

ISSN 2307-1699

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ
МАШИНИ**

ЗБІРНИК НАУКОВИХ СТАТЕЙ

Випуск 37

Луцьк 2017

УДК 631.3.00

Сільськогосподарські машини: Зб.наук.ст. – Вип. 37. – Луцьк, 2017. – 128 с.

Рекомендовано до друку Вченою радою Луцького національного технічного університету, протокол № 4 від 28.11.2017 р.

У даний збірник включено статті, які висвітлюють питання конструювання та використання сільськогосподарської техніки. Наведено дослідження машин і процесів для посіву, збирання, сушіння та транспортування сільськогосподарських культур. Розглянуто і багато інших питань.

Збірник розрахований на наукових працівників.

The journal contains articles of construction and using agricultural machinery. The machines and processes of planting and harvesting of crops, drying and transportation of agricultural materials as well as other tasks are investigated.

The journal is designed for researchers.

Редакційна колегія: д.т.н., проф., Заслужений діяч науки і техніки, акад. ІАУ Г.А. Хайліс (відповід. ред.), Луцький НТУ; д.т.н., проф. В.Ф. Дідух (заст. відповід. ред.), Луцький НТУ; д.т.н., проф., П.П. Савчук, Луцький НТУ; Ph. D. Eng., В. Владут; д.т.н., проф., акад. ІАУ Б.М. Гевко; к.т.н., доц. Р.В. Кірчук; д.т.н., проф. В.П. Ковбаса; д.т.н., проф. Є. Красовський; д.т.н. Р.Д. Кузьмінський; д.т.н., проф. О.О. Налобіна; д.т.н., проф. С.І. Пустюльга, Луцький НТУ; д.т.н. Є.Й. Ріпечкий; д.т.н., проф. Р.М. Рогатинський; д.т.н., проф. В.М. Сало; к.т.н., доц. М.М. Толстушко; д.т.н., проф. В.І. Шваб'юк, Луцький НТУ; д.с.-т.н., проф. М.Й. Шевчук; к.т.н., доц. І.С. Цизь; к.т.н., доц. С.Ф. Юхимчук.

© Луцький національний технічний університет, 2017
(Свідоцтво про державну реєстрацію КВ №15902–4374 ПР
від 13.11.2009 р.)

УДК 622.331

© В.І.Бодак, к.т.н., В.В. Грабовець, к.т.н., М.В.Бодак
Луцький національний технічний університет

ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОГО СПОСОБУ ДОБУВАННЯ САПРОПЕЛЮ

На практиці сапропель добувають різними способами. В залежності від площі та глибини водойми, а також товщини покладів сапропелю вибирають певний спосіб добування. У статті представлені результати аналізу добування сапропелів розповсюдженими на практиці та новими способами.

САПРОПЕЛЬ, СПОСОБИ ДОБУВАННЯ, НАСОСИ, ЕКОЛОГІЯ, ПУЛЬПА, ЗМУЛЮВАННЯ.

Постановка проблеми. Оскільки глибина водойми змінюється від декількох сантиметрів до декількох метрів, то і способи добування вибирають різні. Від вибору правильного способу добування залежить не тільки вологість отриманої сировини, але й подальша екологічна ситуація у водоймі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Обов'язковою умовою при виборі способу повинен бути порівняльний розрахунок і екологічна безпека кількох варіантів. Іноді доцільніше відмовитися від дешевого способу добування сапропелю, щоб не витратити значні кошти на його обезводжування та переробку в товарну продукцію. Давно відомими та найбільш поширеними способами добування сапропелю з-під води є: гідравлічний, гідромеханізований, грейферний, екскаваторний.

Мета дослідження. Підвищення ефективності добування сапропелів за рахунок правильного вибору способу очищення водойми, отримання сировини з мінімальною вологістю, зменшення негативних наслідків втручання в екосистему водойми.

Результати дослідження. Останнім часом часто застосовують нові способи добування сапропелів: шнековий і пневмо-шнековий, точково-вакуумний, всмоктуючий, скреперно – всмоктуючий, за допомогою запірною циліндра

Гідравлічний спосіб добування сапропелю [1] включає розмиття покладів струменем води з послідуєчим всмоктуванням пульпи і транспортування її по плавучому трубопроводу на берег. Цей спосіб має велику продуктивність, вимагає великих капітальних затрат, площ для зберігання видобутого матеріалу та затрат на переробку. Один з

найбільш екологічно небезпечних способів, так як викачується велика кількість води з зони добування.

Спосіб мало застосовуваний, на даний час, через значні капітальні затрати та велику вартість обладнання, спорудження відстійників, значного часу на зневоднення видобутого матеріалу. Застосовується спеціалізованими підприємствами тільки при вже наявному раніше закупленому обладнанні, за умови що поруч знаходяться значні території пасовищ, або необроблюваних земель. При невеликих площах водойм, цей спосіб не є ефективний.

Гідромеханічний спосіб добування сапропелю [2] включає розпушування покладів механічною фрезою, часткове змішування сапропелю з водою, відкачку отриманого матеріалу насосом на поверхню. Один з найбільш поширених. Відрізняється хорошою продуктивністю. Доцільний для видобутку сапропелю що йде на добрива, кормові добавки, рекультиванти. Випуск навісного малогабаритного фрезерного обладнання та потужних грязьових насосів дозволяє компонувати механізми різної продуктивності й типорозміру. Обмеженням у застосуванні способу є глибина озера більша 5 метрів. При добуванні цих способом, змулювання не таке інтенсивне, як при гідравлічному способі.

Грейферний спосіб добування сапропелю [3] здійснюється за допомогою встановленого на платформі грейфера. Раціональний в малому бізнесі, має низьку собівартість продукції, вимагає незначних виробничих площ. Незручний в транспортуванні сапропелю до берега, вимагає додаткового транспорту - буксира та розвантажувального пристрою, має уривчастість циклу. Може застосовуватись при малих покладах та малій потребі в сапропелі. При грейферному добуванні, змулювання водойм найбільш інтенсивне тому з екологічної точки зору, рекомендується застосовувати на великих по площі озерах.

Екскаваторний спосіб добування сапропелю [4] застосується в осушуваних озерах і з невеликих глибин. Не скрізь можливий до застосування, при глибині води більше 1 м. відбувається процес повного змиву зачерпнутого ковшем сапропелю. Доцільно використовувати даний спосіб на болотах, оскільки завдає значної шкоди фауні водойм.

Вищезгадані способи добування сапропелю значно впливають на екосистему озера. Нижчеописані способи в більшій мірі відповідають сучасним екологічним вимогам.

Шнековий [5] і пневмо-шнековий спосіб добування полягає в підйомі сапропелю з дна водойми за допомогою шнекового насоса з подачею або без неї повітря для розрідження відкладів. Один з перспективних методів ведення видобувних робіт для малого та

середнього бізнесу. Відрізняється незначною вартістю обладнання, великим діапазоном по продуктивності, не вимагає відстійників та зневоднення. Можливий забір сапропелю природної вологості виключає ряд підготовчих стадій між видобутком і переробкою сапропелю, економічний.

Точково-вакуумний спосіб добування сапропелю здійснюється вертикальним вакуумним забірником циліндричної форми з запірним механізмом у нижній частині. Вакуум в забірнику створюється з метою виключення забруднення водою і змішування сапропелю з водою. Малопродуктивний спосіб, застосовується при малих об'ємах видобутку сапропелю, для кормових добавок, в лікувальних цілях, ін. Економічний, популярний у фермерських господарствах і в оздоровчих грязелікарнях.

Всмоктуючий спосіб добування сапропелю полягає в підйомі матеріалу за допомогою потужних всмоктуючих насосів та перекачуванні сировини. Його застосування доцільне при наявності сапропелю у стані незначної щільності. Цей спосіб став популярним після появи на європейському ринку малогабаритних і надійних насосів. Перспективний і економічний при невеликих потребах в сапропелі, з доставкою його одразу після підняття на поверхню на невеликій відстані.

Скреперно-всмоктуючий спосіб добування сапропелю здійснюється скреперним наїздом на сапропелевий пласт з подальшим відкачуванням матеріалу насосом на берег. Застосовується при щільних покладах сапропелю на незначній глибині. В основному придатний для виробництва сапропелевих добрив [6].

Спосіб добування сапропелю циліндром, що закривається, оснований на підйомі сапропелю природної вологості з встановленням в нижній частині циліндра фрези-замка. Спосіб є малопродуктивним, але економічним та екологічно безпечним.

Розглядаючи проблему оптимального вибору способу добування сапропелю на водоїмі треба враховувати не тільки про економічний розрахунок, а брати до уваги екологічні аспекти, оскільки озеро – це ареал існування підводного світу.

Література

1. Д.П. Димитров, Г.Ц. Георгиев, П.С. Димитров. Некоторые результаты применения глубоководных органо-минеральных осадков дна Чёрного моря для агротехнических целей. Геология и полезные ископаемые мирового океана. 2006. №1, Киев, С.74-80.
2. Е.Ф. Шнюков, А.П. Зиборов, Т.С. Куковская. О создании международного консорциума для разведки и добычи глубоководных

органо-минеральных осадков со дна Чёрного моря. Геология и полезные ископаемые мирового океана. 2007. №1, Киев, С.52–56.

3. Фомин А.Н. Технология добычи местных удобрений / Фомин А.Н. – М.: Высшая школа, 1969. – С.296

4. Бодак В.І. Добування природних добрив на Волині//Земля і люди України. – 1992.-№5.-С.27.

5. Бодак В.І. Аналіз руху сапропелю в шнековому насосі. – 2009.Наукові нотатки. Міжвуз. зб. вип.26.–Луцьк, 2009. С.10-13

6. Шевчук М.Й. Сапропелі України. Запаси, якість та перспективи використання / Шевчук М.Й. – Луцьк: Надстир'я, 1996. – С.383

Рецензент д.т.н. Дідух В.Ф.

УДК 631.372

©Д.В. Борисюк

Вінницький національний технічний університет

©А.В. Спірін, к.т.н., І.В. Твердохліб, к.т.н., І.В. Гунько, к.т.н.

Вінницький національний аграрний університет

ВІБРОАКУСТИЧНЕ ДІАГНОСТУВАННЯ КЕРОВАНИХ МОСТІВ КОЛІСНИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ТРАКТОРІВ

Представлено математичний опис керованого моста колісного трактора як багатовимірної динамічної системи з метою визначення його технічного стану віброакустичним методом діагностування. Представлено систему для віброакустичного діагностування керованих мостів колісних сільськогосподарських тракторів.

ВІБРОАКУСТИЧНЕ ДІАГНОСТУВАННЯ, КЕРОВАНИЙ МІСТ, ТРАКТОР, АМПЛІТУДНО-ФАЗОВА ХАРАКТЕРИСТИКА, АМПЛІТУДНО-ЧАСТОТНА ХАРАКТЕРИСТИКА, ФАЗО-ЧАСТОТНА ХАРАКТЕРИСТИКА.

Постановка проблеми. Під час руху по дорозі з нерівною поверхнею трактор сприймає удари і зазнає коливань. Основними вузлами, які захищають трактор від динамічної дії дороги і зводять коливання та вібрації до прийняттого рівня є керований міст і шини.

Багаторічний досвід показує, що нерівності дорожнього покриття і викликані ними коливання рами і коліс трактора призводять, як правило, до погіршення всіх його експлуатаційно-технічних якостей.

Справний керований міст колісного трактора забезпечує оптимальну керованість, безпеку руху, довговічність і надійність роботи.

Робота з несправними вузлами керованого моста погіршує керованість і стійкість трактора, знижує безпеку його руху, погіршує ергономічні показники.

Несправний керований міст сприяє появі вібрації рами трактора, внаслідок чого послаблюються заклепочні та різьбові з'єднання, порушується співвісність двигуна і коробки передач, виникають додаткові навантаження в корпусних деталях.

Вібрація всього трактора прискорює знос і викликає поломки багатьох деталей.

Досвід експлуатації машинно-тракторного парку показує, що керований міст є одним з найменш надійних і довговічних агрегатів трактора.

З вище сказаного видно, яке велике значення має підтримка керованого моста колісного трактора і окремих його елементів в справному технічному стані.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Механізм виникнення віброакустичних процесів в агрегатах керованих мостів колісних тракторів має специфічні особливості [1, 2], визначається внутрішніми і зовнішніми факторами, що викликані динамічними режимами роботи. В результаті у керованому мості трактора виникає комплекс взаємопов'язаних вібраційних процесів, які умовно поділяються на вимушені, вільні, параметричні і нелінійні [3].

Методи поділу джерел сигналів вібрації при діагностуванні розроблялися в роботах [2, 3], проте, на думку автора робіт [4] при діагностуванні тракторів є ряд специфічних питань, які вимагають розробки та вдосконалення.

Досить важливі дослідження коливань керованих мостів колісних тракторів як об'єкта діагностування виконані авторами [5-9]. Однак цілий ряд питань ще не вирішено.

Метою дослідження є визначення амплітудно-частотних і фазо-частотних характеристик керованих мостів колісних тракторів при віброакустичному діагностуванні.

Результати дослідження. Керований міст колісного трактора можна представити як багатовимірну динамічну систему, на вході в яку діють дорожні нерівності, що є випадковими функціями. На виході

цієї динамічної системи можуть бути розглянуті різні випадкові функції або процеси, наприклад вертикальні переміщення або прискорення рами трактора, відносні переміщення моста і рами, динамічні навантаження, що діють на пружні елементи моста, раму трактора тощо (рис. 1) [15, 16]. Зазвичай вхідну функцію називають впливом, а вихідну - реакцією динамічної системи.

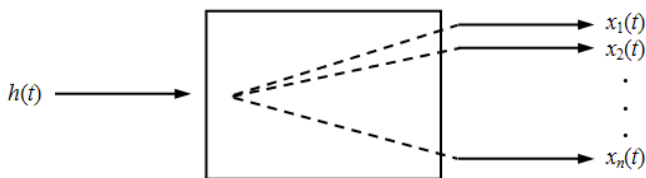


Рис.1 – Блок-схема керованого моста колісного трактора як багатовимірної діагностичної системи

Позначимо функції на вході динамічної системи $h(t)$, а на виході $x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)$.

Тоді перетворення функції $h(t)$ у функції $x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)$ позначаємо виразом:

$$x_i(t) = A_i h(t), \quad (1)$$

де A_i - оператор динамічної системи.

Оператор A_i повністю описує стан керованого моста колісного трактора як динамічної системи. Якщо в процесі експлуатації відбулися якісь зміни в стані вузлів моста, то обов'язково зміняться і вихідні параметри $x_i(t)$ при незмінній вхідній функції $h(t)$. А це означає, що змінився оператор A_i . Якщо ж у стані моста відбулися такі зміни, які не вплинули на його вихідні параметри, то, очевидно, такі зміни не мають суттєвого значення, бо вони не змінили робочих характеристик моста як динамічної системи.

Отже, теоретичне або експериментальне визначення оператора A_i є основним завданням діагностування керованих мостів колісних тракторів [10].

Якщо на вхід системи (див. рис. 1) подавати незмінні за часом постійні навантаження h_c , то на виході отримаємо також постійне навантаження:

$$x_c = A_c h_c, \quad (2)$$

де A_c - статична характеристика керованого моста колісного трактора.

Розподіл статичного навантаження на пружні елементи керованого моста колісного трактора є статичною характеристикою керованого моста.

Пружна характеристика керованого моста є статичною характеристикою, причому

$$A_c = f(c^{-1}), \quad (3)$$

де c - жорсткість пружних елементів керованого моста колісного трактора.

Однак з огляду на те що на керований міст при русі діє динамічне навантаження, то статичні характеристики не можуть дати повної оцінки його якостей або технічного стану.

Властивості керованих мостів колісних тракторів як динамічної системи можуть бути описані амплітудно-фазовою характеристикою [11]:

$$\Phi(i\omega) = \frac{X(i\omega)}{H(i\omega)} = A(\omega)e^{i\varphi\omega}, \quad (4)$$

де $\Phi(i\omega)$ – амплітудно-фазова характеристика динамічної системи;
 $H(i\omega)$, $X(i\omega)$ - перетворені по Лапласу зображення випадкових функцій вхідного впливу $h(t)$ і реакції $x(t)$;

$A(\omega)$ - амплітудно-частотна характеристика динамічної системи;

$\varphi(\omega)$ – фазо-частотна характеристика динамічної системи;

ω – частота коливань.

Найбільше значення при визначенні технічного стану має амплітудно-частотна характеристика. Як амплітудно-фазова характеристика, так і її складові - амплітудно-частотна характеристика і фазо-частотна характеристика можуть бути отримані теоретичним і експериментальним шляхом.

Позначимо випадкові функції на виході системи:

$x(t)$ – вертикальні переміщення рами трактора;

$\ddot{x}(t)$ - вертикальне прискорення трактора;

$x_0(t)$ – вертикальні відносні переміщення рами трактора відносно коліс.

Для встановлення зв'язку частотних характеристик як основних характеристик технічного стану керованого моста і його параметрів розглянемо теоретичний метод їх визначення.

Для цієї мети напишемо диференціальні рівняння вертикальних коливань трактора і за допомогою прямого перетворення Лапласа знайдемо амплітудно-фазову характеристику.

В зв'язку з тим що для більшості колісних тракторів коефіцієнт розподілу має близький до одиниці, то коливання підресорених частин над передньою і задньою осями розглядаються незалежно одне від іншого.

Тоді з урахуванням загальновідомих припущень [12] еквівалентна коливальна система передньої і задньої частини колісного трактора буде представлена двомасовою системою, диференціальні рівняння руху якої мають вигляд:

$$\left. \begin{aligned} -M \ddot{x}_0 + M \ddot{\psi} - k \dot{x}_0 - c x_0 &= 0; \\ m \ddot{\phi} + k \dot{x}_0 + c x_0 + k_{uu} \dot{\psi} + c_{uu} \psi &= k_{uu} \dot{h} + c_{uu} h, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

де M – приведена підресорена маса;

m – маса невідресорених частин колісного трактора;

k – коефіцієнт опору керованого моста;

k_{uu} – коефіцієнт опору шин;

ψ – вертикальне переміщення коліс;

h – висота нерівності під колесом.

