовище за одиницю часу. При цьому продовжується дискусія про помилковість використання характеристики рівня аерації, як кількості повітря у м<sup>3</sup>, що за 1 годину продувається в розрахунку на 1 м<sup>3</sup> середовища. Некоректність її полягає у тому, що такий м<sup>3</sup> рідинної фази може мати висоту 0,5, 1 або більше метрів, що з точки зору інтересів розчинення кисню є зовсім неоднозначним. Консолідована думка дослідників [3, 10] стосувалася пропозиції оцінювати рівень інтенсивності аерації величиною приведеної швидкості газової фази, тобто відношенням об'ємного газового потоку у м<sup>3</sup>/с до площі поперечного перерізу апарата у м<sup>2</sup>, що дає розмірність приведеної швидкості у м/с. Якщо така пропозиція була визнана працівниками галузі по виробництву хлібопекарських дріжджів [5], то в інших галузях (мікробіологічній, бродильній) вона залишилася мало поміченою. Однак за величиною вхідного енергетичного потоку оцінка інтенсивності аерації співпадає з показником приведеної швидкості, що свідчить на користь останньої.

Важливим компонентом роботи апаратів для вирощування хлібопекарських дріжджів є наявність у середовищі поверхнево-активних речовин. Наслідком їх існування є активне піноутворення, існування якого можливо оцінювати подвійно. З одного боку утворення розвинутої коміркової структури забезпечує відносно високий рівень насичення киснем рідинної фракції. Але при цьому різко обмежується масообмін, пов'язаний з іншими компонентами живлення, а

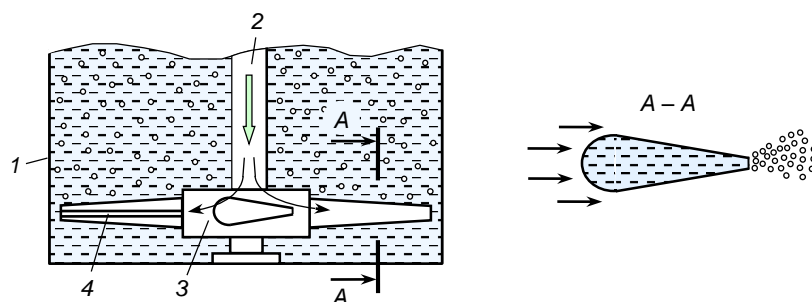
тому такі ж обмеження стосуються приросту тієї частини біомаси, що знаходиться в пінній фракції. Окрім того, зростаючий рівень останньої врешті решт заповнює весь газовий об'єм апарата, що загрожує винесенням піни у витяжну трубу. Для попередження таких наслідків використовують автоматичні системи піногасіння, за сигналом яких в апарат подаються жирні кислоти або їх емульсії, що активно руйнують піну. Однак присутність жирних кислот піногасника помітно впливає на масообмін на міжфазній поверхні, утворюючи на ній моно молекулярний шар плівки додаткового опору.

Таким чином, до загального переліку параметрів впливу на результат синтезу мікроорганізмів слід віднести фізико-хімічні показники середовища, термодинамічні параметри, геометричні співвідношення розмірів апаратів, їх об'єми, величини вхідних енергоматеріальних потоків. Рівень складності співвідношень всього комплексу параметрів потребує послідовного дискретного вивчення впливів та їх оцінок.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Світові тенденції розвитку аераційних систем представлені також аераторами-диспергаторами. Головна ідея їх виконання полягала в тому, що утворення міжфазної поверхні здійснюється на рухомій лопаті, яку активно обтікає рідинна фаза [7, 8] (рис. 1).

Звичайно лопаті виконуються з поздовжніми щілинами на задній частині і ефект подрібнення газової фази залежить від швидкості обтікання їх культуральним середовищем. Таке конструктивне оформлення виглядає суттєво складніше барботажної аераційної системи і складності в значній мірі стосуються експлуатаційних режимів. Приведення в дію ротора в складі повітроводу, колектора і лопатей може здійснюватися від верхнього привода через повітровод, який при цьому виконує роль трубовала. Значна довжина останнього викликає додаткові вимоги до виготовлення, монтажу та експлуатації. У випадку нижнього розташування привода необхідно вирішувати задачу створення і експлуатації ущільнюючих вузлів, що в умовах низьких значень  $pH = 2,8...4,0$  середовищ є доволі складним.



**Рис. 1.** Схема аератора-диспергатора: 1 – корпус апарата; 2 – повітровод; 3 – колектор; 4 – лопаті

В умовах безвідборних технологій за обмеженого приросту біомаси

## ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ №1 (16), 2019

(9...10 %) досягаються концентрації дріжджів до  $80 \text{ кг/м}^3$ . Але вказана величина погодинного приросту за корисного об'єму апаратів біля  $70 \text{ м}^3$  наближається до аналогічного показника апаратів з барботажною аераційною системою [8, 12].

При цьому окрім величини погодинного приросту біомаси обов'язково має враховуватися вихід готової продукції по сировині. Саме ця характеристика є узагальнюючим індикатором системи по рівню кисню. Збільшення концентрації останнього посилює аеробний характер перебігу процесу синтезу біомаси, обмежуючи напрямок бродіння. Коливання виходу по малясі, що перероблюється, мають доволі широкий діапазон від 60 до 90 %, хоча теоретично в розрахунку на дріжджі 75 %-ої вологості він складає 110 %. З переходом хоча б на часткове анаеробне бродіння в середовищі починає утворюватися етиловий спирт, який активно виноситься газовою фазою і є головною складовою технологічних втрат. Для досягнення найкращого результату зусилля технологів спрямовуються на підтримання мінімальної концентрації цукрів і максимально можливого вмісту кисню. Це означає необхідність використання чутливих засобів визначення технологічних параметрів процесу і керування ними.

У зв'язку з відміченим, саме кисню, розчиненому у середовищі, належить важлива роль регулятора, що і визначає важливість досконалості і ефективності аераційних систем. Паралельно до наукових досліджень мікробіологів та технологів [5, 9] виробництва хлібопекарських дріжджів, як і мікроорганізмів взагалі, існує необхідність поглибленого аналізу всіх складових процесів, які завершуються безпосередньо синтезом біомаси і подальшими етапами її підготовки до товарного виду та реалізації.

У зв'язку з цим зростає вагомість матеріального і енергетичного аудиту, оцінка кожної складової економічних витрат в структурі собівартості продукції. Особливої уваги заслуговує вибір конструкції товарних апаратів. Аналіз показує, що в такому виборі вже на першому кроці, який стосується визначення співвідношень геометричних апаратів і мінімізації витрат матеріалу на циліндричний апарат, то слід зупинитися на рівності його діаметра і висоти, оскільки саме за цих умов досягається мінімізація його поверхні. Але у зв'язку з тим, що в апараті має передбачатися біля 30 % його об'єму для газової фази, це означає, що у рідинній фазі, як і у газорідинній суміші, перевагу буде мати діаметр. Проте при цьому виникають проблеми, пов'язані з досягненням рівномірного розподілу повітря, що подається на аерацію по поперечному перерізу апарата, обмежується величина гідростатичного тиску і пов'язані з ним парціальні тиски кисню в газовій фазі, та сталі насичення киснем, які визначають рушійний потенціал процесу масопередавання. Окрім того, співвідношення висоти і діаметра газорідинного шару впливає на гідродинамічний режим останнього, а рівно і на ефективність масообміну. Однак до цього часу відсутні чіткі визначення впливу вказаного співвідношення на результативність аерації, тому до числа одного із завдань цього дослідження віднесена його оцінка.

Оскільки величини виходів біомаси не перевищують 80 % по масі перероблюваної маляси, або навіть складають 60...70 %, то це визначає необхідність і доцільність удосконалення як аераційних систем, так і апаратів в

цілому, а також технологій вирощування хлібопекарських дріжджів.

На цей висновок наводять, зокрема, міркування про вплив окремих факторів, що супроводжують процеси вирощування мікроорганізмів. Наприклад, за зростання співвідношення висоти до діаметра має місце подвійний вплив. По-перше, зростає середня стала насичення, що йде на користь процесу масопередачі, проте підвищене вилучення кисню в решті решт може привести до того, що на певній висоті середовища концентрація  $O_2$  в газових бульбашках стане близькою до нуля і масообмін киснем припиниться або навіть змінить напрямок. Подвійний вплив також має температура культурального середовища, бо її зростання, наприклад, зменшуючи в'язкість рідинної фази прискорює масообмін, але одночасно зменшує сталу насичення киснем на користь зменшення масопередавання. Щось подібне має місце і у параметрах гідродинаміки, бо зменшення гідростатичного тиску зі спливанням газових бульбашок збільшує їх розміри, а рівно і поверхню масопередавання, але одночасно зростає швидкість відносного руху, що зменшує газовміст або утримувальну здатність по газовій фазі.

Пошук узагальненої оцінки впливів різних фізичних і хімічних факторів звичайно завершують використанням відомої формули масообміну

$$\frac{dM}{dt} = kSF, \quad (1)$$

де:  $k$  – коефіцієнт масопередавання;

$S$  – площа поверхні масопередавання;

$F$  – рушійна сила процесу, що ґрунтується на загальному підході у створенні та використанні лінійних кінетичних рівнянь, які у більшості випадків не охоплюють всю багатогранність і складність явищ.

Такого типу рівняння можуть бути використаними для пошуку напрямків інтенсифікації в передбаченні про незначне відхилення параметрів від стану термодинамічної рівноваги і малості градієнтів потенціалів перенесення. Для аналізу нелінійних співвідношень між потоками перенесення і градієнтом потенціалу слід використовувати підходи і принципи термодинаміки незворотних процесів. Це означає, що пропорційність між параметрами  $M$ ,  $k$ ,  $S$  і  $F$  зникає і на разі виникає необхідність уточнення наведеної залежності. На це ж вказують і наведені раніше висновки щодо подвійних впливів окремих термодинамічних факторів на масообмін. На особливу увагу заслуговує вплив температур на масообмін і режими культивування мікроорганізмів.

Технології харчових і мікробіологічних виробництв мають у своєму арсеналі сучасні уявлення про атомно-молекулярне вчення, хімічні зв'язки і будову молекул, внутрішній устрій рідин, твердих тіл, біологічних структур, природу розчинів, дисперсних систем, колоїдів, хімічну термодинаміку тощо. Хімічні перетворення здійснюються з виділенням або поглинанням енергії. У більшості випадків така енергія є тепловою.

В процесах біосинтезу має місце розпад і синтез нових речовин, які відбуваються в рідинних середовищах з підтриманням відповідних енергетичних, матеріальних і у сучасному розумінні інформаційних балансів. З одного боку необхідно витримувати на оптимальному рівні концентрацію

живильних речовин, біостимуляторів, розчиненого кисню, але з іншого боку на концентрацію розчинених речовин накладаються обмеження, пов'язані з потенціалом осмотичного тиску, який на напівпроникних мембранах або оболонках перетворюється власне у осмотичні тиски.

Бажання задовольнити вказані двосторонні вимоги привели до створення так званих "приточних схем" вирощування мікроорганізмів або до процесів синтезу останніми спеціальних речовин.

При цьому подавання живильних компонентів у середовища здійснюється з врахуванням динаміки приросту біомаси в абсолютному обчисленні. Останнє означає, що враховуватися має не тільки коефіцієнт приросту, а і концентрація біомаси в культуральному середовищі.

Використовуються кілька способів визначення швидкості приросту біомаси, однак життєдіяльність мікроорганізмів тісно пов'язана з умовами активності. Саме тому математичним узагальненням майже неможливо охопити біологічні культури з неоднаковою ферментативною активністю. Однак в ідеалі можливо орієнтуватися на експоненціальну модель, за якою

$$m = m_0 e^{k\tau}, \quad (2)$$

де:  $m$  – маса мікроорганізмів в кінці процесу;

$m_0$  – початкова кількість біомаси;

$k$  – коефіцієнт швидкості накопичення біомаси;

$\tau$  – час пророщування.

Створення повітряно-приточних схем вирощування дріжджів і мікроорганізмів взагалі супроводжувалося намірами приведення до оптимальних факторів впливу на процеси. Очевидно, що швидкість приросту біомаси залежить від осмотичного тиску культуральних середовищ, який створюється присутністю в них як цукрів, так і нецукрів та інших хімічних елементів та їх сполук. Осмотичний тиск середовища повинен бути меншим за тиск клітинного соку мікроорганізмів, завдяки чому покращуються умови масообміну і засвоєння живильних речовин. Існує наукова і емпірична інформація про те [3, 9], що зі збільшенням вказаної різниці осмотичних тисків швидкість накопичення біомаси зростає. На існуючий вплив осмотичних тисків середовищ також вказує певна кореляція цього показника з концентрацією сухих речовин в клітинному соку.

Погодинний приріст біомаси в процесах її синтезу також узгоджується з показниками осмотичних тисків. Так за концентрації сухих речовин в розчинах на рівні 5 % погодинний приріст біомаси досягає 16...17 %, а зі збільшенням концентрації СР до 7...8 % приріст не перевищує 11...12 %.

Разом з тим природними є різні рівні впливу осмотичних тисків на різновиди мікрофлори. Так висока концентрація СР гальмує і обмежує ріст дріжджових грибів-нецукроміцетів.

Окрім того, недоліки, пов'язані з обмеженням швидкості приросту мікробних культур, можуть бути подолані за рахунок підвищення накопичень біомаси. Останнє також дає можливість варіації температури процесу. При цьому слід мати на увазі певні перспективи впливу на швидкість розчинення кисню в процесах аерації.

## ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ №1 (16), 2019

Молекулярно-кінетична теорія газів і рідин дає можливість підрахувати число ударних взаємодій між молекулами тих чи інших речовин за визначених умов. Якщо скористатися результатами таких підрахунків, то виявиться настільки висока частота взаємодій, що реакції повинні протікати миттєво. Однак насправді далеко не всі реакції і взаємодії завершуються так швидко завдяки їх обмеженому енергетичному підґрунтю, якому надали назву енергії активації [2, 4]. Підвищення температури середовища супроводжується зростанням кількості активних молекул, що завершується прискоренням хімічних і біохімічних реакцій.

Мікроорганізми цукроміцети вирощують в широкому діапазоні температур, хоча їх оптимальна температура близька до 30 °С і зниження цього показника приводить до зменшення швидкості росту. Однак і підвищення температури до 34...40 °С гальмує їх приріст та розмноження і окрім того вказаний інтервал наближає температуру до оптимальної для нецукроміцетів. Останні мають швидкість розмноження, яка у 5...7 разів перевищує цей показник цільової культури. У зв'язку з відміченим слід зробити висновок про доцільність деякого зниження температури культивування мікроорганізмів, компенсуючи зниження приросту за рахунок підвищення концентрації (накопичень) біомаси.

Ця пропозиція заслуговує на увагу ще за додаткового наслідку, пов'язаного з розчинністю кисню у зв'язку з температурою рідинного середовища. Не вдаючись в аналіз фізичного підґрунтя цього явища, нагадаємо лише про те, що константа Генрі у відповідному законі [7] зростає саме зі зниженням температури. Відображення вказаного взаємозв'язку у рівнянні масоперенесення стосується сталої насичення  $c_n$ , а рівно і рушійного фактора масопередавання.

Таким чином, вирішуючи завдання інтенсифікації масообміну в культуральних середовищах, доцільно виконати аналіз впливу на процес вибору такого параметра, як температура.

В табл. 1 наведено дані, які стосуються значень констант Генрі  $k_H$  для азоту і кисню з розмірністю  $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{МПа})$  з урахуванням питомої маси кисню  $\rho_{\text{O}_2} = 1,429$  і азоту  $\rho_{\text{N}_2} = 1,251 \text{ кг}/\text{м}^3$ , а у табл. 2 – дані щодо масової розчинності азоту та кисню за умови аерації води повітрям [11].

**Таблиця 1**

*Значення констант Генрі  $k_H$ ,  $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{МПа})$*

Газ	Температура, °С							
	0	5	10	15	20	25	30	40
Азот	0,294	0,261	0,233	0,21	0,193	0,179	0,168	0,148
Кисень	0,699	0,613	0,543	0,487	0,443	0,404	0,373	0,298

**Таблиця 2**

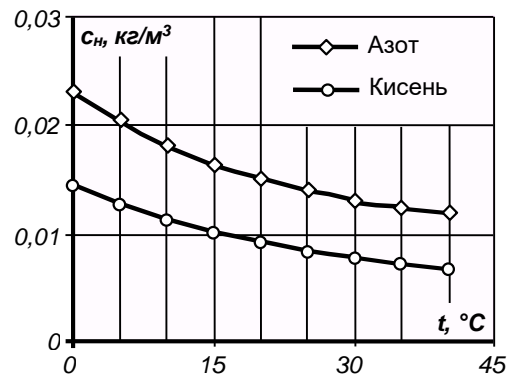
*Значення масових розчинностей газів у воді ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ) при парціальних тисках*

## ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ №1 (16), 2019

азоту  $P_{N_2} = 0,078$  і кисню  $P_{O_2} = 0,021$  МПа

Газ	Температура, °С							
	0	5	10	15	20	25	30	40
Азот	0,022	0,02	0,018	0,016	0,015	0,014	0,013	0,011
Кисень	0,014	0,012	0,011	0,01	0,009	0,008	0,007	0,006

На рис. 2 відображено графічну залежність розчинності азоту та кисню в залежності від температури.



**Рис. 2.** Графіки залежності розчинності азоту та кисню від температури при аерації води повітрям

За показником сталої насичення  $s_n$  перехід від температури культивування 30°C до температури 20 °С приводить за інших рівних умов до збільшення рушійного параметра масопередавання на

$$\frac{0,009 - 0,007}{0,007} \cdot 100 = 28,6 \% .$$

### ВИСНОВКИ

Виконані аналіз сучасного стану проблеми і дослідження дозволяють зазначити наступне.

Зниження температури середовища супроводжується зміною таких показників рідинної фази, як в'язкість і поверхневий натяг. Останні два параметри мають вплив на динаміку формування міжфазної поверхні та її величину, а також на дифузійне і конвективне масоперенесення в обох фазах.

З порівняння даних видно, що коефіцієнт Генрі по кисню суттєво переважає аналогічний показник по азоту, однак за показником масової розчинності переважає азот. Це пояснюється тим, що парціальний тиск азоту в повітряній суміші більший за парціальний тиск кисню у 3,714 рази.

Масообмінні процеси по азоту в газорідній системі майже локалізовані, що пояснюється насиченням рідинної фази  $N_2$ , оскільки його споживач відсутній. Прояви масообмінних процесів по азоту можливі лише за рахунок гідростатичного тиску у зв'язку з циркуляцією у вертикальних контурах. Разом



з тим стан насичення на  $O_2$  практично не досягається і величина  $c_n$  означає лише потенціал системи.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Беккер М.Е. Введение в биотехнологию. Москва: Пищевая промышленность, 1978. 267 с.
- [2] Бурдо О.Г., Калинин Л.Г. Прикладное моделирование процессов переноса в технологических системах. Одесса, 2008. 348 с.
- [3] Гандзюк М.П. Совершенствование процесса культивирования хлебопекарных дрожжей и его аппаратного оформления: автореф. дисс. д-ра техн. наук. Киев: КТИПП, 1984. 49 с.
- [4] Глинка Н.Л. Общая химия. Ленинград: Химия, 1984. 704 с.
- [5] Новаковская С.С., Шишацкий Ю.И. Справочник по производству хлебопекарных дрожжей. Москва: Пищевая промышленность, 1980. 375 с.
- [6] Пирог Т.П., Игнатенко С.В., Тарасенко Д.О. Ключові проблеми промислового одержання мікробних поверхнево-активних речовин // Харчова промисловість. 2008. № 7. С. 32-36.
- [7] Піддубний В.А. Наукові основи і апаратне оформлення перехідних процесів харчових і мікробіологічних виробництв: автореф. дис. д-ра техн. наук. Київ: НУХТ, 2008. 47 с.
- [8] Плевако Е.А. Технология дрожжей. Москва: Пищевая промышленность, 1970. 300 с.
- [9] Семихатова Н.М., Лозенко М.Ф., Белова Л.Д. и др. Производство хлебопекарных дрожжей. Москва: ВО Агропромиздат, 1987. 272 с.
- [10] Соколенко А.И. Исследование процессов аерации питательных сред и разработка новых конструкций дрожжерастильных аппаратов: дисс. канд. техн. наук. Киев: КТИПП, 1972. 171 с.
- [11] Справочник химика. Т. 3. Ленинград: Химия, 1965. 1005 с.
- [12] Тиманюк В.А., Животова Е.Н. Биофизика. Киев: Професионал, 2004. 704 с.

### **TECHNICAL SUPPORT OF AEROBIC FERMENTATION PROCESSES**

**Palash A.**, PhD., Assoc. Professor      **Poltava College of Food Technology,  
director / Ukraine**

**Piddubny V.**, DThSc., Prof.,  
Winner of the State Prize of  
Ukraine in Science and Technology      **Kyiv National University of Trade and  
Economics, Professor of Technology  
and Organization of Restaurant  
Management / Ukraine**

**Golovkina L.**      **Uman National University of  
Horticulture, Lecturer in the Department  
of Applied Engineering / Ukraine**

**Abstract:** *The article shows that aerobic fermentation of sugar-containing media requires the presence of dissolved oxygen in them. In most cases, the latter condition is fulfilled by the introduction and dispersion in the liquid phase of the air, which is compressed to levels corresponding to hydrostatic pressures with some exaggeration. The formation of the dispersed gas phase is accompanied by the interaction of the inlet air and the liquid phase, the efficiency of which is determined by the formed contact surface. The study presents generalizations that relate to the*

dynamics of biomass growth and correlate with the amount of oxygen introduced into the system. It is important that oxygen refers to gases with limited solubility, and therefore the hydrodynamic state and the interfacial surface are among the factors of intensification of mass transfer processes.

It is also shown that the nominal estimation of the hydrodynamic state of gas-liquid media should begin with an assessment of the aeration intensity and it is proposed to take the reduced gas phase velocity as the ratio of the volume air flow to the cross-sectional area of the apparatus. Turning to the indicator of the reduced speed negates the influence of geometrical parameters in the form of the ratio of height and diameter.

The results of the process and the efficiency of the equipment used are determined by the performance indicators in the form of concentrations of microorganisms and the output rate of the input power supply. The combination of these requirements leads to the need to combine the maximum achievable concentrations of dissolved oxygen and the minimum concentrations of sugars.

The features of the double influence of ambient temperatures in the manifestations of the optimal for microorganisms and for the solubility of gases in accordance with Henry's law are shown, the values of Henry constants are given. The list of factors of influence includes such physical parameters of the environment as viscosity, surface tension, osmotic pressure, hydrostatic pressure, temperature.

It is determined that the presence of dissolved nitrogen has an influence on the hydrodynamics of gas-liquid media due to changes in hydrostatic pressure in the circulation circuits.

**Keywords:** aerobic fermentation, dissolved oxygen, concentration, circulating circuit, osmotic pressure, hydrodynamics.

#### REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

- [1] Becker, M.E. (1978). *Introduction to biotechnology*. Moscow: Food Industry. (in Russian).
- [2] Burdo, O.G., & Kalinin, L.G. (2008). *Applied modeling of transfer processes in technological systems*. Odessa. (in Russian).
- [3] Gandyuk, M.P. (1984). *Improvement of the process of cultivation of baker's yeast and its hardware design*: author. diss. Dr. Tech. Sciences. Kiev: KTIPP. (in Russian).
- [4] Glinka, N.L. (1984). *General chemistry*. Leningrad: Chemistry. (in Russian).
- [5] Novakovskaya, S.S., & Shishatsky, Yu.I. (1980). *Baker's yeast production directory*. Moscow: Food Industry. (in Russian).
- [6] Purog, T. P., Ignatenko, S. V., & Tarasenko, D. O. (2008). Key problems of industrial production of microbial surfactants. *Food Industry*, 7, 32–36. (in Ukrainian).
- [7] Poddubny, V.A. (2008). *Scientific bases and equipment of transitional processes of food and microbiological industries*: author. Dr. Tech. Sciences. Kiev: National University Of Food Tehnologies. (in Ukrainian).
- [8] Plevako, E.A. (1970). *Yeast technology*. Moscow: Food Industry. (in Russian).
- [9] Semikhatova, N.M., Lozenko, M.F., & Belova, L.D. (1987). *Production of baker's yeast*. Moscow: VO Agropromizdat. (in Russian).
- [10] Sokolenko, A.I. (1972). *Research of processes of aeration of nutrient media and development of new designs of yeast plants*: diss. Cand. tech. Sciences. Kiev: KTIPP. (in Russian).
- [11] Chemist's Directory. (1965). Vol. 3. Leningrad: Chemistry. (in Russian).
- [12] Timanyuk, V.A., & Zhivotova, E.N. (2004). *Biophysics*. Kiev: Professional. (in Russian).

Стаття надійшла до редакції 30.10.2019

Васильківський К., к.т.н., доцент	Національний університет харчових технологій (НУХТ) / Україна
Гіджеліцький В., к.т.н., доцент	Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини / Україна
Лапін А., студент	Національний університет харчових технологій (НУХТ) / Україна

### **ДИНАМІКА І ЕНЕРГЕТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВАНТАЖІВ В ЛІНІЯХ ПАКУВАННЯ ХАРЧОВОЇ ПРОДУКЦІЇ**

***Анотація:** робота пов'язана з пошуками можливостей використання внутрішніх енергетичних ресурсів в транспортно-технологічних системах на прикладі ліній пакування харчової продукції, фасованої у скляну тару. Тенденції переходу на лінії високої продуктивності привели до необхідності їх устаткування транспортними системами подвійного призначення. Очевидно, що першим завданням є забезпечення переміщень штучних виробів на відповідних ділянках між одиницями технологічних машин, а друга складова їх задачі – виконання ролі накопичувальних пристроїв у сукупності з необхідністю перебудов масових потоків. Таке поєднання завдань привело до виключного застосування в транспортних системах замкнутих ланцюгових контурів з двома площинами тертя. Між тим відомо, що енергетичні витрати в механічних системах пов'язані з необхідністю досягнення заданих рівнів кінетичної енергії рухомих мас за подолання сил шкідливих і корисних опорів. Особливістю роботи таких транспортних систем є постійна присутність перехідних процесів і динамічних складових навантажень.*

*Дослідження доповнює відомі динамічні прояви новими співвідношеннями показників для можливості енергетичної рекуперації.*

***Ключові слова:** транспортування, пакування, тертя, кінематика, динаміка, енергетична рекуперація.*

#### **ВСТУП**

Сучасне підприємство харчової і переробної промисловості об'єднує технологічне обладнання, обладнання, що забезпечує рух сировинних, енергетичних, тарних потоків, потоків пакувальних матеріалів та інших в єдину транспортно-технологічну систему (ТТС). Взаємодія потоків визначає кінцевий результат у вигляді готової продукції та економічну ефективність виробництва. При цьому в значній більшості випадків виробництво організовано як безперервні потоки, а тому важливе значення має вибір і забезпечення параметрів, що визначають синхронізацію їх і якість технологічних впливів

(обробки) по кожній з позицій. Тимчасові відмови окремих одиниць технологічного або транспортного забезпечення визначають загальний результат, а тому сучасне виробництво будується як система, яка має в собі накопичувачі матеріальних потоків. Це в значній мірі нівелює значимість окремих негативних впливів на загальний результат.

У зв'язку з цим важливе значення має теорія синтезу таких систем і оптимізація кожної із складових ТТС по різним параметрам. До їх числа відносяться частота і подовженість відмов, досягнення швидкодії, обмеження силових і кінематичних параметрів, втрат сировини і готової продукції, зменшення питомих матеріальних і енергетичних ресурсів, трудових витрат і а кінцевому результаті зменшення собівартості продукції.

На цьому шляху виникають задачі аналізу діючого обладнання, розробка пропозицій по його удосконаленню, по синтезу принципово нових рішень при створенні ТТС і прогнозуванню перспективних шляхів розвитку.

### **АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ**

Актуальними є проблеми динаміки машин, обмеження силових дій, розробка теоретичних положень, що стосуються наукового забезпечення задач синтезу окремих систем і обладнання в цілому. Особливо це стосується перехідних процесів. Однак і усталені режими потрапляють у зону інтересів дослідників [1-3], одночасно з пошуком взаємозв'язків між кінематичними, геометричними параметрами зірочок і ланцюгів та умов виникнення відносного ковзання між виробами і рухомими опорними площинами.

Розробка пропозицій щодо обмеження недоліків обладнання для транспортування склотари і склотарної харчової продукції потребує подальшого поглиблення і осучаснення синтез транспортно-технологічних систем, основних їх складових, статички і динаміки накопичувачів, розформуваачів масивів виробів, вибору оптимального параметра обладнання тощо [9-12]. Розвиток і удосконалення всього комплексу обладнання харчових виробництв має завданням підвищення пропускної спроможності при виконанні всіх інших показників технологічних процесів. Окрім того сучасні ТТС, що здійснюють операції із склянню тарою, базуються на конструктивних рішеннях, які забезпечують найбільш можливу мінімізацію втрат склотари і готової продукції [13, 14].

Розвиток і вдосконалення всього комплексу обладнання харчових виробництв базується на підвищенні пропускної спроможності (продуктивності) при виконанні всіх інших показників технологічних процесів. При цьому просте збільшення значень кінематичних параметрів для нарощування пропускної здатності не може привести до успіхів в силу складностей протікання перехідних процесів, обмеження навантажень взаємодії робочих органів з виробами тощо. Пошуки розв'язання названих протиріч у більшості випадків привели до використання принципів і елементів створення роторно-конвеєрних ліній, до яких можна віднести і лінії пакування рідких харчових продуктів у склянну та інші види тари.

Збільшення пропускної здатності транспортно-технологічної системи, в яку входить лінія фасування, пов'язана з необхідністю вводити в її склад різні накопичувальні пристрої, які перетворюють ТТС в систему з гнучкими зв'язками

[3], що приводить до зменшення впливу зупинок основних автоматів і до підвищення в цілому пропускної спроможності. Також для збільшення останньої вводяться додатково розширені виробничі площі складів тари і готової продукції, а також зони завантаження і розвантаження транспортних засобів. Разом з тим досягнення оптимальної продуктивності такої ТТС зі збільшенням названого показника стає всі більш проблематичним. Пов'язано це зі збільшенням взаємного впливу короткострокових зупинок всього комплексу обладнання і неповною компенсацією втрат за рахунок введення накопичувачів ящиків, піддонів, порожніх і заповнених пляшок тощо. Введення до складу ТТС названого обладнання приводить до зниження темпів росту економічної ефективності. Тому можливо передбачити екстремум в даній залежності. Його положення буде визначатися у тому числі і такими показниками, як матеріало- і енергоємність, кількість персоналу для обслуговування, зайнята площа, надійність і довговічність і т.п. кожної одиниці обладнання

Іншим обмеженням в нарощуванні пропускної спроможності ТТС є те, що в лініях фасування відбувається значна трансформація вантажопотоків, здійснюється накопичення, укрупнення і зменшення масивів, що пов'язано з необхідністю зупинок вантажопотоків і пояснює циклічність роботи виконавчих органів. Поєднання циклічності з необхідністю швидкодії приводить до того, що в такому обладнанні перехідні процеси переважають над усталеними режимами. Це означає, що суттєво збільшуються динамічні навантаження як на робочі органи, так і на вироби [9, 10].

Аналіз досліджень з динаміки машин показує, що обмеження силових параметрів може досягатися за рахунок варіювання швидкостями ведучих, ведених або проміжних мас системи, жорсткостями пружних елементів, виконання систем зі змінною жорсткістю, реалізації режимів послідовного навантаження тощо. Сучасний рівень досліджень процесів переміщення штучних вантажів або масивів базується на теорії тертя [2], врахуванні кінцевої жорсткості елементів приводів. При цьому ставиться задача розроблення оптимізованих систем за різними критеріями оптимізації. До останніх частіше за все відносять часові параметри (реалізується режим швидкодії), значення кінематичних параметрів [5]. Разом з тим при створенні обладнання повинні бути враховані такі критерії, як безпечність, ефективність, відповідність іншому обладнанню транспортно-технологічної системи. Вибір критеріїв оптимізації сам по собі є складною задачею, оскільки поєднання різних вимог суперечне. Так в протиріччі знаходяться показники швидкодії і силові параметри, надійність обладнання, вартість тощо.

У зв'язку з цим потрібно забезпечувати умови зберігання тари і готової продукції, точності позиціонування вантажів, що переміщуються відносно робочих органів, уникнення явищ затороутворення, оптимізацію розмірів обладнання. Для забезпечення умов експлуатації обладнання ТТС за рахунок зниження значень кінематичних параметрів використовуються багатопотокові системи, дублювання технологічних машин однакового призначення і у зв'язку з цим виникає необхідність використання подільників потоків, пристроїв для формування ряду або кількох рядів недетермінованих і детермінованих

масивів, пристроїв для поділу в одному або кількох рядах тощо. Часто вирішення таких задач покладається на недетерміновані принципи, але ці спроби не завжди відповідають необхідним результатам. Тому передбачаються пошуки альтернативних рішень, спрямованих на визначеність у виконанні технологічних процесів. Це стосується у першу чергу необхідності формування масивів виробів циліндричної форми перед завантаженням транспортної тари або пастеризаторів. Наприклад, в конструкціях вітчизняних і закордонних вкладальників пляшок для отримання окремих рядів використовують багатопотокові конвеєри з поздовжніми подільниками, заповнення яких здійснюється з нормально або паралельно розташованих до них конвеєрів, на яких вироби знаходяться в контакті один з одним. Оскільки транспортування і перевантаження пляшок відбувається за рахунок сил тертя їх з рухомими опорними поверхнями конвеєрів, то силова взаємодія між виробами і між виробами і напрямними є завжди. В результаті значної кількості місць, де відбувається контакт виробів з нерухомими елементами конструкцій, імовірність виникнення заторів є високою і виникає необхідність встановлення додаткових засобів для їх подолання, наприклад, штовхачі, вібратори тощо. Тому габарити пристроїв та їх матеріало- та енергоємність збільшуються.

Перша спроба визначити причини виникнення заторів і взаємозв'язки між силовими, геометричними і кінематичними параметрами накопичувачів описана в роботах [7, 8].

Організація всієї транспортно-технологічної системи може бути досягнута при наявності можливостей варіювання величиною пропускної спроможності кожної одиниці обладнання, яка входить до складу ТТС. При цьому швидкість руху вантажів в ТТС на окремих ділянках може бути різною, можливі навіть короткочасні зупинки вантажопотоків. Для того, щоб такі місцеві порушення нормального ритму роботи не приводили до зниження пропускної здатності системи в цілому використовуються відповідні накопичувачі. Наступне доведення до номінального рівня міжопераційних запасів пов'язано з можливістю збільшення пропускної здатності окремих ділянок ТТС при максимальному обмеженні динамічних параметрів взаємодії між робочими органами і виробами.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Показники роботи транспортно-технологічних систем в значній мірі визначаються рівнем механізації і автоматизації, якістю технологічних і транспортних засобів, тари і засобів для створення збільшених вантажних одиниць, приладів контролю за якістю стану елементів ТТС, можливістю автоматичного керування, рівнем підготовки обслуговуючого персоналу тощо. Відповідність ТТС вказаним потребам є необхідною умовою їх подальшого розвитку.

Транспортне обладнання ліній пакування склотарної продукції у своїй основі ґрунтується на використанні сил тертя, які одночасно виступають в ролі рушійних факторів і факторів опору. Очевидно, що в нашому випадку вони є проявом взаємодій окремих виробів між собою за взаємних переміщень, між виробами і рухомими елементами тощо. Наслідок таких взаємодій в кінцевому

результаті підпадає під розуміння одного єдиного фізичного процесу безпосереднього перетворення різних форм руху в тепловий рух. з цієї точки зору поняття "тертя" має розповсюджуватися на рідинні і газові потоки, електричний струм, теплопередавання тощо. Таким чином генерування тертям теплової енергії робить процеси незворотними. Останнє означає, що всі комплекси тертя в транспортно-технологічних системах визначають рівень незворотних енергетичних втрат. Це означає доцільність звертання до складових сил тертя і енергетичних втрат, пов'язаних з ними, тим більше, що вони мають як негативні, так і позитивні прояви.

Основою роботи конвеєрів, накопичувальних пристроїв, систем формування масивів скляних виробів, перебудови потоків виробів є рухомі опорні у більшості випадків горизонтальні площини або з відносно обмеженими ухилами до лінії горизонту, створювані кількарядними замкнутими контурами з пластинчастими ланцюгами з кроком  $\sim 50$  мм. Цей геометричний параметр за обмеженого числа зубців ведучої зірочки  $z$  навіть за її сталої кутової швидкості є причиною руху ланцюгів зі змінними швидкостями. Останнє визначає інерційні навантаження в системах транспортування, прояви м'яких динамічних ударів, ускладнює динаміку взаємодій між опорними площинами і вантажами зі збільшенням дисипативних втрат.

За призначенням і технічними умовами існування тертя реалізується у двох горизонтальних площинах. Пластини петльових ланцюгів спираються на полімерні підкладки металевого каркаса, що утворює стаціонарну площину тертя, а між виробами і опорною рухомою площиною у формі сукупності пластин, створюється площина циклічної дії. Якщо відносно першої слід очікувати доцільності забезпечення умов рідинного тертя з обмеженням силових показників і відповідно енергетичних витрат, то тертя в другій площині виступає рушійним фактором, який забезпечує переміщення масиву виробів. Однак за технологічної зупинки виробів тертя в цій площині перетворюється в складову опору рухомої опорної площини.

Перелік названих особливостей приводить до висновку про наявність двох причин виникнення перехідних процесів, а максимальні енергетичні витрати мають визначатися за сумою опорів в обох площинах.

На рис. 1 наведено розрахункову схему і кінематичні параметри руху опорної площини, які в аналітичній формі відображуються залежностями:

$$V_r = \omega R \cos \varphi = \omega R \cos \omega \tau; \quad a_r = \omega^2 R \cos \omega \tau, \quad (1)$$

де:  $V_r$  і  $a_r$  – відповідно горизонтальні складові швидкості і прискорення руху ланцюга (опорної площини), м/с і м/с<sup>2</sup>;

$R$  – радіус діляльного кола зірочки, м;

$\omega$  – кутова швидкість зірочки, с<sup>-1</sup>;

$\tau$  – час перебігу процесу, с.

При цьому

$$V_{r \max} = V = \omega R; \quad a_{r \max} = \omega^2 R \sin \varphi_{\max} = \omega^2 R \sin \frac{360}{2z}. \quad (2)$$

Наявність або відсутність відносних переміщень вантажу по опорній

площині визначається співвідношенням прискорення  $a_r$  і величини  $fg$ , де  $f$  – коефіцієнт тертя в парі "вантаж-опорна площа" і  $g$  – прискорення вільного падіння. Проковзуванню відповідає умова  $|a_r| > |fg|$ , а визначення відповідних ділянок здійснимо на основі графічних побудов (рис. 2). Прийmemo наступні значення параметрів:  $V = 1$  м/с;  $z = 6$ ;  $R = 0,05$  м;  $f = 0,1$ .

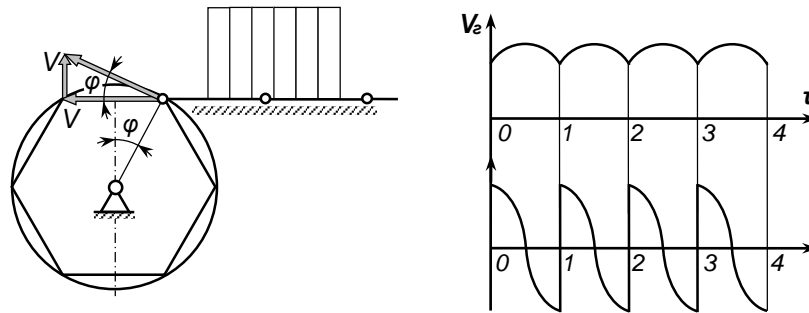


Рис. 1. Розрахункова схема і кінематичні параметри руху ланцюга

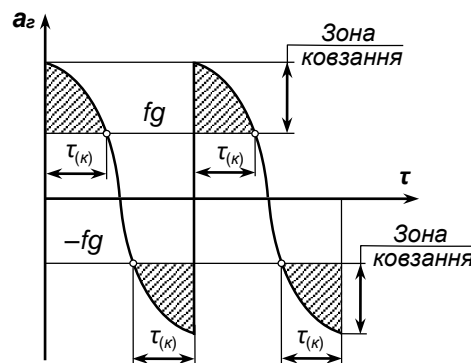


Рис. 2. Ілюстрація до визначення параметрів ковзання

Тоді кутова швидкість зірочки:

$$\omega = \frac{V}{R} = \frac{1,0}{0,05} = 20 \text{ с}^{-1}; \quad a_{r \max} = 20^2 \cdot 0,05 \cdot 0,5 = 10 \text{ м/с}^2.$$

При цьому  $fg = 0,1 \cdot 9,81 = 0,981 \text{ м/с}^2$ . Оскільки існує зона, на якій виконується умова  $|a_r| > |fg|$ , то це означає існування проковзування, час перебігу якого визначиться з умови:

$$a_{r \max} = \omega^2 R \sin \omega \tau_{(к)} = fg. \quad (3)$$



## ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ №1 (16), 2019

$$\text{Звідси} \quad \sin \omega \tau_{(k)} = \frac{fg}{\omega^2 R} \quad \text{і} \quad \tau_{(k)} = \frac{\arcsin fg / \omega^2 R}{\omega}. \quad (4)$$

За відомого часу перебігу ковзання  $\tau_{(k)}$  одержуємо можливість знайти відповідне відносне переміщення

$$S_{(k)} = \int_0^{\tau_{(k)}} \omega R \cos \omega \tau \, d\tau = R \sin \omega \tau_{(k)}, \quad (5)$$

яке в періоди прискореного руху опорної площини має зворотний напрямок, а за сповільненого руху – співпадає з напрямком її переміщення. Це означає, що за симетричних законів прискорення  $a_r$  відносні переміщення взаємно компенсуються, однак вони мають прояви в динамічних навантаженнях ланцюгів і приводів транспортних систем. На ділянках прискореного руху в режимах ковзання динамічні навантаження зростають на величину сил тертя масиву виробів з опорною площиною, в періоди переміщень без проковзування додаткове навантаження відсутнє, а на ділянках сповільненого руху опорної площини за наявності ковзання динамічні складові навантажень обмежуються.

Оцінку енергетичних потенціалів при таких переміщеннях можливо здійснити за відомих значень переміщень в режимах ковзання і сил тертя. В першому наближенні будемо вважати, що одержану залежність (5) можливо розповсюдити на весь масив виробів, що знаходяться на рухомій опорній площині. Оскільки в режимі повороту ведучі зірочки на кутовий крок відносно ковзання відбувається двічі, то йому відповідає переміщення  $2S_{(k)}$ , а повному оберту зірочки при  $z = 6$  одержуємо значення:

$$S = 12S_{(k)}, \text{ м/об}, \quad (6)$$

або з врахуванням (5) маємо:

$$S = 12R \sin \omega \tau_{(k)}, \text{ м/об}. \quad (7)$$

Цьому показнику відповідає кількість дисипованої теплової енергії, яку оцінюємо на рівні роботи проти сил тертя у формі:

$$E_0 = 12fmgR \sin \omega \tau_{(k)}, \text{ Дж/об}. \quad (8)$$

Тоді за числа  $n$  обертів ведучої зірочки за одну хвилину маємо:

$$E = 12nfmgr \sin \omega \tau_{(k)}, \text{ Дж/хв}. \quad (9)$$

За значень  $z \neq 6$  одержуємо:

$$E = 2znmgr \sin \omega \tau_{(k)}, \text{ Дж/хв}. \quad (10)$$

Перехід до оцінки дисипованої потужності дозволяє записати:

$$N = \frac{zn}{30} fmgR \sin \omega \tau_{(k)}, \text{ Вт}. \quad (11)$$

Одержані математичні формалізації особливостей явища проковзування масиву виробів на опорній рухомій площині приводить до можливості визначення параметрів впливу щодо динаміки і енергетичних показників, які стосуються випадків транспортування масивів виробів без загального

## ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ №1 (16), 2019

проковзування з примусовим гальмуванням.

Проте за останньої умови фізичні передумови перебігу процесів інші і відповідають випадках тертя у двох площинах, за яких набір факторів впливу виступає стабілізованим. Останнє стосується рушійних факторів, факторів опору і приведених мас системи.

Наявність дисипативних енергетичних втрат у випадках регулярних проковзувань виробів і опорних площин приводить до висновку про доцільність реалізації систем за їх відсутності. При цьому набір геометричних і кінематичних параметрів повинен бути таким, щоб виконувалась умова:

$$a_{r \max} \leq fg, \quad (12)$$

граничному значенню якої відповідає умова  $a_{r \max} = fg$ .

Звернувшись до раніше обраного значення  $fg = 0,981 \text{ м/с}^2$ , одержуємо:

$$\omega^2 R \sin \frac{360}{2z} = 0,981 \text{ м/с}^2, \quad (13)$$

і визначаємо: 
$$\omega = \sqrt{\frac{0,981}{0,05 \cdot 0,5}} = 6,264 \text{ с}^{-1}. \quad (14)$$

Така кутова швидкість ведучої зірочки відповідає лінійній швидкості опорної площини:

$$V_r = \omega R = 6,264 \cdot 0,05 = 0,314 \text{ м/с}. \quad (15)$$

Оскільки в значеннях  $fg$  варіації можливі за рахунок коефіцієнтів тертя, то оцінку можливих впливів на значення параметрів наведено в таблиці.

**Таблиця 1**

*Співвідношення кінематичних параметрів за варіацій  
коефіцієнтами тертя*

f	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35
fg, м/с <sup>2</sup>	0,981	1,47	1,962	2,453	2,943	3,434
ω, с <sup>-1</sup>	6,264	7,67	8,86	9,9	10,85	11,72
V, м/с	0,314	0,384	0,434	0,495	0,543	0,586

Очевидно, що необхідність обмеження швидкостей опорних рухомих площин має у собі одночасно і позитивні і негативні наслідки. До позитивних відносяться відсутність проковзування як наслідку кінематики, обмеження загального рівня кінетичної енергії рухомих мас, динамічних навантажень у випадках ударних взаємодій в перехідних процесах, можливість представлення мас опорної рухомої площини і вантажів сукупною приєднаною масою в розрахункових динамічних моделях. Одночасно недоліком системи зі знизженими значеннями швидкості є обмеження пропускної здатності. Цей недолік в сучасних системах розв'язується за рахунок збільшення рядності замкнутих ланцюгових контурів (рис. 3).



Рис. 3. Компенсатор (накопичувач) в системі транспортування виробів

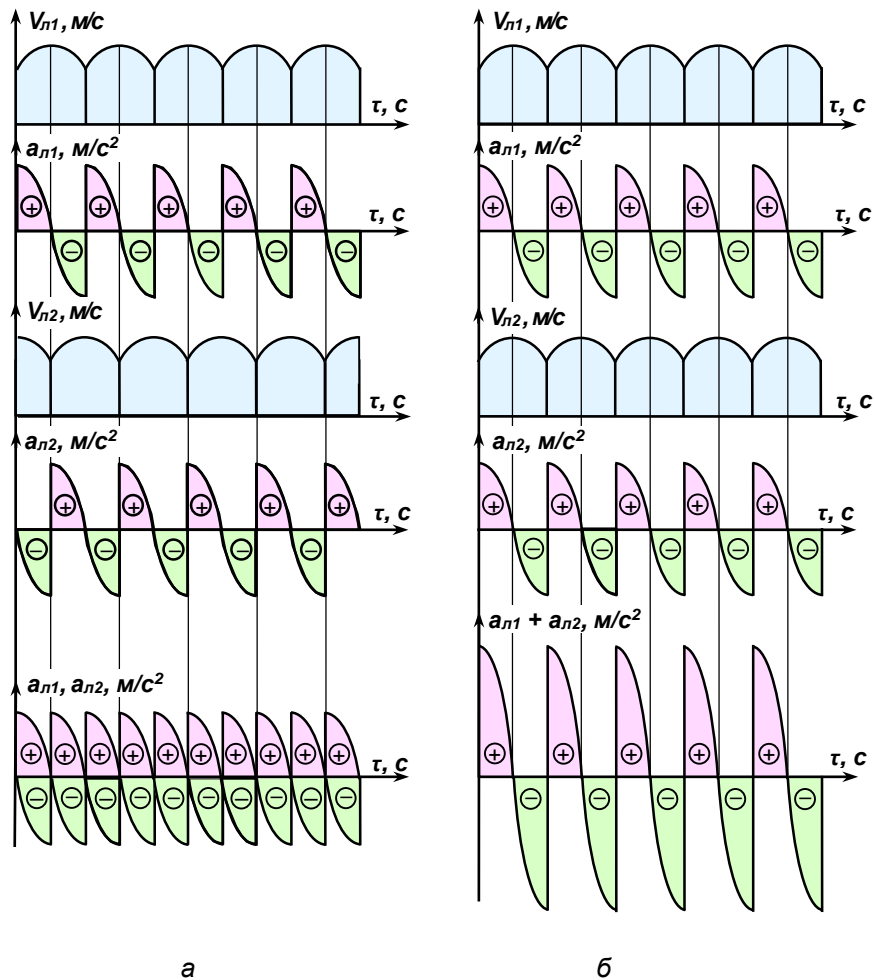
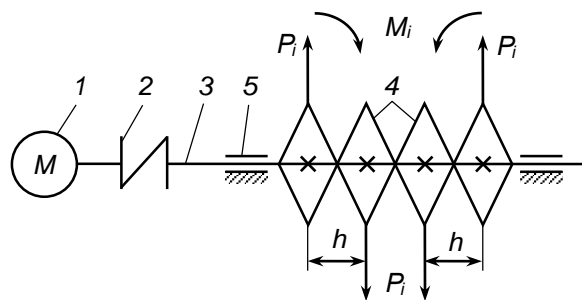


Рис. 4. Кінематичні діаграми переміщення і діаграми сил інерції двох ланцюгів: а – ланцюги встановлено зі зміщенням зірочок; б – ланцюги встановлено без зміщення зірочок

Окрім ланцюгових контурів до складу накопичувальних пристроїв входять каркас, ведучі і ведені зірочки, змонтовані на валу і осі. Для таких випадків досяжною є попарна синхронізація ланцюгів, за явою прискорені рухи одного збігаються зі сповільненими рухами іншого за рахунок відносного зміщення зірочок на ведучому валу на крок  $\alpha = 360/z$ , де  $z$  – число зубців. Такому випадку відповідають діаграми на рис. 4. З діаграм прискорень витікає, що за кожного переходу зубця на новий шарнір має місце м'який удар, який вилучити з системи неможливо. Проте зміщення зірочок на вказаний кут забезпечує різноспрямованість ударних імпульсів. За попарного зміщення зірочок другої пари можливо нівелювати значення моментів сил інерції (рис. 5).



**Рис. 5.** Схема приводного вузла чотирирядного конвеєра: 1 – мотор-редуктор; 2 – муфта; 3 – ведучий вал; 4 – ведучі зірочки; 5 – підшипникові вузли

## ВИСНОВКИ

1. В системах транспортування склотарної продукції харчових виробництв рушійні фактори у більшості випадків представлені силами тертя. Одночасно замикання кінематичних пар між виробами і опорними рухомими площинами здійснюється за рахунок сил тяжіння, що за випадків неспівпадіння їх швидкостей приводить до утворення додаткової площини тертя з відповідним зростанням енергетичних витрат і динамічних складових навантажень.