Застосовуючи пряме перетворення Лапласа до системи рівнянь (5) з урахуванням нульових початкових умов ($h_{t=0}=0$), отримуємо:

$$\left. \begin{aligned} L[-M \ddot{x}_0 + M \ddot{\psi} - k \dot{x}_0 - c x_0] &= 0; \\ L[m \ddot{\psi} + k \dot{x}_0 + c x_0 + k_{uu} \dot{\psi} + c_{uu} \psi] &= L[k_{uu} \dot{h} + c_{uu} h]. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Підставляючи зображення функцій $x_0(t)$, $\psi(t)$, $h(t)$ та їх похідні в систему рівнянь (6), будемо мати:

$$\left. \begin{aligned} -Ms^2 X_0(s) + McX_0(s) - ksX_0(s) - cX_0(s) &= 0; \\ -ms^2 \Psi(s) + ksX_0(s) + cX_0(s) + k_{uu}s\Psi(s) + c_{uu}\Psi(s) &= k_{uu}sH(s) + c_{uu}H(s), \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

де $X_0(s)$, $\Psi(s)$, $H(s)$ – зображення за Лапласом функцій $x_0(t)$, $\psi(t)$, $h(t)$.

Розв'язуючи останню систему рівнянь, знайдемо передаточну функцію стиснення пружних елементів керованого моста:

$$\Phi_{x_0}(s) = \frac{X_0(s)}{H(s)} = \frac{a_1 s^2 + a_2 s^3}{b_0 + b_1 s + b_2 s^2 + b_3 s^3 + b_4 s^4}, \quad (8)$$

де $a_1 = Mc_{uu}$; $a_2 = Mk_{uu}$; $b_0 = cc_{uu}$; $b_1 = kc_{uu} + k_{uu}c$; $b_2 = Mc + Mc_{uu} + mc + kk_{uu}$; $b_3 = Mk + Mk_{uu} + mk$; $b_4 = Mm$.

Замінюючи комплексну змінну $s = i\omega$ (де i – уявна одиниця), отримуємо амплітудно-фазову характеристику стиснення пружних елементів керованого моста:

$$\Phi_{x_0}(i\omega) = \frac{-a_1 \omega^2 - a_2 i \omega^3}{b_0 + b_1 i \omega - b_2 \omega^2 - b_3 i \omega^3 + b_4 \omega^4}. \quad (9)$$

Модуль амплітудно-фазової характеристики який називається амплітудно-частотною характеристикою, становить

$$|\Phi_{x_0}(i\omega)| = \frac{|a_1 \omega^2 + a_2 i \omega^3|}{|b_0 - b_2 \omega^2 + b_4 \omega^4 + (b_1 \omega - b_3 \omega^3)i|} = A_{x_0}(\omega). \quad (10)$$

Квадрат амплітудно-частотної характеристики стиснення пружних елементів керованого моста:

$$[A_{x_0}(\omega)]^2 = \frac{a_1^2 \omega^4 + a_2^2 \omega^6}{(b_0 - b_2 \omega^2 + b_4 \omega^4)^2 + (b_1 \omega - b_3 \omega^3)^2}. \quad (11)$$

Передаточну функцію вертикальних переміщень рами трактора знайдемо з умови

$$X(s) = \Psi(s) - X_0(s) \quad (12)$$

де $X(s)$ – зображення по Лапласу функції $x(t)$.

Тоді з рівнянь (7, 8, 12) знайдемо передаточну функцію вертикальних швидкостей моста і рами колісного трактора

$$\Phi_x(s) = \frac{X(s)}{H(s)} = \frac{ks+c}{Ms^2} \Phi_{x_0}(s). \quad (13)$$

Замінюючи комплексну змінну $s = i\omega$ і звівши в квадрат останній вираз, отримаємо амплітудно-частотну характеристику вертикальних переміщень моста і рами колісного трактора:

$$[A_x(\omega)]^2 = \frac{k^2 \omega^2 + c^2}{M^2 \omega^4} [A_{x_0}(\omega)]^2. \quad (14)$$

Оскільки передаточна функція вертикальних прискорень

$$\Phi_x(s) = s^2 \Phi_{x_0}(s),$$

то амплітудно-частотна характеристика цих прискорень

$$[A_x^{\ddot{}}(\omega)]^2 = \frac{k^2 \omega^2 + c^2}{M^2} [A_{x_0}(\omega)]^2. \quad (15)$$

Амплітудно-частотна характеристика повних вертикальних динамічних навантажень, що передаються через непідресорену масу на раму трактора:

$$A_n(\omega) = M A_x^{\ddot{}}(\omega). \quad (16)$$

Для виконання операцій віброакустичного діагностування керованих мостів колісних тракторів за вищенаведеними розрахунками, розроблена система (рис. 2, а) на базі персональної електронно-обчислювальної машини та стандартних п'єзокерамічних приймачів прискорень KD-35 (акселерометрів) [13].

Розроблена система діагностування керованих мостів колісних тракторів (рис. 2, б) складається з двох акселерометрів, які встановлені на висувних трубах переднього моста (перший акселерометр – зліва, другий – справа), мультиплексора, аналого-цифрового перетворювача, обчислюючого пристрою, результат з якого можна відобразити на моніторі та друкуючому пристрої.

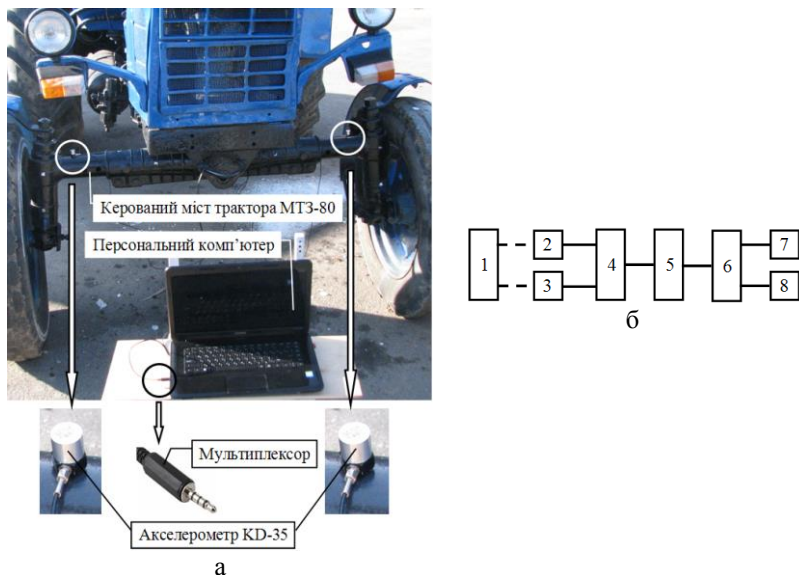


Рис. 2 – Система діагностування керованих мостів колісних тракторів:
а – загальний вигляд; б – структурна схема;
1 – керований міст трактора; 2, 3 – акселерометри; 4 – мультимплексор; 5 – аналого-цифровий перетворювач; 6 – обчислюючий пристрій; 7 – монітор; 8 – друкуючий пристрій

На рис. 3 представлено осцилограми віброприскорення керованого моста трактора МТЗ-80, на рис. 4 - спектральний аналіз осцилограм віброприскорення керованого моста трактора МТЗ-80, на рис. 5 - фазо-частотну характеристику керованого моста трактора МТЗ-80 (де 1 – крива, що відповідає несправному стану; 2 - крива, що відповідає справному стану) [14].

На рис. 6 представлено аналіз фаз віброприскорення керованого моста трактора МТЗ-80, на рис. 7 - спектограми віброприскорення керованого моста трактора МТЗ-80.

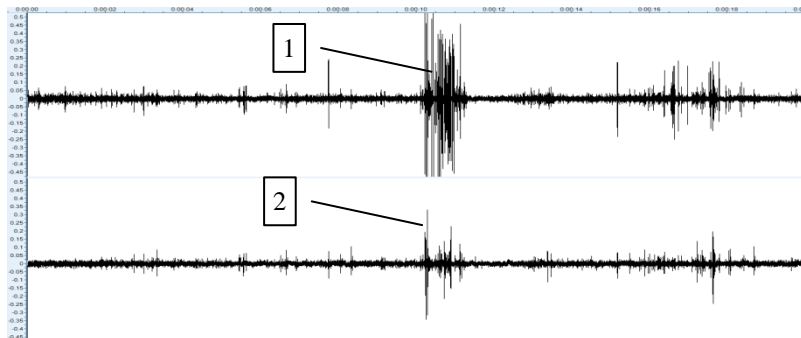


Рис. 3 - Осцилограма віброприскорення керованого моста трактора МТЗ-80

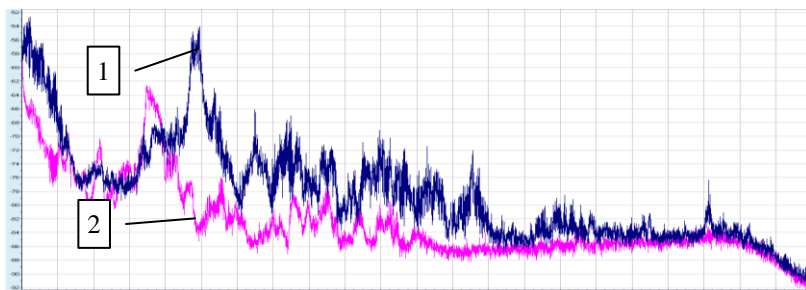


Рис. 4 - Спектральний аналіз осцилограми віброприскорення керованого моста трактора МТЗ-80

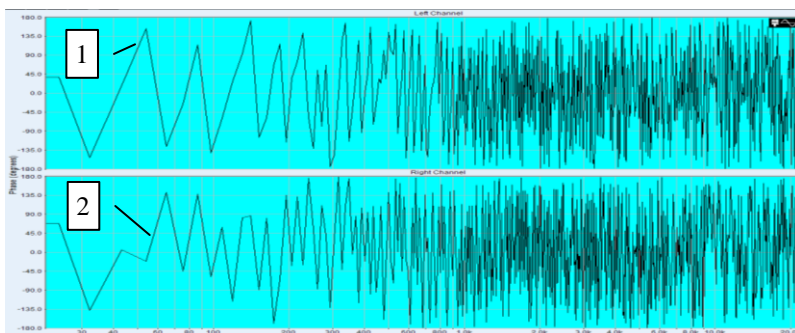


Рис. 5 - Фазо-частотна характеристика керованого моста трактора МТЗ-80

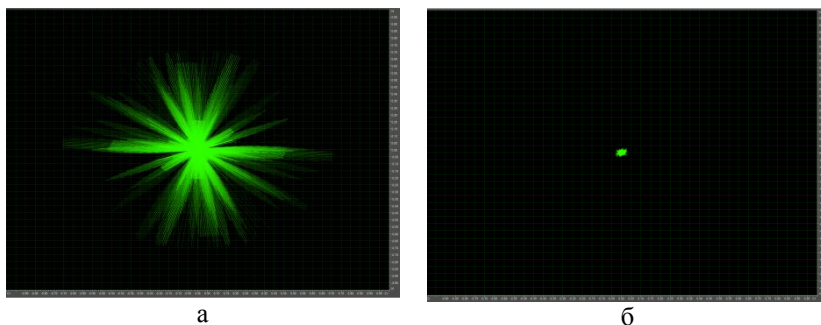


Рис. 6 – Аналіз фази віброприскорення керованого моста трактора МТЗ-80:
а – несправний стан; б - справний стан

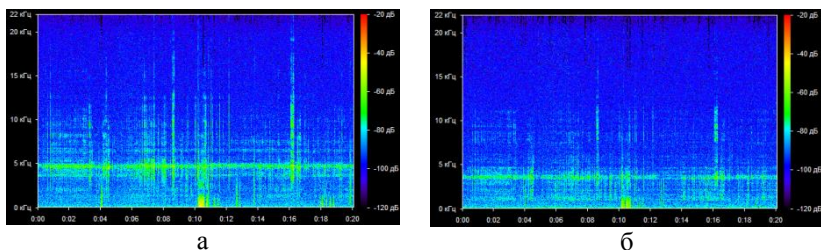


Рис. 7 – Спектограма віброприскорення керованого моста трактора МТЗ-80:
а – несправний стан; б - справний стан

Отже, з рис. 3-7 видно, що при віброакустичному діагностуванні несправність вузлів керованого моста трактора визначається підвищенням рівня віброприскорення і частоти коливання.

Дану методику можна застосовувати і для діагностування керованих мостів сучасних тракторів.

Висновки. При зміні параметрів окремих елементів керованого моста зміниться відповідним чином і амплітудно-частотна характеристика.

Визначення частотних характеристик є основою діагностування керованих мостів колісних тракторів.

Проведені експериментальні дослідження підтвердили можливість застосування даної методики для діагностування

керованих мостів колісних тракторів. Дану методику можна застосовувати для діагностування інших вузлів і агрегатів тракторів, а також сільськогосподарських машин.

Література

1. Ополоник Т.Н. Эффективность диагностирования тракторов / Т.Н. Ополоник. – М.: Росагропромиздат, 1988. – 124 с.
2. Кухтов В.Г. Долговечность деталей шасси колесных тракторов / В.Г. Кухтов. – Харьков: РИО ХНАДУ, 2004. – 291 с.
3. Карасев В.А., Райтман А.Б. Доводка эксплуатационных машин. Вибродиагностические методы / В.А. Карасев, А.Б. Райтман. – М.: Машиностроение, 1986. – 88 с.
4. Мигаль В.Д. Вибродиагностика машин при эксплуатации / В.Д. Мигаль В.Д. – Харьков: ХГПУ, 1997. – 293 с.
5. Барский И.Б. Конструирование и расчет тракторов / И.Б. Барский. – М.: Машиностроение, 1980. – 337 с.
6. Бахтеев Р.Х. Влияние колебаний колесного трактора на величину давлений шины на почву (на примере трактора Т–150К): автореф. дис. ... канд. техн. наук / Р.Х. Бахтеев – М.: ВИМ, 1985. – 20 с.
7. Кутьков Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства / Г.М. Кутьков – М.: Колос, 2004. – 504 с.
8. Скотников В.А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля / В.А. Скотников, А.А. Машенский, А.С. Солонский. – М.: Агропромиздат, 1986. – 383 с.
9. Тракторы: Теория / В.В. Гуськов и др. – М.: Машиностроение, 1988. – 375 с.
10. Гельфандбейн Я.А. Методы кибернетической диагностики кибернетических систем / Я.А. Гельфандбейн. - Рига: Издательство «Зинатне», 1967. – 541 с.
11. Техническая кибернетика. Теория автоматического регулирования. Книга 1: Математическое описание, анализ устойчивости и качества систем автоматического регулирования / Колл. авторов / Под ред. д-ра техн. наук, проф. В. В. Солодовникова. – М.: Машиностроение, 1967. -770 с.
12. Ротенберг Р.В. Подвеска автомобиля и его колебания / Р.В. Ротенберг. – М.: Машгиз, 1960. - 355 с.
13. Патент 108395 Україна (UA), МПК G01M G06F 15/00, G06F 5/16, G01M 17/00. Система діагностування керованих мостів колісних сільськогосподарських тракторів / Борисюк Д.В., Руткевич В.С.; Вінницький національний аграрний університет. — № u2016 01067; Заявл. 08.02.2016; Опубл. 11.07.2016, Бюл. № 13.

14. Патент 108394 Україна (UA), МПК G01M 17/00, G01P 15/00, G01D 21/02. Спосіб діагностування керованих мостів колісних сільськогосподарських тракторів / Борисюк Д.В., Руткевич В.С.; Вінницький національний аграрний університет. — № u2016 01065; Заявл. 08.02.2016; Опубл. 11.07.2016, Бюл. № 13.

15. Борисюк Д.В. Діагностування передніх мостів колісних тракторів / Д.В. Борисюк, В.І. Яцковський // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – Вінниця: ВНАУ, 2015, Випуск 2 (90). – С. 43-46.

16. Борисюк Д.В. Стійкість руху керованих коліс тракторів / Д.В. Борисюк, В.І. Яцковський // Вібрації в техніці та технологіях. – Вінниця: ВНАУ, 2016, Випуск 1 (81). – С. 19-22.

Рецензент д.т.н. Біліченко В.В.

УДК 631.348(043.3)

© О.З. Бундза, к.т.н.

Національний університет водного господарства та природокористування

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФОРМИ ЗРІЗУ СТЕБЛА НА ЯКІСТЬ ПРОЦЕСУ НАНЕСЕННЯ ГЕРБІЦИДУ

Викладено результати аналізу традиційних способів знищення бур'янів та виявлено їхні недоліки. Розглянуто переваги контактного способу знищення високорослих бур'янів у порівнянні з обприскуванням. Викладено авторські методики проведення експериментальних досліджень, спрямованих на обґрунтування форми зрізу рослини, яка забезпечує якість процесу нанесення робочої рідини під час їхньої обробки контактним способом. Наведено результати виконаних експериментальних досліджень.

КОНТАКТНИЙ СПОСІБ, БУР'ЯНИ, ЗРІЗ, БАРАБАН, ГЕРБІЦИД.

Постановка проблеми. Вирощування сільськогосподарських культур потребує створення певних умов, зокрема своєчасного та ефективного знищення бур'янів. Вирішення цього завдання, як виявив аналіз виробничих процесів агропідприємств в Україні та за кордоном, здійснюють в основному за рахунок внесення гербіцидів обприскуванням, що призводить до значних непродуктивних втрат, які обумовлені знесенням гербіциду вітром, випаровуванням і втратами

через осідання крапель робочої рідини на поверхню ґрунту, а також її стікання з рослин. Використання хімічних препаратів має негативні наслідки: накопичення в ґрунті, водоймах, виникнення стійких до них популяцій шкідливих організмів, негативний вплив на представників фауни та флори, потенційна загроза здоров'ю людини. Враховуючи високу вартість препаратів, які витрачаються, та шкоду, яку вониносять навколишньому середовищу актуальною є розробка перспективних напрямків хімічного методу захисту рослин.