2. Нерівномірність швидкостей переміщення ланцюгів замкнених контурів супроводжується додатковими відносними переміщеннями за певних співвідношень кінематичних і геометричних параметрів. Відповідним набором параметрів досяжною є ліквідація цих додаткових переміщень масивів виробів відносно опорних площин і обмеження енергетичних витрат.

3. Використання жорстких кінематичних зв'язків в паралельних системах дозволяє здійснити зміни швидкостей в протифазах і забезпечити енергетичну рекуперацію. За стабілізованих кінематичних параметрів порівняно з однопотокowymi системами досягається більший рівень навантажень двигунів приводів з підвищеною продуктивністю.

## ЛІТЕРАТУРА

- [1] Пристрій для переміщення вантажів: патент 58946 UA: МПК В65В 5/10 (2006.01). / Соколенко А.І., Шевченко О.Ю., Піддубний В.А., Максименко І.Ф., Шевченко А.О.; заявник та патентовласник Національний університет харчових технологій. № u201012737; заявл. 27.10.2010; опубл. 26.04.2011, Бюл. № 8, 2011 р.

## ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ №1 (16), 2019

- [2] Соколенко А.І., Васильківський К.В., Костюк В.С. Про можливість рекуперації кінетичної енергії в машинах і механізмах // Харчова промисловість. 2016. № 19. С. 92-99.
- [3] Теория механизмов и механика машин: учеб. для вузов / К.В. Фролов, С.А. Попов, А.К. Мусатов Г.А. Тимофеев; под. Ред. Г.А. Тимофеева. Изд. 6-е испр. и доп. Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. 688 с.
- [4] Соколенко А.І., Васильківський К.В., Степанець О.І. Рекуперация кінетичної енергії в технологічних машинах // Харчова промисловість. 2016. № 20. С. 138-145.
- [5] А. Терехова, А. Соколенко, К. Васильківський. Перспективи рекуперації кінетичної енергії в технологічних машинах // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: матеріали 85 Ювілейної Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, присвяченої 135-річчю Національного університету харчових технологій, 11-12 квітня 2019 р. Ч 2. Київ: НУХТ. С. 127.
- [6] А. Лапін, А. Соколенко, Ю. Ступак. Особливості динаміки технологічних машин циклічної дії // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: матеріали 85 Ювілейної Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, присвяченої 135-річчю Національного університету харчових технологій, 11-12 квітня 2019 р. Ч 2. Київ: НУХТ. С. 128.
- [7] Шевченко О.Ю. Дослідження і оптимізація робочих процесів обладнання для роботи з масивами склотари в лініях розливу: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.18 / наук. кер. Соколенко А.І. Київ: УДУХТ, 1995. 213 с.
- [8] Васильківський К.В. Моделювання і оптимізація робочих процесів і вдосконалення обладнання транспортно-технологічних систем в харчовій промисловості: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.09 / наук. кер. Соколенко А.І. Київ: УДУХТ, 1997. 204 с.
- [9] Проектування пакувального обладнання із мехатронних модулів: монографія / М.В. Якимчук, О.М. Гавва, А.П. Беспалько та ін. Київ: Видавництво "Сталь", 2017. 515 с.
- [10] Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І. Обладнання для пакування продукції в споживчу тару. Київ: ІАЦ "Упаковка", 2008. 436 с.
- [11] Гавва О.М., Кривопляс-Володіна А.І., Волчко А.І. Методологія синтезу компоновочних рішень // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. 2013. № 3. С. 178-182.
- [12] Функціонально-модульне компонування пакувальних машин: монографія / Гавва О.М., Кривопляс-Володіна Л.О., Токарчук С.В. та ін. Київ: Видавництво "Сталь", 2015. 548 с.
- [13] Основи САПР пакувального обладнання: навч. посіб. / Пальчевський Б.О., Крестьянполь О.А., Валецький Б.П. та ін. Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2008. 160 с.
- [14] Пальчевський Б.О., Власюк С.В. Структурна оптимізація автоматизованих ліній пакувального виробництва // Упаковка. 2004. № 3. С. 20-23.

### **DYNAMICS AND ENERGY PROVISION OF CARGO TRANSPORTATION SYSTEMS IN FOOD PACKING LINES**

**Vasytkivsky K.**, PhD., Assoc.  
Professor.

**National University of Food  
Technologies / Ukraine**

**Gidzhelitsky V.**, PhD., Assoc.  
Professor

**Pavlo Tychyna Uman State  
Pedagogical University / Ukraine**

**Lapin A.**, student

**National University of Food  
Technologies/ Ukraine**

**Abstract:** *the work is related to the search for the possibilities of using internal energy resources in transport and technological systems by the example of food packaging lines packed in glass containers. Trends in switching to high-performance*

lines have led to the need for their equipment with dual-purpose transport systems. Obviously, the first task is to ensure the movement of artificial products in the respective sections between units of technological machines, and the second component of their task - to fulfill the role of storage devices in combination with the need for restructuring mass flows. This combination of tasks has led to the exclusive use of closed circuit circuits with two friction planes in transport systems. Meanwhile, it is known that energy costs in mechanical systems are associated with the need to achieve the specified levels of kinetic energy of the moving masses in order to overcome the forces of harmful and useful resistance. The peculiarity of such transport systems is the constant presence of transients and dynamic components of loads.

The study complements the known dynamic manifestations with new ratios of indicators for the possibility of energy recovery.

In the transportation systems for glass production of foodstuffs, the driving factors in most cases are represented by friction forces. Simultaneously, the closure of kinematic pairs between the products and the supporting moving planes is due to gravity forces, which, in cases where their velocities do not coincide, leads to the formation of an additional friction plane with a corresponding increase in energy costs and dynamic components of the loads.

The uneven velocity of the closed circuit circuits is accompanied by additional relative displacements at certain ratios of kinematic and geometric parameters. An appropriate set of parameters is achievable by eliminating these additional displacements of the product arrays relative to the reference planes and limiting energy costs.

The use of rigid kinematic bonds in parallel systems allows for changes in velocities in counter-phases and provides energy recovery. With stabilized kinematic parameters, compared to single-stream systems, higher loads of drive motors with improved performance are achieved.

**Keywords:** transportation, packaging, friction, kinematics, dynamics, energy recovery.

#### REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

- [1] Sokolenko, A.I., Shevchenko, O.J., Poddubny, V.A., Maksimenko, I.F., & Shevchenko, A.A. (11). *Patent for invention No. 58946*. Ukraine. (in Ukrainian).
- [2] Sokolenko, A.I., Vasytkivsky, K.V., & Kostyuk, V.S. (2016). On the possibility of kinetic energy recovery in machines and mechanisms. *Food industry, 19*, 92-99. (in Ukrainian).
- [3] Frolov, K.V., Popov, S.A., Musatov, A.K., & Timofeev, G.A. (2009). *The theory of mechanisms and mechanics of machines: textbook for universities*. Moscow: MG TU Publishing House. NE Bauman. (in Russian).
- [4] Sokolenko, A.I., Vasytkivsky, K.V., & Stepanets, O.I. (2016). Recovery of kinetic energy in technological machines. *Food industry, 20*, 138-145. (in Ukrainian).
- [5] Terekhov, A., Sokolenko, A., & Vasytkivsky, K. (2019, April 11-12). Prospects for kinetic energy recovery in technological machines. *Scientific achievements of youth - solving the problems of human nutrition in the XXI century: materials of 85th Anniversary International Scientific Conference of Young Scientists, Graduate Students and Students, dedicated to the 135th anniversary of the National University of Food Technologies, Part 2* (127). Kiev: NUFT. (in Ukrainian).
- [6] Lapin, A., Sokolenko, A., & Stupak, Y. (2019, April 11-12). Features of the dynamics of technological machines of cyclical action. *Scientific achievements of youth - solving the problems of human nutrition in the XXI century: materials of 85th Anniversary International Scientific Conference of Young Scientists, Graduate Students and Students, dedicated to the 135th anniversary of the National University of Food Technologies, Part 2* (128). Kiev: NUFT. (in Ukrainian).

## ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ №1 (16), 2019

- [7] Shevchenko, O.Yu. (1995). *Research and optimization of work processes of equipment for work with glassware arrays in bottling lines*: diss.Cand. tech. Sciences. Kiev. 213. (in Ukrainian).
- [8] Vasykivsky, K.V. (1997). *Modeling and optimization of work processes and improvement of equipment of transport and technological systems in the food industry*: diss. Cand. tech. Sciences. Kiev. 204. (in Ukrainian).
- [9] Yakimchuk, M.V., Gavva, O.M., & Bezpalko, A.P. (2017). *Design of packing equipment from mechatronic modules: monograph*. Kiev: Steel Publishing House.
- [10] Gavva, O.M., Bespalko, A.P., & Volchko, A.I. (2008). Equipment for packing products in consumer packaging. *"Packing"*. Kyiv. (in Ukrainian).
- [11] Gavva, O.M., Krivoplyas-Volodina, A.I., & Volchko, A.I.(2013). Methodology for synthesis of layout solutions. *Bulletin of the National University of Technology and Design of Kiev*, 3, 178-182. (in Ukrainian).
- [12] Gavva, O.M., Krivoplyas-Volodina, L.A., & Tokarchuk, S.V. (2015). *Functional-modular layout of packing machines: a monograph*. Kiev: Steel Publishing House. (in Ukrainian).
- [13] Palchevsky, B.O., Krestyanpol, O.A., & Valetsky, B.P. (2008). *Fundamentals of CAD Packaging Equipment*. Lutsk: LNTU. (in Ukrainian).
- [14] Palchevsky, B.O., & Vlasjuk, S.V. (2004). Structural optimization of automated packaging production lines *"Packing"*, 3, 20-23. (in Ukrainian).

**Стаття надійшла до редакції 30.10.2019**

**Розділ: РОЗВИТОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ У  
РІЗНИХ ГАЛУЗЯХ ВИРОБНИЦТВА**

УДК 655.5+004.942

Кудряшова А. В., к.т.н., асистент

Українська академія  
друкарства / Україна

**МОДЕЛЬ ЯКОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ПІСЛЯДРУКАРСЬКИХ  
ПРОЦЕСІВ**

***Анотація:** виокремлено множину лінгвістичних змінних проектування післядрукарських процесів: показники видання, конструкційні особливості, умови експлуатації, тип виробництва, матеріали, тип обладнання, технологічні та економічні розрахунки, схема технологічного процесу. Сформовано часткові показники якості лінгвістичних змінних: якість формування видання, якість організації виробництва, якість планування. Наведено терм-множини значень лінгвістичних змінних. Побудовано багаторівневу модель нечіткого логічного виводу: формування інтегрального показника якості проектування післядрукарських процесів.*

***Ключові слова:** фактор, післядрукарський процес, нечітка логіка, фазифікація, модель, якість.*

**ВСТУП**

Використання нечіткої логіки при дослідженні проблем погано структурованого типу уможлиблює здійснення фазифікації та зворотної до неї — дефазифікації. Процес фазифікації полягає у заміні понять чіткої множини поняттями нечіткої множини, тобто зіставленні множинам значень виокремлених факторів проектування післядрукарських процесів їх функцій належності. Такий підхід забезпечує високий рівень збіжності створюваної моделі та реального перебігу технологічного процесу, уможливаючи визначення інтегрального показника якості.

**ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ**

Проектування післядрукарських процесів — це необхідна складова забезпечення якості готової книжкової продукції, яка включає ряд послідовних операцій спрямованих на досягнення поставленої мети. Однак, фактори, які здійснюють неопосередкований вплив на реалізацію досліджуваного процесу, не завжди містять кількісну складову. Натомість, значно інформативнішими стають певні лінгвістичні характеристики. Виникає необхідність заміни понять чіткої множини поняттями нечіткої множини. Саме тому, для забезпечення точності моделювання, доцільно використовувати методи та засоби нечіткої логіки.



**АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ**

Аналіз праць, щодо оцінювання якості післядрукарських процесів, вказав на варіативність технологічних процедур, обумовлену об'єктивними та суб'єктивними чинниками [1–3], необхідність систематизації і раціоналізації операцій [4, 5] та встановлення кількісних показників якості поліграфічної продукції [6–11].

**ОСНОВНИЙ ТЕКСТ СТАТТІ**

Вважатимемо процес проектування післядрукарських процесів функцією  $G = F(R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7, R_8)$  з такими аргументами:  $R_1$  — показники видання;  $R_2$  — конструкційні особливості;  $R_3$  — умови експлуатації;  $R_4$  — тип виробництва;  $R_5$  — матеріали;  $R_6$  — тип обладнання;  $R_7$  — технологічні та економічні розрахунки;  $R_8$  — схема технологічного процесу [4, 10]. Інтегральний показник якості проектування післядрукарських процесів визначатиметься за принципом ієрархізації структури процесу. Відповідно, залежність якості проектування видання може бути виражена через якість часткових показників:

$$G = F_G(M, O, P). \tag{1}$$

Аргумент  $M$  визначає якість формування видання:

$$M = F_M(m_1, m_2, m_3), \tag{2}$$

де:  $m_1$  — лінгвістична змінна «показники видання»,  $m_2$  — лінгвістична змінна «конструкційні особливості»,  $m_3$  — лінгвістична змінна «умови експлуатації».

Аргумент  $O$  визначає якість організації виробництва:

$$O = F_O(o_1, o_2, o_3), \tag{3}$$

де:  $o_1$  — лінгвістична змінна «тип виробництва»;  $o_2$  — лінгвістична змінна «матеріали»;  $o_3$  — лінгвістична змінна «тип обладнання».

Аргумент  $P$  визначає якість опрацювання видання:

$$P = F_P(p_1, p_2), \tag{4}$$

де:  $p_1$  — лінгвістична змінна «редагування»;  $p_2$  — лінгвістична змінна «коректура».

Сформуємо таблицю, вказавши лінгвістичну суть кожної змінної, універсальні множини значень та відповідні лінгвістичні терми.

**Таблиця 1**

*Терм-множини значень лінгвістичних змінних*

Змінна	Лінгвістична суть змінної	Універсальна множина значень (множина $Y$ )	Лінгвістичні терми (множина $L$ )
$m_1$	Показники видання (складність видання)	(1–3) у.о.	Просте, ускладнене, складне
$m_2$	Конструкційні особливості (складність конструкції)	(1–3) у.о.	Проста, ускладнена, складна

продовження Таблиці 1			
$m_3$	Умови експлуатації (групи довговічності користування)	(1–6) група	Нормальні, робочі, граничні
$o_1$	Тип виробництва	(1–3) у.о.	Одиничне, серійне, масове
$o_2$	Матеріали (складність опрацювання)	(1–3) у.о.	Низька, середня, висока
$o_3$	Тип обладнання	(1–3) у.о.	Ручне, механічне, автоматизоване
$p_1$	Технологічні та економічні розрахунки	(1–3) у.о.	Низькі, середні, високі
$p_2$	Схема технологічного процесу	(1–3) у.о.	Проста, ускладнена, складна

Значення умов експлуатації сформовано на основі груп довговічності користування книжковим виданням: 1-а та 2-а група — нетривалий термін служби (до двох років) з малою чи великою інтенсивністю користування; 3-я та 4-а група — середній термін користування (від 2 до 10 років) з малою чи великою інтенсивністю користування; 5-а та 6-а група — тривалий термін (від 10 років і більше) з високою інтенсивністю користування [1–3].

Для візуалізації залежності якості проектування післядрукарських процесів від значення лінгвістичних термів виокремлених факторів синтезуємо багаторівневу модель нечіткого логічного виводу (рис. 1) [8, 10, 11].

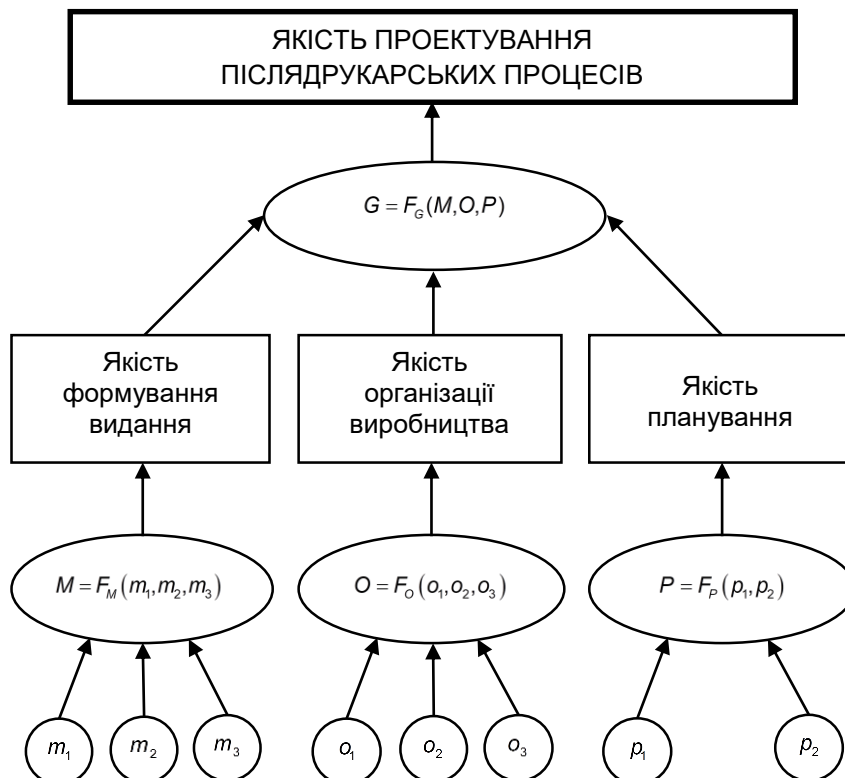


Рис. 1. Багаторівнева модель нечіткого логічного виводу: формування інтегрального показника якості проектування післядрукарських процесів

## ВИСНОВОК

Синтезовано багаторівневу модель нечіткого логічного виводу формування інтегрального показника якості проектування післядрукарських процесів. Створено передумови для прогностичного оцінювання якості аналізованого процесу, шляхом накопичення інформації від найнижчого рівня моделі, до найвищого.

## ЛІТЕРАТУРА

- [1] Маїк В. З. Технологія брошурувально-палітурних процесів : підр. / За заг. ред. д-ра техн. наук, проф. Лазаренка Е. Т. Львів : УАД, 2011. 488 с.
- [2] Карпенко В. С., Сисюк В. Г. Друкарське і брошурувально-палітурне виробництво: проектування та розрахунок технологічних процесів. Львів: УАД, 1999. 76 с.
- [3] Величко О. М., Скиба В. М., Шангін А. В. Проектування технологічних процесів видавничо-поліграфічного виробництва: Навч. посіб. К.: НТУУ «КПІ», 2014. 235 с.
- [4] Сеньківський В. М., Кудряшова А. В. Формалізоване подання зв'язків між факторами проектування післядрукарських процесів. // Поліграфія і видавнича справа. 2019. № 1 (77). С. 70–77.
- [5] Кудряшова А. В. Синтез моделі пріоритетного впливу факторів проектування післядрукарських процесів. // Наук. зап. 2019. № 1 (58). С. 48–54.
- [6] Пашуля П. Л. Стандартизація, метрологія, відповідність, якість у поліграфії: підручник. Львів: УАД, 2011. 408 с.
- [7] Заде Л. А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. Москва: Мир, 1976. 165 с.
- [8] Заде Л. Роль мягких вычислений и нечеткой логики в понимании, конструировании и развитии информационных интеллектуальных систем. Новости искусственного интеллекта. Москва, 2001. № 2–3. С. 7–11.
- [9] Сявавко М. С. Інформаційна система «Нечіткий експерт». Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007. 320 с.
- [10] Піх І. В., Сеньківський В. М., Сеньківська Н. Є., Калиній І. В. Теоретичні основи забезпечення якості видавничо-поліграфічних процесів (частина 4. прогнозування та абезпечення якості засобами нечіткої логіки). // Наук. зап. 2017. № 1 (54). С. 22–30.
- [11] Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, нейронные сети, генетические алгоритмы. Винница: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. 320 с.

## **MODEL OF QUALITY OF QUALITY OF POSTPRESS PROCESSES DESIGNING**

**Kudriashova A. V., PhD.,**  
Assistant

**Ukrainian Academy of Printing**

**/ Ukraine**

**Abstract:** *the essence of the phasification process is described. The set of linguistic variables of the process of designing the post-printing processes is distinguished: publication indicators, design features, operating conditions, type of production, materials, type of equipment, technological and economic calculations, scheme of technological process. Partial quality indicators of linguistic variables have been formed: quality of publication formation, quality of production organization, quality of planning. The notation and linguistic nature of each variable, the universal sets of values, and the corresponding linguistic terms are given. A multilevel model of fuzzy inference is constructed: formation of an integral indicator of the quality of design of post-printing processes. The preconditions for the*

*prognostic evaluation of the quality of the analyzed process were created by accumulating information from the lowest level of the model to the highest.*

**Key words:** *factor, postprinting process, fuzzy logic, phasisation, model, quality.*

**REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)**

- [1] Maik, V. Z. (2011). *Technology of stitching and binding processes*. Lviv: UAD. (in Ukrainian).
- [2] Karpenko, V. S., & Sisyuk, V. G. (1999). *Printing and bookbinding production: design and calculation of technological processes*. Lviv: UAD. (in Ukrainian).
- [3] Velichko, O. M., Skiba, V. M., & Shangin, A. V. (2014). *Designing of technological processes of publishing and printing production*. Kyiv: NTUU KPI. (in Ukrainian).
- [4] Senkivskyy, V. M., & Kudriashova, A. V. (2019). Formalized presentation of relations between factors of postpress processes design. *Printing and Publishing*, 1(77), 70–77. doi: 10.32403/0554-4866-2019-1-77-70-77 (in Ukrainian).
- [5] Kudriashova, A. V. (2019). Synthesis of model of priority influence of factors for postpress processes design. *Scientific Papers*, 1(58), 48–54. doi: 10.32403/1998-6912-2019-1-58-48-54 (in Ukrainian).
- [6] Pashulia, P. L. (2011). *Standardization, metrology, conformity, quality in polygraphy*. Lviv: UAD. (in Ukrainian).
- [7] Zade, L. A. (1976). *The concept of a linguistic variable and its application to making approximate decisions*. Moscow: The World. (in Russian).
- [8] Zade, L. A. (2001). The role of soft computing and fuzzy logic in the understanding, design and development of information intelligent systems. *Artificial Intelligence News*, 23, 7–11. (in Russian).
- [9] Syavavko, M. S. (2007). *Information system "Fuzzy expert"*. Lviv: Ivan Franko Publishing House. (in Ukrainian).
- [10] Pikh, I. V., Senkivskyy, V. M., Senkivska, N. E., & Kalyniy, I. V. (2017). Theoretical bases of quality assurance of publishing and printing processes (part 4. prediction and quality assurance by means of fuzzy logic). *Scientific Papers*, 1(54), 22–30. Retrieved from <http://nz.uad.lviv.ua/static/media/1-54/3.pdf> (in Ukrainian).
- [11] Rotshtein, A. P. (1999). *Intelligent identification technologists: fuzzy sets, neural networks, genetic algorithms*. Vinnytsia: UNIVERSUM-Vinnytsia. (in Russian).

**Стаття надійшла до редакції 10.11.2019**

УДК 519.61:532.51:62-91

Дмитрів В.Т., д.т.н., професор

Стоцько З.А., д.т.н., професор

Дмитрів І.В., к.т.н., доцент

Національний Університет

«Львівська Політехніка»/ Україна

## **МОДЕЛЮВАННЯ ПОГРАНИЧНОГО ШАРУ ЗА ЛАМІНАРНОГО Й ТУРБУЛЕНТНОГО РЕЖИМІВ РУХУ НЬЮТОНІВСЬКОЇ РІДИНИ У ГНУЧКОМУ ТРУБОПРОВОДІ**

**Анотація:** розглянуто моделювання параметрів пограничного шару для Ньютонівських рідин за ламінарного і турбулентного режимів руху. Виходячи із рівнянь Прандтля, методу Гальоркіна, сформовано тридіагональну систему рівнянь, що зв'язує значення функцій у точці сітки  $n+1$  поперек пограничного шару. Числовим методом за алгоритмом Томаса розраховані значення  $U_j^{n+1}$ . Значення швидкостей  $V_j^{n+1}$  визначено з рівняння нерозривності інтегруванням поперек пограничного шару. Моделювання турбулентного пограничного шару проведено на основі рівняння Нав'є-Стокса в безрозмірній формі числовим методом Дородниціна. Наведено результати моделювання розподілу швидкостей і товщини пограничного шару на ділянці трубопроводу 0.8-1.5 м від початку трубопроводу за витрат до 0.1 кг/с.

**Ключові слова:** пограничний шар, турбулентний режим, швидкість, рівняння Прандтля.

### **ВСТУП**

В задачах автоматизації технологічних процесів, забезпечення адаптації систем різного походження, виникає проблема аналітичної ідентифікації параметрів процесу. Такі систем характеризуються процесами, на параметри яких одночасно впливають декілька факторів, які характеризують технологічний процес. Зокрема у роботі розглянуто вплив параметрів транспортування ньютонівських рідин і їх характеристик на товщину пограничного шару, за різних режимів руху, від ламінарного до турбулентного. Турбулентність зумовлена пульсуючим потоком, що створюється режимом роботи обладнання – це імпульсна зміна втрат тиску у технологічних і технічних трубопроводах систем автоматики, імпульсного транспортування робочої рідини і ряд інших технічних систем що працюють на критичних режимах із високою частотою їх зміни. Пульсуючий режим руху створює “вимушену” турбулентність. Для кількісної характеристики (подачі) і якісних параметрів процесу (передачі енергії, теплопровідності і ін.) необхідно знати характеристику розподілу швидкостей у пограничному шарі, його товщину, що уможливить розрахунок напружень і інших динамічних параметрів. Трубопровід є жорстким, а більш складний процес – трубопровід гнучкий.