Останнім часом набирає поширення контактний спосіб боротьби з високорослими бур'янами, який полягає у нанесенні розчину гербіциду на рослину шляхом її безпосереднього контакту з робочим органом [1, 2], який дозволяє: уникнути втрат на знесення вітром (у порівнянні з обприскуванням); звести до мінімуму втрати на скапування та випаровування; знищувати високорослі бур'яни, не завдаючи шкоди низькорослим рослинам; зменшити витрату робочого розчину; уникнути використання дорогих гербіцидів вибіркової дії; уникати забруднення культурних рослин хімікатами.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідженням контактного способу для знищення бур'янів та розробкою пристроїв для його здійснення займалися: А.А. Котов [1], McClure [3], М.М. Пйонтік [4], Lemus R. [5] та інші [6, 7]. Авторами доведено екологічну безпечність способу, можливість застосування більш широкого спектру гербіцидів. Також встановлено збільшення терміну наступного зростання бур'янів, в середньому на 10 діб.

Проте процес нанесення розчину гербіциду безпосередньо на зріз стебла рослини пристроєм контактного нанесення мало досліджений і потребує науково-практичного обґрунтування.

Мета дослідження. Метою роботи є встановлення умов взаємодії робочих органів машини для контактного знищення бур'янів, запропонованої автором роботи [8], які забезпечують ефективне протікання процесу знищення бур'янів. Завданнями досліджень були: 1) експериментальне встановлення впливу форми зрізу стебла рослини на якість процесу нанесення гербіциду; 2) визначення раціонального кута зрізу; 3) оцінки можливих непродуктивних втрат робочого розчину.

Об'єктом досліджень є процес знищення бур'янів і робочі органи машини контактної дії. Використано методику експериментального дослідження величин з представленням результатів у вигляді відеоряду у програмі Virtual Dub з подальшим їхнім аналізом.

Результати дослідження. Для проведення експериментальних досліджень було розроблено та виготовлено експериментальну

установку, яка являє собою діючий зразок робочого органу машини контактної способу знищення бур'янів, виконаного у вигляді гладкого барабана з гумовим покриттям [8]. Барабан експериментальної установки було встановлено на візку, що приводився в дію від електродвигуна через черв'ячний редуктор. Частоту і напрям обертання барабана можна змінювати з пульту керування за допомогою електронного регулятора на базі біполярного транзистора П217А за класичною схемою. Загальний вигляд дослідної установки наведено на рис 1. Потрібний натяг тросу забезпечували пружиною. Швидкість і напрямок руху візка змінювали пультом керування. З барабаном контактував живильник, який являв собою поролонову стрічку, крізь яку проходить трубка з отворами, в яку з резервуару подавали розчин гербіциду. Стебла моделювали, виходячи з граничних умов роботи обладнання, що виникають при взаємодії зі стеблами високої жорсткості, стержнями з деревини, верхівки яких зрізані під кутом 10°, 20°, 30° і 40° до поверхні, перпендикулярної до осі моделі. За матеріалами відеофіксації оцінювали у відсотках площу зрізу, яка покрилась розчином і втрати рідини. З використанням даного устаткування визначали також коефіцієнт тертя ковзання поверхні зрізів бур'янів по матеріалу зовнішньої поверхні барабану (гума). З цією метою додатково використовували динамометр і брусок із закріпленими стеблами, верхівки яких утворювали поверхню тертя.

З метою обґрунтування форми зрізу рослин, яка забезпечує якість процесу нанесення гербіциду, необхідно було змоделювати граничні умови роботи обладнання, що виникають при роботі зі стеблами високої жорсткості. Для цього дослідну установку (рис. 2) встановлювали на рівну поверхню, на якій розстеляли гумове покриття, товщиною 20 мм.

У покритті, у спеціальних отворах закріплювали фізичні моделі стебел, які являли собою дерев'яні стержні з різними кутами зрізу верхівок, діаметром 5-10 мм і довжиною 150 мм. Після чого вмикали привод барабана і за допомогою пензля насичували поверхню барабана імітатором робочого розчину гербіциду на основі чорного пігментного чорнила WWM C10/BP компанії Worldwide Manufacturing E.D., яке має кінематичну в'язкість, ідентичну робочому розчину гербіциду. Увімкнувши живлення двигуна приводу візка, за допомогою фотокамери з функцією відеозапису Canon Ixus S10 виконували фото та відео фіксацію процесу взаємодії барабана, насиченого імітатором робочого розчину, з моделями стебла з подальшим аналізом відеоряду у програмі Virtual Dub.

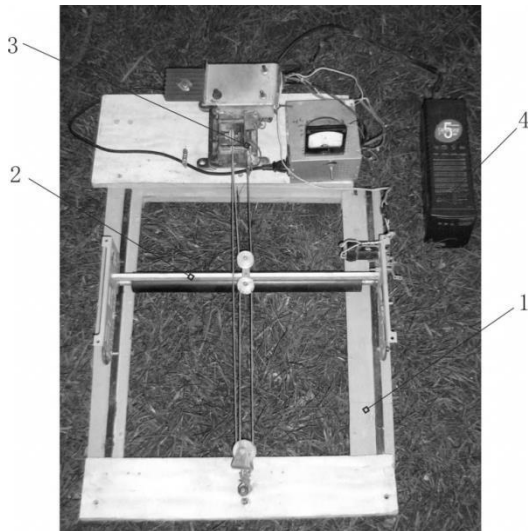


Рис. 1 – Загальний вигляд дослідної установки: 1 – рама; 2 – візок з робочим органом; 3 – привод візка; 4 – джерело живлення



Рис. 2 – Фото початкової стадії експерименту: 1 – фізична модель стебла; 2 – рама дослідної установки; 3 – візок з робочим органом

Втрати рідини під час досліджень фіксували візуально.

Нанесення рідини на імітатор стебла з прямим зрізом верхівки виявив наступне: 1) контакт поверхні зрізу з барабаном відбувається по лінії – кромці стебла (рис. 3); 2) на кромці, ближчій до барабана, утворюється крапля імітатора робочого розчину, яка розтікається та заповнює у середньому до 55% загальної площі зрізу; 3) на стінках стебла зафіксовано у 92 % випадків сліди рідини-імітатора робочого розчину; 4) у 53% випадків було зафіксовано непродуктивні втрати імітатора робочого розчину з поверхні зрізу.



Рис. 3 – Взаємодія моделі стебла з прямим зрізом з барабаном дослідної установки

Аналіз отриманого відеоряду у програмі Virtual Dub показав: 1) середня тривалість контакту барабана установки з імітатором стебла рослини складала 0,16...0,3 с у робочому діапазоні швидкостей візка установки ($V=0,06...0,15$ м/с); 2) контакт поверхні зрізу з барабаном можливий лише під час проковзування площини зрізу під дією сили пружності перед моментом сходу барабана з імітатора стебла, а його тривалість не перевищує 0,04 с, або 25% всього часу контакту; 3) починаючи з моменту, коли швидкість руху візка досягає 0,1 м/с, пружних властивостей моделі стебла рослини виявилось недостатньо, щоб відбулось проковзування площини прямого зрізу по поверхні барабана. Тобто, при швидкості руху контактної пристрою, що перевищує 0,1 м/с, контакт поверхні зрізу з поверхнею барабана не відбудеться.

Дослідженням процесу нанесення робочого розчину на площадку зрізу, сформовану під кутом 10° , виявлено: 1) рідина, яка

моделює робочий розчин, у більшості випадків покриває до 60% площі поверхні зрізу (рис. 4); 2) на бічних стінках підтікання рідини виявлено у 54 % випадків, причому розчин не досягав поверхні ґрунту; 3) непродуктивні втрати рідини зафіксовані у 47% випадків.

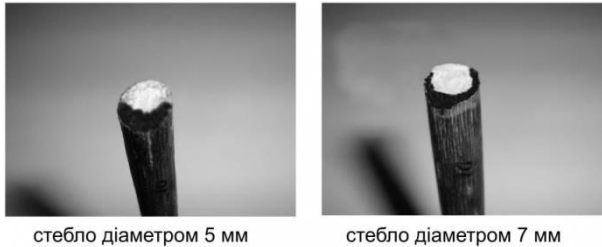


Рис. 4 – Розподілення робочого розчину по поверхні зрізу стебла (площадка зрізу сформована під кутом 10°)

Причиною, яка призводить до непродуктивних втрат рідини, є інерційні навантаження, що виникають внаслідок коливних процесів. Аналіз отриманого відеоряду показав: 1) середня тривалість контакту барабана з імітатором стебла рослини склала 0,16...0,34 с у робочому діапазоні швидкостей візка; 2) 10%...20% часу контакту припадає на контакт з поверхнею зрізу безпосередньо перед сходом рослини з барабана; 3) контакт поверхні зрізу з барабаном забезпечувався в усьому робочому діапазоні швидкостей дослідної установки ($V=0,06...0,15$ м/с) у 70% випадків.

При взаємодії барабана з імітатором стебла з кутом зрізу 20° виявлено:

1) рідина повністю покриває поверхню зрізу (рис. 5); 2) на бічних стінках підтікання імітатора робочого розчину виявлено у 38% випадків, причому розчин не досягав поверхні ґрунту; 3) непродуктивні втрати зафіксовані у 31% випадків.

Аналіз відеоряду показав: 1) середня тривалість контакту барабана установки з імітатором стебла становить 0,18...0,36 с у робочому діапазоні швидкостей візка; 2) 80%...90% часу контакту припадає на контакт з поверхнею зрізу, який переходить у лінійний безпосередньо при сході рослини з барабана; 3) контакт поверхні зрізу з барабаном забезпечувався в усьому робочому діапазоні швидкостей дослідної установки ($V=0,06...0,15$ м/с).



Рис. 5 – Покриття поверхні зрізу стебла (кут зрізу 20°)

При дослідженні процесу взаємодії барабана з імітатором стебла з кутом зрізу 30° встановлено: 1) контакт з барабаном відбувається по всій площині зрізу; 2) розчин повністю покриває поверхню зрізу (рис. 6); 3) на бічних стінках підтікання робочого розчину виявлено у 35% випадків, причому розчин не досягав поверхні ґрунту; 4) непродуктивні втрати зафіксовано у 28% випадків.



Рис. 6 – Покриття поверхні зрізу стебла (кут зрізу 30°)

Встановлено також: 1) середня тривалість контакту барабана з імітатором стебла рослини склала 0,20...0,36 с у робочому діапазоні швидкостей візка;

2) 80%...90% часу контакту припадає на контакт з поверхнею зрізу; 3) контакт поверхні зрізу з барабаном забезпечувався в усьому робочому діапазоні швидкостей.

У ході взаємодії барабана з імітатором стебла, верхівка якого містить площадку зрізу, сформовану під кутом 40° до горизонту виявлено: 1) рідина повністю покриває всю поверхню зрізу (рис. 7); 2) на бічних стінках стебла підтікання розчину виявлено у 42% випадків, причому рідина, стікаючи по стеблу, не досягала поверхні ґрунту; 3) непродуктивні втрати зафіксовано у 30% випадків.

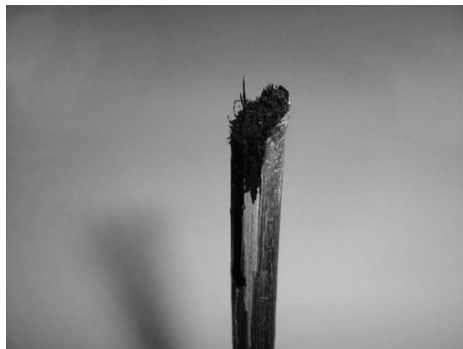


Рис. 7 – Покриття поверхні зрізу стебла (кут зрізу 40°)

Аналіз відеоряду виявив: 1) середня тривалість контакту барабана установки з імітатором стебла рослини склала $0,16...0,36$ с у робочому діапазоні швидкостей візка; 2) $80\%...95\%$ часу контакту припадає на контакт з поверхнею зрізу, який переходить у лінійний безпосередньо при сході рослини з барабана; 3) контакт поверхні зрізу з барабаном забезпечується в усьому робочому діапазоні швидкостей візка дослідної установки ($V=0,06...0,15$ м/с).

Висновки. Узагальнення отриманих результатів візуального оцінювання процесу нанесення рідини на площадки зрізу, сформовані під різними кутами до горизонту, та результатів аналізу набору відеорядів із застосуванням програми Virtual Dub дозволило сформулювати загальні висновки: 1) у ході нанесення робочого розчину на поверхню зрізу стебла рослин забезпечується повне покриття цієї поверхні за умови, що зріз формується під кутом $25^\circ...30^\circ$; 2) застосування косого зрізу зменшує непродуктивні втрати робочого розчину у порівнянні з прямим зрізом у 1,89 разів.

Отримані результати досліджень використано для обґрунтування відносного розташування робочих органів машини для контактного знищення бур'янів.

Література

1. Котов А.А. Совершенствование технологий и создание новых средств механизации для ухода в лесных питомниках и культурах: автореф. дис. на соиск. уч. степени доктора техн. наук: спец. 05.21.01 «Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства» / А. А. Котов. – Москва. – 2009. – 20 [1] с.

2. Бундза О.З. Розробка та обґрунтування параметрів машини для знищення бур'янів контактної дії : автореф. дис. ... к-та техн. наук: 05.05.11/ Бундза О.З.; ВНАУ –Вінниця, 2016. –20 с.

3. Патент 4320595 США, А 01М 21/00. Herbicide applicator / Leon C. McClure, – № 177166; заявл. 18.08.1980; опубл. 23.03.82. – 12 с.

4. Патент 60421 Україна (UA), МПК 7 А 01 М 21/00. Пристрій для контактного нанесення хімікатів на рослини / В.В. Білянський, М.С. Загорчечний, О.Д. Матвієвська, М.М. Пйонтик, О.Б. Малачівський; заявник і правовласник Західний філіал інституту механізації і електрифікації сільського господарства. -№ 2002010765; заявл. 30.01.2002; опубл. 15.10.2003, Бюл. №10.

5. Lemus R. Herbicide evaluation for Smutgrass control using the weed wiper method / R. Lemus, M. Mowdy, A. Davis // Journal of the American Society of Farm managers and rural appraisers. – 2013. – Vol. 6(1). – p. 59 – 63.

6. Melander B. Non-chemical weed control: new directions. Encyclopedia of Plant and Crop Science / B. Melander. – New York: University of Winsconsin, 2005. – 244 p.

7. Quad ATV Weed Wiper Range [Electronic resource] // smallholderequipment.co.uk [web site]. – Access: <https://www.smallholderequipment.co.uk/quad-atv-weed-wiper-range-1832> (04.10.2015). – Title from screen.

8. Патент 47259 Україна (UA), МПК (2009) А 01 М 21/00 . Обладнання для зведення рослинності та бур'янів / О.З. Бундза, В.Г. Никитін, С.В. Кравець (Україна); заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування (Україна). – № u200907517; заявл. 17.07.2009; опубл. 25.01.2010 р. Бюл. №2.

Рецензент д.т.н. Налобіна О.О.

УДК 633.854.78

©Н.В. Васильчук, аспірант
Луцький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЕНТУ ТЕРТЯ ТА ЗУСИЛЛЯ ЗЛАМУ СТЕБЕЛ СОНЯШНИКУ

В роботі викладено результати експериментальних досліджень з визначення коефіцієнтів тертя стебел соняшнику та зусилля зламу в залежності від вологості зразків та діаметру стебел. Визначені відповідні математичні залежності та проведено апроксимування результатів.

СОНЯШНИК, КОЕФІЦІЄНТ ТЕРТЯ, ЗУСИЛЛЯ ЗЛАМУ, ЛАБОРАТОРНЕ УСТАТКУВАННЯ, ВЛАСТИВОСТІ.

Постановка проблеми. Соняшник – головна олійна культура, яка вирощується в Україні. Стебло рослин соняшнику вкрите листям, в нижній частині одрев'яніле та міцне. Довжина стебла в період цвітіння становить 140-160 см. При достатній вологості максимальна висота рослини, в залежності від сорту, може досягати 220 см і більше. У силосних сортів вона перевищує 3 м. Товщина стебла біля основи 2-4 см [1, 2].

Для комплексного дослідження всіх процесів, які відбуваються під час проведення збиральних робіт, якість яких визначається взаємодією робочих органів соняшникових жаток із стеблами необхідно знати фізико-механічні властивості стебел. Тому дослідження фізико-механічних властивостей стебел соняшнику є актуальною науково-практичною задачею.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На сьогоднішній день проблемі дослідження фізико-механічних властивостей стебел соняшнику присвячено досить небагато робіт. Так Sukanyadevi [3] у своїй роботі досліджувала властивості стебел на мікрорівні. Ревенко В.Ю [4] досліджував фізико-механічні властивості насіння соняшників. Попов М.Ю. [5] присвятив свою роботу динамічним властивостям стебел. Старцев О.С. [6] досліджував властивості стебел соняшнику в процесі росту (кут нахилу до землі, пониклість корзинок, кут нахилу корзинок і т.д.).

Як показав аналіз чинних досліджень авторами не приділялась увага питанням встановлення коефіцієнтів тертя стебел та не встановлені зусилля їхнього зламу в залежності від вологості зразків та діаметру стебел. З урахуванням цього сформулюємо мету досліджень.

Мета дослідження: експериментальне встановлення наступних показників стебел соняшнику:

1. Коефіцієнт тертя зовнішньої поверхні стебла по сталі.
2. Коефіцієнт тертя поверхні зрізу (торця стебла) по сталі.
3. Зусилля зламу при якому руйнується стебло.

Результати дослідження. Дослідження проводилися в лабораторних умовах. Стебла відбиралися на різних стадіях їхнього росту, що характеризується різною вологістю та різним діаметром.

Спочатку було досліджено коефіцієнт тертя зовнішньої поверхні стебла по сталі. Для цього відбирались зразки стебел з різною вологістю. Вологість становила 80%, 60%, 40%, 20%, 10%. Похибка становила $\pm 2\%$.

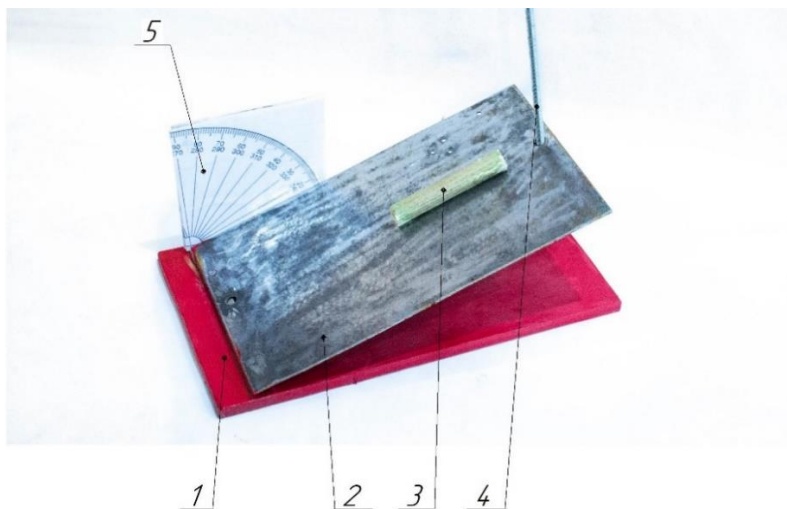


Рис.1 – Лабораторна установка для кута тертя: 1 – платформа; 2 – площина тертя; 3 – стебло; 4 – регулятор; 5 – транспортир

Дослідження проводилися на виготовленій лабораторній установці (рис.1). Вона складається із платформи 1, на якій розміщена площина тертя 2, на якій викладалось стебло. Кут нахилу площини до горизонталі змінювали за допомогою регулятора 4 до тих пір поки стебло 3 не починало рухатись. Показник кута тертя фіксували за допомогою транспортира 5. Повторюваність дослідів була п'ятикратною зі стеблами певної відносної вологості.

За результатами дослідів (рис. 2) встановлено що коефіцієнт тертя стебла соняшнику по сталевій поверхні коливається від 0,36 до 0,44 та практично не залежить від вологості стебла, а отже і від стадії росту.

Наступним кроком було визначення коефіцієнта тертя на торці стебла після зрізання. Такі дані необхідні для подальшого дослідження процесу різання стебел. Дослідження проводилися в тій же послідовності з використанням установки, фото якої подано на рис. 1. На поверхню тертя викладались свіжозрізані брубочки стебел таким чином, щоб вони ковзали по поверхні зрізаною торцевою поверхнею.

Результати досліджень представлені графічно на рис.3.

Аналіз отриманих результатів виявив, що коефіцієнт тертя площини зрізу стебла вищий за коефіцієнт тертя зовнішньої частини стебла і коливається в межах від 0,47 до 0,62 в залежності від вологості зразка. Великий діапазон отриманих значень можна пояснити значним впливом стадії росту на внутрішню структуру стебла, яке має трубчасту форму з порожниною.

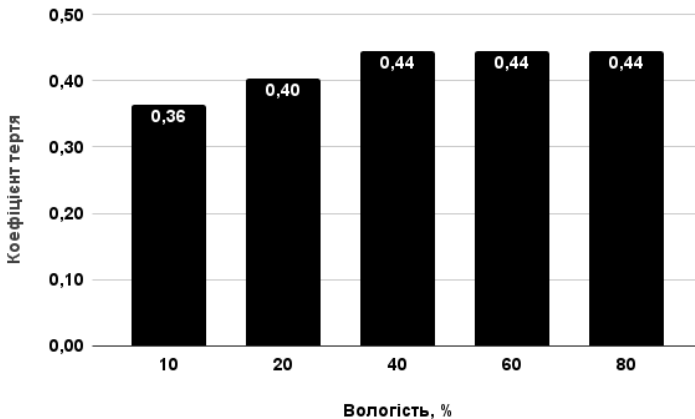


Рис.2 – Діаграми залежності коефіцієнта тертя зовнішньої поверхні стебла по сталі від вологості

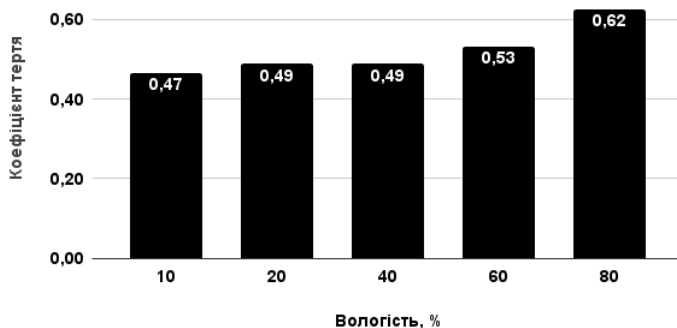


Рис.3 – Діаграми залежності коефіцієнта тертя поверхні зрізу стебла по сталі від вологості

Зусилля зламу, що відповідає моменту руйнування стебла соняшнику визначали з використанням виготовленого лабораторного устаткування (рис.4).

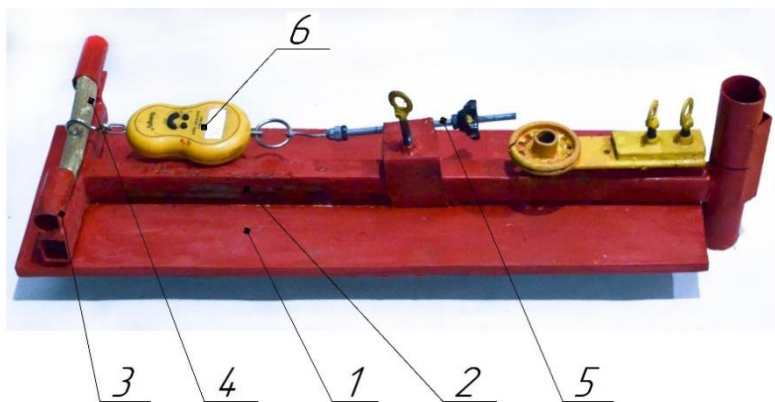


Рис.4 – Лабораторна установка для визначення зусилля зламу:
1 – платформа; 2 – рама; 3 – стакани для установки стебла; 4 – стебло; 5 – передача гвинт-гайка

Устаткування містить платформу 1, на якій розміщено раму 2 до якої кріпляться стакани 3, які призначені для фіксування стебла 4. Зусилля на стебло передається через передачу гвинт-гайка 5 до кінця якої приєднується двигун із частотним перетворювачем. Зусилля зламу вимірюється динамометром 6.

Навантаження прикладалося до моменту прояву зламу стебла. Дослідження виконували з використанням сформованих партій з 10 стебел, які набирались за двома параметрами: діаметр та відносна вологість.

Встановлено, що при відносній вологості 10% стебло дуже крихке, злам відбувається практично без попереднього прояву деформації розтягу. Середня сила, потрібна для зламу стебла, становить 150 Н. За умови збільшення відносної вологості до 20% для зламу стебла потрібно прикласти силу 170 Н. За умови подальшого зростання вологості до 40% волокниста структура стебла розтягувалась до настання критичного стану, який характеризується їхнім руйнуванням із подальшим зломом у місці прикладання сили. При подальшому зростанні вологості стебел за умови прикладання зовнішнього поперечного навантаження небезпечний переріз стебла характеризується проявом комплексних деформацій, що приводять до його руйнування. Даний процес потребує подальшого дослідження.

Базуючись на отриманих експериментальних даних отримано математичну модель, яка із достовірністю апроксимації $R^2=0,99$ описує залежність сили зламу стебла соняшнику від відносної вологості:

$$F_{\text{зламу}} = 1,6667W^3 - 20,071W^2 + 52,262W + 115,2, \quad (1)$$

де $F_{\text{зламу}}$ – максимальне зусилля зламу, Н;
 W – вологість стебла, %.

Отримано також залежність зусилля зламу від діаметру стебла. Дослідження проводили зі стеблами відносна вологість яких не перевищувала 45%. Отримані дані, із достовірністю $R^2=0,98$ можна апроксимувати формулою:

$$F_{\text{зламу}} = 3,172^2 - 5,1845d + 109,3, \quad (2)$$

де $F_{\text{зламу}}$ – максимальне зусилля зламу Н;
 d – діаметр стебла, мм.

Бачимо, що зі збільшенням діаметру стебла зусилля зламу збільшується за квадратичним законом.

Висновки. Розроблено та виготовлено лабораторні установки для дослідження коефіцієнтів тертя зовнішньої поверхні та поверхні зрізу стебел соняшника, а також для визначення зусилля зламу стебел. Виконано експериментальні дослідження.

Встановлено:

1) коефіцієнт тертя зовнішньої поверхні стебла по сталевій поверхні становить 0,36; 0,4; 0,44; 0,44; 0,44 відповідно при вологості 10%, 20%, 40%, 60% та 80% відповідно;

2) коефіцієнт тертя поверхні зрізу стебла по сталевій поверхні становить 0,47; 0,49; 0,49; 0,53; 0,62 при вологості 10%, 20%, 40%, 60% та 80% відповідно.

Базуючись на отриманих експериментальних даних отримано математичні моделі, які описують взаємозв'язок зусилля зламу стебел соняшника від вологості зразків та їхнього діаметру.

Отримані результати досліджень в подальшому будуть використанні у ході математичного моделювання процесів взаємодії робочих органів жатки зі стеблами.

Література

1. Никитчин Д. И. Подсолнечник / Д. И. Никитчин. – Киев: Урожай, 1993. – 192 с.

2. Jinguo H. Genetics, genomics and breeding of sunflower / H. Jinguo, S. Gerald, K.

3. Characterization of absorption behavior of sunflower stem / R.Sukanyadevi, M. Nithya, R. Vijaya prabhu, M. .Dhamugiridharan. // International Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Education. – 2017. – №3. – С. 3621 – 3626.

4. Ревенко В. Ю. Физико-механические свойства семян подсолнечника современной селекции / В. Ю. Ревенко, С. С. Фролов. // "Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук". – 2015. – №12. – С. 8–14.

5. Попов М. Ю. Совершенствование технологического процесса уборки подсолнечника обоснованием конструктивных и режимных параметров шнека-мотовила : дис. канд. техн. наук : 05.20.01 / Попов М. Ю. – Саратов, 2013. – 293 с.

6. Результаты исследований физико-механических свойств стеблестоя подсолнечника / А. С. Старцев, Е. Е. Демин, А. А. Кунышин, А. С. Данилова. // аграрный научный журнал. – 2017. – №3. – С. 59–64.

Рецензент д.т.н. О.О. Налобіна

УДК 621.865

© М.В. Голотюк, к.т.н.
Національний університет водного господарства та природокористування

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ В МАШИНОБУДУВАННІ

В роботі викладені дослідження особливостей мехатроніки поряд зі створенням засобів робототехніки, яке полягає в створенні технічних систем і комплексів, заснованих на використанні цих засобів. Основною областю застосування залишається промисловість і, насамперед, машинобудування й приладобудування. В роботі виконано аналіз та розроблена класифікація технологічних комплексів із застосуванням роботів. Було проведено аналіз складу алгоритмічного етапу розробки для визначення алгоритмів функціонування всього комплексу і його частин, вимог до пристроїв керування, каналам зв'язку й допоміжному устаткуванню.

МЕХАТРОНІКА, МАШИНОБУДУВАННЯ, ПРОМИСЛОВІ РОБОТИ, РОБОТОТЕХНІКА, МАНІПУЛЯТОРИ.

Постановка проблеми. Сьогодні, модернізувати виробництво здатна майже кожна виробнича компанія. Звичайний промисловий робот маніпулятор ґрунтується на просторових механізмах, які володіють багатьма ступенями свободи.

Промислові роботи застосовуються для функціонування в середовищі, що відрізняється небезпекою або не доступною для людей. Крім того, маніпулятори використовуються в якості допоміжних роботів в промисловому виробництві і в медичній практиці - під час створення протезів. Одним з найбільш популярних маніпуляторів в наш час вважається механічна «рука» [1].

Для того щоб спроектувати найбільш простий маніпулятор необхідно попередньо вирішити безліч завдань, наприклад, вибір точного співвідношення корисних і холостих ходів, забезпечення маневреності, стійкості в повсякденному функціонуванні. Не варто забувати про те, що може знадобитися проектування робота для спеціальних систем. У такому випадку його оператору необхідно відчувати зусилля, що створюється на вантажозахваті або робочому органі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідженням застосування мехатронних систем в машинобудуванні та роботизації технологічних процесів присвячені роботи П.Н. Беляніна, Є.П. Попова,

В.Д.Циганкова інших. Питання, пов'язані з формуванням і розвитком робототехніки, її визначення та застосування розглянуті в роботах В.Л.Афоніна, В.Л. Конюха [2, 3, 4].

В роботах Т.В.Попока, С.В. Шанигіна, В.М. Ніколайчука, І.А.Каляєва, Л.С. Ямпільського, В.В. Мацкевича розглядаються сучасні можливості застосування роботів, які мають фундаментальне значення для даного дослідження [5, 6, 7].

Мета дослідження. Завдання мехатроніки поряд із створенням засобів робототехніки полягає в створенні технічних систем і комплексів, заснованих на використанні цих засобів. Основною областю їх застосування як і раніше поки залишається промисловість і, насамперед, машинобудування.

Результати дослідження. Промислові роботи підрозділяються на технологічні, які виконують основні технологічні операції, і допоміжні, зайняті на допоміжних операціях по обслуговуванню основного технологічного устаткування. Технологічні комплекси з такими роботами називаються роботизованими - роботизованими технологічними комплексами. Засоби робототехніки в машинобудуванні класифікуються за наступними ознаками:

- тип виробничого підрозділу;
- ступінь зміни виробництва, пов'язана із застосуванням промислових роботів;
- вид технологічного процесу;
- кількість виконуваних технологічних операцій;
- тип і кількість використовуваного основного технологічного устаткування;
- тип і кількість використовуваних промислових роботів;
- серійність і номенклатура продукції;
- компонування комплексу;
- принцип керування комплексом.

У процесі створення технологічних комплексів можна виділити три основних етапи: технологічний, алгоритмічний і технічний. На першому етапі здійснюється аналіз технологічного процесу, в результаті чого визначається структура комплексу. На рисунку 1 показана типова структура цього етапу.

Аналіз технологічного процесу є одним з найбільш відповідальних етапів, від якості виконання якого в значній мірі залежить ефективність розроблювального комплексу. У зв'язку з тим, що цей етап включає порівняння великої кількості можливих варіантів розміщення устаткування, транспортних шляхів і т.д., важливим засобом його виконання є комп'ютеризація.

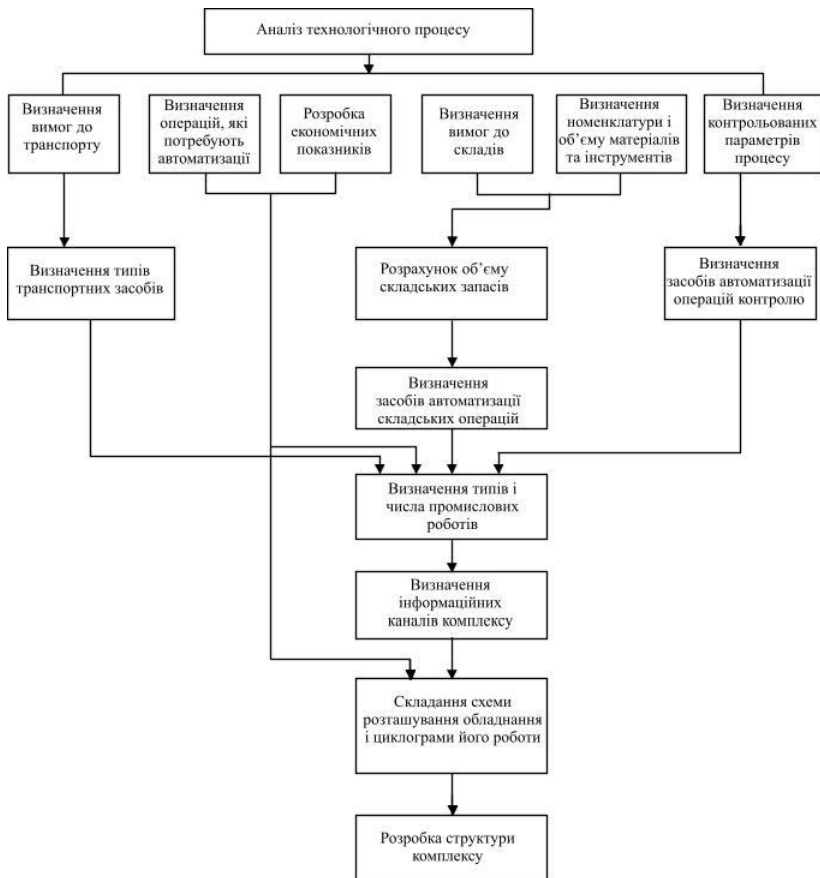


Рис. 1 – Структура технологічного етапу проектування технологічного комплексу.

Результатом наступного алгоритмічного етапу розробки є визначення алгоритмів функціонування всього комплексу і його частин, вимог до пристроїв керування, каналам зв'язку й допоміжному устаткуванню. Функціонально алгоритмічний етап можна представити як показано на рисунку 2. На цьому етапі відбувається також ув'язування з автоматизованою системою керування підприємством.

На етапі алгоритмічного проектування комплексу необхідно, зокрема, ураховувати наступні вимоги:

- найбільш повне й раціональне використання виробничих фондів;

- можливість коректування банку даних у ході виконання виробничої програми;
- поетапність уведення технологічного комплексу і його частин.

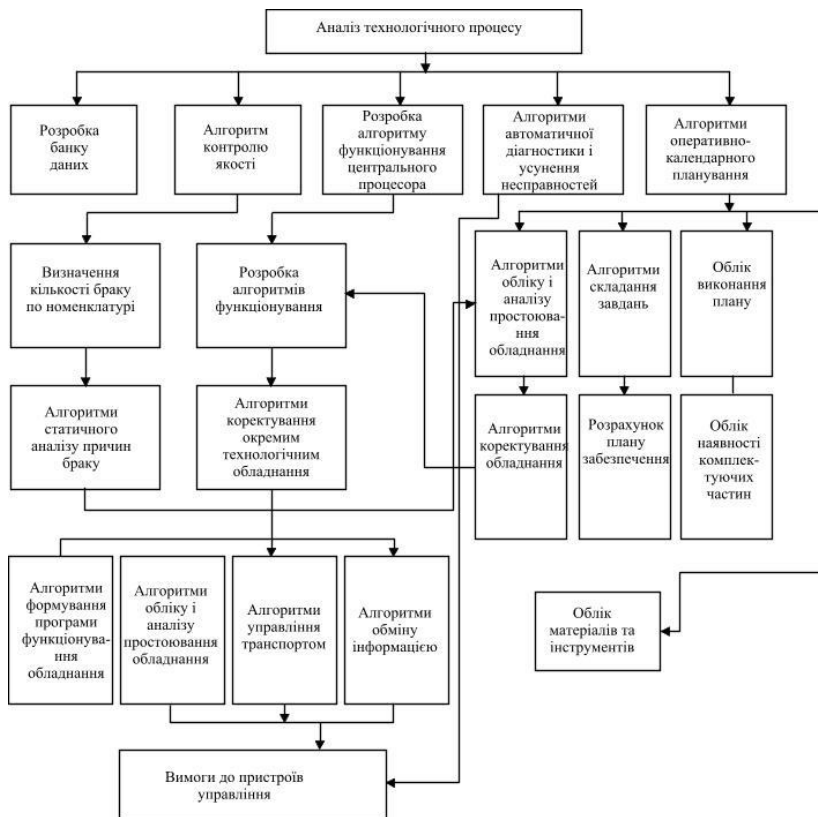


Рис. 2 – Структура алгоритмічного етапу проектування технологічного комплексу.