Дослідження характеристик пограничного шару транспортуючих середовищ, зокрема газу або рідини, які підпорядковуються законам Ньютона (Ньютонівські рідини) є актуальним завданням для різних сфер приладобудування та задач прикладної механіки. Критерієм оцінки є товщина і розподіл швидкості в пограничному шарі, що безпосередньо впливає на втрати енергії (втрати тиску) при русі Ньютонівських рідин у трубопроводі.

#### АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

Швидкість у пограничному шарі і його товщина впливають на дотичні напруження, які виникають у процесі потоку середовища, та коефіцієнт тертя, який характеризує втрати тиску. Квазістаціонарне напруження зсуву у пограничному шарі біля стінки визначають шляхом обчислення коефіцієнта тертя при миттєвому числі Рейнольдса [1]. Дотичні напруження зсуву залежать від товщини пограничного шару, а також від характеру руху, що не є однозначним за турбулентного і пульсуючого (вимушена турбулентність) режимів руху [2].

Часто досліджуючи втрати тиску використовують для розрахунків емпіричні залежності коефіцієнтів тертя, що не завжди відповідають фізиці процесу транспортування середовища і не характеризують пограничний шар та напруження, які безпосередньо впливають на втрати тиску [3].

Ряд дослідників уточнюють емпіричні рівняння, отримані експериментально для конкретних інтервалів чисел Рейнольдса [4 - 7], або існуючі залежності коефіцієнтів тертя для рідин - використовують для газів і для двофазних потоків [8], що спотворює точність розрахункових даних. В цих рівняннях відсутні параметри пограничного шару і дотичні напруження, які виникають між шарами.

За результатами експериментів розраховують емпіричні рівняння для визначення коефіцієнтів тертя на інтервалі всього ряду числа Рейнольдса [9], або проводять апроксимацію експериментальних даних для отримання емпіричного рівняння визначення коефіцієнтів тертя, особливо для двофазних потоків (рідина і газ) [10; 11]. Апроксимовані емпіричні залежності коефіцієнту тертя при використанні для чисел Рейнольдса, відмінних від експерименту, дають значну похибку у розрахунках, яка досягає до 10 %. А при переході з рідинних потоків на газові, використання таких емпіричних залежностей неприпустимо із-за зміни фізики процесу. Тоді оцінка параметрів пограничного шару за мінімальної похибки їх значень не відповідає реальному процесу.

#### Моделювання параметрів пограничного шару.

**Ламінарний пограничний шар.** Виникнення пограничного шару обумовлено в'язкістю рідини. При виводі рівняння пограничного шару скористаємося системою рівнянь Прандтля при ламінарному русі [12]:

$$U \frac{dU}{dX} + v \frac{dU}{dY} - \nu \frac{d^2U}{dY^2} = U_c \frac{dU_c}{dX}, \quad (1)$$

$$dU/dX + dV/dY = 0, \quad (2)$$

де відомо розподілення швидкості  $U_c$  на зовнішній границі пограничного шару. Для рівнянь (1) і (2) задаємо початкові умови:

ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ №1 (16), 2019

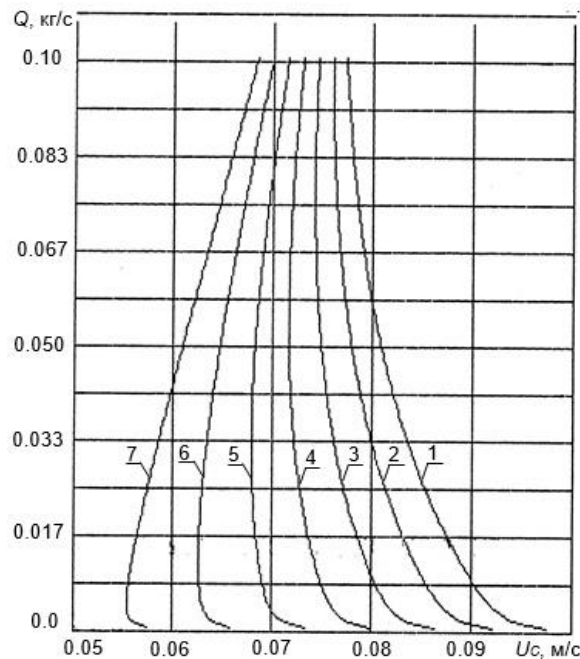
$$U(x, \delta) = U_0(\delta) \quad (3)$$

і граничні умови

$$U(x, 0) = 0, V(x, 0) = 0, U(x, \delta) = U_c(x), \quad (4)$$

де  $\delta$  – товщина пограничного шару.

Будемо вважати, що розподілення швидкості  $U_c$  на зовнішній границі пограничного шару відоме за  $r_0 - r_1 = \delta$  і відповідає значенням розподілення динамічної швидкості  $V$  поблизу стінки гнучкого трубопроводу, де  $r_0$  – внутрішній радіус трубопроводу,  $r_1$  – радіус до межі пограничного шару. Характер розподілення швидкості на зовнішній границі пограничного шару наведено на рис. 1.



**Рис.1.** Розподіл швидкості  $U_c$  на зовнішній межі пограничного шару за зміни витрати  $Q$  рідини і віддалі  $X$  (м) від початку входження у гнучкий трубопровід діаметром 14 мм: 1 – 0.8; 2 – 0.9; 3 – 1.0; 4 – 1.1; 5 – 1.2; 6 – 1.3; 7 – 1.4

Введемо наступні безрозмірні змінні рівнянь (1) і (2):

$$X = \frac{X}{L}; Y = \frac{Y}{L} \cdot \text{Re}^{0.5}; U = \frac{U}{V_r}; V = \frac{V}{V_r} \cdot \text{Re}^{0.5}, \quad (5)$$

де:  $\text{Re} = V_r \cdot L / \nu$  – число Рейнольдса;

$L, V_r$  – характеристичні довжина і швидкість ( $X = L, V_r = U$ ).

Тоді рівняння (1) і (2) з врахуванням (5) запишуться:

$$U \frac{dU}{dX} + V \frac{dU}{dY} - \frac{d^2U}{dY^2} = U_c \frac{dU_c}{dX}, \quad (6)$$

$$dU/dX + dV/dY = 0. \quad (7)$$

## ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ №1 (16), 2019

Початкові і граничні умови задаються виразами (3) і (4), які розглядаємо як рівняння для безрозмірних величин. Граничні умови  $U = U_c(x)$  приймаємо за  $Y = Y_{max}$ , де  $Y_{ax} > \delta$ , де  $Y$  – радіальна віддаль від стінки трубопроводу.

Розв'язок рівнянь (6) і (7) проведемо числовим методом. Для використання змінної в напрямку радіуса  $R$  сітки різні похідні в (6) дискретизуємо за аналогією методу Гальоркіна [13] в:

$$\begin{aligned} \frac{dU}{dr} &= \frac{(U_j^{n+1} - U_{j-1}^{n+1})k_r + (U_{j+1}^{n+1} - U_j^{n+1})/k_r}{(1+k_r)\Delta r} + O(\Delta r^2), \\ \frac{d^2U}{dr^2} &= \frac{2(U_{j-1}^{n+1} - (1+1/k_r)U_j^{n+1} + U_{j+1}^{n+1}/k_r)}{(1+k_r)\Delta r^2} + O(\Delta r), \\ \frac{dU}{dX} &= \frac{(1,5U_j^{n+1} - 2U_j^n + 0,5U_j^{n-1})}{\Delta X} + O(\Delta X^2), \end{aligned} \quad (8)$$

де: відношення двох сусідніх кроків сітки рівне:

$$k_r = (R_{j+1} - R_j)/(R_j - R_{j-1}). \quad (9)$$

Щоб отримати лінійну відносно  $U^{n+1}$  систему рівнянь недиференційовані компоненти швидкості  $U$  і  $V$ , що входять в ліву частину (6) екстраполюємо:

$$\begin{aligned} U_j^{n+1} &= 2U_j^n - U_j^{n-1} + O(\Delta X^2), \\ V_j^{n+1} &= 2V_j^n - V_j^{n-1} + O(\Delta X^2) \end{aligned} \quad (10)$$

Підставивши (8) і (10) в (6) одержимо тридіагональну систему рівнянь, що зв'язує значення функцій у точці сітки  $n+1$  поперек пограничного шару:

$$a_j U_{j-1}^{n+1} + b_j U_j^{n+1} + c_j U_{j+1}^{n+1} = d_j, \quad (11)$$

де  $p = \frac{(2V_j^n - V_j^{n-1})\Delta X}{(1+k_r)\Delta r}$ ;  $a_j = -k_r p - q$ ;

$$b_j = 1,5(2U_j^n - U_j^{n-1}) + \left(k_r - \frac{1}{k_r}\right)p + \left(1 + \frac{1}{k_r}\right)q,$$

$$c_j = \frac{p}{k_r} - \frac{q}{k_r}, \quad d_j = \Delta X \cdot U \frac{dU}{dX} + (2U_j^n - 0,5U_j^{n-1}) \cdot (2U_j^n - U_j^{n-1}).$$

На стінці  $U = 0$  за  $Y = \delta$  і  $U_{jmax} = U_c$ . Рівняння (11) утворює тридіагональну (за  $J_{max} = 2$ ) систему рівнянь, значення  $U_j^{n+1}$  знаходимо за алгоритмом Томаса. Рівняння (11) у відношенні до кожного вузла записуємо у вигляді матриць:



$$\begin{bmatrix} b_1 & C_1 \\ a_2 & b_2 & C_2 \\ \dots & \dots & \dots \\ a_j & b_j & C_j \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{n-1} & b_{n-1} & C_{n-1} \\ a_n & b_n & C_n \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \dots \\ U_j \\ \dots \\ U_{n-1} \\ U_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \dots \\ d_j \\ \dots \\ d_{n-1} \\ d_n \end{bmatrix} > \begin{bmatrix} \text{про} - \\ \text{гон} - \\ \text{ка} \\ \text{впе} - \\ \text{ред} \end{bmatrix} > \quad (12)$$

$$> \begin{bmatrix} 1C'_1 \\ 1C'_2 \\ \dots \\ 1C'_j \\ \dots \\ 1C'_{n-1} \\ 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \dots \\ U_j \\ \dots \\ U_{n-1} \\ U_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d'_1 \\ d'_2 \\ \dots \\ d'_j \\ \dots \\ d'_{n-1} \\ d'_n \end{bmatrix} > \begin{bmatrix} \text{про} - \\ \text{гон} - \\ \text{ка} \\ \text{на} - \\ \text{зад} \end{bmatrix} > \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \dots \\ U_j \\ \dots \\ U_{n-1} \\ U_n \end{bmatrix}. \quad (13)$$

Виключаючи коефіцієнти  $a_j$  у рівнянні (12) й нормалізуємо до одиничних значень коефіцієнти  $b_j$ , буде рівняння (13), при цьому для першого рядку:  $C'_1 = C_1/b_1$ ,  $d'_1 = d_1/b_1$ , для довільно розміщених рядків у рівнянні

$$C'_j = \frac{C_j}{b_j - a_j \cdot C_{j-1}}, \quad d'_j = \frac{d_j - a_j \cdot d_{j-1}}{b_j - a_j \cdot C_{j-1}}.$$

Другий етап алгоритму зводиться до оберненої підстановки:  $U_n = d_n$ ,  $U_j = d_j - U_{j+1} \cdot C_j$ . При цьому виконуємо умову  $|b_j| > |a_j| + |C_j|$ .

Для знаходження  $V_j^{n+1}$  рівняння нерозривності (7) інтегруємо поперек пограничного шару з використанням [13]:

$$V_j^{n+1} = V_{j-1}^{n+1} - 0,5 \frac{\Delta r}{\Delta X} \left[ (1,5U_j^{n+1} - 2U_j^n + 0,5U_j^{n-1}) + (1,5V_{j-1}^{n+1} - 2V_{j-1}^n + 0,5V_{j-1}^{n-1}) \right]. \quad (14)$$

Розподіл швидкості в пограничному шарі знаходимо послідовним розв'язуванням рівнянь (11) і (14) для всіх  $X^{n+1}$ , розміщених вниз за потоком.

Результати моделювання для віддалі від початку трубопроводу 1.2 м. ототожені і приведені у вигляді характеристичного графіка на рис. 2.

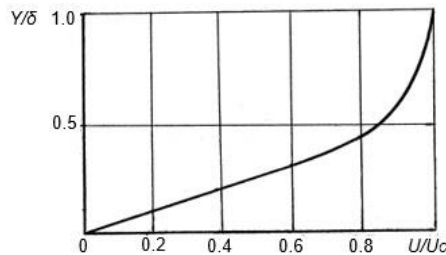


Рис. 2. Розподіл швидкості в ламінарному пограничному шарі

За ламінарного режиму руху в пограничному шарі присутній параболічний розподіл швидкості. Для пульсуючого режиму ламінарний режим руху рідини є тільки на стадії формування корка і присутній менше сотих секунди.

**Турбулентний пограничний шар.** Для моделювання турбулентного пограничного шару використаємо рівняння Нав'є-Стокса в безрозмірній формі, прийнявши  $U$  незалежною змінною [14]:

$$dU/dX + dV/dr = 0, \quad (15)$$

$$U \frac{dU}{dX} + V \frac{dU}{dr} = U_c \frac{dU_c}{dX} + \frac{1}{Re} \frac{d}{dr} \left[ \left( 1 + \frac{v}{v_T} \right) \frac{dU}{dr} \right]. \quad (16)$$

з початковими умова (3, 4). При розв'язуванні цих рівнянь використаємо метод Дородниціна [15]. Введемо наступні змінні:

$$\xi = x; \eta = Re^{0.5} \cdot U_c \cdot r; U' = \frac{U}{U_c}; V' = Re^{0.5} \cdot \frac{V}{U_c}; U'_r = U_c \cdot V' + \frac{\eta U'}{d\xi} \cdot \frac{dU_c}{d\xi}, \quad (17)$$

де:  $U', V', U'_r$  – складові вектору швидкості.

Рівняння (15) і (16) можна записати в наступному вигляді (опустивши штрих):

$$dU/d\xi + dU_r/d\eta = 0, \quad (18)$$

$$U \frac{dU}{d\xi} + U_r \frac{dU}{d\eta} = \frac{U\xi}{U_c} + \frac{d}{d\eta} \left[ \left( 1 + \frac{v_T}{v} \right) \frac{dU}{d\eta} \right]. \quad (19)$$

де:  $v_T$  – турбулентна в'язкість [15];  $U\xi = dU/d\xi$ .

Граничні умови наступні:  $U = U_r = 0$  за  $\eta = 0$  і  $U = 1$  за  $\eta = \infty$ .

Зважена сума рівнянь (15) і (16) формується наступним чином:

$$f_k(U) \times (16) + \left( \frac{df_k(U)}{dU} \right) \times (19) = 0,$$

де:  $f_k(U)$  – пробна функція, яку необхідно визначати.

В результаті отримуємо:

$$\frac{d(Uf_k)}{d\xi} + \frac{d(Uf_k)}{d\eta} = \frac{U\xi}{U_c} (1-U^2) \frac{df_k}{d\eta} + U_c \frac{df_k}{dU} \frac{d}{d\eta} \left[ \left( 1 + \frac{v_T}{v} \right) \frac{dU}{d\eta} \right]. \quad (20)$$

Інтегрування проводимо від  $\eta = 0$  до  $\eta = \infty$ , а  $f_k$  обмежена так, що  $f_k(\infty) = 0$ . Замінивши змінну інтегрування  $\eta$  на  $U$ , одержимо наступне рівняння:

$$\frac{d}{d\xi} \int_0^1 U \cdot f_k \cdot \theta \cdot dU = \frac{U\xi}{U_c} \int_0^1 \frac{df_k}{dU} (1-U^2) \cdot \theta \cdot dU + U_c \int \frac{df_k}{dU} \frac{d}{dU} \left( 1 + \frac{v_T}{v} \right) \cdot T \cdot dU, \quad (21)$$

де:  $T = 1/\Theta = dU/d\eta$ .

Рівняння (21) відповідає рівнянню Дородниціна турбулентного граничного шару. Тут  $T$  і  $\theta$  є залежні змінні, а  $X$  і  $U$  – незалежні. Розв'язування рівняння проводимо методом кінцевих елементів. Ввівши однорідну сітку в напрямку  $U$ , більшість точок автоматично розміщується біля стінки, де результати розв'язку змінюються дуже швидко. Алгоритм розв'язку приведено на рис. 3.

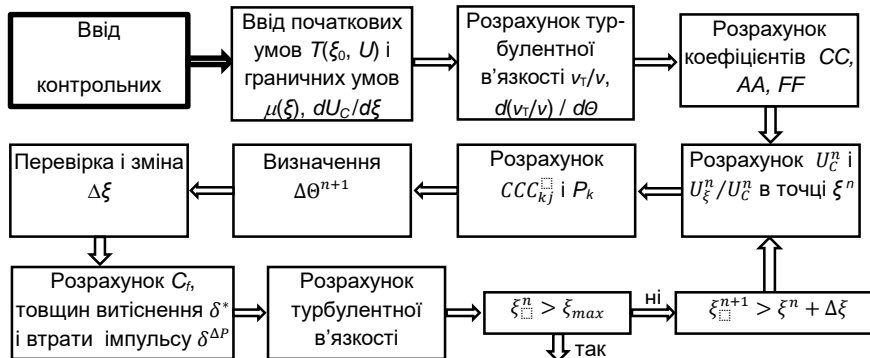


Рис. 3. Блок-схема моделювання турбулентного пограничного шару методом Дородниціна у поєднанні з методом кінцевих елементів

Моделювання турбулентного пограничного шару, згідно блок-схеми рис. 3, проводили наступним чином. Для  $\Theta$  і  $(1 + v_T/v) \cdot T$  у рівняння (21) вводили приблизні (пробні) рішення у вигляді залежностей (22) і (23):

$$\Theta = \sum_{j=1}^n \frac{N_j(U)}{(1-U) \cdot \Theta_j(\xi)}, \quad (22)$$

$$\left(1 + \frac{v_T}{v}\right) \cdot T = \sum_{j=1}^n (1-U) \cdot N_j(U) \cdot \left(1 + \frac{v_T}{v}\right)_j \cdot \tau_j(\xi). \quad (23)$$

Множник  $(1 - U)$  забезпечує характер поведінки  $\Theta$  і  $T$  на зовнішній межі пограничного шару. Члени  $N_j(U)$  – квадратична одновимірна інтерполяційна функція. У нашому випадку маємо частковий характер, а  $v_T = f(U, \eta)$ . Згідно рівняння Клаузера  $v_T = 0.0168 \cdot U \cdot \delta^*$ , де  $\delta^*$  – товщина витіснення, що характеризує товщину середовища у пограничному шарі, яка еквівалентна втратам потоку маси цього середовища.

Товщину пограничного шару визначаємо, виходячи з наступного рівняння  $d\delta/dx \sim V^*/U_c$ , звідки  $\delta \approx V^* \cdot x/U_c$ . Функція  $f_k(U)$  у рівнянні (21) має вигляд

$$f_k(U) = (1 - U) \cdot N_k(U). \quad (24)$$

Залежність (24) забезпечує виконання умови  $f_k(U) = 0$  за  $U = 1$ .

Підстановка залежностей (22), (23) і (24) у рівняння (21) призводить до модифікованого методу Галеркіна. Визначивши часткові інтеграли отримали систему звичайних диференціальних рівнянь:

$$\sum_{j=1}^n CC_{kj} \cdot \frac{d\Theta_j}{d\xi} = \frac{U_\xi}{U_c} \cdot \sum_{j=1}^n FF_{kj} \cdot \Theta_j + U_c \cdot \sum_{j=1}^n AA_{kj} \cdot \left(1 + \frac{v_T}{v}\right)_j \cdot \tau_j. \quad (25)$$

Коефіцієнти рівняння (25) розраховуємо один раз із рівнянь:

$$CC_{kj} = \int_0^1 N_j \cdot N_k \cdot dU; \quad FF_{kj} = \int_0^1 N_j \cdot \left( (1-U) \frac{dN_k}{dU} - N_k \right) \cdot (1+U) \cdot dU;$$

$$AA_{kj} = \int_0^1 \left( \frac{dN_j}{dU} \cdot (1-U) - N_j \right) \cdot \left( \frac{dN_k}{dU} \cdot (1-U) - N_k \right) \cdot dU. \quad (26)$$

У вузлових точках  $\Theta_j = 1/\tau_j$ . Для матриці  $CC$  будемо ефективну неявну схему:

$$\sum_{j=1}^n CC_{kj} \cdot \Delta\Theta_j^{n+1} = \Delta\xi \cdot (\beta \cdot TNR^{n+1} + (1-\beta) \cdot TNR^n), \quad (27)$$

$$\text{де } TNR = \frac{U_\xi}{U_c} \cdot \sum_{j=1}^n FF_{kj} \cdot \Theta_j + U_j \cdot \sum_{j=1}^n AA_{kj} \cdot \left(1 + \frac{v_T}{v}\right)_j \cdot \tau_j, \quad \Delta\Theta_j^{n+1} = \Theta_j^{n+1} - \Theta_j^n.$$

Розклавши  $TNR^{n+1}$  навколо  $TNR^n$  у ряд Тейлора, тоді рівняння (27) перетвориться у систему рівнянь для визначення  $\Delta\Theta_j^{n+1}$ :

$$\sum_{j=1}^n CCC_{kj} \cdot \Delta\Theta_j^{n+1} = P_k, \quad (28)$$

$$\text{де } CCC_{kj} = CC_{kj} - \beta \cdot \Delta\xi \cdot \left[ \left( \frac{U_\xi}{U_c} \right)^{n+1} \cdot FF_{kj} \cdot U^{n+1} \cdot AA_{kj} \cdot G_j \right];$$

$$G_j = \left[ \left(1 + \frac{v_T}{v}\right) \cdot \tau^2 - \tau \cdot \frac{d}{d\Theta} \left( \frac{v_T}{v} \right)_j \right]^n; \quad P_k = \Delta\xi \cdot \left\{ \beta \cdot \left( \frac{U_\xi}{U_c} \right)^{n+1} + (1-\beta) \cdot \left( \frac{U_\xi}{U_c} \right)^n \times \right.$$

$$\times \left. \sum_{j=1}^n FF_{kj} \cdot \Theta_j^n + (\beta \cdot U_c^{n+1} + (1 - \beta) \cdot U_c^n) \cdot \sum_{j=1}^n AA_{kj} \cdot \left(1 + \frac{v_T}{v}\right)_j \cdot \tau_j^n \right\}.$$

Розв'язуємо поетапно, визнаємо профіль  $\tau(x_0, U_j)$ , що відповідає  $U_j$  з розрахунку  $dU/d\eta$  рівняння (21) на рівних інтервалах по  $\eta$  і інтерполяції  $\tau$  на рівні інтервали по  $U_j$ . Перед інтегруванням визначаємо розподіл турбулентної в'язкості  $v_T(R)/v$ . Поблизу стінки вводимо довжину перемішування, а на зовнішньому просторі пограничного шару застосовуємо рівняння Клаузера.

Коефіцієнти  $CC$ ,  $FF$ ,  $AA$  у рівнянні (27) розраховуємо за одномірними лінійними елементами з кроком  $\Delta U$ :

$$\begin{aligned} CC_{j,j-1} &= \frac{U_{j-0.5}}{6}; \quad CC_{j,j} = \frac{U_j}{3}; \quad CC_{j,j+1} = \frac{U_{j+0.5}}{6}; \\ FF_{j,j-1} &= 0.5 \cdot \frac{1 - U_j^2}{\Delta U} + 0.5 \cdot U_j - \frac{1 + \Delta U}{6}; \quad FF_{j,j} = -\frac{2}{3}; \\ FF_{j,j+1} &= -0.5 \cdot \frac{1 - U_j^2}{\Delta U} + 0.5 \cdot U_j - \frac{1 - \Delta U}{6}; \quad AA_{j,j-1} = -(1 - U_j) \cdot \frac{1 - U_{j-1}}{\Delta U^2} - \frac{1}{3}; \\ AA_{j,j} &= 2 \cdot \frac{(1 - U_j)^2}{\Delta U^2} + \frac{2}{3}; \quad AA_{j,j+1} = -(1 - U_j) \cdot \frac{1 - U_{j-1}}{\Delta U^2} - \frac{1}{3}. \end{aligned}$$

Коефіцієнт тертя  $C_f$  визначали з рівняння:  $C_f = 2 \cdot \tau / \text{Re}^{0.5}$ .

Товщина витіснення  $\delta^*$  і втрати імпульсу  $\delta^{\Delta P}$  розраховуємо числовим інтегруванням рівнянь:

$$\delta^* = \frac{1}{U_c \cdot \text{Re}^{0.5}} \cdot \int_0^1 \frac{1}{\tau} dU; \quad \delta^{\Delta P} = \frac{1}{U_c \cdot \text{Re}^{0.5}} \cdot \int_0^1 \frac{U}{\tau} dU$$

Розподіл швидкості в турбулентному пограничному шарі наведено на рис. 4.