При алгоритмічній розробці технологічних комплексів важливим питанням є забезпечення вимог до їхньої надійності. Вихід з ладу якого або з його пристроїв не повинен спричинити зупинку всього виробничого процесу. Частково, для усунення окремих короткочасних відмов устаткування, служать міжопераційні розробки, але для повного розв'язку проблеми надійності на стадії алгоритмічного проектування

необхідно розробляти алгоритми автоматичної діагностики й оперативного усунення несправностей.

Істотним елементом цього етапу є створення банку даних, що містить усі відомості про типи й характеристики всього устаткування, пристроїв керування, каналів зв'язку і т.д. Причому він повинен безупинно коректуватися й розширюватися із включенням існуючих розв'язків по окремих елементах комплексу й по окремих технологічних операціях. Банк даних повинен включатися в буфер оперативного керування, через який здійснюється обмін даними з АСУ підприємства, і в який заносяться параметри ходу виробничого процесу.

На рисунку 3 наведена типова функціональна схема організації керування технологічним комплексом.

Заключним етапом процесу проектування технологічного комплексу є його технічна реалізація. Цей етап включає, зокрема, розробку або вибір промислових роботів, їх пристроїв керування, технологічного оснащення, транспортних шляхів і способів транспортування, каналів зв'язку, пристроїв інформаційного забезпечення на основі вимог, певних на попередніх етапах проектування.

Особливості роботизації технологічних комплексів у діючих виробництвах Завдання комплексної автоматизації й роботизації діючих виробництв має істотні особливості, що ускладнюють її розв'язок, у порівнянні зі створенням нових технологічних комплексів. В останньому випадку створюваний комплекс із самого початку проектує з урахуванням застосування промислових роботів і інших засобів робототехніки, можливості застосування промислових роботів і маніпуляторів, що поставляються в комплекті з основним устаткуванням, сполучення систем керування всіх складових частин.

При розв'язку цього завдання для діючого виробництва необхідно враховувати обмеження, обумовлені тим, що в цьому випадку мова йде про модернізацію в більшому або меншому ступені не пристосованого для застосування засобів робототехніки технологічного встаткування. При цьому часто не допускається тривала зупинка виробництва.

Основними труднощами при розв'язку цього завдання є:

- необхідність розміщення промислових роботів і інших засобів робототехніки на необмежених площах діючого технологічного комплексу, включаючи забезпечення транспортних операцій;
- необхідність досить повного й раціонального використання можливостей застосування промислових роботів і їх пристроїв

керування, що в значній мірі визначає вартість і ефективність роботи всього комплексу, а також зручність його експлуатації;

- забезпечення необхідної продуктивності, тобто, як правило, її істотного підвищення, у тому числі за рахунок відповідного швидкодії промислових роботів.

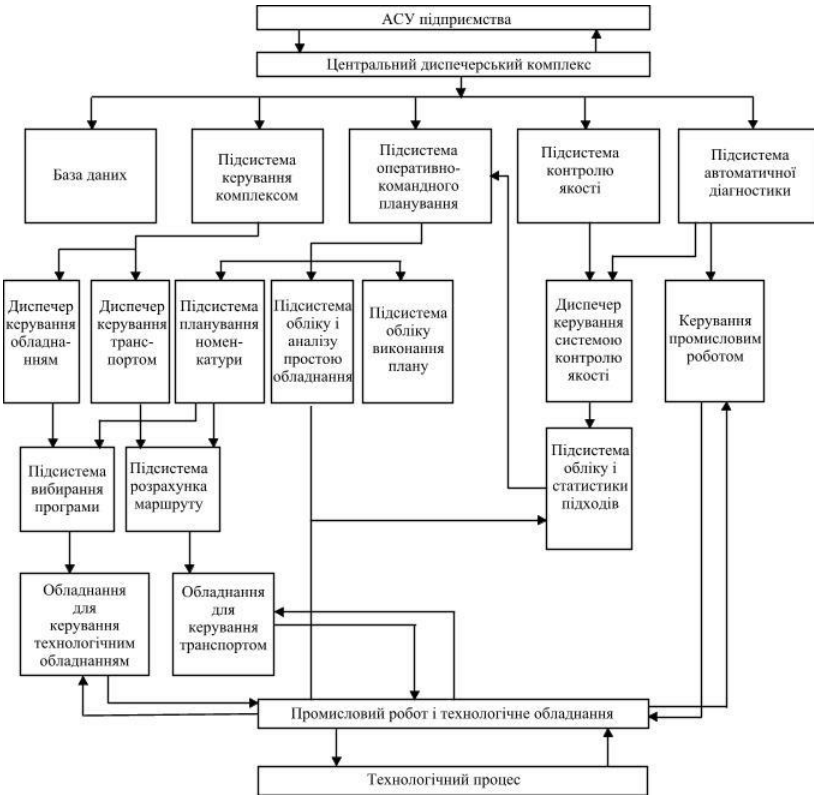


Рис. 3 – Схема керування технологічним комплексом

Існує й ряд інших труднощів, пов'язаних з керуванням усіх комплексів, особливостями конструкції основного устаткування й виробленої продукції, однак вони мають менше значення.

Висновки. Основним розв'язком, який прийнятий практично майже завжди, є застосування підвісних промислових роботів, зокрема, з розміщенням їх над основним устаткуванням, яке обслуговує такий промисловий робот. Такий розв'язок одержав досить широке

поширення, наприклад, у механічній. При цьому часто використовуються мобільні промислові роботи, що пересуваються над основним устаткуванням по рейковому шляху, що дає можливість обслуговувати одним промисловим роботом кілька верстатів.

Поряд із промисловим роботом для розглянутих цілей широке застосування знаходять збалансовані маніпулятори з ручним керуванням. Розміщуючись на вертикальній колоні, вони займають значно менше місця, чому промисловий робот тієї ж вантажопідйомності, завдяки чому їх часто можна встановлювати в діючих цехах без переміщення основного устаткування. Крім того, такі маніпулятори дешеві й прості в керуванні. Їхнє застосування дозволяє суттєво полегшити умови праці, підвищити продуктивність, за рахунок цього скоротити кількість робітників.

Література

1. Синтез робототехнічних систем в машинобудуванні: підруч. для студентів вищ. техн. навч. закл., які навчаються за спец. 015 «Проф. освіта. Машинобудування»: присвяч. 100-річчю Ветрова Ю. О., ректора Київ. інж.-буд. ін-ту, зав. каф. буд. машин / Л. Є. Пелевін, К. І. Почка, О. М. Гаркавенко та ін. ; М-во освіти і науки України, Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури. — Київ: ТОВ НВП «Інтерсервіс», 2016. — 258 с.
2. IFR press release - Standardisation Activities Prepare for Future Safe Human-Robot Collaboration, www.ifr.org/news/ifr-press-release
3. Белянин П.Н. Стан и развитие техники роботов // Проблемы машиностроения и надежности машин. – М.: РАН, 2000. – № 2. – С. 85-96.
4. Robotic Visions to 2020 and beyond –The Strategic Research Agenda for Robotics in Europe, 07/2009, www.robotics-platform.eu.
5. Попок Т. В. Штучний інтелект: перспективи та загрози / Т. В. Попок // Студентський вісник НУВГП. – Рівне : НУВГП, 2015. – Вип. 2(4). – С. 252-253.
6. Шаныгин С.В. О необходимости создания в России сельскохозяйственных роботов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2013. № 1. С. 9—11.
7. Ніколайчук В. М. Основи робототехніки : навч. посіб. / В.М. Ніколайчук. – Рівне : НУВГП, 2008. - 76 с.

Рецензент д.т.н. Налобіна О.О.

УДК 631.3: 631.352.4

©В.П. Ковбаса, д.т.н., А.В. Спирин, к.т.н., О.В. Цуркан, к.т.н.
Винницький національний аграрний університет

О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ДЕФОРМИРУЕМОЙ ЛЕНТЫ ЗАЖИМНОГО ТРАНСПОРТЕРА СО СТЕБЛЕМ

В статье приводятся результаты исследований взаимодействия деформируемой ленты зажимного транспортера с деформируемым стеблем на основе решения контактной задачи взаимодействия двух упруго деформируемых тел несогласованной геометрической формы. Получены величины эквивалентных напряжений в зоне контакта в зависимости от модулей упругости двух тел, их геометрических форм и размеров. Эти значения могут использоваться для нахождения параметров и режимов движения зажимного транспортера путем сравнения их с пределом пластичности или пределом прочности стебля при проектировании зажимных транспортеров сельскохозяйственной или иной техники.

Постановка проблемы. Волокно конопли является ценным сырьем для лубяной промышленности. В последние годы на европейских территориях восстанавливается производство сырья для производства волокна (в частности технической конопли). Для уборки этой культуры по одной из технологий используются коноплеуборочные комбайны, в которых предусматривается захват и транспортирование стеблей в близком к вертикальному положению, т.е. к такому состоянию, в котором они скашиваются в период уборки. При этом возникает вопрос о необходимости надежного зажатия стебля в транспортере без его повреждения, которое может повлечь нежелательные последствия при последующей переработке сырья на заводе. Поэтому вопрос о взаимодействии транспортера со стеблем является актуальным, поскольку он тесно связан с выбором параметров и режимов работы коноплеуборочного комбайна, а также с вопросами проектирования самих комбайнов.

Анализ последних исследований и публикаций [1-3] показывает, что задача о захвате и удержании стебля в необходимом положении при отсутствии его повреждения до сих пор не нашла решения.

При анализе взаимодействия транспортера со стеблем конопли возникают две задачи, которые необходимо решить. Первая связана с кинематикой транспортерной ленты и не вызывает особых сложностей. Вторая задача связана с необходимостью надежной фиксации стебля

без повреждения самого стебля. Здесь возникает необходимость решения задачи контакта. Решению контактных задач посвящены работы классиков механики [1-3] и других. Вместе с тем, решение задачи о взаимодействии цилиндра (которым может быть формализован стебель) с полосой (которой формализуется лента) требует дополнительных исследований.

В связи с этим **целью исследований** является установление параметров и режимов зажатия стебля в зависимости от его механических свойств и материала транспортера.

Поэтому задачами исследований были: установление кинематической связи ленты транспортера с кинематическими характеристиками движения машины по полю; определение напряженного состояния в стебле с целью установления допустимой силы его зажатия.

Результаты исследования. В отношении первой из задач достаточно рассмотреть кинематические соотношения переносного движения машины и относительного движения транспортера. При этом должно быть выполнено условие, чтобы скорость стебля в переносном движении в проекции на направление движения машины была равна переносной скорости машины. Поэтому такая зависимость выглядит следующим образом:

$$u_t = u_m \cos \alpha, \quad (1)$$

где u_t – скорость транспортера, u_m – переносная скорость (скорость машины), α – угол наклона транспортера к поверхности поля.

Исходя из этого, возникает необходимость синхронизировать скорости движения машины и транспортера.

Вторая задача более сложна в решении и требует введения некоторых упрощений и допущений:

– стебель представляет собой конструкцию трубчатого поперечного сечения с постоянными (по рассматриваемой длине) внутренним и внешним диаметрами;

– материал стебля подчиняется закону упругости Гука;

– материал ленты транспортера подчиняется закону упругости Гука;

– поверхность контакта транспортера в зоне зажатия стебля плоская и имеет ограниченную ширину.

Для полевых машин в реальных условиях стебель, зажатый в транспортере, подвергается воздействию динамических сил, которые возникают при ускорениях машины P_m и воздействию ветровой нагрузки P_b .

Схема такого взаємодіяння показана на рис. 1.

Предположим, что в наихудшем варианте эти силы суммируются (случай, когда векторы сил совпадают по направлению). Точка приложения силы от действия динамических нагрузок находится в центре масс стебля и равна по величине $P_m = ma$, где m – масса стержня, приведенная к центру масс, который находится на расстоянии h_m от закрепления стебля, a – ускорение, которое при движении сельскохозяйственных машин не превышает g .

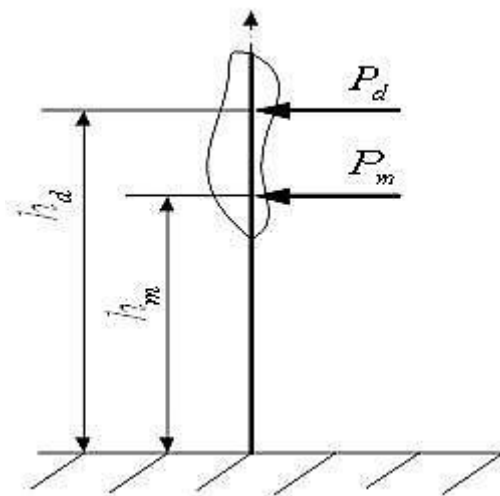


Рис. 1– Схема действия сил на зажатый в транспортере стебель

Центр массы стебля может быть определен из зависимости:

$$h_m = \frac{\iiint_V x \rho(x, y, z) dx dy dz}{\iiint_V \rho(x, y, z) dx dy dz},$$

где $\rho(x, y, z)$ – функция распределения плотности стебля по его объему, которая определяется экспериментально. Для практических применений h_m также может быть определена экспериментально.

Величина силы от действия ветровой нагрузки составляет:

$$P_d = k \rho_a v_a^2,$$

где $k = 2 \int f(x) dx$, $f(x)$ – функция, описывающая очертание сечения стебля (определяется экспериментально), ρ_a, v_a – плотность и скорость воздуха.

Центр приложения приведенной к точке силы от ветровой нагрузки находится в центре тяжести вертикального поперечного сечения, координата которого находится на расстоянии h_d от закрепления:

$$h_d = \frac{\int x f(x) dx}{\int f(x) dx}.$$

Силы динамического воздействия могут быть приведены к одной точке, которая находится на расстоянии $h = (P_d h_d + P_m h_m) / P$, где P – приведенная к одной точке суммарная сила.

Ранее определенные [4] компоненты напряжений в сечении стебля от действия такой силы выражаются зависимостями:

$$\begin{aligned} \tau_{xz} &= \frac{P(-y_0^2(-2+\nu) + r^2(2+3\nu) - z_0^2(2+3\nu))}{8J(1+\nu)}; \\ \tau_{xy} &= \frac{P y_0 z_0 (2+\nu)}{4J(1+\nu)}; \sigma_x = \frac{-P(h-x_0)z_0}{J}, \end{aligned} \quad (1)$$

где J – момент инерции трубчатого сечения стебля:

$$J = \frac{\pi D_c^4}{64} (1 - \alpha^4), \quad \alpha = \frac{d_c}{D_c}, \quad \text{где } D_c = 2r - \text{наружный диаметр стебля.}$$

Для случая изменяемого по длине стебля диаметра $r_c = r_0(1 - k x_0)$, где r_0 – половина диаметра стержня в нижнем сечении (y корня), $k \leq 1$ – коэффициент изменения сечения.

Взаимодействие ленты транспортера со стеблем может быть в первом приближении представлено как контакт двух цилиндров (рис. 2). При этом радиус кривизны стебля в направлении оси x – $R_{cx} = \infty$, а в направлении оси y – $R_{cy} = d_c/2$. Радиусы кривизны ленты транспортера в направлении осей x и y – $R_p = \infty$. Можно также принять упрощении о равенстве коэффициентов Пуассона материалов стебля и ленты транспортера. При таких допущениях область контакта будет приближаться к эллиптической с размерами вдоль оси x – a и вдоль оси y – b . Кривизна площадки зоны контакта в таком случае выражается зависимостями:

$$\frac{1}{R_{cx}^*} = \frac{1}{R_{cx}} + \frac{1}{R_{px}}; \frac{1}{R_{cy}^*} = \frac{1}{R_{cy}} + \frac{1}{R_{py}};$$

или с учетом принятых допущений:

$$\frac{1}{R_{cx}^*} = \frac{2}{d_c}; \frac{1}{R_{cy}^*} = 0; R^* = \frac{d_c}{2}.$$

Распределение давления по эллиптической области равно:

$$p(x, y) = p_0 \left(1 - \frac{y^2}{b^2} - \frac{x^2}{a^2} \right), \quad p_0 = \frac{3P_p}{(2\pi ab)},$$

где p_0 – максимальное давление в зоне контакта, P_p – сосредоточенная сила, которая действует со стороны ленты.

В зависимостях (2) индексы 0 при координатах означают, что эта система координат отлична от используемой на рис. 2. Зависимости (2) приведены для системы координат $Oxuz$, центр которой находится на оси симметрии сечения стебля.

Используя метод суперпозиции, эти напряжения могут быть просуммированы с напряжениями, возникающими от контактного взаимодействия ленты транспортера со стеблем.