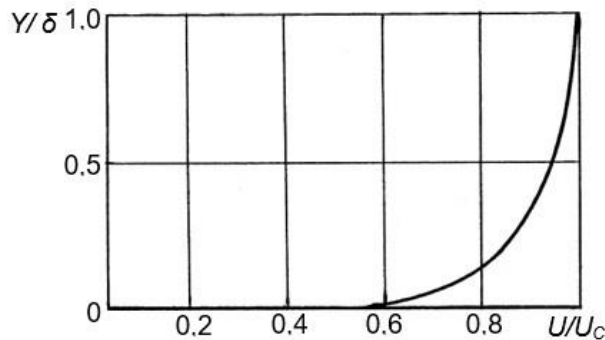
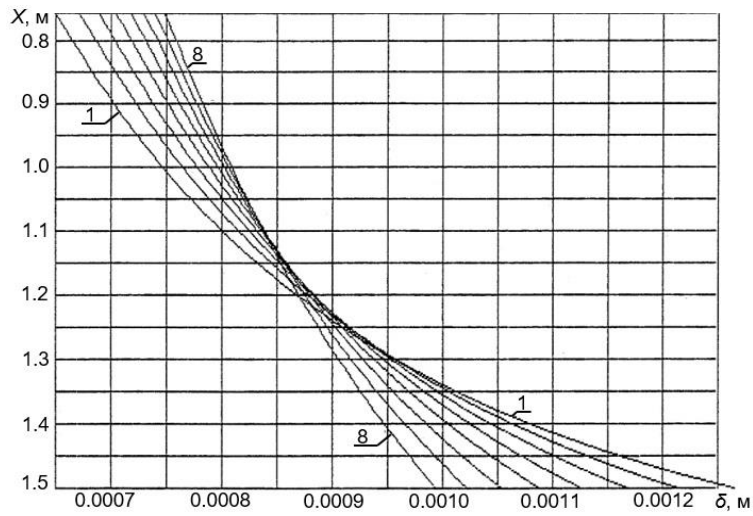


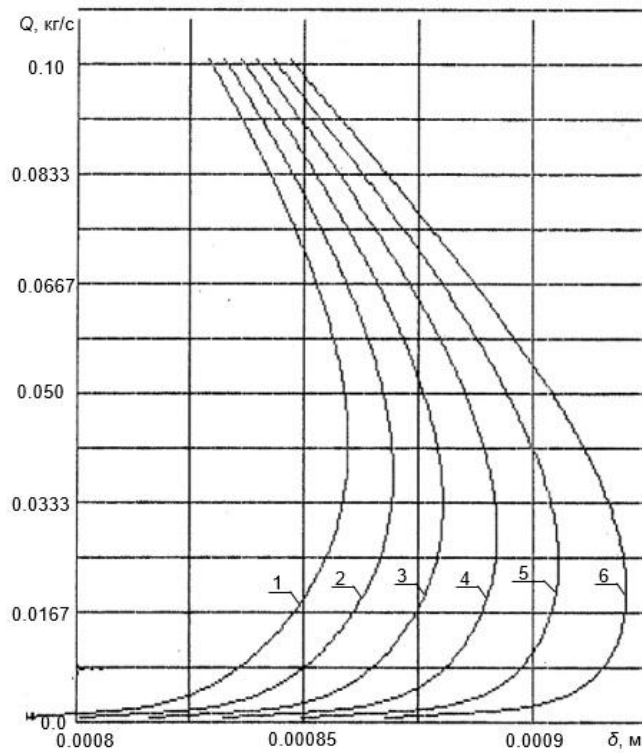
Рис. 4. Розподіл швидкості в турбулентному пограничному шарі

За турбулентного пограничного шару (рис. 4) на стінці трубопроводу виникає рухома плівка рідини, швидкість якої становить 0.6 від швидкості  $U_c$  на зовнішній межі пограничного шару.

Залежність товщини пограничного шару від інтенсивності потоку і відстані від початку входження рідини у трубопровід приведена на рис. 5 і 6.



**Рис. 5.** Товщина пограничного шару  $\delta$  на віддалі  $X$  від початку трубопроводу діаметром 14 мм за його подачі (кг/с), відповідно: 1 – 0.0083; 2 – 0.0167; 3 – 0.025; 4 – 0.0333; 5 – 0.04167; 6 – 0.05; 7 – 0.05833; 8 – 0.06667



**Рис. 6.** Товщина пограничного шару  $\delta$  в залежності від подачі  $Q$  трубопроводу діаметром 14 мм і віддалі  $X$  (м) від початку входження рідини: 1 – 1.16; 2 – 1.18; 3 – 1.20; 4 – 1.22; 5 – 1.24; 6 – 1.26

## ВИСНОВКИ

Результати теоретичних досліджень показують що віддалі 1.16 - 1.26 м від входження рідини у трубопровід товщина пограничного шару є у межах від  $0.825 \cdot 10^{-3}$  до  $0.94 \cdot 10^{-3}$  м за подачі трубопроводу до 0.1 кг/с. Інтервал зміни товщини пограничного шару не перевищує 7.6 % на інтервалі зміни подачі трубопроводу до 0.025 кг/с, а на інтервалі подачі від 0.0667 до 0.1 кг/с товщина пограничного шару змінюється у межах 2.86 %. На заданій віддалі від початку трубопроводу із збільшенням подачі коливання товщини пограничного шару зменшуються і не перевищують 3.0 %.

Від початку входження у трубопровід до 1.2 м із збільшення подачі до 0.1 кг/с товщина пограничного шару зростає з інтервалом від 1.5 % до 3.5 % і не перевищує товщини пограничного шару  $0.85 \cdot 10^{-3}$  м.

Після 1.2 м від початку трубопроводу із збільшення подачі до 0.1 кг/с товщина пограничного шару зменшується з інтервалом в 2.5 %. За подачі 0.0083 кг/с на віддалі 2.5 м від початку проводу товщина пограничного шару  $1.26 \cdot 10^{-3}$  м, а за подачі 0.0667 кг/с - товщина пограничного шару  $0.99 \cdot 10^{-3}$  м.

Наведений метод моделювання товщини пограничного шару визначає параметри пограничного шару за ламінарного і турбулентного режимів руху Ньютонівських рідин з достатньою точністю, враховує динаміку за напрямком руху, коефіцієнти поверхневого тертя і дотичні напруження між шарами.

Визначення по довжині проводу мінімального інтервалу зміни товщини пограничного шару обґрунтовує розміщення сенсорів для контролю і керування технічними і технологічними мехатронними системами виробництва.

## ЛІТЕРАТУРА

- [1] He, S. & Ariyaratne, C. (2011). Wall shear stress in the early stage of unsteady turbulent pipe flow. *Journal of Hydraulic Engineering*, 137(5), 606–610.
- [2] Sundstrom, L.R.J. & Cervantes, M.J. (2018). On the Similarity of Pulsating and Accelerating Turbulent Pipe Flows. *Flow, Turbulence and Combustion*, 100(2), 417-436. <https://doi.org/10.1007/s10494-017-9855-5>
- [3] Kong, R. & Kim, S. (2015, August - September). *Characterization of Horizontal Air-water Two-Phase Flow*. The 16th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics (NURETH-16). (pp. 5559-5572). Chicago / USA.
- [4] Offor, U. H. & Alabi, S. B. (2016). An Accurate and Computationally Efficient Explicit Friction Factor Model. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 6, 237-245. <http://dx.doi.org/10.4236/aces.2016.63024>
- [5] Medina, Y. C., Fonticiella, O. M. C. & Morales O. F. G. (2017). Design and modelation of piping systems by means of use friction factor in the transition turbulent zone. *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, 4(4), 162-167. DOI: 10.18280/mmep.040404
- [6] Azizi, N., Homayoon, R., & Hojjati, M. R. (2018). Predicting the Colebrook-White friction factor in the pipe flow by new explicit correlations. *Journal of Fluids Engineering*, 141(5), doi:10.1115/1.4041232
- [7] Pimenta, B. D., Robaina, A. D., Peiter, M. X., Mezzomo, W., Kirchner, J. H. & Ben, L. H. B. (2018). Performance of explicit approximations of the coefficient of head loss for pressurized conduits. *Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering (Revista Brasileira de Engenharia Agrícola et Ambiental)*, 22 (5), 301-307. Retrieved from <http://www.agriambi.com.br>
- [8] Tarek, A. Ganat, & Meftah Hrairi. (2018). Gas-Liquid Two-Phase Upward Flow through a Vertical Pipe. *Influence of Pressure Drop on the Measurement of Fluid Flow Rate, Energies (MDPI)*, 11(11), 1-23. doi:10.3390/en11112937

- [9] Brkic, D. & Praks, P. (2018). Unified Friction Formulation from Laminar to Fully Rough Turbulent Flow. *Applied Sciences*, 8(11), 20 - 36. doi: 10.3390/app8112036
- [10] Ortiz-Vidal, L. E., Mureithi, N. & Rodriguez, O. M. H. (2013, May). *Friction Factor in Two-Phase Gas-Liquid Pipe Flow*. 8-th International Conference on Multiphase Flow (ICMF-2013) Jeju / Korea. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/237079232>
- [11] Lukman, S. & Oke, I. A. (2017). Accurate Solutions of Colebrook-White's Friction Factor Formulae. *Nigerian Journal of Technology (NIJOTECH)*, 36(4), 1039–1048. Nigeria.
- [12] Ландау Л.Д. Теоретическая физика. Т. VI. Гидродинамика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. М.: Наука, 1988. 735 с.
- [13] Fletcher, C. A. J. (1988). *Computational Techniques for Fluid Dynamics 1: Fundamental and General Techniques*. Springer-Verlag, Heidelberg, Berlin.
- [14] Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Госиздат технико-теоретической литературы, 1950. 680 с.
- [15] Дородницын А.А. Об одном методе решения уравнений ламинарного пограничного слоя // Прикладная механика и техническая физика. 1960. Вып. 3. С. 111-118.

### SIMULATION OF BOUNDARY LAYER UNDER LAMINAR AND TURBULENT MODES OF NEWTONIAN FLUID MOTION IN A FLEXIBLE PIPELINE

Dmytriv V. T., DThSc., Professor,

Stotsko Z. A., DThSc., Professor,

Lviv Polytechnic National University  
/ Ukraine

Dmytriv I. V., Ph. D. in Engineering,  
Assoc. Professor

**Abstract.** *The article deals with the modeling of boundary layer parameters for Newtonian fluids under laminar and turbulent modes of motion. Based on the system of Prandtl equations and initial boundary conditions under laminar motion, using the Gallorkin method, a tri-diagonal system of equations is formed, which connects the values of functions at the node of nets  $n+1$  across the boundary layer. The numerical method uses the Thomas algorithm to calculate values  $U_j^{n+1}$ . The velocity value  $V_j^{n+1}$  is determined from the continuity equation by integration across the boundary layer. The Navier-Stokes equation in dimensionless form was used to model the turbulent boundary layer, given the velocity  $U$  is an independent variable. The differential equation system was solved using the numerical Dorodnicin method. The results of modeling the velocity distribution in the boundary layer, the thickness of the boundary layer in the section of the flexible pipeline 0.8-1.5 m from the beginning of the fluid entering the pipeline at the expense up to 0.1 kg/s are presented.*

**Keywords:** *boundary layer, turbulent mode, velocity, Prandtl equation*

#### REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

- [1] He, S. & Ariyaratne, C. (2011). Wall shear stress in the early stage of unsteady turbulent pipe flow. *Journal of Hydraulic Engineering*, 137(5), 606–610. (in English).
- [2] Sundstrom, L.R.J. & Cervantes, M.J. (2018). On the Similarity of Pulsating and Accelerating Turbulent Pipe Flows. *Flow, Turbulence and Combustion*, 100 (2), 417-436. <https://doi.org/10.1007/s10494-017-9855-5> (in English).
- [3] Kong, R. & Kim, S. (2015, August - September). *Characterization of Horizontal Air-water Two-Phase Flow*. The 16th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics (NURETH-16). (pp. 5559-5572). Chicago / USA. (in English).
- [4] Offor, U. H. & Alabi, S. B. (2016). An Accurate and Computationally Efficient Explicit Friction Factor Model. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 6, 237-245. <http://dx.doi.org/10.4236/aces.2016.63024> (in English).

- [5] Medina, Y. C., Fonticiella, O. M. C. & Morales O. F. G. (2017). Design and modelation of piping systems by means of use friction factor in the transition turbulent zone. *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, 4 (4), 162-167. DOI: 10.18280/mmep.040404 (in English).
- [6] Azizi, N., Homayoon, R., & Hojjati, M. R. (2018). Predicting the Colebrook-White friction factor in the pipe flow by new explicit correlations. *Journal of Fluids Engineering*, 141 (5), doi:10.1115/1.4041232 (in English).
- [7] Pimenta, B. D., Robaina, A. D., Peiter, M. X., Mezzomo, W., Kirchner, J. H. & Ben, L. H. B. (2018). Performance of explicit approximations of the coefficient of head loss for pressurized conduits. *Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering (Revista Brasileira de Engenharia Agrícola et Ambiental)*, 22 (5), 301-307. Retrieved from <http://www.agriambi.com.br> (in English).
- [8] Tarek, A. Ganat, & Meftah Hrairi. (2018). Gas–Liquid Two-Phase Upward Flow through a Vertical Pipe. *Influence of Pressure Drop on the Measurement of Fluid Flow Rate, Energies (MDPI)*, 11 (11), 1-23. doi:10.3390/en11112937 (in English).
- [9] Brkic, D. & Praks, P. (2018). Unified Friction Formulation from Laminar to Fully Rough Turbulent Flow. *Applied Sciences*, 8(11), 20-36. doi: 10.3390/app8112036 (in English).
- [10] Ortiz-Vidal, L. E., Mureithi, N. & Rodriguez, O. M. H. (2013, May). *Friction Factor in Two-Phase Gas-Liquid Pipe Flow*. 8-th International Conference on Multiphase Flow (ICMF-2013) Jeju / Korea. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/237079232> (in English).
- [11] Lukman, S. & Oke, I. A. (2017). Accurate Solutions of Colebrook-White's Friction Factor Formulae. *Nigerian Journal of Technology (NIJOTECH)*, 36(4), 1039–1048. Nigeria. (in English).
- [12] Landau, L.D., & Lifshitz, E.M. (1988). *Theoretical physics. Hydrodynamics*. Moscow: Nauka. (in Russian).
- [13] Fletcher, C. A. J. (1988). *Computational Techniques for Fluid Dynamics 1: Fundamental and General Techniques*. Springer-Verlag, Heidelberg, Berlin. (in English).
- [14] Lojciansky, L.G. (1950). *Fluid and gas mechanics*. Moscow: Gosizdat of technical and theoretical literature. (in Russian).
- [15] Dorodnitsyn, A.A. (1960). On one method for solving the laminar boundary layer equations. *Applied mechanics and technical physics*, 3. 111-118. (in Russian).

Стаття надійшла до редакції 11.11.2019



УДК 686.1.051.2

Пасіка В.Р., д.т.н. професор,	Національний Університет Львівська Політехніка» /Україна
Казьмірович Р.В., д.т.н. професор,	Українська академія друкарства/ Україна
Казьмірович О.Р., к.т.н. доцент,	Українська академія друкарства/ Україна
Гончарук О.С., ст. викладач	Українська академія друкарства/ Україна

### **ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ЗІШТОВХУВАННЯ АРКУШІВ У СТОСІ НА ВІБРОЗІШТОВХУВАЧАХ**

***Анотація:** у статті проведений аналіз факторів, що впливають на якість та продуктивність формування стосів аркушів на віброзіштовхувачах та здійснено динамічний синтез процесу зіштовхування.*

*Метою роботи є визначення таких параметрів вібраційного збурення і кута нахилу вібростола, при яких вирівнювання відбуватиметься протягом найкоротшого часу.*

*Розглянуто детально процес віброзіштовхування, який містить фази розбігу і вибігу.*

*Висунуто і підтверджено гіпотезу, що при віброзіштовхуванні можуть виникати умови, при яких стос аркушів перебуватиме у стані «вільного тіла».*

*Відображено, що переміщення стосу можливе лише при нахилі і вібрації стола, амплітуда пришвидшення якого буде не менша від пришвидшення земного тяжіння.*

*Визначено час перебування столу у стані «вільного тіла» залежно від кута нахилу, частоти і амплітуди вібрації стола.*

*За наведеними графіками можна оцінити час вирівнювання аркушів у стосі від кута нахилу і параметрів віброзбурення.*

***Ключові слова:** процеси зіштовхування, віброзіштовхувач, стоси аркушів, динамічний синтез, частота та амплітуда вібрації.*

#### **ВСТУП**

Зіштовхування – це базування, вирівнювання країв усіх аркушів у стосі за двома суміжними, так званими вірними сторонами. Аркуші після зіштовхування оцінюються за єдиним показником якості – точністю зіштовхування.

Вирівнювання країв різних аркушів виконується для підвищення надійності роботи самонакладів друкарських, обробних та фальцювальних машин та точності розрізання друкованої продукції за параметрами відстаней від лінії контуру на одноножових паперорізальних машинах.

Зіштовхування аркушів може виконуватись вручну, однак це трудомістка операція, яка вимагає значних витрат часу. При ручному зіштовхуванні праця робітника важка та непродуктивна: кожний стос віддрукованих аркушів він підносить та опускає на поверхню столу від 2 до 6 раз, опрацьовуючи за зміну до п'яти тон паперу.

### **ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ**

Не дивлячись на наявні широкі можливості використання різних режимів роботи віброзіштовхувачів (ВЗ) за параметрами кутів нахилу, тривалості, частоти та амплітуди вібрації на сьогодні не розроблені кількісні науково - обґрунтовані рекомендації щодо визначення таких параметрів вібраційного збурення і кута нахилу стола, при яких зіштовхування відбуватиметься протягом найкоротшого часу.

Основною причиною такого стану в першу чергу є відсутність динамічного аналізу процесу зіштовхування стосу аркушів паперу на ВЗ, які належать до найменш досліджених технологічних операцій поліграфічних процесів.

### **АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ**

У роботі [1] проведено аналіз та розрахунок точності розташування друкованих відбитків у зіштовхнутому на ВЗ стосі аркушів та розглянуто питання доцільності корекції похибок зіштовхування в процесі підрізання стосів на одноножовій паперорізальній машині.

На процес зіштовхування незалежно від його способу (механізованого або ручного) впливають [2,3,4]: формат аркушів (з його збільшенням – процес утруднюється); гладкість паперу (аркуші гладкого паперу легше зміщуються один відносно іншого); наявність статичної електрики (аркуші злипаються та перешкоджають утворенню повітряних прошарків); вологість паперу (при недостатці вологості в папері утворюється статична електрика, при підвищенні – утворюється тертя); щільність паперу (зіштовхування тонкого паперу утруднене). Точність та продуктивність ручного та машинного зіштовхування аркушів залежить від формату, поверхневої щільності, об'ємної маси, гладкості та вологості паперу, а також від середньої величини початкового зміщення аркушів і стану їх крайок.

Краще зіштовхуються аркуші поливаного та крейдованого паперу з високою гладкістю поверхні, гірше – м'які, тонкі види паперу з хвилястою та шорсткою поверхнею, зім'ятими боковими крайками.

Аркуші великого формату менш зручні у роботі і при інших показниках мають більшу масу, тому для зіштовхування береться стос паперу з меншим числом аркушів, чим при середньому та малому форматі. Продуктивність зіштовхування при цьому знижується на 17-20%. У папері з високою поверхневою щільністю при інших рівних умовах вища маса, товщина та жорсткість, що виявляє двоякий вплив на трудомісткість операції: з однієї сторони, необхідно зіштовхувати стоси паперу з меншим числом аркушів, але, з іншої сторони, товсті та жорсткі аркуші паперу порівняно легко вирівнюються за крайками. За цими причинами із зростанням поверхневої щільності паперу на кожні 20% продуктивність зіштовхування паперу поверхневої щільності

більше 90 г/см знижується приблизно на 5%. Зіштовхування аркушів тонких видів паперу з малою поверхневою щільністю утруднюється через їх малу жорсткість. При вирівнюванні аркушів на твердій поверхні столу або на стінках віброзіштовхувача ймовірність зминання їх крайок значно зростає. З врахуванням цього норми вироблення (виробітку) на зштовхування паперу із поверхневою щільністю нижче 55 г/м знижені на 17%. Тонкі, із малою поверхневою щільністю види паперу (наприклад, папіросна з поверхневою щільністю 16 г/м) зіштовхувати взагалі неможливо, їх вирівнюють наколюванням кожного аркуша на голки.

Каландровані та крейдовані аркуші із високою гладкістю добре ковзають один відносно іншого та легко зіштовхуються. Підвищена вологість паперу утруднює зштовхування, так як при цьому знижується його жорсткість та зростає коефіцієнт тертя. При низькій (менше 5%) вологості папір легко електризується при щільному контакті та терті аркушів. Накопичення зарядів при електризації приводить до злипання аркушів, що утруднює виконання основних операцій зштовхування.

Статична електрика в папері перешкоджає утворенню повітряного прошарку між аркушами, так як при цьому спостерігається явище злипання аркушів. Гладкий папір зіштовхується краще ніж шорсткий, так як сили тертя при цьому менші, що сприяє кращому ковзанню паперу один відносно іншого. При зниженій або підвищеній вологості утруднюється процес зштовхування, так як при недостатній вологості в папері утворюється статична електрика, а при надлишковій вологості аркуші стають тяжчими та пухкішими. Постійну нормальну вологість в цеху забезпечує кондиціонування повітря. При нормальній рівноважній вологості паперу (7÷8)% забезпечуються нормальні умови зіштовхування паперу без утворення статичної електрики.

Оптимальна для даного технологічного процесу вологість паперу рівна 7÷8% може бути досягнута при нормальній відносній вологості повітря в цеху (60±5)% та після акліматизації паперу на протязі доби.

Великий початковий зсув аркушів, хвилясті, пом'яті та пошкоджені крайки аркушів утруднюють зіштовхування.

### ОСНОВНИЙ ТЕКСТ СТАТТІ

На причинно-наслідковій діаграмі (рис. 1) виділено групи факторів, що впливають на якість та продуктивність формування стосів аркушів на ВЗ.

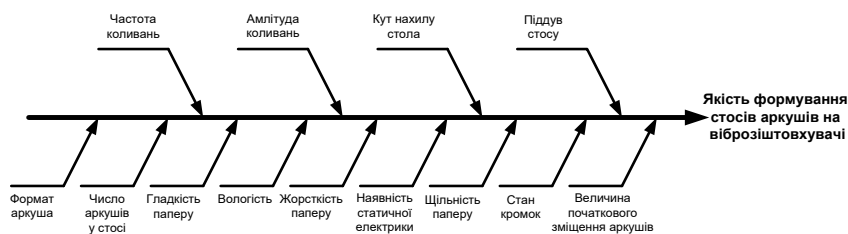


Рис. 1. Причинно-наслідкова діаграма якості формування стосів аркушів на віброзіштовхувачі

На невеликих та середніх поліграфічних підприємствах для зіштовхування використовують прості за конструкцією та доступні за ціною віброзіштовхувачі. ВЗ аркушів паперу уявляє собою стіл з регульованим кутом нахилу, частотою та амплітудою коливань, має масивну основу, стіл із двома низькими стінками-упорами, систему роздуву аркушів та електропривід, який забезпечує вібрацію стола в процесі зіштовхування. Вібрації передаються столу, наприклад, електродвигуном з незрівноваженою масою на валу або іншого пристрою, на який двигун передає рух. Частіше застосовуються пневматичний або гідравлічний привід стола. Такі приводи простіші та забезпечують більш зручну дію на параметри вібрацій.

Зіштовхуючий стіл обладнаний повітрядувами. Стіл має бокові упори, які встановлюються вручну. Стіл та відкидні борти мають повітряну подушку на своїх поверхнях з автоматичним включенням при переміщенні стосу та відключенням на час зіштовхування. Для утримання аркушів стосу від зміщення на час вигладжування валиком її край, який зіштовхнутий до постійного борта затискається планкою, яка опускається згори. Для підвищення ефективності зіштовхування в багатьох конструкціях застосовується високоякісне покриття із пластика або сталі.

Розрахункову схему пристрою для вирівнювання стосу віддрукованих аркушів наведено на рис. 2.

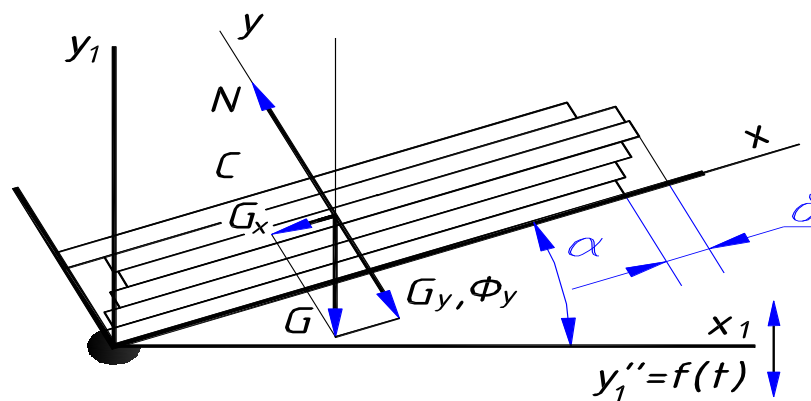


Рис. 2. Розрахункова схема пристрою для вирівнювання стосу віддрукованих аркушів

Стос аркушів розміщений на похилій площині (стіл) з якою пов'язана система координат  $x_1y_1$ . Похила площина опирається на віброуючу основу, пришвидження якої змінюється за законом  $y_1 = f(t)$  і з якою пов'язана система координат  $x_1y_1$ . Нехай максимальний розмір початкового зміщення аркушів становить  $\delta$ . Метою роботи є визначення таких параметрів вібраційного збурення  $y_1'' = f(t)$  і кута нахилу стола  $\alpha$ , при яких вирівнювання відбудеться протягом найкоротшого часу.

Щоб аркуші стосу вирівнялись по лівому краю необхідно, щоб проекція рівнодійної усіх сили які діють на окремий аркуш уздовж абсциси  $x$  були більшими від сил тертя, які діють на аркуш у протилежному напрямку. Ураховуючи, що коефіцієнт тертя для різних типів паперу змінюється у межах  $0,35 \div 0,48$ , то очевидно, що сили тертя при нерухомому столі будуть завжди більшими від складової сили тяжіння  $G_x$  для реальних кутів  $\alpha$ . Тому необхідно створити такі умови, при яких сили тертя будуть суттєво меншими або повністю відсутніми.

Рух віброуючої основи завжди містить фазу розбігу і вибігу (гальмування, рис. 3). При русі уверх на фазі розбігу стос притискатиметься до столу, а на стадії гальмування – сили інерції  $\Phi_y$  діятимуть у протилежному напрямку. Тобто, на стадії гальмування можуть виникнути такі умови, при яких стос не тиснутиме на стіл ( $N=0$ ), а значить буде вільним тілом. У цьому випадку кожний аркуш паперу теж буде вільним тілом. А раз так, то зв'язаність між окремими аркушами будуть послаблені, або відсутні.

На наш погляд для вібраційного збурення найдоцільніше застосувати гармонійні закони періодичного руху, оскільки на краях у таких законів є стрибки пришвидшення, що викликатиме появу сил інерції. Найпростішими з таких законів є косинусоїдні, де пришвидшення змінюється, наприклад так (рис. 3):

$$y_1'' = a_0 \cos(\omega t),$$

де:  $a_0$  – амплітуда пришвидшення,  $\omega$  – кругова частота.

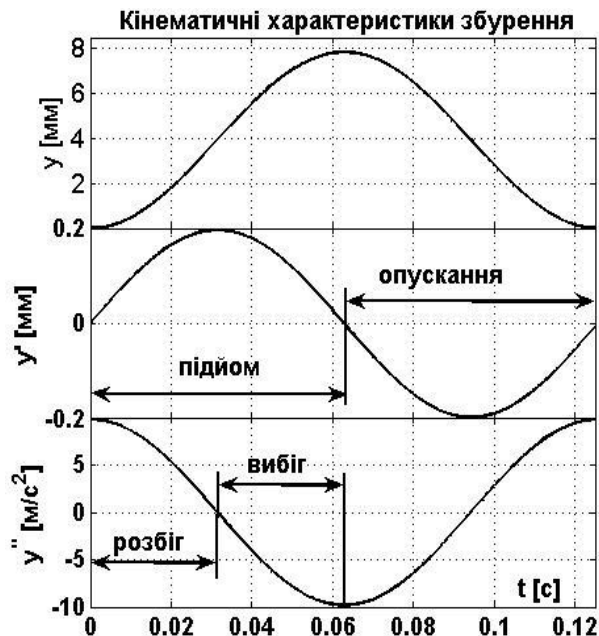


Рис. 3. Косинусоїдний закон руху

Двічі інтегруючи отримуємо при нульових початкових умовах

$$y_1 = \frac{a_0}{\omega^2} [1 - \cos(\omega t)], \quad y_1' = \frac{a_0}{\omega} \sin(\omega t). \quad (1)$$

Максимальна амплітуда переміщень віброуючої основи

$$y_{1\max} = \frac{2a_0}{\omega^2}. \quad (2)$$

Застосуємо принцип Д'Аламбера і запишемо основне рівняння динамічної рівноваги стосу

$$\vec{N} + \vec{G} + \vec{\Phi} = 0, \quad (3)$$

де: вектори:  $\vec{N}$  – нормальна сила,  $\vec{G}$  – сила тяжіння стосу,  $\vec{\Phi}$  – сила інерції стосу.

У проекції на вісь "у" отримуємо

$$N - G_y - \Phi_y = 0, \quad (4)$$

де:  $G_y = G \cos(\alpha)$ ,  $\Phi_y = ma_0 \cos(\omega t) \cos(\alpha)$ ,  $\alpha$  – кут нахилу стола до осі  $x_1$ ,  $m$  – маса стосу.

З рівняння (4) визначаємо нормальну реакцію  $N$  і час  $t_1$ , за якого нормальна сила  $N \leq 0$

$$N = m \cos(\alpha) [g + a_0 (\cos \omega t)] \leq 0. \quad (5)$$

$$t_1 \leq \arccos(-g/a_0) / \omega \quad (6)$$

Вираз під арккосинусом мусить бути  $|-g/a_0| \leq 0$ . Рівність буде тоді, коли  $a_0 = g$  і  $t_1 = \pi/\omega$ . Тобто, стіл буде у верхньому положенні, оскільки період коливань  $T = 2\pi/\omega$ .

Якщо амплітуда збурювального пришвидшення буде  $a_0 > g$ , то невагомість стосу наступить швидше і  $t_1 < T/2$ .

Розглянемо два етапи.

Перший. Стос і стіл рухаються як одне ціле до виконання умови  $N=0$ . У кінці першого етапу обчислюємо переміщення і швидкість столу зі стосом  
**Помилка! Джерело посилання не знайдено.**

$$y_1 = \frac{a_0}{\omega^2} \cos(\alpha) [1 - \cos(\omega t)], \quad y_1' = \frac{a_0}{\omega} \cos(\alpha) \sin(\omega t_1). \quad (7)$$

## ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ №1 (16), 2019

Другий етап. Стос вільне тіло на яке діє лише сила тяжіння  $G$ . З моменту часу коли  $t=t_1$  стос за інерцією ще рухатиметься вверх, а потім опускатиметься. За основним рівнянням динаміки [6] маємо

$$my'' = -G \cos(\alpha). \quad (8)$$

Двічі інтегруємо і при початкових умовах  $t=0 \rightarrow y=y_1, y'=y_1$  отримуємо

$$y = \cos(\alpha) \left\{ -g \frac{t^2}{2} + \frac{a_0 t}{\omega} \sin(\omega t) + \frac{a_0}{\omega^2} [1 - \cos(\omega t)] \right\};$$

$$y' = \cos(\alpha) \left[ -gt + \frac{a_0}{\omega} \sin(\omega t) \right]. \quad (9)$$

Визначимо час  $t_{v_0}$ , за який стос підніметься максимально вверх від кінця першого етапу. У найвищому положенні швидкість стосу дорівнюватиме нулю. Тому з другого рівняння (9) визначаємо

$$t_{v_0} = \frac{a_0}{g\omega} \sin(\omega t_1)$$

і обчислюємо переміщення стосу до максимально віддаленого положення. Для цього у перше рівняння (9) підставляємо  $t=t_{v_0}$  і обчислюємо  $y_{\max}$

$$y_{\max} = \cos(\alpha) \left\{ -g \frac{t_{v_0}^2}{2} + \frac{a_0 t_{v_0}}{\omega} \sin(\omega t) + \frac{a_0}{\omega^2} [1 - \cos(\omega t)] \right\}.$$

Інтегруючи двічі рівняння (8), визначаємо швидкість і переміщення стосу у вільному падінні при таких початкових умовах  $t=0 \rightarrow y=y_{\max}, y'=0$

$$y = -g \frac{t^2}{2} \cos(\alpha) + y_{\max}, \quad y' = -gt \cos(\alpha). \quad (10)$$

Час вільного падіння стосу визначаємо з першого рівняння (10), коли  $y=0$

$$t_n = \sqrt{\frac{2y_{\max}}{g \cos(\alpha)}} \quad (11)$$

Оскільки стос може повернутись у початкове положення, у загальному випадку, не одночасно зі столом, то можливі варіанти, коли стіл уже унизу, а стос ще не «долетів». Або навпаки, стос доганяє стіл і далі рухається із ним униз як одне ціле.

Розглянемо перший варіант. Тут справедлива така нерівність

$$\Delta t = t_{v_0} + t_n - t_{ст} > 0, \quad (12)$$

## ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ №1 (16), 2019

де:  $t_{ct} = 2\pi/\omega - t_1$  – час за який стіл повернеться у початкове положення.

У цьому варіанті стіл, повернувшись у початкове положення починає рухатись уверх назустріч стосу. Необхідно визначити час їхньої зустрічі  $t_3$ , щоб уточнити час стосу у стані «вільне тіло». Спочатку визначаємо висоту на якій перебуватиме стос, коли стіл буде у початковому положенні. Для цього у перше рівняння (9) підставляємо  $t = t_{ct}$

$$h = y_{t=t_{ct}} = \cos(\alpha) \left\{ -g \frac{t_{ct}^2}{2} + \frac{a_0 t_{ct}}{\omega} \sin(\omega t_1) + \frac{a_0}{\omega^2} [1 - \cos(\omega t_1)] \right\}. \quad (13)$$

Виходячи з умови, що сумарне переміщення стола і стосу за час  $t_3$  дорівнює висоті  $h$ , визначаємо час зустрічі. Для цього другі рівняння (7) і (9), які визначають швидкості стосу і столу, домножуємо на невідомий час  $t_3$ , записуємо рівняння переміщень і визначаємо час

$$t_3 \frac{a_0}{\omega} \sin(\omega t_3) - g t_3 + \frac{a_0}{\omega} \sin(\omega t_1) = h. \quad (14)$$

Отримане рівняння нелінійне тому розв'язуватимемо його чисельно.

Тепер можемо визначити час протягом якого стос перебуватиме у стані вільного тіла

$$t_{sm} = t_{v_0} + t_n - t_2. \quad (15)$$

Для другого варіанту стос «доганяє» стіл ще до досягненням столом початкового положення і далі рухається з ним як одне ціле. Тут виходимо з того, що, коли переміщення стола і стосу вирівнюються то у цей момент, нехай це буде час  $t_2$ . Для його визначення прирівнюємо перші рівняння з (7) і (10) при  $t = t_2$ .

$$\frac{a_0}{\omega^2} [1 - \cos(\omega t_2)] = -g \frac{t_2^2}{2} + y_{\max} / \cos(\alpha). \quad (16)$$

Отримане рівняння теж нелінійне.

Час, протягом якого стос перебуватиме у стані вільного тіла, обчислимо так

$$t_{sm} = t_{v_0} + t_n - t_2. \quad (17)$$

Протягом часу  $t_{sm}$  кожний з аркушів теж є вільним тілом і на них у напрямку осі «х» діє лише складова  $G_x$  сили тяжіння, яка намагається вирівняти аркуші. Тертя між аркушами не буде, або практично буде незначним.

Основне рівняння динаміки (3) у проекції на вісь абсцис матиме вигляд



$$mx'' = -G \sin(\alpha), \quad (18)$$

або

$$x'' = -g \sin(\alpha). \quad (19)$$

Двічі інтегруємо (19) при початкових умовах  $t = 0 \rightarrow x = 0, x' = 0$  і отримуємо:

$$x = -g \frac{t^2}{2} \sin(\alpha), \quad \dot{x} = gt \cdot \sin(\alpha). \quad (20)$$

Далі визначаємо переміщення аркушів стосу  $x_{\text{ц}} = x(t_{\text{вТ}})$  за один цикл, коли стос перебуває у стані «вільне тіло», тобто, коли час  $t = t_{\text{вТ}}$ . Тоді для того, щоб усі аркуші вирівнялись необхідно  $k = \delta/x_{\text{ц}}$  циклів, що відповідатиме часові

$$t_{\text{с}} = kT = \frac{2\pi\delta}{\omega x_{\text{ц}}}, \text{ с.} \quad (21)$$

Отримані у статті аналітичні залежності справедливі і для вібростолів, які одночасно нахилені до обох горизонтальних осей. У такому випадку обчислення проводять для кожної осі і час вирівнювання стосу аркушів буде найбільшим із двох обчислених.

При вирівнюванні аркушів необхідно враховувати розміри, щільність паперу. Так для щільнішого паперу кут нахилу стола може бути більшим, ніж для менш щільного. Згідно [5] із збільшенням формату продукції доцільність периферійного обладнання зростає. Згідно рис. 3 навіть для кута нахилу стола  $1^\circ$  завжди можна підібрати відповіді амплітуду і частоту збурення, щоб отримати час вирівнювання у прийнятних межах.

У роботі використано найпростіший циклоїдний закон збурення (рис. 3). Проте доцільно було б проаналізувати вплив інших законів, зокрема комбінованих, де на фазі розбігу пришвидшення відбувається за циклоїдним законом, а на фазі вибігу – за гармонійним.

Аналізуючи графіки (рис. 3) робимо такі висновки:

- зі збільшенням кута нахилу стола і максимальної амплітуди пришвидшення збурення час вирівнювання зменшується;
- з ростом частоти збурення час вирівнювання збільшується;
- за отриманими графіками можна завжди підібрати такі співвідношення між кутом нахилу стола, амплітудою пришвидшення і частотою збурення, щоб отримати час вирівнювання у реальних границях.

**ВИСНОВКИ**

1. Наведено загальну оцінку впливу фізичних, кліматичних, геометричних та інших факторів на точність та продуктивність зштовхування;
2. Проведено динамічний синтез і створено динамічну модель процесу вібровирівнювання стосу віддрукованих аркушів на вібрувальному столі;
3. Виявлено і визначено періоди віброциклу, упродовж яких стос аркушів перебуває у стані «вільного тіла» і на нього окрім сил тяжіння не діють інші сили;
4. Показано, що вібровирівнювання можливе за умови нахилу вібростолу і амплітуди вібропришвидшення, яка не менша від пришвидшення Земного тяжіння.

**ЛІТЕРАТУРА**

- [1] Казьмірович Р.В., Казьмірович О.Р. (2009) Розрахунок величини корекції похибок зіштовхування друкованих аркушів у стосі при їх підрізанні. Комп'ютерні технології друкарства. № 21. С. 235-241.
- [2] Павлов И.П., Хмылко В.Ф. (1975) Сталкивание и резка листов М.: Книга. — 40 с.
- [3] Воробьев Д.В. (1998) Чем подрезка отличается от разрезки и где они сталкиваются. Курсив. — № 2. — С. 42–48.
- [4] Хведчин Ю.И. (2003) Подготовка стопы и организация рабочего места на резальной машине. Businessprint. №5 (29). С. 24-29.
- [5] Дробікова К.О., Шостачук Ю.О. (2008) Можливості підвищення продуктивності одноножових різальних машин. Технологія і техніка друкарства №2(20). С. 77–82.
- [6] Лойцянский Л.Г., Лурье А.И. (1983) Курс теоретической механики. Т.2, Москва: Наука. — 640 с.

***DYNAMIC SYNTHESIS OF JOGGING PROCESS OF SHEETS IN A STACK ON THE JOGGERS***

**Pasika VR.**, DThSc., Prof.,

**Kazmirovich R.V.**, DThSc., Prof.

**Kazmirovich O.R.**,  
PhD., Assoc. Professor,

**Goncharuk O.S.**, ст. викладач

Національний Університет  
Львівська Політехніка» /Україна  
Українська академія друкарства/  
Україна  
Українська академія друкарства/  
Україна  
Українська академія друкарства/  
Україна

**Abstract:** *the article conducted analysis of factors affecting the quality and productivity of the formation of sheets in a stack on the joggers and the dynamic synthesis of the jogging process. The purpose of the work is determination of such parameters of jogging perturbation and the angle of inclination of the vibrate table, at which the alignment will take within the shortest time. The jogging process, which contains the running start and run out, is the considered in detail. The hypothesis has pulled out and confirmed that under jogging conditions there may be conditions under which a stack of sheets will be in the state of "free-body". It's represented, that moving of the stack is possible only when the table is tilted and vibrated, the acceleration amplitude of which will be not less than the acceleration of the Earth's gravity. The time of stay of the table is in the state of "free body" determined depending on the angle of inclination, frequency and amplitude of the vibration table.*

*The following graphs it is possible to estimate time of alignment of sheets in a stack of from the angle and vibration parameters.*

**Keywords:** *jogging processes, jogger, stack of sheets, dynamic synthesis, frequency and amplitude of the vibration.*

**REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)**

- [1] Kazmirovich, R.V., & Kazmirovich, O.R. (2009). Calculation of the magnitude of the error correction of pushing printed sheets in the stack when cutting them. *Computer printing technologies*, 21, 235-241. (in Ukrainian).
- [2] Pavlov, I.P., & Khmylko, V.F. (1975). *Collision and cutting of sheets* M: Book. (in Russian).
- [3] Vorobyov, D.V. (1998). How the undercut differs from the cut and where they collide. *Italics*, 2, 42–48. (in Russian).
- [4] Khvedchin, Y.V. (2003). Foot preparation and workplace organization on a cutting machine. *Businessprint*, 5 (29), 24-29. (in Russian).
- [5] Drobikova, K.A., & Shostachuk, Yu.O. (2008). Performance enhancements for single-blade cutting machines. *Printing technology and technology*, 2 (20), 77–82. (in Ukrainian).
- [6] Lojciansky, L.G. & Lurie, A.I. (1983). *Course in Theoretical Mechanics*. Vol.2, Moscow: Science. (in Russian).

**Стаття надійшла до редакції 16.11.2019**

УДК 679.9

Кузнецов Ю.М., д.т.н. професор

Національний технічний  
університет України «Київський  
політехнічний інститут імені Ігоря  
Сікорського» /Україна

## **ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ОБРОБКИ БУРШТИНОВИХ КУЛЬОК ДЛЯ ПРИКРАС**

**Анотація:** мета роботи - створення високопродуктивних верстатів-автоматів для шліфування бурштинових кульок при мінімальних витратах на виготовлення верстатів, його експлуатації і забезпеченні високої якості за рахунок паралельної багатопозиційної обробки, модульного принципу, активного контролю і комп'ютерного керування.

**Ключові слова:** верстат-автомат, багатопозиційна обробка, шліфувально-полірувальний верстат.

### **ВСТУП**

Актуальність проблеми:

1) **Раціональне природокористування** при експлуатації природних корисних копалин бурштину (винос мінерального ґрунту на поверхню родовища призводить до зміни структури ґрунтів, утворення порожнин і справляє значний негативний вплив на навколишнє середовище).

2) **Вилучення людини** зі сфери ручної праці з пилом та небезпечними для здоров'я відходами на основі повної автоматизації з застосування цифрових технологій.

3) **Висока продуктивність** автоматизованого обладнання (щонайменше на порядок вища за ручну працю).

4) **Якість і привабливість** готових виробів (прикрас), **надзвичайно широкий ринок** споживання бурштинових кульок для бус, браслетів і кулонів.

5) **Використання в техніці** (добрий електроізолятор, конкурент фторопласту 4), **хімії** (бурштиновий лак) і **медицині** (ліки від різних хвороб).

У давньоруській мові слово «янтарь» (в формі «ентарь») прийшло на початку XVI століття (згадується в літописі 1562р) [17-19]. «Старо-російське, отже, слов'янське позначення - Gentator, звідси йде литовське Gintaras і російське - янтарь». Вважається також, що російське слово запозичене з литовського, тому що литовські племена зазвичай проживали у бурштинових берегів, а росіяни дуже рідко.

Основні області застосування бурштину: ювелірна справа, мистецтво, техніка.

Місця знаходження бурштину в Україні і світі, сучасний стан його добування і переробки.

Бурштинові прикраси — характерна деталь жіночого вбрання на території Лісостепового Правобережжя, про що свідчать жіночі поховання ранньоскіфського часу. Найяскравіші комплекси зафіксовано в курганному комплексі № 100 поблизу с. Синявка та № 35 поблизу с. Бобриця (Черкаська обл.). В комплексі №100 знайдено намисто із сердоліку, агату і скла (26 екземплярів), а також бурштину — 84 намистини у формі октаедра склали разом. У кургані № 35 на вбранні однієї з небіжчиць знайшли дві низки намиста: верхня — 32 намистини з топазу, сердоліку, агату, гірського кришталю і хризоліту; нижня — 40 зразків різнокольорового каміння, серед яких 2 великі бурштинові намистини (у формі неправильної зрізаної пірамідки). У могилі поховали ще одну жінку, яка мала крім чорного та білого намиста зі склоподібної маси ще 125 кулястих дрібних бурштинових намистин.

Бурштинові прикраси знайдено також у похованнях жінок, які не належали до високих соціальних верств, хоча мали золоті прикраси у костюмі (курган № 25 поблизу с. Казаровка, Медвин, розкопки 1906 року). Серед пам'яток цього часу — прикраси начільної стрічки у кургані Реп'яхувата Могила (с. Матусів Черкаської обл.): 39 циліндричних блакитних з непрозорого скла та 32 кулястих з бурштину (розміром 0,4-0,7 см). Бурштинові намистини, з яких робили нашійні та наручні прикраси, знайдено серед декоративних деталей костюмів у жіночих похованнях в курганах на р. Тясмин поблизу сіл Жаботин (№ 524), Гуляй Город (№ 33, 38, 40, 330), Журавка (№ 406, 407, 432, 447). Серед племен дніпровського лісостепового лівобережжя (зокрема на Посуллі) окремі намистини зафіксовано у кількох комплексах V століття до н. е. Окремі бурштинові намистинки знайдено у пограбованих курганах № 6 та «Б» поблизу с. Басівка.

Промислове значення мають головним чином вторинні розсіпні прибережно-морські родовища.

Бурштин-сукцинит — викопна смола з сосни «пінус сукциніфера» — охоплює кілька областей на карті місцезнаходжень. У геологічному плані найбільше поширення має балтійський сукцинит. Такий самий за складом самоцвіт знайдено і на території України (поблизу Києва, Харкова, на Волині). В Україні у відкладах палеогену та неогену є в Рівненській (Сарненський, Володимирецький і Дубровицький р-ни), Київській (Київський бурштин — продукт випадкового вимивання викопної смоли, тобто, це джерело не мало постійного характеру), Житомирській, Львівській та Харківській областях. Велике Клесівське родовище (на Поліссі) почали розробляти відносно недавно, бо сукцинит тут залягає досить глибоко.

Найбільше в світі промислове родовище бурштину знаходиться в сорока кілометрах від Калінінграда, поруч із селищем Янтарним, де і організований промисловий видобуток і переробка його. Котлован кар'єра бурштинового комбінату розташований недалеко від берега холодного Балтійського моря. Кар'єр нагадує собою гігантську чашу. Людей тут майже не видно: всю роботу виконують машини.

Бурштиноносна «блакитна земля», дійсно виблискуюча блакиттю, особливо на сонці, залягає під потужним шаром порожньої породи. Бурштин міститься в шарі товщиною 5-7 метрів. Щоб дістатися до нього, необхідно зрізати

попередньо тридцятиметровою подушку. Під нею і спочиває бурштиноносна порода. Як же добираються до неї? Розкривні роботи з успіхом виконує вода.

Потужний, пружний струмінь гідромонітора б'є в земляну стіну. Продуктивність землесосної установки близько 200 кубометрів на годину. Сріблястий струмінь, що вилітає під тиском восьми атмосфер, не тільки руйнує породу, але тут же на місці перетворює її в пульпу, яку землесос жене в море. Така технологія розкривних робіт тут, поблизу моря, найбільш економічна. Зустрічається бурштин на Сицилії (там його називають сіметітом), в Румунії (руменіт), М'янмі (бірміт), Канаді, в деяких місцях Атлантичного узбережжя США, Мексиці, Домініканській Республіці (Домініканський бурштин) [18]. В Україні знаходиться три розвіданих родовища в Рівненській області, Житомирській області і одне - у Волинській області [17]. В незначній кількості родовища бурштину знаходяться на узбережжі прибалтійських країн.

Основні види і існуючий стан механізації та автоматизації виготовлення кульок для прикрас з бурштину

У різні періоди часу в країнах, що мають родовища бурштину та інших дорогоцінних мінералів і каменів, для отримання прикраси із сировини для індивідуального, дрібносерійного, серійного і багатосерійного виробництва технологічний процес поділявся на окремі стадії (етапи, операції), починаючи від огляду сировини, його підготовки до обробки, чорнової і чистової обробки, надання товарного вигляду готового виробу і його оцінки [6, 11, 14].

При обробці природного бурштину необхідно пройти цілий ряд спеціальних підготовчих операцій, щоб обробити бурштин. Спочатку бурштин відчищають і сортують, так як вид у природного каменю порівняно непоказний, бурштин покритий коричневою окисленою скоринкою. Після ретельного сортування самоцвіт доставляється в цех масового виробництва, де з каменю знімають поверхневу кірочку, полірують і дивляться, що собою являє новий матеріал. Заготовки майбутніх виробів являють собою грубо оброблені шматки природного бурштину. На абразивному верстаті сонячному камінню надається необхідна форма. Така процедура називається грубим шліфуванням.

Серед основних видів обробки бурштину можна виділити: обдирання, формування, вирівнювання, шліфування, полірування і так званий дзеркальний ефект і пресування.

**Обдирання** - зняття кірки, патини, що утворилася в результаті вивітрювання, за допомогою грубозернистої шкурки, напилка. До обдирання завжди приступають з прозорого боку каменю, який свого часу був повернутий до сонця. Нижня коркова частина стане прекрасним фоном для майбутнього бурштинового виробу.

**Формування** - надання заготівці задуманої форми. За допомогою тих же інструментів і пристосувань каменю надається певний об'єм, силует, просторовий рисунок.

**Вирівнювання** – отриманий після обдирання і формування виріб має порівняно грубий, з видимими подряпинами, шорсткий вигляд. Шкуркою середньої зернистості загладжують всю поверхню. Рухи шкурки або каменю - легкі, без натиску, кругові, обертальні.

**Шліфування** - даний прийом в точності копіює попередній, тільки в цьому випадку шкурка береться більш дрібною зернистості. Такий прийом здійснювати в декілька заходів, потроху, знижуючи ступінь зернистості. Шкірку беруть водостійку, обробку ведуть, зволожуючи камінь або шкурку.

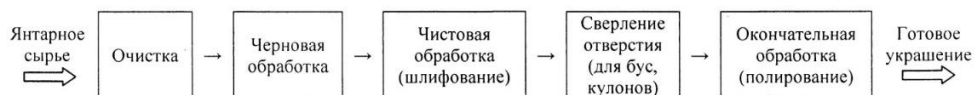
**Полірування** - заключна операція, що надає бурштиновому виробу досконалий «товарний» вигляд. Виконується вручну на повсті, шкірі, фетрі, фланелі або мітталі, обертових кругах, виготовлених з того ж матеріалу. У виробництві вироби з бурштину полірують на бязевому кругу, натертому спеціальною пастою з бурштинової стружки, парафіну і крейди. Легкими круговими рухами здійснюється полірування вручну. На обертових колах легким дотиком і постійним переміщенням полірують поверхні.