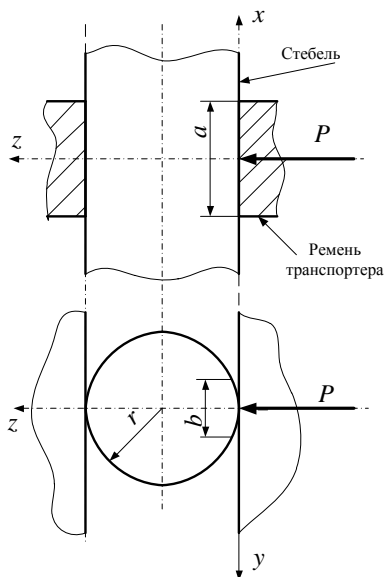


Рис. 2 – Схема зажатия стебля для определения его напряженного состояния

Напряжение, действующее на поверхности контакта лентастебель, согласно [1, 3]:

$$\sigma_{xk} = -p_0 \left(2\nu\gamma + \frac{(1-2\nu)\beta}{e^2} \left(1 - \beta\gamma - \frac{x}{ae} \operatorname{arcth} \left[\frac{ex}{a(1-\beta\gamma)} \right] - \frac{\beta\gamma}{be} \operatorname{arctg} \left[\frac{ey}{b(\beta+\gamma)} \right] \right) \right);$$

$$\sigma_{yk} = -p_0 \left(2\nu\gamma + \frac{(1-2\nu)\beta}{e^2} \left(\frac{\beta}{\gamma} - 1 + \frac{x}{ae} \operatorname{arcth} \left[\frac{ex}{a(1+\beta\gamma)} \right] + \frac{\beta\gamma}{be} \operatorname{arctg} \left[\frac{ey}{b(\beta+\gamma)} \right] \right) \right); \quad (2)$$

$$\tau_{xyk} = -p_0 \left(\frac{(1-2\nu)\beta}{e^2} \left(\frac{y}{a} \operatorname{arcth} \left[\frac{ex}{a(1+\beta\gamma)} \right] - \frac{x}{a} \operatorname{arctg} \left[\frac{ey}{b(\beta+\gamma)} \right] \right) \right),$$

$$p_0 = \frac{3P_k}{2\pi ab}; e = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}; \beta = \frac{b}{a}; \gamma = \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2}};$$

$$b = \left(\frac{4P_k R_c}{\pi E_k} \right)^{\frac{1}{3}}; E_k = \frac{E_c E_p}{E_c + E_p}; R_c = \frac{d_c}{2}; a = B\lambda; \lambda \geq 1,$$

где B – ширина ленты транспортера, т.е. в направлении оси x , λ – коэффициент, который характеризует увеличение длины оси контакта по отношению к ширине ленты. В расчетах увеличение λ влечет за собой снижение величин компонент напряжений. Для иллюстрации влияния свойств материалов стебля и ленты, а также динамических величин на контактные напряжения в стебле можно привести графики (рис. 3), которые свидетельствуют о существенности влияния названных величин на напряжения.

При суммировании компонент напряжений (2) и (3) следует совместить начала координат, а именно: учесть то, что в (2) начало оси z находится в центре сечения стебля, а в (3) – на поверхности контакта. Таким образом, на поверхности контакта, где наблюдаются максимумы компонент напряжений τ_{xy} , σ_x величина $z_0 = d_c/2$.

Напряженное состояние в зоне контакта для определения предельной силы зажатия стебля может быть оценено по эквивалентному напряжению. При этом в зависимости (2) необходимо

принять, что $x_0 = x$; $y_0 = y$; $z_0 = d_c/2$. Эквивалентное напряжение определяется из зависимости:

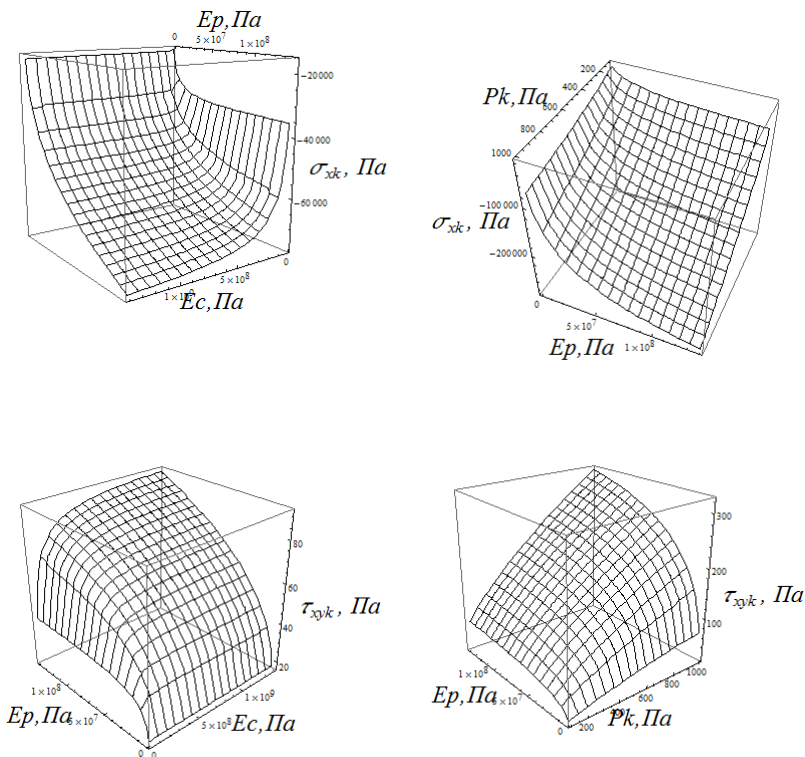


Рис. 3– Влияние силы зажатия лентой P_k и модулей упругости стебля E_c и ленты E_p на величину компонент контактных напряжений в стебле

$$\sigma_e = \sqrt{(\sigma_{xk} + \sigma_x)^2 + 4\sqrt{\frac{\tau_{xy}^2 + \tau_{xyk}^2 + \tau_{xz}^2}{2}}}. \quad (3)$$

В развернутом виде выражение (4) имеет весьма громоздкий вид, поэтому можно проанализировать влияние усилия зажатия, параметров стебля, свойств материалов стебля и ленты транспортера, а также их размеров на напряженное состояние стебля по графической интерпретации этой зависимости (рис. 4).

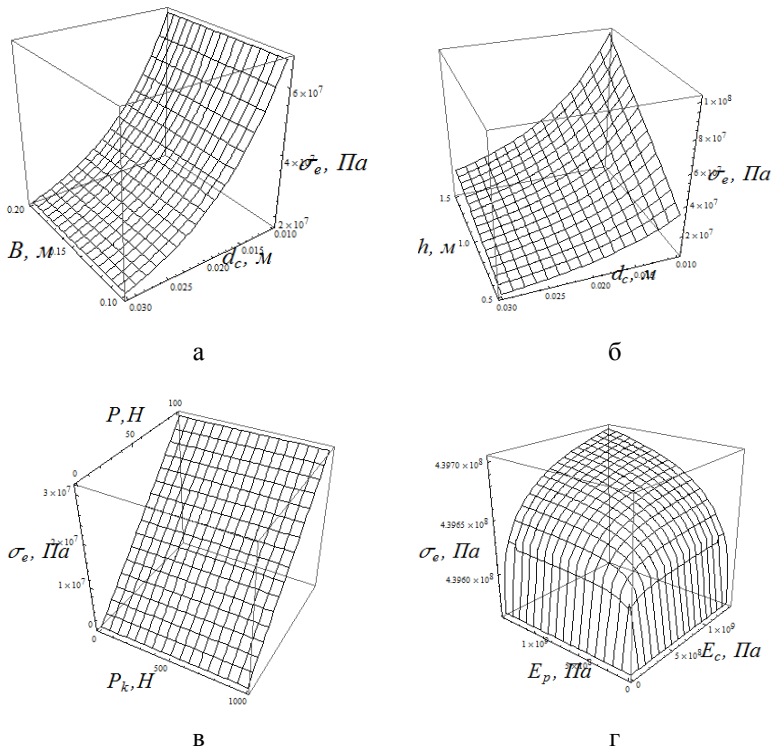


Рис. 4 – Графическая интерпретация зависимости эквивалентного напряжения от: а – диаметра стебля d_c и ширины ленты B , б – высоты приложения внешней нагрузки h и диаметра стебля d_c , в – силы внешней нагрузки P и силы зажатия лентой P_k , г – модулей упругости стебля E_c и ленты E_p

Анализ зависимости (4) позволяет сделать следующие выводы:

- наиболее существенное влияние на напряженное состояние стебля в месте зажима транспортера оказывает диаметр стебля d_c , а именно в стеблях с меньшим диаметром эквивалентное напряжение увеличивается;
- ширина ленты транспортера B не оказывает влияние на эквивалентное напряжение в месте зажатия стебля; величину этого параметра вероятно, нужно определять по условиям устойчивости стебля в зажатом состоянии;

– такие свойства, как модули упругости стебля E_c и ленты E_p , не оказывают существенного влияния на эквивалентное напряжение в стебле;

– из динамических величин на эквивалентное напряжение в стебле существенное влияние оказывает сила, приложенная к стеблю (динамическая и ветровая составляющие), в то время как сила зажатия стебля практически не влияет на напряжение.

Выводы. В результате проведенных исследований на основе решения контактной задачи двух деформируемых тел несогласованной формы установлены аналитические зависимости влияния свойств контактирующих тел и их геометрических форм и размеров на напряженное состояние стебля в зоне контакта, что позволяет путем сравнения полученных эквивалентных напряжений с пределом пластичности (прочности) материала стебля установить допустимые параметры ленты зажимного транспортера.

Литература

1. Александров В. М. Задачи механики сплошных сред со смешанными граничными условиями / В. М. Александров, Е. В. Коваленко. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 336 с.
2. Саверин М. М. Контактная прочность материала в условиях одновременного действия нормальных и касательных нагрузок / М. М. Саверин. – М. - Л.: Машгиз., 1946. – 147 с.
3. Джонсон, К. Механика контактного взаимодействия / К. Джонсон. – М.: Мир, 1989. – 510 с.
4. Ковбаса В. П. Об изгибе жестко заделанного прутка / В.П. Ковбаса, В.О. Гридякин, Л.М. Матюшенко // Вестник Челябинской государств. агроинженерной академии. – Т. 69. – Челябинск, 2014. – С. 45-50.

УДК 631.365.2

© Р.В. Кірчук, к.т.н

Луцький національний технічний університет

ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ДИСПЕРСНИХ РОСЛИННИХ МАТЕРІАЛІВ

У статті представлено аналіз сучасних підходів щодо теоретичного опису та моделювання процесів сушіння дисперсних рослинних матеріалів. Запропоновано та проаналізовано моделі сушіння поодиноких частинок, елементарного шару та товстого шару матеріалу. Обґрунтовано передумови та вказано на припущення, що є необхідними при моделюванні процесів сушіння насіння сільськогосподарських культур.

ЧАСТИНКА, ВОЛОГОВМІСТ, ВОЛОГІСТЬ, ТЕМПЕРАТУРА, СУШИЛЬНИЙ АГЕНТ, ЕЛЕМЕНТАРНИЙ ШАР, РУХОМИЙ ШАР МАТЕРІАЛУ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ.

Постановка проблеми. Кінетичний розрахунок процесу сушіння є важливою складовою науково-технічного обґрунтування параметрів технологічного процесу виробництва продукції рослинництва. Математичні моделі, створені на основі аналізу перебігу процесу сушіння, дають можливість встановити і оптимізувати параметри сушарок та режимів їх роботи. Тому дослідження методів моделювання і опису сушіння дисперсних матеріалів та створення систем інтенсифікації процесу залишається актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для інтенсифікації процесів сушіння та збільшення продуктивності роботи пунктів післязбиральної обробки насінневого матеріалу, досить часто, пропонується створення та використання допоміжних механізмів, які впливають на перебіг процесу сушіння матеріалу [1-4].

Окрім того, для пошуку шляхів оптимізації методів сушіння, багато уваги приділено теоретичному аналізу процесу. Класичний підхід до опису процесів тепло-масопереносу відображено у роботах Ликова, Гінзбурга, Крішера та ін. [5-8]. Узагальнення існуючих сучасних методів теоретичного обґрунтування сушіння капілярно-пористих колоїдних тіл відображено у монографії Б.Гайвася [9].

На даний час, для кінетичного розрахунку процесу сушіння дисперсних матеріалів розрізняють методи, які можна розділити на три групи: 1) емпіричні, 2) напівемпіричні та 3) аналітичні [10,11].

Емпіричний підхід базуються на проведенні експерименту, що реалізує модель типу «чорний ящик». Разом із плануванням

експерименту та регресійними методами обробітку результатів він дозволяє отримати інформацію про процес сушіння, яка обмежується рамками та умовами експерименту. Недоліком такого підходу є складність переносу результатів лабораторних досліджень на виробничі об'єкти. Окрім того, ігнорується «фізика» процесу сушіння матеріалів.

Серед різноманіття напівемпіричних методів опису процесу сушіння можна виділити наступні групи: методи, що ґрунтуються на апроксимації експериментальних даних; методи диференціювання рівнянь тепло-масопровідності за допомогою дослідних функціональних залежностей типу $Rb = f(\bar{u})$, $\bar{u} = f(\bar{t})$ (тут Rb - критерій Ребіндера, \bar{u} - середнє значення вологовмісту, \bar{t} - середнє значення температури сушильного агенту). Прикладом напівемпіричного методу аналізу процесу сушіння є відоме рівняння Ликова:

$$-\frac{d\bar{u}}{d\tau} = K(\bar{u} - u_p),$$

де K - коефіцієнт сушіння; u_p - рівноважний вологовміст.

До аналітичних методів розрахунку кінетики сушіння можна віднести методи, які на мікрокінетичному рівні, у першому періоді сушіння, ґрунтуються на рівняннях тепло-масовіддачі, а у другому періоді – на рівняннях масо-теплопровідності для одиничних частинок[12]:

$$\begin{aligned} \partial u / \partial \tau &= \text{div} \left[k(u, t) (\text{grad} u + \delta_t(u, t) \text{grad} t) \right], \\ c(u, t) \rho_o (\partial t / \partial \tau) &= \text{div} \left[\lambda(u, t) \text{grad} t \right] + \varepsilon^* r^* \rho_o (\partial u / \partial \tau), \end{aligned}$$

де δ_t - відносний коефіцієнт термовологопровідності; c - теплоємність; ρ_o - густина сухого матеріалу; ε^* - локальний коефіцієнт фазового перетворення; λ - коефіцієнт теплопровідності; r^* - сума теплоти пароутворення та адсорбції; τ - час.

Для вирішення подібного класу задач часто застосовуються числові методи розв'язку рівнянь. Окрім того, важливим завданням є окреслити коло допущень та передумов для моделювання процесів сушіння дисперсних матеріалів.

Мета дослідження – проаналізувати сучасний стан наукових теоретичних положень щодо опису процесів сушіння дрібнодисперсних капілярно-пористих колоїдних тіл для обґрунтування припущень та вибору способу моделювання при розробці засобів та методів післязбирального обробітку насіннєвого матеріалу.

Результати дослідження. Найбільш складною проблемою розрахунку процесу сушіння є визначення кінетичних закономірностей. Метою кінетичного розрахунку при конструюванні сушильних установок є визначення розмірів безперервно діючих сушарок, що забезпечують задану продуктивність і режиму процесу, який забезпечує мінімальні енерговитрати і не погіршує якість матеріалу, що піддається сушінню.

Враховуючи значну термічну чутливість насінневого матеріалу, що обмежує застосування високих температур нагріву матеріалу в процесі сушіння, виникає необхідність досить точного розрахунку кінетики нагрівання матеріалу для визначення режимних параметрів, що необхідні для оптимізації процесу в кожній конкретній установці при заданих (вибраних) схемах руху потоків матеріалу і сушильного агенту. При цьому, збереження якості продукту в процесі сушіння залежить не тільки від абсолютної величини температури нагріву, а і від швидкості нагріву і зневоднення [7,13].

Розглянемо сушіння одиночних часинок. Швидкість сушіння і нагрівання твердого тіла пов'язані основним рівнянням кінетики сушіння О.Ликова, яке справедливе для будь якого способу сушіння:

$$\bar{q}_n = (C_o + C_e \bar{u}) \rho_o \frac{V}{F} \frac{d\bar{\theta}}{d\tau} + r_o \frac{V}{F} \rho_o \frac{d\bar{u}}{d\tau}, \quad (1)$$

де \bar{q}_n - щільність (густина) потоку підведення теплоти, Вт/м²;

C_o , ρ_o - питома теплоємність і густина абсолютно сухого матеріалу, відповідно Дж/кг °С та кг/м³;

C_e - питома теплоємність води, Дж/кг °С;

r_o - питома теплота пароутворення, Дж/кг;

V , F - об'єм та площа поверхні тіла, м³ та м²;

$\bar{\theta}$ - середньооб'ємна температура матеріалу, °С;

\bar{u} - вологовміст матеріалу, кг/кг;

τ - час, с.

Для конвективного способу сушіння тепловий потік до матеріалу визначається рівнянням Ньютона:

$$\bar{q}_n = \alpha (t_c - \bar{\theta}_n), \quad (2)$$

де α - коефіцієнт теплообміну, який враховує усі складові теплопереносу (зовнішнього), Вт/м²°С;

t_c , $\bar{\theta}_n$ - температура сушильного агенту та поверхні матеріалу, °С.

Враховуючі незначні розміри частинок насінневого матеріалу (еквівалентний діаметр 1,3...2,1·10⁻³ м) можна прийняти нагрівання поодиноких частинок безградієнтним і визначити швидкість нагріву

методами регулярного теплового режиму [6]. Тобто прийняти, що $\theta_n = \bar{\theta}$.

Для визначення швидкості сушіння при низькотемпературних режимах ($t_c = 45...55^\circ C$ та температурі матеріалу $15...40^\circ C$) можна використовувати аналітичні розв'язки диференціального рівняння масопровідності (коли прийняти, що еквівалентний коефіцієнт дифузії або масопровідності постійний за усім об'ємом тіла), що для сферичної частинки має вигляд [14]:

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = a_m \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \cdot \frac{\partial u}{\partial r} \right). \quad (3)$$

При граничних умовах третього роду (конвективний масообмін поверхні кулі з середовищем) і початкових значеннях $u|_{\tau=0} = u(r) = u_0$ розв'язок рівняння (3) для зміни середньооб'ємного вологовмісту отримано у вигляді:

$$\frac{\bar{u}(\tau) - u_p}{u_0 - u_p} = \sum_{j=1}^{\infty} B_j e^{-\mu_j^2 \frac{a_m}{R^2} \tau}, \quad B_j = \frac{6(\sin \mu_j - \mu_j \cos \mu_j)^2}{\mu_j^3 (\mu_j - \sin \mu_j \cos \mu_j)}, \quad (4)$$

де μ_j - корені характеристичного рівняння $\operatorname{tg} \mu = \frac{\mu}{1 - Bi_m}$;

a_m - коефіцієнт масопровідності;

$Bi_m = \frac{\beta}{a_m} R$ - масообмінний критерій Біо.

Теорія регулярного режиму, розвинена на прикладі теплових процесів [14], приводить до висновку, що з початком регулярного режиму темп зміни вологовмісту всередині тіла практично перестає залежати від його розподілу і стає однаковим залежним лише від a_m .

R через значення характеристичного числа задачі μ , величину якого можна отримати розкладом в ряд характеристичного рівняння у вигляді [6]:

$$\mu_1^2 = 3Bi_m = 3 \frac{\beta}{a_m} R. \quad (5)$$

Тоді рівняння (4) набуде вигляду:

$$\bar{u}(\tau) - u_p = (u_0 - u_p) B_1 \cdot e^{-\mu_1^2 \frac{a_m}{R^2} \tau}. \quad (6)$$

Швидкість сушіння визначатиметься диференціальним рівнянням (6):

$$-\frac{d\bar{u}(\tau)}{d\tau} = (u_0 - u_p) B_1 \mu_1^2 \frac{a_m}{R^2} \cdot e^{-\mu_1^2 \frac{a_m}{R^2} \tau}. \quad (7)$$

Виключивши величину B_1 підстановкою з рівняння (6) в рівняння (7) матимемо:

$$-\frac{d\bar{u}(\tau)}{d\tau} = \mu_1^2 \frac{a_m}{R^2} (\bar{u}(\tau) - u_p), \quad (8)$$

або з врахуванням (5):

$$-\frac{d\bar{u}(\tau)}{d\tau} = \frac{3\beta}{R} (\bar{u}(\tau) - u_p). \quad (9)$$

Коефіцієнт масообміну β можна визначити з критерію Нуссельта:

$$\beta = Nu_m \frac{a_m}{R}. \quad (10)$$

Величини (число) масообмінного критерію Нуссельта, як відомо з [14], визначається для поодиноких часток:

$$Nu_m = 0,9 Re^{0,5} \cdot Pr_m^{0,33}, \quad (11)$$

де $Re = \frac{R}{\nu} v$ - критерій Рейнольдса; $Pr_m = \frac{\nu}{D_v}$ - критерій Прандля; ν - кінематична в'язкість середовища; v - швидкість переміщення середовища; D_v - коефіцієнт дифузії.

Залежність коефіцієнта масо провідності від температури для насінневих матеріалів за літературними даними [7], може бути узагальнена лінійною залежністю: $a_m(\theta) = (0,00253\theta - 0,012) \cdot 10^{-8}$.

Залежність $a_m(u)$ від вологості апроксимована лінійною залежністю (при $u = 0,15 \dots 0,35$): $a_m(u) = (3,2u - 0,4) \cdot 10^{-8}$, м²/с.

Залежність коефіцієнта масопровідності насінневого (зернового) матеріалу за літературними даними [7] може апроксимуватись залежністю:

$$a_m(\bar{\theta}, \bar{u}) = A_0 (a_1 \bar{\theta} - b_1) (a_2 \bar{u} - b_2), \quad (12)$$

де A_0, a_1, a_2, b_1, b_2 - сталі коефіцієнти.

З врахуванням (10)-(12) рівняння (9) переписеться у вигляді:

$$-\frac{du(\tau)}{d\tau} = K_c (u(\tau) - u_p), \quad (13)$$

$$\text{де } K_c = 2,7 \frac{\nu^{0,5} \cdot a_m(\theta, u)}{R^{1,5} \cdot \nu^{0,17} \cdot D(\theta, t_c)^{0,33}}.$$

Відповідно до [2] рівняння (13) є модифікованим рівнянням масопередачі по твердій фазі для одиничної частинки і його можна використовувати для визначення кінетики сушіння насінневого (зернового) матеріалу.

Розв'язок рівняння (13) за початкової умови: $\tau = 0; u = u_0$ матиме вигляд:

$$u(\tau) = u_p + (u_0 - u_p) e^{-K_c \cdot \tau}. \quad (14)$$

Цей розв'язок визначає зміну вологовмісту частинки матеріалу в часі. При цьому, рівноважна вологість матеріалу, як відомо, залежить від параметрів середовища (для насіння трав залежність $u(t, \varphi)$ подана таблицею в роботі [15]).

Розглянемо сушіння матеріалу в елементарному нерухомому шарі. Сушіння дисперсних матеріалів, які мають значну теплосприймаючу поверхню контакту з сушильним агентом в шарі, призводить до суттєвої зміни температури сушильного агенту в напрямку його руху крізь шар зерна. При цьому, параметри матеріалу, а саме: температура і, відповідно, вологовміст в кожній точці шару будуть визначатись параметрами сушильного агента (t_c, d, ν), а розв'язок (13) отримано при сталих параметрах середовища.

В зв'язку з цим, для практичних розрахунків процесу сушіння і параметрів сушильної установки, як покаже практика [7,11,14], доцільно використовувати коефіцієнт сушіння $K(t, \nu)$. Величина коефіцієнта визначається параметрами сушильного агента, що отримані безпосередньо з експериментів.

Іншою особливістю процесу сушіння насінневого матеріалу є те, що частинки дисперсного матеріалу, які мають різні розміри і форму, висушуються з різною швидкістю в різних періодах сушіння і мають різні температурні криві. Тому при усередненні кінетичних залежностей різних частинок в шарі «середні кінетичні криві» можуть бути описані експоненціальними (геометрично гладкими) кривими [2]. За даними роботи [15] сушіння насіння трав в шарі відбувається в періоді падаючої швидкості. Тобто, кінетика сушіння насіння в шарі може бути описана рівняннями О.Ликова (для падаючої швидкості сушіння).

Швидкість сушіння насіння трав отримано диференціюванням рівняння (14).

$$-\frac{du(\tau)}{d\tau} = (u_0 - u_p(t, d))e^{-K_c \cdot \tau} \cdot K_c. \quad (15)$$

Встановити параметри кінетики сушіння і нагрівання матеріалу в елементарному щільному нерухомому шарі можна з наступних міркувань. Підставляючи вирази (2), (13) в рівняння (1) матимемо:

$$m_0 C(u) \frac{d\theta}{d\tau} - m_0 \cdot r_0 \cdot K_c \cdot \Delta u_0 \cdot e^{-K_c \tau} = \alpha F (t - \theta), \quad (16)$$

де $m_0 = V_0 \rho_0$; $\Delta u_0 = (u_0 - u_p)$; $C(u) = C_0 + C_u u$.

Позначимо:

$$T_1 = \frac{m_0 C(u)}{\alpha F}; \quad K_u = \frac{m_0 r_0 K_c \Delta u_0}{\alpha F}.$$

Рівняння (16) набуде вигляду:

$$T_1 \frac{d\theta(\tau)}{d\tau} + \theta(\tau) = K_u e^{-K_c \tau} + t, \quad (17)$$

За умовами незмінної в часі температури сушильного агента, що дорівнює температурі на вході в шар $t = t_1$ розв'язок неоднорідного диференціального рівняння отримаємо за початкових умов $\theta|_{\tau=0} = \theta_0$ у вигляді:

$$\theta(\tau) = \theta_0 e^{-\frac{\tau}{T_1}} + t_1 \left(1 - e^{-\frac{\tau}{T_1}} \right) + \frac{K_u}{T_1 \left(\frac{1}{T_1} + K_c \right)} \left(e^{-K_c \tau} - e^{-\frac{\tau}{T_1}} \right). \quad (18)$$

Рівняння (18) описує кінетику нагрівання (зміну температури) вологого матеріалу в процесі сушіння в нерухомому шарі при постійній температурі середовища.

Однак, при фільтрації сушильного агента крізь шар матеріалу з фіксованими витратами, сушильний агент буде віддавати частину теплоти. Його температура буде зменшуватись в часі. У цьому випадку, для визначення кінетики нагрівання вологого матеріалу рівняння теплового балансу (16) запишеться у вигляді:

$$m_0 C(u) \frac{d\theta}{d\tau} - m_0 \cdot r_0 \cdot K_c \cdot \Delta u_0 \cdot e^{-K_c \tau} = C_{Tv} C_p (t_1 - t_2), \quad (19)$$

де C_{Tv} - масові витрати сушильного агента, кг/с; t_1, t_2 - температура сушильного агента на вході і виході шару матеріалу, $^{\circ}\text{C}$.

Права частина рівняння (19) визначає кількість теплоти, яку сушильний агент витрачає при фільтрації крізь шар і яка витрачається на нагрівання матеріалу і випаровування вологи.

Невідома величина t_2 визначається з рівняння теплообміну:

$$C_{Tv}C_p(t_1 - t_2) = \alpha F(0,5t_1 + 0,5t_2 - \theta). \quad (20)$$

В рівнянні (20) прийнято, що температура сушильного агента за висотою шару змінюється за лінійним законом, що цілком виправдано, враховуючи незначну товщину шару ($h = (3 \div 5)10^{-3}$ м).

$$t_2 = n \cdot t_1 + m\theta, \quad (21)$$

$$\text{де } n = \frac{C_{Tv}C_p - 0,5\alpha F}{C_vC_p + 0,5\alpha F}; \quad m = \frac{\alpha F}{C_{Tv}C_p + 0,5\alpha F}.$$

Підставляючи (21) в (19) після перетворень матимемо:

$$\frac{d\theta(\tau)}{d\tau} + K_T\theta = C_0t_1 + K'_n e^{-K_c\tau}, \quad (22)$$

$$\text{де } K_T = m \frac{C_{Tv}C_p}{m_0C(u)}; \quad C_0 = (1-n) \frac{C_{Tv}C_p}{m_0C(u)}; \quad K'_n = \frac{m_0r_0K_c\Delta u_0}{m_0C(u)}.$$

Розв'язок неоднорідного диференціального рівняння (22) за початкових умов $\theta|_{\tau=0} = \theta_0$ отримано у вигляді:

$$\theta(\tau) = \theta_0 e^{-K_T\tau} + \frac{1-n}{m} (1 - e^{-K_T\tau}) + \frac{K'_n}{K_T - K_c} (e^{-K_c\tau} - e^{-K_T\tau}). \quad (23)$$

Рівняння (18) та (23) дають можливість визначити час нагрівання матеріалу до критичної температури. При наявності залежності $\alpha(u, t)$ можливим є визначення раціональних гідродинамічних і температурних режимів, що забезпечують максимальну інтенсивність попереднього нагріву матеріалу.

Зміну вихідної температури (температури відпрацьованого сушильного агента) в часі визначимо з рівняння (21) підстановкою замість θ її функціональної залежності в часі (23):

$$t_2 = n \cdot t_1 + m \cdot \theta(\tau), \quad (24)$$

$$t_2 = n \cdot t_1 + m \left[\theta_0 e^{-K_T\tau} + \frac{1-n}{m} (1 - e^{-K_T\tau}) + \frac{K'_n}{K_T - K_c} (e^{-K_c\tau} - e^{-K_T\tau}) \right]. \quad (25)$$

Розглянемо сушіння і нагрівання дисперсного матеріалу в рухомому шарі. Складність теплових, масообмінних і гідродинамічних процесів, що одночасно відбуваються в сушарах безперервної дії, тобто в рухомому шарі дисперсного матеріалу при взаємодії із сушильним

агентом (в режимі прямотечії, протитечії або перехресному русі) зумовлює необхідність прийняття ряду спрощуючих припущень. І в першу чергу, таким припущенням є розгляд процесів тепло- і масо переносу, які відбуваються в стаціонарному (уставленому) режимі, при якому, у випадку нерухомого шару матеріалу, його параметри і параметри сушильного агенту в кожній точці простору незмінні в часі розглядаються явно. Таке припущення [3,4] дозволяє поділити нестационарний процес сушіння у дві стадії: перехідний (пуск і вихід на заданий режим) і уставлений робочий режим при заданих параметрах руху матеріалу і сушильного агенту. Відповідно до такої методики досліджень аналізу процесу сушіння в стаціонарному режимі похідні за часом (рівняння 7-9) прирівнюються до нуля.

Для визначення перехідних процесів похідні за координатою в напрямку руху матеріалу та сушильного агенту визначаються із залежностей стаціонарного розподілу параметрів матеріалу і сушильного агенту $\theta(x), u(x), t(x), \alpha(x)$ отриманих аналітично або експериментально.

Висновки. Аналіз сучасних підходів щодо опису теоретичних положень процесу сушіння сільськогосподарських дисперсних матеріалів вказує на те, що слід поетапно виконувати розрахунок процесу зневоднення одиначної частинки (насінини), шару матеріалу, який перебуває як у нерухомому так і рухомому стані. При створенні математичних моделей процесів зневоднення та нагріву матеріалу слід приймати наступні припущення:

- усі види теплопередачі враховуються коефіцієнтом теплообміну α , величина якого усереднюється між початковими і кінцевими значеннями («мокрый» і «сухий» теплообмін);
- теплофізичні характеристики матеріалу і сушильного агенту в процесі незмінні і дорівнюють середнім значенням;
- коефіцієнт сушіння залежить лише від параметрів сушильного агенту і в розрахунках апроксимується лінійними залежностями;
- нагрів часток матеріалу є безградієнтним.

Література.

1. Дідух В.Ф. Підвищення ефективності сушіння сільськогосподарських рослинних матеріалів. Монографія. – Луцьк: ЛДТУ, 2002.–165 с.
2. Котов Б.И. Кинетика низкотемпературной сушки трав / Б.И. Котов, В.А. Яроцкий // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – Киев: 1984, вып.60. – с.66 – 69.
3. Котов Б.И. Врахування розподіленості параметрів при моделюванні динамічних режимів сушарок сільськогосподарських

матеріалів / Б.І. Котов, С. П. Степаненко, В.О. Швидя // Сільськогосподарські машини. Луцьк: 2016, вип.34. с. 74 – 80.

4. Котов Б.І. Тепло і масообмін при сушінні і охолодженні зернового матеріалу у щільному рухомому шарі / Б.І. Котов, Р.А. Калініченко, О.Д. Курганський // Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2016, №4(96) с. 64 –67.

5. Лыков А.В. Теория сушки. М. «Энергия», 1968. – 472 с.

6. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа, 1967 – 600с.

7. Гинзбург А.С. Проектирование установок для сушки пищевых продуктов. Москва: Агропромиздат, 1985. – 336 с.

8. Кришер О. Научные основы техники сушки. М.: Иностранная литература, 1961. 540 с.

9. Гайвась Б. Математичне моделювання конвективного сушіння матеріалів з урахуванням механотермодифузійних процесів // Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології . 2010, вип.12, 9-37с.

10. Рудобашта С.П. Масоперенос в системах с твердой фазой. М.: Химия,1980.248с.

11. Фролов В.Ф. Моделирование и сушка дисперсных материалов. Л.: Химия, 1987. – 208 с.

12. Рудобашта С.П. Кинетический расчет процесса конвективной сушки дисперсных материалов //Тепломассообмен – ММФ – 2000. IV Минский международный форум по тепломассообмену 22-26 мая 2000 г. Т.9. Тепломассообмен в процессах сушки. Минск: ИТМО им. А.В. Лыкова АН Р. Беларусь. 2000. С. 41-48.

13. Любошиц И.Л. Сушка дисперсных термочувствительных материалов / И.Л. Любошиц, А.С. Слободкин, И.Ф. Пикус. – Минск: Наука и техника, 1969. – 214 с.

14. Романков П.Г. Массообменные процессы химической технологии (системы с дисперсной твердой фазой). – Ленинград: «Химия»,1990 – 384 с.

15. Егоров П.Е. Исследование процесса сушки семян трав в плотном слое. Автореф. дис. канд. техн. наук. – М.: ВИМ, 1975. – 21 с.

Рецензент д.т.н. Дідух В.Ф.

УДК 633.521:631.172

©А.С. Лімонт, к. т. н., О. С. Поліщук
Житомирський агротехнічний коледж

©О. Б. Плужніков

Житомирський національний агроекологічний університет

АГРОЛАНДШАФТИ ПОЛІССЯ І ВИКОРИСТАННЯ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКУ В УМОВАХ ВЕЛИКОТОВАРНИХ АГРАРНИХ ФОРМУВАНЬ

Охарактеризована розораність сільськогосподарських угідь великотоварних льоносіючих підприємств Житомирського Полісся, в яких в роки усталеного розвитку льонарства в Україні посівна площа льону-довгунця змінювалася від 70 до 545 га. В підприємствах розораність сільськогосподарських угідь коливалася в межах 38,2–83,1 % за коефіцієнта варіації 14,9 %. З підвищенням розораності в досліджуваних межах рівень виконання сівби льону-довгунця в оптимальний агротехнічний строк і річний наробіток умовного еталонного трактора сповільнено зростають за гіперболічними кривими, сягаючи відповідних асимптотичних значень.

АГРОЛАНДШАФТ, СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ УГІДДЯ, РОЗОРАНІСТЬ, МАШИННО-ТРАКТОРНИЙ ПАРК, ВИКОРИСТАННЯ, ЛЬОН-ДОВГУНЕЦЬ, СІВБА, АГРОТЕХНІЧНИЙ СТРОК, ТРАКТОР, НАРОБІТОК.

Постановка проблеми. За відповідними відомостями сучасні агроландшафти– це системи різних елементів агроecosистем, основу яких становлять сільськогосподарські угіддя (рілля, сіножаті, пасовища, багаторічні насадження), ліси, чагарники, природні луки, болота, торфовища та штучні лісові насадження, зокрема лісосмуги. До агроландшафтів відносять і розташовані на територіях агроecosистем дороги, комунікації та будівельні споруди. Агроландшафти аграрних підприємств крім інших показників оцінюють розораністю сільськогосподарських угідь. Сільськогосподарські угіддя поділяють на дві групи: дестабільні, що включають орні землі (рілля) і сади, та середовищестабілізуючі угіддя, до яких відносять природні кормові угіддя (сіножаті і пасовища) та ліси і лісосмуги. Частка ріллі (%) в структурі сільськогосподарських угідь визначає їхню розораність. За даними різних науковців [1, 2, 3, 4] з урахуванням зональних особливостей і опрацьованого комплексу протиерозійних заходів розораність має бути в межах 33–57,9 %, перевищення якої призводить до деградації ґрунтів. З підвищенням розораності земель в

адміністративних районах Житомирської області від 49,9 до 85,0 % рівень родючості угідь зростає від 16,3 до 34,3 балів, але дослідники [5] зауважують, що високе господарське освоєння земельного фонду без належних заходів його охорони і відтворення спричинює щораз більшу деградацію земель.