**Дзеркальний ефект.** При якісному поліруванні, в глянцевої поверхні бурштину, як в дзеркалі, відбиваються всі предмети. Закінчивши обробку, самовіт поміщають в спеціально відведене для нього місце, а далі вже нанизують на нитку, вставляють в оправу, скріплюють ланцюжком або наклеюють на основу і т.д.

Ще один метод обробки бурштину - **пресування**. Бурштин дуже пластичний при нагріванні. Бурштиновий злиток очищають від первісної кірки. Корочку смоли знімають за допомогою барабана, в якому крутяться камені, на дні цієї машини знаходиться шліфувальний круг, об який бурштину труться. Потім бурштин подрібнюють в порошок і закладають в прес-форми. При температурі 180-220 градусів і тиску порошок стає в'язкою масою. Потім його формують і дають затвердіти, охолоджуючи. Такий бурштин використовують в ювелірній промисловості, для виготовлення медичного посуду та використовують в промисловості як ізолятор. Існує також хімічна обробка бурштину. Залишки після обробки великих каменів розігрівають в резервуарах при температурі 350-370 градусів, і в результаті хімічних реакцій бурштин розкладається на бурштинове масло (15% від загальної маси), бурштинову кислоту (1,2%).

#### АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

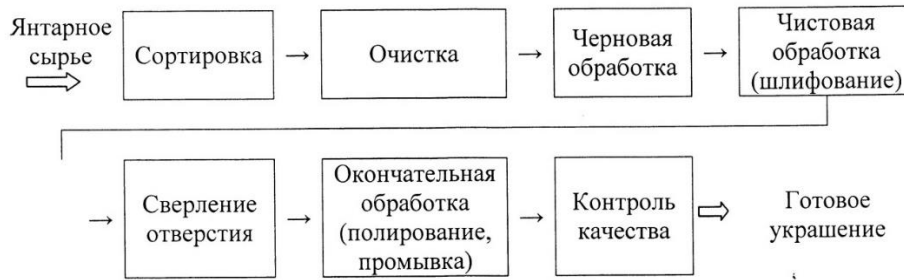
Вивчення літературних джерел і аналіз інформації в Інтернеті показав [1-4,19,21-23], що для виготовлення прикрас різної форми з бурштину в умовах індивідуального, в основному ручного, виробництва технологічний процес складається з п'яти послідовних етапів (рис.1).



**Рис.1.** Технологічний процес індивідуального виготовлення прикраси з бурштину

Для промислового виготовлення бурштинових прикрас технологічний процес складається як мінімум з семи послідовних етапів (рис.2).

## ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ №1 (16), 2019



**Рис.2.** Технологічний процес промислового виготовлення прикраси з бурштину

Існуючий стан механізації і автоматизації операцій технологічного процесу виготовлення кульок для прикрас з бурштину наведені в табл.1.

### ОСНОВНИЙ ТЕКСТ СТАТТІ

Існуючі технології і обладнання для обробки бурштинових кульок

В наш час чорнову обробку кульок виконують механізованим способом на шліфувальних верстатах. Прикладом такого верстата може бути верстат шліфувальний SW1 фірми Avalon (Польща) [20], який призначений для ручної шліфовки біжутерії, штамповок, відливок, виробних каменів, бурштину та інших виробів, з подачею охолоджувальної рідини (води). Можлива установка шліфувального круга з алмазним напиленням або зі спеціальною водостійкою шкіркою. Отримання досить точної сферичної форми бурштинових "каліброваних" куль (в подальшому викладі просто куль) здійснюється шляхом шліфування напівфабрикату у вигляді "мятої" кулі на спеціалізованих шліфувальних верстатах. Як правило, це настільні верстати з ручним приводом радіальної подачі  $S_{рад}$  і ручним (або механізованим) приводом кругової подачі  $S_{кр}$ , так звані "шарокрутки"[11]. Деяке поширення отримали верстати-напівавтомати, вироблені, наприклад, польською фірмою "Avalon" (рис.3) [20,21].

**Таблиця 1**

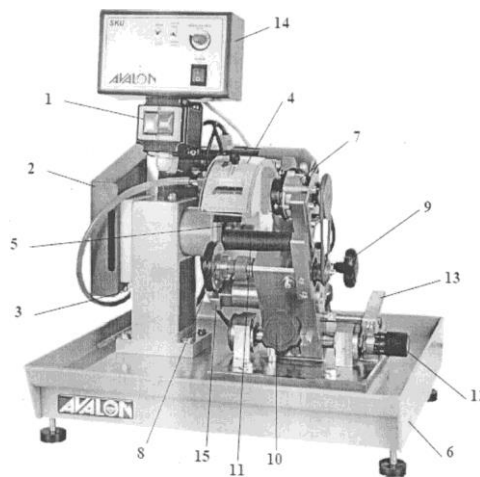
*Стан механізації і автоматизації операцій технологічного процесу виготовлення кульок для прикрас з бурштину*

№	Стадія	Спосіб здійснення операції				
		Ручний (Р)	Напівмеханізований (ПМ)	Механізований (М)	Напівавтоматизований (ПА)	Автоматизований (А)
1	Сортування	+	-	-	-	-
2	Очищення	+	+	-	-	-
3	Чорнова обробка (підготовка сферичної форми)	+	-	-	-	-
4	Чистова обробка (шліфування)	+	+	+	-	-



ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ №1 (16), 2019

Продовження таблиці 1						
5	Свердління отворів	+	+	+	+	-
6	Остаточна обробка (полірування, промивка)	+	+	+	-	-
7	Контроль якості	+	+	+	-	-



**Рис.3.** Верстат SKU польської фірми "Avalon" [20]: 1 - пульт управління; 2 - захисний кожух клинового пасу; 3 - кран для підключення води; 4 - захисний кожух для профільного круга; 5 - шліфувальний круг; 6 - станина верстата; 7 - двигун (12V) допоміжний; 8 - роликівна напрямна; 9 - ручка регулювання розміру куль; 10 - блокування переміщення маятникового механізму; 11 - ручка маятникового механізму; 12 - регульовальний гвинт переміщення маятникового механізму; 13 - кінцевий вимикач; 14 - пульт управління; 15 - підпорка під кульку

При свердлінні отворів у виробках з бурштину отримали в основному верстати з ручним керуванням/ Типовим представником таких верстатів є свердлильний верстат WK1 польської фірми "Avalon"[14].

Представником автоматизованого обладнання для свердління виробів з бурштину є верстат, розроблений і вироблений фірмою "GTV", Каунас (Литва) [21].

Верстат має модульну структуру. У шпindelьному блоці чотири шпінделя, подача виробів виконується з пневмотранспортом в спільну подаючу плиту з гніздами. Плита переміщається зліва направо, послідовно встановлюється під шпінделем, виконується свердління, після чого плита переміщається вправо далі в позицію вивантаження. Після цього швидко повертається в позицію завантаження в крайнє ліве положення.

## ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ №1 (16), 2019

Для надання виробам ще більш привабливого вигляду їх обробляють на шліфувально-полірувальних верстатах. Для шліфування використовують дрібнозернистий шліфувальний папір і круги. Для остаточної поліровки використовують полірувальні круги з бавовняної тканини, на які наносять полірувальну пасту. Прикладом верстатів, що застосовуються при поліруванні бурштинових виробів, є галтувальні верстати фірми Avalon (Польща) [20,22]. Також використовуються вібраційні верстати названої фірми. Прикладом може бути вібраційна установка WE6 (рис.4).деталей вібраційним способом (вироби з металу, ювелірні камені, кераміка, скло та ін.) в невеликих обсягах.



*Рис.4. Вібраційна установка WE6 фірми Avalon (Польща)*

Найбільш масовою, широко тиражованою бурштинової "деталлю", що входить до складу безлічі ювелірних виробів (намиста, кольє, підвіски, брошки і ін.), є куля ("буса") діаметром від 3 до 20 мм (іноді і більше, але рідко) [3]. Розрізняють бурштинові кулі відносно неправильної форми ("м'яті") і кулі з підвищеною точністю сферичної поверхні (високоточні). Термін "високоточний" стосовно бурштинової кулі є умовним (це все-таки не кулька шарикопідшипника). Але якщо, наприклад, для "мятого" кулі діаметром 5 мм допуск на діаметр становить 1-1,2 мм, то для "високоточної" кулі такого ж діаметру – лише 0.05...0,1мм. З огляду на вище сказане, для контролю якості обробки бурштинових куль використовуються звичайні обмірні інструменти, наприклад, штангенциркулі.

Для забезпечення максимального коефіцієнта використання бурштинової сировини необхідно передбачати два технологічних процеси (рис.5).

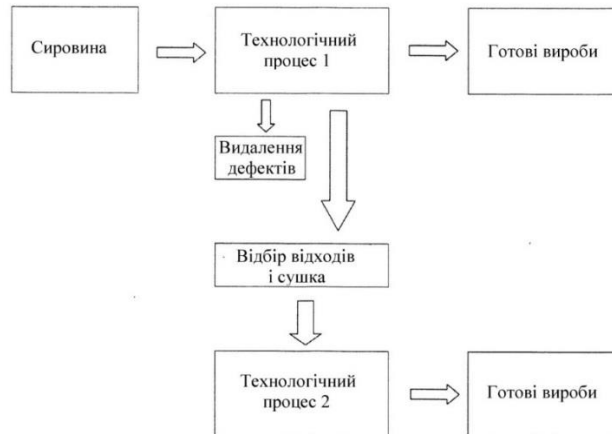
Аналіз технологічних процесів, існуючих сьогодні в світовій практиці, свідчить про відсутність замкнутого автоматизованого комплексу переробки бурштинової сировини в прикраси і, зокрема, для виготовлення кульок для бус.

Завдяки своїм багатогранним властивостям бурштин все більше привертає до себе увагу з точки зору його добування, обробки та використання, що визначає актуальність вирішення проблеми підвищення продуктивності і якості обробки при зниженні відходів сировини.

Підвищення продуктивності і якості обробки для отримання готового продукту можливо за рахунок заміни ручної праці, використання нових

## ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ №1 (16), 2019

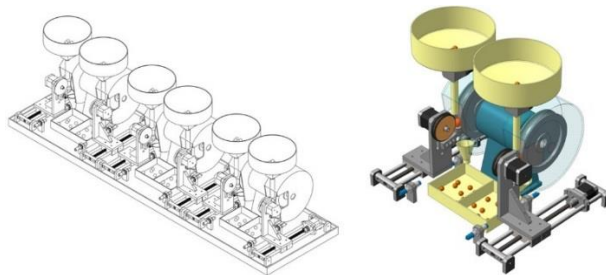
технологій і автоматизованого обладнання [1-4,22,23]. Перехід від ручного і частково механізованого виробництва виробів із бурштину до автоматизованого повинен виконуватися поетапним ліквідуванням вузьких місць в технологічному ланцюгу заготівки (бурштин-сировина) – готовий виріб (прикраса).



**Рис.5.** Варіанти технологічних процесів виготовлення кульок

На кафедрі конструювання верстатів та машин КПІ ім. Ігоря Сікорського виконані розробки і дослідження по створенню високопродуктивних верстатів-автоматів для шліфування бурштинових кульок після автоматичного сортування при мінімальних витратах на виготовлення верстата і його експлуатацію і забезпеченні високої якості за рахунок паралельної багатопозиційної обробки, модульного принципу, активного контролю і комп'ютерного керування.

Концептуальна компоновка верстата складається із 3-х секцій, кожна з яких включає в себе 2 модуля обробки (рис.6) [9].



**Рис.6.** Компоновка багатопозиційного верстата-автомата паралельної дії: а – загальний вид верстата, що складається з 3-х секцій; б – загальний вид однієї секції верстата

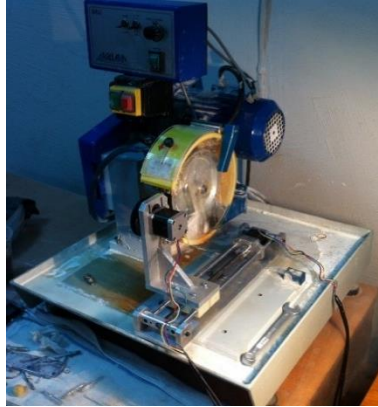
Був розроблений макет-приставка з автоматичною подачею по програмі.

При проведенні експерименту на верстаті мод. SKU фірми Avalon (див. рис.3), обладнаним макетом-приставкою автоматичної подачі (рис.7) емпіричним шляхом встановлено, що середній час обробки однієї кульки за один цикл складає 110 секунд. При цьому необхідно врахувати, що дана

## ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ №1 (16), 2019

приставка була виконана у вигляді макету, що перешкоджало збільшенню швидкості подачі і внаслідок цього збільшувало тривалість циклу обробки.

В разі використання повноцінного якісно виготовленого і налаштованого устаткування тривалість циклу можна зменшити в 3-5 разів і більше за рахунок збільшення секцій (робочих позицій), які обслуговуються однією людиною.



*Рис.7. Верстат моделі SKU фірми Avalon (Польща), обладнаний макетом-приставкою автоматичної радіальної подачі кульок*

Таким чином, якщо 1 цикл обробки становитиме в середньому 60 секунд, то використовуючи 6 модулів обробки можна отримати 360 кульок на годину і 2880 кульок за зміну (8 годин роботи). До переваг спроектованого верстата можна віднести такі характеристики як: простота конструкції; модульний принцип побудови верстата; висока продуктивність; низька вартість; широкі можливості в плані модернізації і пошуку нових принципів обробки [8, 10].

### ВИСНОВКИ

Виконані техніко-економічні обґрунтування свідчать про те, що замість продажу сировини бурштину доцільно вкласти інвестиції в створення вітчизняних високопродуктивних багатопозиційних верстатів-автоматів з ЧПК для виготовлення кульок для прикрас, які користуються великим попитом у світі завдяки своїм корисним властивостям. В результаті можна отримати прибуток на два порядки більший ніж від реалізації сировини. При цьому за короткий термін окупності вкладених інвестицій (до одного місяця) з'являються додаткові робочі місця, поліпшується екологічна ситуація в місцях видобування, суттєво поліпшується соціально-економічне становище людей. Кінцевий наслідок – сприяння розв'язанню гуманітарних, ресурсних, географічних та екологічних проблем національної безпеки України.

### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Борисов Б.П. . Модель формообразования шаров из янтаря на специализированных шлифовальных станках / Б. П. Борисов, Ю. Ф. Правдин, С. С. Михайлов // Известия Калининградского государственного технического университета. - 2013. - № 29. - С. 252-258.
- [2] Борисов Б.П. Выбор и обоснование кинематической структуры станка-автомата для шлифования высокоточных шаров из янтаря / Б.П. Борисов, С.В. Цыплаков, Р.О. Яксон // Автоматизация технологических процессов: сборник научных трудов / КГТУ. – Калининград, 2006. – с. 64 -70.

## ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ №1 (16), 2019

- [3] Борисов Б.П. Кинематическая структура специализированных станков для шлифования шаров из янтаря и методики расчета их производительности/Б.П. Борисов, Ю.Ф. Правдин // Известия КГТУ. -Калининград, 2007. т.№11.-С.192-197.
- [4] Борисов Б.П. Станок для обработки шаров из янтаря / Б.П. Борисов, Ю.Ф. Правдин, М.В. Шульжик, С.В. Цыплаков // Известия КГТУ – 2004, №5 – с. 82-86.
- [5] Головастов А. Машинное зрение и цифровая обработка изображений / А. Головастов // Современные технологии автоматизации. - 2010. - № 4. С. 8-18.
- [6] Никитин Ю.В. Поделочные камни и их обработка. Раскройте красоту камня. Л.: Наука, Лен-кое отд-е, 1979. – 86 с.
- [7] Новожилов Ю.Н. Инструмент для изготовления янтарных шариков // "Знание-сила", 1997, №4, с. 135-136.
- [8] Патент України №107052. Спосіб шліфування янтарних кульок, опубл.25.05.2016, Бюл.№10.
- [9] Патент України №111912. Верстат для шліфування кульок з напівдорогоцінних каменів, опубл.25.11.2016, Бюл.№22.
- [10] Патент України №129617. Верстат для шліфування кульок з напівдорогоцінних каменів, опубл.12.11.2018, Бюл.№21.
- [11] Рыбин А.А. Мягкие камни, их свойства, обработка и применение. М.: 1959. – 154 с.
- [12] Савкевич С.С. Янтарь. Л.: Недра, 1970. - 192с.
- [13] Сребродольский Б.И. Янтарь. - М.: Наука, 1984. - 112 с.
- [14] Тилипалов В.Н., Перетятко С.Б., Алешкевич В.В. Перспективные технологии и оборудование обработки янтаря / Под ред. В.Н. Тилипалова – Калининград, КГТУ, 2003, 318 с.
- [15] Фелькерзам А. Е. Янтарь и его применение в искусстве [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: <http://www.eunnet.net/lithica/russ/felk/1912/03.htm>
- [16] Шаповалов Р.Г. Обработка бурштину в середньовічному Новгороді [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: [http://olaf.lod.oi.ua/s79900/obrabotka\\_yantaryu\\_v\\_srednevekovom](http://olaf.lod.oi.ua/s79900/obrabotka_yantaryu_v_srednevekovom).
- [17] Янтарь – статья из большой советской энциклопедии [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: <http://slovari.yandex.ru/dict/bse/article/00095/02800.html>
- [18] Янтарь // Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона: В 86 томах (82 т. и 4 доп.). — СПб., 1890—1907.
- [19] Советы по улучшению природных камней. [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: <http://www.jewellery.org.ua/stones/sintetica1.htm>
- [20] Avalon finding systems [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: <http://www.avalon-machines.pl/>
- [21] From idea to realization [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: <http://www.gtv.lt>
- [22] Datalogic service partner. [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: [http://dki.ua/Datalogic\\_Automation/Machine\\_Datalogic\\_1.html](http://dki.ua/Datalogic_Automation/Machine_Datalogic_1.html)
- [23] Mallenom systems. [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: <http://www.mallenom.ru/quality.php>

### **INCREASING THE PRODUCTIVITY OF PROCESSING AMBER BALLS FOR DECORATION**

**Kuznetsov Yu.M.**, DThSc., Prof.,

**National Technical University of  
Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv  
Polytechnic Institute" / Ukraine**

**Abstract:** *the purpose of the work is creation of productive automatic machines for grinding amber beads with minimal costs for its manufacture and exploitation, providing high quality through parallel processing of the rocker, modal principle, the active control and computer control.*

**Keywords:** machine-tool, multi-position processing, grinding and polishing machine.

**REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)**

- [1] Borisov, B.P., Pravdin, Yu. F. & Mikhailov, S.S. (2013). A model for the formation of amber balls on specialized grinding machines. *Proceedings of the kaliningrad state technical university*, 29, 252-258. (in Russian).
- [2] Borisov, B.P., Tsyplakov, S.V., & Jakson, R.O. (2006). The choice and justification of the kinematic structure of the automatic machine for grinding high-precision amber balls. *Futomatication of technological processes: a collection of scientific works*, 64 -70. (in Russian).
- [3] Borisov, B.P., & Pravdin, Yu. F. (2007). Kinematic structure of specialized machines for grinding balls made of amber and a motodik for calculating their productivity. *Proceedings of kstu. Kaliningrad*, 11, 92-197. (in Russian).
- [4] Borisov, B.P., Pravdin, Yu. F., Shulzhik, M.V., & Tsyplakov, S.V. (2004). Machine for processing balls of amber. *News of KSTU*, 5, 82-86. (in Russian).
- [5] Golovastov, A. (2010). Machine vision and digital image processing. *Modern automation technologies*, 4, 8-18. (in Russian).
- [6] Nikitin, Yu.V. (1979). *Ornamental stones and their processing. Discover the beauty of the stone*. L: Nauka, Len-kot otd-e, 86. (in Russian).
- [7] Novozhilov, Yu.N. (1997). A tool for the manufacture of amber balls. *Knowledge is power*, 4, 135-136. (in Russian).
- [8] Kuznetsov, Yu.M. (2016). *Patent for invention No. 107052*. Ukraine. (in Ukrainian).
- [9] Geychuk, V.M., Kuznetsov, Yu.M., & Nedoboi, A.V. (2016). *Patent for invention No. 111912*. Ukraine. (in Ukrainian).
- [10] Kuznetsov, Yu.M., & Orel, Y.V. (2018). *Patent for invention No. 129617*. Ukraine. (in Ukrainian).
- [11] Rybin, A.A. (1959). *Soft stones, their properties, processing and application*. Moscow. (in Russian).
- [12] Savkevich, S.S. (1970). *Amber*. Leningrad: Nedra. (in Russian).
- [13] Srebrodolsky, B.I. (1984). *Amber*. Moscow: Nauka. (in Russian).
- [14] Tilipalov, V.N., Peretyatko, S.B., Aleshkevich, V.V. (2003). *Promising technologies and equipment for amber processing*. Kaliningrad: KSTU. (in Russian).
- [15] Felkersam, A.E. (2019). *Amber and its application in art*. Retrieved from <http://www.eunnet.net/lithica/russ/felk/1912/03.htm> (in Russian).
- [16] Shapovalov, R.G. (2019). *Amber processing in medieval Novgorod*. Retrieved from [http://olaf.lod.oi.ua/s79900/processing amber in medieval](http://olaf.lod.oi.ua/s79900/processing%20amber%20in%20medieval) (in Russian).
- [17] *Amber - an article from the great soviet encyclopedia*. (2019). Retrieved from <http://slovari.yandex.ru/dict/bse/article/00095/02800.html> (in Russian).
- [18] *Amber // brockhaus and efron encyclopedic dictionary: in 86 volumes (1890)*. (82 vols. And 4 suppl.). st. Petersburg. (in Russian).
- [19] *Tips for improving natural stones*. (2019). Retrieved from <http://www.jewellery.org.ua/stones/sintetica1.htm> (in Russian).
- [20] *Avalon finding systems*. (2019). Retrieved from <http://www.avalon-machines.pl/> (in Poland).
- [21] *From idea to realization*. (2019). Retrieved from <http://www.gtv.lt> (in English).
- [22] *Datalogic service partner*. (2019). Retrieved from [http://dkl.ua/datalogic\\_automation/machine\\_datalogic\\_1.html](http://dkl.ua/datalogic_automation/machine_datalogic_1.html) (in English).
- [23] *Mallenom systems*. (2019). Retrieved from <http://www.mallenom.ru/quality.php> (in English).

Стаття надійшла до редакції 09.11.2019

УДК 004.55

Крестьянполь Л.Ю., к.т.н., доцент      Луцький національний технічний  
університет / Україна

## **ОСНОВИ ОПТИМІЗАЦІЇ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ВЕБ-ФОРМ**

***Анотація:** у роботі автором розглянуто поняття юзабіліті в контексті веб форм. Описано типову будову веб форми. Наведено вимоги, яких необхідно дотримуватись при розробці веб форми. Автором виділено засоби для оптимізації веб форм, та наведено приклади їх вдалої та не вдалої реалізації.*

***Ключові слова:** юзабіліті, веб форми, HTML, веб дизайн.*

### **ВСТУП**

Веб-форми - простий інструмент і один з головних джерел “lead” на вебсайті. З їх допомогою можна побудувати хороший потік заявок та відвідування сторінки. Щоб веб-форма здійснювала конверсію, важливо зробити її зручною для користувачів.

Веб-форми завжди вимагали вдосконалення. Стандартні засоби HTML не можуть забезпечити вирішення багатьох завдань розробників. На допомогу приходять JavaScript, з підтримкою якого можна як завгодно маніпулювати з будовою сторінки. Аналогічна ситуація була і з CSS. Багато анімацій і візуальних ефектів дало можливість реалізувати за допомогою скриптів. Це все сприяло розвитку нового підходу у розробці веб сайтів – “веб-юзабіліті”. Основним положенням якого є зручність та зрозумілість для користувачів.

### **АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ**

Юзабіліті (Usability) – це властивість продукту бути придатним до використання. Та визначає загальну степінь зручності предмета при використанні. Якщо говорити про сайт, як про певний інтернет-продукт, то він також володіє своїм юзабіліті в тій чи іншій мірі [1]. Юзабіліті – це характеристика, яка в першу чергу звернена до відвідувачів сайту. Пошукові машини її не оцінюють, вона лише побічно впливає на ранжування.

Міжнародний стандарт ISO 9241-11 визначає Юзабіліті як міру з якою продукт може бути використаний певним користувачем при певному контексті використання для досягнення конкретної цілі з належною ефективністю, продуктивністю і рівнем задоволення потреб [2].

В результаті досліджень юзабіліті взаємодії людини і машини Бен Шнейдерман [3] сформулював деякі правила розробки інтерфейсів: логічність, швидкість роботи з системою, наявність зворотнього зв'язку, простота способу відміни дій.

У своїх дослідженнях Лукас Матіс розглядає закон Фіттса [4], який описує вплив часу рухів користувача на точність руху. Він дозволяє визначати розміри елементів інтерфейсу, їх розташування, та взаємне розташування на екрані

відповідно до того наскільки просто або складно буде їх використовувати. Вітчизняні науковці також зробили свій вклад у розвиток. Раскин Д у своїй праці [5] аналізує новий спосіб проектування коп'ютерних систем. Усі ці підходи дають можливість сформулювати загальні правила для оптимізації веб-сайтів.

### ОСНОВНИЙ ТЕКСТ СТАТТІ

Форма - це спосіб спілкування з користувачем. Як і будь-яка інша розмова, вона повинна складатися з логічного зв'язку між двома сторонами: користувачем і додатком. Для створення цього зв'язку необхідно дотримуватись наступних вимог:

- Запитувати лише ту інформацію, яка необхідна для отримання результату. Кожне додаткове поле, додане в форму, впливає на її конверсію.
- Розробити логічну послідовність форми. Необхідно будувати логіку форми так, щоб вона була зрозуміла з точки зору користувача.
- Групувати пов'язану інформацію в окремі блоки і набори. Угрупування пов'язаних полів допоможе користувачам розібратися в інформації, яку вони повинні надати.

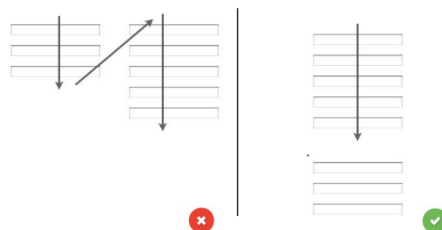
#### *Оптимізація полів вводу форми*

При оптимізації полів вводу необхідно звернути увагу на розміщення полів, їх кількість, статус важливості поля, наявність маски вводу та автофокусу в полі.

Однією з проблем в організації полів вводу з кількома стовпчиками є непослідовна інтерпретація користувачами цих самих полів. Якщо форма має горизонтально розташовані поля, то користувач повинен слідувати по Z-подібній траєкторії уздовж форми, що уповільнює швидкість сприйняття і перетворює шлях до завершення заповнення у плутанину між полями.

В свою чергу, якщо форма складена в один стовпець, то шлях до завершення один – донизу сторінки.

На Рис. 1. наведено один з можливих способів інтерпретації форм, складених в декілька стовпців. Йому протиставлений спосіб побудови форми в один стовпчик.



**Рис. 1.** Способи побудови полів вводу форми

Ключове правило в дизайні форми свідчить, що чим вона коротше, тим краще. І це здається інтуїтивно зрозумілим: менше зусиль з боку користувача призведе до підвищення конверсії. Таким чином, завдання оптимізації полягає в тому, щоб звести до мінімуму кількість полів настільки, наскільки це можливо.

Це зробить форми менш завантаженими, особливо коли є необхідність ввести багато інформації. За сучасних вимог нормою вважається відображення 5-7 полів.



Ще одним пунктом оптимізації полів вводу є визначення їх обов'язковості. Необхідно уникати необов'язкових полів в формах. Але якщо є потреба у їх використанні, то необхідно чітко розмежувати ті поля, які можуть бути порожніми. Якщо використовується зірочка (\*) для демонстрації обов'язкових полів, то варто показати підказку в нижній або верхній частині форми, де потрібно пояснити, що означає зірочка.

Ще одним засобом оптимізації полів вводу є застосування масок.

Маски введення інформації - це візуальне поліпшення, яке допомагає користувачам відформатувати введену інформацію автоматично. Вони з'являються тоді, коли користувач фокусується на певному полі вводу інформації, і це форматування допомагає користувачеві зосередитися на необхідних відомостях і легше помітити можливі помилки.

Автофокусування поля дає користувачеві уявлення і точку відправлення, щоб швидко заповнювати поля форми. Він забезпечує чіткий візуальний сигнал про те, що увага кудись перемістилась, чи це через зміну кольору, вицвітання у вікні, миготливі стрілки.

Якщо у формі є декілька блоків з полями, у таких випадках варто використовувати для конкретних полів автозаповнення. Заповнення полів з адресою, є найбільш проблемною частиною будь-якої реєстраційної форми. Такий інструмент як автозаповнення адреси (який використовує геолокацію, щоб забезпечити точне визначення місця розташування користувача) дозволяє користувачам вказати свою адресу з меншим числом натискань клавіш ніж звичайні поля введення.

#### *Оптимізація міток*

Чітко прописані мітки є одним з основних способів зробити інтерфейс більш доступним. Правильні мітки повідомляють користувачеві про мету поля введення, зберігають свою корисність, коли акцент робиться на самому полі і залишаються видимими навіть після того, як всі поля були заповнені.

Для оптимізації міток необхідно виконати наступні дії:

- Обмежити кількість слів.

Мітки не можуть замінити текст. Необхідно вживати ємні, короткі і зрозумілі написи (слово або два), щоб користувачі могли швидко прочитати вашу форму.

- Вибрати спосіб використання заголовків.

У більшості цифрових продуктів сьогодні існує два способи використовувати заголовні букви:

- На початку слова: капіталізація кожного слова, крім прийменників і часток - «Це Великі Літери».
- На початку речення: капіталізація першого слова в реченні - «Це великі літери».

Другий варіант використовується для міток і має одну перевагу над першим: його трохи простіше читати. Якщо різниця для коротких написів незначна, то для довгих вона вже істотна. Варто також відзначити, що для слов'янських та інших кириличних писемностей, капіталізація кожного слова в реченні нехарактерна, але в останні роки намічається зрушення в російськомовному сегменті під впливом латиномовних тенденцій.

## ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ №1 (16), 2019

- Не використовувати великі літери для написання всього слова мітки.

В такому випадку форму буде складно читати і набагато важче переглядати, тому що немає змін у висоті символів.

- Вирівнювання мітки по верху, по лівому краю, по правому краю поля.

Форми заповнюються швидше, якщо мітки стоять зверху полів. Верхня орієнтація необхідна, якщо користувач якомога швидше хоче переглянути форму.

Ще однією перевагою вирівнювання мітки по верху є те, що різні за розміром етикетки і локалізовані версії сайту легко впишуться в інтерфейс. (Це також добре для екранів з обмеженим простором). Проте, таке вирівнювання не підійде для довгих форм Рис.2, а.

The figure illustrates three different ways to align labels with form fields:

- a) Top alignment:** Labels are placed above the input fields. For example, 'Name' is above two boxes labeled 'First' and 'Last'. 'Date' is above three boxes labeled 'MM', 'DD', and 'YYYY'. 'Phone' is above three boxes labeled '(##)', '##', and '####'. 'Web Site' and 'Email' are each above a single wide box.
- б) Left alignment:** Labels are placed to the left of the input fields. The layout is similar to (a) but the labels are not centered above the fields.
- в) Right alignment:** Labels are placed to the right of the input fields. The layout is similar to (a) but the labels are on the opposite side.

**Рис. 2.** Способи вирівнювання мітки відносно поля: а) – зверху поля; б) – по лівому краю поля; в) – по правому краю поля;

Недоліком вирівнювання по лівому краю поля є збільшення витрат часу на заповнення форми. Ймовірно, це наслідок візуальної відстані між міткою і полем введення. Чим коротше мітка, тим далі вона буде від поля введення. Однак, повільний темп заповнення форми не завжди поганий, особливо якщо форма запитує конфіденційні дані. Вирівнювання по лівому краю поля мають ще один недолік: вони вимагають більше горизонтального простору, що може стати проблемою для користувачів мобільної версії сайту або програми Рис.2, б. Вирівнювання по правому краю поля посилює візуальні зв'язки між міткою і полем вводу. Для короткої форми, вирівняна по правому краю мітка може стати тим фактором, який зменшить час її прочитання. Недоліком тут є дискомфорт. Такі форми, в яких відсутня відстань від лівого краю, складніше читати і переглядати Рис.2, в.

- Використання вбудованих підказок.

Набір підказок як заповнювати поле вводу зменшує час заповнення форми. Підказка зникає, як тільки користувач фокусується на цьому полі. У той час, як вбудовані підказки можуть успішно працювати на двох полях форми (проста форма логіна), поганою ідеєю буде заміна ними візуальних позначок підказок полів, де потрібна додаткова інформація від користувача.

*Оптимізація кнопок дії*

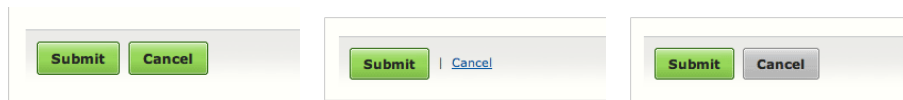
## ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ №1 (16), 2019

Дані кнопки використовуються для створення певної дії. В свою чергу дії у формі розділяють на: первинні та вторинні.

Відсутність візуальної відмінності між первинними і вторинними діями можуть легко призвести до провалу. Збільшення візуальної виразності вторинних дій мінімізує ризик помилитися і підсилює відчуття руху до успішного результату.

Для оптимізації кнопок дії необхідно виконати наступні кроки:

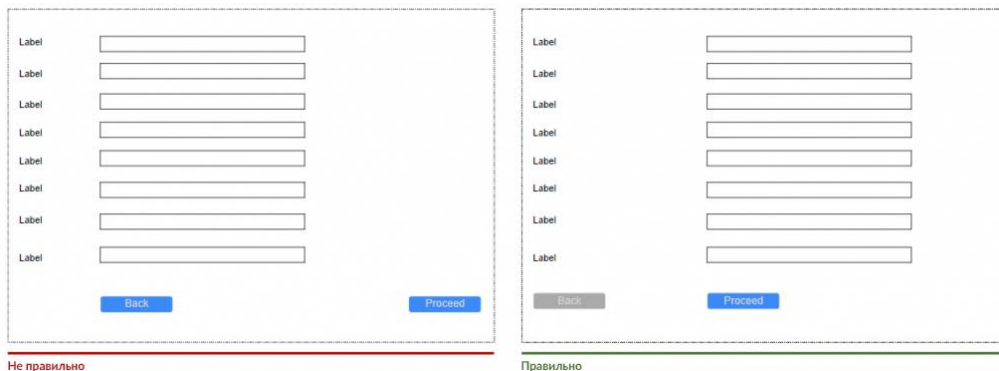
- Здійснити різну візуалізацію кнопок первинної та вторинної дії.



**Рис. 3.** Способи візуалізації кнопок дії

- Правильно розмістити кнопки.

Складні форми, як правило, мають кнопку «Назад» або «Back». Якщо така кнопка розташована прямо над полем введення, то користувач може випадково натиснути на неї. Вся справа в тому, що кнопка «Назад» - це вторинна дія, яка повинна бути менш доступною. На рис. 4. показано правильне та неправильне розташування вторинних кнопок.



**Рис. 4.** Розташування кнопок дії

- Використовувати підходящі слова для опису кнопок.

Для анкети або заявки варто використовувати слова «Надіслати», «Відправити».

- Уникати використання кнопок з декількома діями.
- Не використовувати кнопку з функцією «Відміна» «Скинути введення».
- Розробити візуальне представлення яке максимально відповідатиме поняттю «кнопка».

Варто спроектувати кнопку «Відправити» таким чином, щоб вона ясно показувала, що форма обробляється після дій користувача. Це забезпечує зворотний зв'язок з користувачем і запобігає подвійному натисканню.

*Перевірка форми на правильність заповнення*

При заповненні та перевірці будь-якої форми помилки є неминучі і це є природною частиною введення даних (тому що користувачі схильні робити помилки). Помилки повинні бути зведені до мінімуму, але вони ніколи не будуть усунені остаточно. Отже, найважливішим питанням оптимізації форм є те, як зробити перевірку легкою для користувача, щоб вони змогли виправити помилки. Користувачам не подобається, що доводиться заповнювати всю форму і в самому кінці дізнаватися про помилки. Особливо, після натискання кнопки «Відправити». Перевірка повинна повідомляти користувачам про правильність введеного тексту, як тільки вони його ввели. Основний принцип перевірки форми такий: спілкуватися з користувачем. Необхідно повідомити, що саме неправильно заповнено. Вбудована перевірка в режимі реального часу негайно сповіщає про правильність його даних. Такий підхід дозволяє користувачам виправляти помилки швидше, не чекаючи поки вони натиснуть на кнопку «Відправити». Однак, варто уникати перевірки на кожне натискання клавіші, тому що в більшості випадків, розробник просто не може бути впевнений, що користувач закінчив набирати відповідь. Іноді форма повинна перевіряти дані в той час, коли користувач переходить до нового поля.

Якщо користувач вводить дані в поле, яке було в допустимому стані (тобто, введені дані були дійсні), то перевірка проводиться після введення даних.

Якщо користувач вводить дані в поле, яке було в неприпустимому стані (тобто, раніше введені дані були недійсні), то перевірка проводиться під час введення даних. Це є гібридний підхід до перевірки даних.

## ВИСНОВКИ

Чим якісніше юзабіліті, тим популярніший сайт, тим краще продається продукт, тим більший трафік, а відповідно, вища видача в пошукових системах – все взаємопов'язано. Низький рівень юзабіліті, відповідно, зменшує відвідуваність сайту. Однак, це абсолютно не означає, що цей сайт не містить хорошого контенту. Покращувати юзабіліті можна постійним тестуванням сайту реальними користувачами, веденням обліку, чим і займаються професійні розробники сайтів, аудитори та оптимізатори.

## ЛІТЕРАТУРА

- [1] Що таке юзабіліті сайта. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://soandso.biz/blog/web-application/shho-take-yuzabiliti.html>
- [2] ISO 9214-11. 2018. Ergonomics of human-system interaction — Part 11: Usability: Definitions and concepts.
- [3] Shneiderman, B., Plaisant, C., Cohen, M., Jacobs, S., & Elmqvist, N. (2005). *Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction*, Addison-Wesley.
- [4] Lukas Mathis. Fitts's Law // *Designed for Use*. — Pragmatic Bookshelf, 2011. — 344 p. — ISBN 978-1-934356-75-3.
- [5] Раскин Д. Интерфейс: новые направления в проектировании компьютерных систем. — СПб: Символ-плюс, 2010. — 272 с. — ISBN 5-93286-030-8
- [6] Зав'ялець Ю. А. Web-технології та web-дизайн. [Електронний ресурс] / Ю. А. Зав'ялець // Чернівці. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: [https://www.college-chnu.cv.ua/images/Books/Komp\\_N/web\\_design.pdf](https://www.college-chnu.cv.ua/images/Books/Komp_N/web_design.pdf)
- [7] Email-маркетинг, или как сделать работающую рассылку? Часть 1. База, где ее взять и что ей писать? [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу:

- <https://1ps.ru/blog/ctr/2016/email-marketing-ili-kak-sdelat-rabotayushhuyu-rassyilku-chast-1/>
- [8] Krestyanpol, L.(2018). Automation of the information collecting and submitting process through the contact forms. *Technological Complexes*, 15(1), 60-65. Retrieved December 12, 2018, from <http://t-komplex.net.ua/art-15-008>
- [9] Пасічник О.Г. Основи веб-дизайну: Посібник / О.Г. Пасічник, О.В. Пасічник, І.В. Стеценко. – К.: BHV, 2008. – 534 с.
- [10] Павленко А. UX обзор: Разработка правильных форм ввода информации [Электронный ресурс] / А. Павленко. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: <https://medium.com/@pavljenko/ux-обзор-разработка-правильных-форм-ввода-информации-3844211d1e17>.

## PRINCIPLES OF OPTIMIZATION THE STRUCTURAL ELEMENTS OF WEB FORMS

**Krestyanpol, L.,**  
PhD., Assoc. Professor,

Lutsk National Technical University /  
Ukraine

**Abstract:** *ehe author deals with the concept of usability in the context of web forms. The typical structure of the web form is described. The requirements to be met when developing a web form are given. The author identifies tools for optimizing web forms and gives examples of their successful and unsuccessful implementation.*

**Keywords:** *usability, web forms, HTML, web design*

### REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

- [1] What is Website Usability. (2019). Retrieved from <https://soandso.biz/blog/web-application/shho-take-yuzabiliti.html> (in Ukrainian).
- [2] ISO 9214-11. 2018. *Ergonomics of human-system interaction — Part 11: Usability: Definitions and concepts*. (in English).
- [3] Shneiderman, B., Plaisant, C., Cohen, M., Jacobs, S., & Elmqvist, N. (2005). *Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction*, Addison-Wesley. (in English).
- [4] Lukas, Mathis. (2011). *Fitts's Law // Designed for Use*. Pragmatic Bookshelf, ISBN 978-1-934356-75-3. (in English).
- [5] Raskin, D. (2010). *Interface: New Directions in Computer Systems Design*. - St. Petersburg: Symbol Plus, ISBN 5-93286-030-8 (in Russian).
- [6] Zavyalets, Y.A. (2015). *Web Technologies and Web Design*. Retrieved from [https://www.college-chnu.cv.ua/images/Books/Komp\\_N/web\\_design.pdf](https://www.college-chnu.cv.ua/images/Books/Komp_N/web_design.pdf) (in Ukrainian).
- [7] *Email Marketing, or How to Make a Working Mailing List? Part 1. Base, where to get it and what to write it?* Retrieved from <https://1ps.ru/blog/ctr/2016/email-marketing-ili-kak-sdelat-rabotayushhuyu-rassyilku-chast-1/> (in Russian).
- [8] Krestyanpol, L. (2018). Automation of the information collecting and submitting process through the contact forms. *Technological Complexes*, 15(1), 60-65. Retrieved December 12, 2018, from <http://t-komplex.net.ua/art-15-008> (in English).
- [9] Pasichnyk, O.G., Pasichnyk, O.V., & Stetsenko I.V. (2008). *Web Design Basics*.Kyiv. (in Ukrainian).
- [10] Pavlenko, A. (2017). *UX Review: Developing the Web Forms*. Retrieved from <https://medium.com/@pavljenko/ux-обзор-разработка-правильных-форм-ввода-информации-3844211d1e17>. (in Russian).

**Стаття надійшла до редакції 20.11.2019**

**УДК 62.9**

**Мельник О.В.**,  
завідувач сектору досліджень  
зброї відділу криміналістичних  
видів досліджень

**Волинський науково-дослідний  
експертно-криміналістичний центр  
МВС України / Україна**

## **ПРАКТИКА ВИКОРИСТАННЯ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ОПТОЕЛЕКТРОННОГО ВБХ 731.4 В ХОДІ ПРОВЕДЕННЯ СУДОВИХ БАЛІСТИЧНИХ ЕКСПЕРТИЗ**

***Анотація:** у роботі описано практику використання певного вимірювального обладнання для встановлення належності певних предметів до вогнепальної зброї. Автор аналізує проце дослідження вогнепальної зброї, та проводить експеримент з визначення питомої кінетичної енергії стріляних снарядів для ураження цілі. Для проведення експерименту автор згідно з діючими методиками використовує вимірювальний комплекс ВБХ 731.4.*

***Ключові слова:** балістична експертиза, оптоелектронні пристрої, металний снаряд.*

### **ВСТУП**

Оптоелектронні пристрої – це прилади, що використовують у роботі електромагнітне випромінювання оптичного діапазону. Вони приймають, перетворюють та генерують випромінювання у видимій, інфрачервоній і ультрафіолетовій областях спектру. Основними факторами, що забезпечують розвиток оптоелектроніки, є розробка надчистих, бездефектних матеріалів та досконалих технологій створення нових сучасних приладів та пристроїв.

### **АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ**

Проблема дослідження використання вимірювального комплексу оптоелектронного ВБХ 731.4 широко описана у працях Гамов Д.Ю [1, 2]. В свою чергу, автором у данній статті наведено алгоритм роботи з вимірювальним комплексом, та описано будову досліджуваного приладу.

### **ОСНОВНИЙ ТЕКСТ СТАТТІ**

Слідча і судова експертна практика свідчить, що в останні роки для вчинення тяжких та особливо тяжких кримінальних правопорушень проти життя і здоров'я людини часто застосовуються різні види зброї. Особливу небезпеку складають кримінальні правопорушення, спосіб вчинення яких пов'язаний із застосуванням зброї. У зв'язку з цим законодавством України передбачена кримінальна відповідальність за незаконне носіння, виготовлення та збут зброї. Правильна кваліфікація вчинених протиправних дій, залежить наскільки обґрунтовано судовим експертом буде встановлено належність предметів до категорії вогнепальної зброї та боеприпасів.

## ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ №1 (16), 2019

Для встановлення належності певних предметів до вогнепальної зброї та боеприпасів, проводиться експертиза зброї за експертною спеціальністю 3.1. «Балістичне дослідження вогнепальної зброї та бойових припасів до неї».

В рамках проведення даної судової експертизи зброї, судовий експерт при проведенні дослідження керується:

1. Методикою встановлення належності об'єкта до вогнепальної зброї та його придатності до стрільби (проведення пострілів) / ДНДЕКЦ МВС України; ДЕЗП Мінюсту України; [Гамов Д.Ю.]. – К., 2012. 34с. Реєстраційний номер

2. Методикою встановлення належності об'єкта до бойових припасів вогнепальної стрілецької зброї та його придатності до стрільби / ДНДЕКЦ МВС України; ДЕЗП Мінюсту України; [Гамов Д.Ю.]. – К., 2012. 25с.

Відповідно до зазначених вище методик, в ході дослідження проводиться експериментальна стрільба під час якої перевіряється достатність питомої кінетичної енергії стріляних снарядів для ураження цілі [1], [2].

Для визначення швидкості польоту металевих снарядів працівниками Волинського НДЕКЦ МВС використовується сучасний вимірювальний комплекс оптоелектронний ВБХ 731.4. (рис. 1).



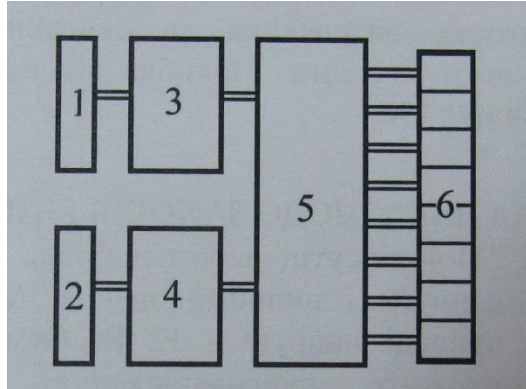
**Рис. 1. ВБХ 731.4 в роботі**

Вимірювальний комплекс оптоелектронний ВБХ 731.4 є універсальним приладом, призначений для вимірювання швидкості і енергії кулі стрілецької зброї (режим вимірювання одиночних пострілів) і має чотирихрозрядний індикатор швидкості і трьохрозрядний індикатор номер/енергія [3].

Будова приладу: прилад складається з шести функціональних блоків. Блоки реєстрації 1 та 2 являють собою світлові шторки, зібрані з випромінюючих світлодіодів та приймаючих фототранзисторів, які працюють в ІЧ-діапазоні. Блоки 3 та 4 – аналогові перетворювачі – здійснюють первинну обробку отриманих сигналів та формування імпульсів для передачі даних в цифровому вигляді. Цифровий блок 5 здійснює обчислення вимірюваних приладом параметрів відповідно до закладеної програми. Результати виводяться на блок індикації 6 (рисунок 2).

Робота приладу: при перетині кулею (або іншим непрозорим предметом) світлової шторки, змонтований на блоці реєстрації, відбувається зміна

світлового потоку, який перетворюється в аналоговому блоці в електричний імпульс. Від двох світлових шторок формуються два електричних імпульси, рознесених за часом, та дорівнюють часу прольоту кулі [3].



*Рис. 2. Схема будови ВБХ 731.4.*

Програмне забезпечення пристрою також дозволяє обчислювати кінетичну енергію метального снаряду. Похибка обчислення енергії визначається похибками вимірювання швидкості, визначення та завдання маси кулі і округлення отриманого значення. Похибка обчислення кінетичної енергії кулі не перевищує 1%

В експертній практиці правильне визначення швидкості польоту снаряду дозволяє встановити належність досліджуваних предметів до категорії вогнепальної зброї та бойових припасів, а вимірювальний комплекс оптоелектронний ВБХ 731.4 є невід'ємним приладом, який використовується в ході проведення судових балістичних експертиз у Волинському НДЕКЦ МВС.

## **ВИСНОВКИ**

Узагальнюючи вищевикладене необхідно зазначити, що вимірювальний комплекс оптоелектронний ВБХ 731.4 є досить ефективним при вимірюванні швидкості польоту снаряду, яка в подальшому використовується для визначення питомої кінетичної енергії стріляних снарядів, що підтверджено на практиці.

## **ЛІТЕРАТУРА**

- [1] Методика встановлення належності об'єкта до вогнепальної зброї та його придатності до стрільби (проведення пострілів) / ДНДЕКЦ МВС України; ДЕЗП Мінюсту України; [Гамов Д.Ю.]. – К., 2012. 34с. Реєстраційний номер Реєстру методик проведення судових експертиз – 3.1.22.
- [2] Методика встановлення належності об'єкта до бойових припасів вогнепальної стрілецької зброї та його придатності до стрільби / ДНДЕКЦ МВС України; ДЕЗП Мінюсту України; [Гамов Д.Ю.]. – К., 2012. 25с. Реєстраційний номер Реєстру методик проведення судових експертиз – 3.2.05.
- [3] Паспорт та інструкція з експлуатації вимірювальний комплекс оптоелектронний ВБХ 731.4.



**USE OF THE OPTIOELECTRONIC BEX 731.4 MEASURING  
COMPLEX IN BALLISTIC RESEARCH**

**Melnuk O.V.,**  
head of the research sector  
weapons of the forensic department  
types of research

**Volyn Scientific and Research Center /  
Ukraine**

**Abstract:** *the practice describes the use of certain measuring equipment to determine the affiliation of certain items to firearms. The author analyzes the study of firearms, and conducts an experiment to determine the specific kinetic energy of projectiles to hit a target. To conduct the experiment, the author uses the BEX 731.4 measuring complex in accordance with current methods.*

**Keywords:** *ballistic expertise, optoelectronic devices, projectile*

**REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)**

- [1] Gamov, D.Yu. (2012). *The method of establishing the object of the object to the firearm and its suitability for firing (shooting)*. Ukraine. SSRС, 34с. (in Ukrainian).
- [2] Gamov, D.Yu. (2012). *The method of establishing the object of the object to the ammunition of firearms and its suitability for firing (shooting)*. Ukraine. SSRС, 25с. (in Ukrainian).
- [3] *Passport and Operating Instructions Optoelectronic Measuring Complex UBH 731.4*. (in Ukrainian).

**Стаття надійшла до редакції 25.11.2019**