Розораність сільськогосподарських угідь можна розглядати і як один із чинників, що визначає використання машинно-тракторного парку (МТП) сільськогосподарських підприємств. Проте в проблемі підвищення ефективності використання МТП такі питання поки що ще повністю не з'ясовані і в пропонованому повідомленні передбачено висвітлити деякі з них.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розширення площі ріллі в конкретних підприємствах, що супроводжувалося відповідним підвищенням розораності сільськогосподарських угідь, здійснювали для збільшення площі посівів сільськогосподарських культур та укрупнення полів [3]. Укрупнення полів сприяло зростанню довжини гонів, що визначають і характеризують умови використання машинно-тракторних агрегатів (МТА) в рослинництві [6, 7, 8]. Збільшення розмірів (площі) оброблюваних МТА полів супроводжується зниженням затрат часу на підготовчо-заключні роботи в структурі часу зміни використання агрегатів [7]. Із збільшенням довжини гонів підвищується продуктивність МТА та знижується погектарна витрата палива [7, 8, 9].

Один із основоположників наукових основ використання машин в рослинництві акад. Б. С. Свірщевський [10] серед показників машиновикористання на перше місце ставив виконання механізованих робіт у визначені агротехнічні строки. За Б. С. Свірщевським серед показників машиновикористання чільне місце займає і річний наробіток на один умовний трактор. Тривалий час провідною та характерною і традиційною сільськогосподарською культурою в поліських районах Житомирської області був льон-довгунець. Тому в цьому дослідженні рівень виконання сівки льону-довгунця в оптимальний агротехнічний строк та річний наробіток умовного еталонного трактора були прийняті за результативні ознаки. За факторіальну ознаку була прийнята розораність сільськогосподарських угідь. Огляд досліджень і публікацій засвідчив, що в літературних джерелах відсутня інформація щодо впливу розораності сільськогосподарських угідь на прийняті в дослідженні результативні ознаки. Окремі напрацювання у цьому напрямі є в одного з авторів цього повідомлення [11, 12]. Вважаємо, що наведену в [11, 12] інформацію варто доповнити відомостями про опрацювання зібраних

статистичних даних та одержання відповідних модельних рівнянь регресії і їх графічного подання з наступним тлумаченням.

Мета дослідження полягала у з'ясуванні ефективності використання МТП залежно від розораності сільськогосподарських угідь в умовах великотоварних аграрних формувань. *Завдання дослідження:* 1) проаналізувати розподіли розораності сільськогосподарських угідь та рівня виконання сівби (РВС) льону-довгунця в оптимальний агротехнічний строк (ОАТС) і річного наробітку умовного еталонного трактора; 2) визначити і пізнати вплив розораності сільськогосподарських угідь на РВС льону-довгунця в ОАТС та річний наробіток умовного еталонного трактора; 3) дослідити кількісну зміну РВС льону-довгунця в ОАТС та річного наробітку умовного еталонного трактора залежно від розораності сільськогосподарських угідь.

Об'єкт дослідження – використання МТП в 52 великотоварних аграрних формуваннях Житомирського Полісся, які вирощували льон-довгунець на площі від 70 до 545 га в роки усталеного і за державної підтримки розвитку льонарства в Україні. Розораність сільськогосподарських угідь визначали як частку ріллі у відсотковому відношенні до загальної їх площі. Площі сільськогосподарських угідь і ріллі та річного наробітку умовного еталонного трактора в розрізі окремих підприємств вибирали із матеріалів їх державної звітності.

Рівень виконання сівби льону-довгунця в оптимальний агротехнічний строк визначали як відношення фактично виконаного обсягу посівних робіт впродовж оптимальної агротехнічної тривалості їх виконання до загального планового обсягу вказаних робіт. Вихідні дані вибирали з інформації, що наводилася у статистичній звітності підприємств та матеріалах біжучого господарського обліку механізованих робіт. За оптимальну агротехнічну тривалість сівби льону-довгунця прийнято 4 робочі дні [13].

Обробка зібраних і опрацьованих даних здійснена з використанням дисперсійного і кореляційно-регресійного аналізів [14, 15] та стандартних комп'ютерних програм.

Результати дослідження. Розмах варіювання, середні арифметичне значення і квадратичне відхилення, коефіцієнт варіації, показники міри асиметрії і ексцесу розподілів розораності сільськогосподарських угідь $P_{уг}$, РВС льону-довгунця в ОАТС $P_{ар}$ і річного наробітку умовного еталонного трактора W_p наведені в таблиці.

Таблиця – Основні статистичні показники розподілів розораності сільськогосподарських угідь та рівня виконання сівби (РВС) льону-довгунця в оптимальний агротехнічний строк (ОАТС) і річного наробітку умовного еталонного трактора (у.е.т.)

Показник	Розораність сільськогосподарських угідь $P_{уг}$, %	РВС льону-довгунця в ОАТС $P_{агр}$, соті частки одиниці (с.ч.о.)	Річний наробіток у.е.т. W_p , умовні еталонні гектари (у.е.га)
Розмах варіювання	38,2–83,1	0,38–0,97	897–2576
Середнє арифметичне значення	65,5	0,59	1602
Середнє квадратичне відхилення	9,75	0,14	391,4
Коефіцієнт варіації, %	14,9	23,7	24,4
Показник міри:			
– асиметрії	–0,37	0,79	0,61
– ексцесу	–0,56	–0,33	0,44
Відношення показника міри до його середнього квадратичного відхилення для:			
– асиметрії	1,09	2,32	1,78
– ексцесу	0,82	0,48	0,65
χ^2 -критерій Пірсона:			
– спостережуваний	2,1	10,1	3,2
– критичний (табличний)	3,8	10,8	3,8
на рівні ймовірності	0,95	0,999	0,95
для числа ступенів вільності	1	1	1

За визначеними показниками міри асиметрії розподіл розораності сільськогосподарських угідь можна вважати слабкоасиметричним, а розподіли РВС льону-довгунця в ОАТС і річного наробітку умовного еталонного трактора – середньоасиметричними. Ексцесивність досліджуваних розподілів можна вважати слабкою [14]. За відношеннями показників міри асиметрії і ексцесу до своїх середніх квадратичних відхилень скошеність і пологість досліджуваних розподілів незначучо відмінні від нормального.

Перевірку узгодженості емпіричних розподілів $P_{уг}$, $P_{агр}$ і W_p з нормальним здійснили з використанням χ^2 -критерію Пірсона.

Результати перевірки наведені в тій же таблиці. Наприклад, для емпіричного розподілу $P_{\text{уг}}$ з урахуванням об'єднання двох крайніх сусідніх часткових інтервалів в один спостережуваний χ^2 -критерій дорівнює 2,1. За таблицею квантилів χ^2 -розподілу на рівні ймовірності $P=0,95$ та числа ступенів вільності $\nu=1$ критичний χ^2 -критерій становить 3,8 [14]. Оскільки спостережуваний критерій не перевищує критичного значення на прийнятому рівні ймовірності, то відсутні підстави для відхилення нульової гіпотези про нормальний закон розподілу розораності сільськогосподарських угідь:

Для з'ясування впливу розораності сільськогосподарських угідь на РВС льону-довгунця в ОАТС та річний наробіток умовного еталонного трактора здійснили дисперсійний аналіз експериментальних даних за схемою нерівномірного однофакторного комплексу [14]. При дослідженні кожної із результативних ознак число ступенів вільності факторіальної дисперсії (чисельник) становило $\nu_1=4$, а випадкової (знаменник) – $\nu_2=47$. Відношення першої дисперсії до другої, як відомо, визначає спостережуваний (розрахунковий) F -критерій (F_p). Виявилось, що стосовно РВС льону-довгунця в ОАТС $F_{\text{pp}}=1,56$, а річного наробітку умовного еталонного трактора – $F_{\text{рт}}=2,26$. Якщо розрахунковий F -критерій перевищує критичне значення F -критерію $F_{\text{кр}}$, взятого із таблиці квантилів F -розподілу з урахуванням числа ступенів вільності для чисельника і числа ступенів вільності для знаменника на відповідній ймовірності, то вплив досліджуваного фактора (в нашому випадку розораності сільськогосподарських угідь) на результативні ознаки визнають значущим на цій ймовірності. Значущість впливу розораності сільськогосподарських угідь на РВС льону-довгунця в ОАТС доведена з ймовірністю 0,75, оскільки за такої ймовірності критичний (табличний) F -критерій за числа ступенів вільності чисельника $\nu_1=4$ і знаменника $\nu_2=40$ і $\nu_2=60$ дорівнює відповідно 1,40 і 1,38 [15], тобто

$$F_{\text{pp}} = 1,56 > F_{0,75} = \begin{cases} 1,40 \\ 1,38 \end{cases} \text{ при } \nu_1 = 4 \text{ і } \nu_2 = \begin{cases} 40 \\ 60 \end{cases}.$$

Що стосується значущості впливу розораності сільськогосподарських угідь на річний наробіток умовного еталонного трактора, то вона доведена з ймовірністю 0,90, за якої при зазначених вище числах ступенів вільності критичний (табличний) F -критерій дорівнює відповідно 2,09 і 2,04 [15], тобто

$$F_{\text{рт}} = 2,26 > F_{0,90} = \begin{cases} 2,09 \\ 2,04 \end{cases} \text{ при } \nu_1 = 4 \text{ і } \nu_2 = \begin{cases} 40 \\ 60 \end{cases}.$$

Напряг впливу факторіальної ознаки на зміну результативних встановлено кореляційним аналізом. Якісний зв'язок між РВС льону-довгунця в ОАТС $P_{\text{агр}}$ та річним наробітком умовного еталонного трактора W_p і розораністю сільськогосподарських угідь $P_{\text{уг}}$ на підставі розрахунків визначає коефіцієнт кореляції відповідно 0,332 і мінус 0,072 за кореляційних відношень результативних ознак по факторіальній в тій же послідовності 0,376 і 0,400. З урахуванням цього з підвищенням розораності сільськогосподарських угідь $P_{\text{агр}}$ і W_p зростають за криволінійними залежностями. На нелінійність зв'язку між $P_{\text{агр}}$ та W_p і $P_{\text{уг}}$ вказує перевірка за t -критерієм Стьюдента. Розрахунки показали, що спостережувані t -критерії перевищують критичні на рівні ймовірності 0,95 за числа ступенів вільності 3 [14].

Для з'ясування характеру зв'язку між $P_{\text{агр}}$ та W_p і $P_{\text{уг}}$ здійснили вирівнювання «експериментальних» значень РВС льону-довгунця в ОАТС та річного наробітку умовного еталонного трактора прямолінійними залежностями з додатними кутовими коефіцієнтами, логарифмічними і степеневими функціями та сповільнено зростаючими гіперболами з визначенням для кожної із залежностей R^2 -коефіцієнта. За значенням R^2 -коефіцієнта найкраще вирівнювання забезпечила апроксимація «експериментальних» даних рівняннями гіпербол зворотного зв'язку.

Зміна рівня виконання сівби льону-довгунця в оптимальний агротехнічний строк $P_{\text{агр}}$ (соті частки одиниці) залежно від розораності сільськогосподарських угідь $P_{\text{уг}}$ (%) за здійсненими розрахунками і проведеним аналізом описується таким рівнянням сповільнено зростаючої гіперболи:

$$P_{\text{агр}} = 0,883 - 18,61 / P_{\text{уг}} \quad (1)$$

при $r=0,332$; $\eta=0,376$; $R^2=0,834$; $\lambda_{\text{пв}}=0,002$; $S_y=0,13$ і $k_d=0,141$,

де r – коефіцієнт кореляції між результативною ознакою (тут РВС льону-довгунця в ОАТС) і розораністю сільськогосподарських угідь;

η – кореляційне відношення результативної ознаки (тут РВС льону-довгунця в ОАТС) по факторіальній (розораності сільськогосподарських угідь);

R^2 – коефіцієнт, що визначає вірогідність апроксимації «експериментальних» значень результативної ознаки (тут РВС льону-довгунця в ОАТС) рівнянням (1);

$\lambda_{\text{пв}}$ – показник оцінювання вирівнювання «експериментальних» значень результативної ознаки (тут РВС льону-довгунця в ОАТС) рівнянням (1);

S_y - помилка рівняння (1) криволінійної регресії результативної ознаки (тут РВС льону-довгунця в ОАТС) по розораності сільськогосподарських угідь;

k_d – коефіцієнт детермінації, що визначає силу впливу факторіальної ознаки на результативну.

За коефіцієнтом детермінації $k_d=0,141$ можна зробити висновок щодо впливу розораності сільськогосподарських угідь на РВС льону-довгунця в ОАТС. Розораність сільськогосподарських угідь на 14,1 % визначає варіювання РВС льону-довгунця в ОАТС, а решту 85,9 % неоясненної дисперсії характеризує вплив інших неврахованих в цьому дослідженні факторів.

Кількісну зміну річного наробітку умовного еталонного трактору W_p (у.е.га) залежно від розораності сільськогосподарських угідь P_{yr} (%) характеризує таке рівняння:

$$W_p = 2153,95 - 36764,17 / P_{yr} \quad (2)$$

при $r=-0,072$; $\eta=0,400$; $R^2=0,307$; $\lambda_{пв}=0,145$; $S_y=358,7$ у.е.га і $k_d=0,160$.

Значення коефіцієнта $\lambda_{пв}$, який являє відношення основної помилки вирівнювання «експериментальних» значень річного наробітку умовного еталонного трактора гіперболою (2) до середнього значення W_p , дещо перевищує 0,1, що визначає умову задовільного вирівнювання. За першим членом рівняння (2), який є асимптотою гіперболи, за рахунок розораності сільськогосподарських угідь можливо досягти річного наробітку умовного еталонного трактора 2154 у.е.га, що у 1,34 раза перевищує середнє арифметичне значення емпіричного розподілу W_p . За значенням коефіцієнта детермінації $k_d=0,160$, що визначає силу впливу розораності сільськогосподарських угідь на річний наробіток умовного еталонного трактора, із сукупного впливу різних факторів, які визначають річну продуктивність тракторного парку, на частку фактора «розораність сільськогосподарських угідь» припадає 16 %.

На рисунку наведені полігони і криві нормального розподілу досліджуваних ознак та криві зміни рівня виконання сівби льону-довгунця в ОАТС і річного наробітку умовного еталонного трактора залежно від розораності сільськогосподарських угідь, що побудовані за рівняннями (1) і (2).

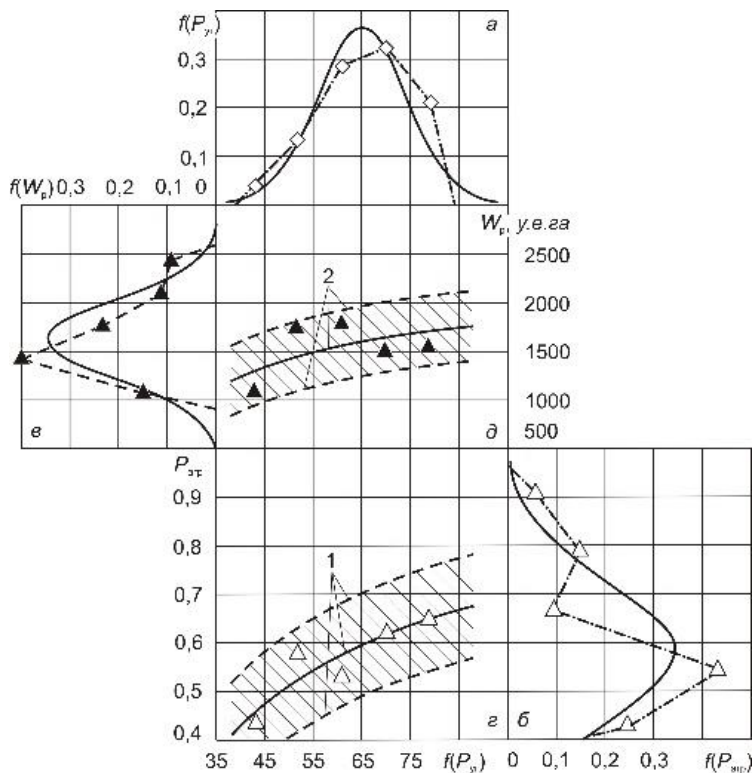


Рис. – Полігони і криві нормального розподілу: *а*) розораності сільськогосподарських угідь $P_{гр}$; *б*) рівня виконання сівби (РВС) льону-довгунця в оптимальний агротехнічний строк (ОАТС) $P_{гр}$; *в*) річного наробітку умовного еталонного трактора (у.е.т.) W_p та зміна: *г*) РВС льону-довгунця в ОАТС $P_{гр}$ (1) і *д*) річного наробітку у.е.т. W_p (2) залежно від розораності сільськогосподарських угідь $P_{гр}$

На кривих $P_{гр}$ і W_p залежно від $P_{гр}$ наведені відповідні заштриховані зони, які визначають межі зміни РВС льону-довгунця в ОАТС і річного наробітку умовного еталонного трактора з урахуванням помилок рівнянь (1) і (2) криволінійної регресії.

Висновки. Досліджена ефективність використання МТП в умовах 52 великотоварних аграрних формувань поліської зони Житомирської області, в яких посівна площа льону-довгунця в роки усталеного і за державної підтримки розвитку льонарства в Україні

коливалася від 70 до 545 га за розораності сільськогосподарських угідь в межах 38,2–83,1 %. Між рівнем виконання сівби льону-довгунця в оптимальний агротехнічний строк та річним наробітком умовного еталонного трактора і розораністю сільськогосподарських угідь виявлений кореляційний зв'язок, що оцінюється кореляційними відношеннями результативних ознак по факторіальній відповідно 0,376 і 0,400. Значущість впливу розораності сільськогосподарських угідь на оцінні показники ефективності використання МТП доведена на підставі результатів дисперсійного аналізу. Значущість впливу розораності сільськогосподарських угідь на рівень виконання сівби льону-довгунця в оптимальний агротехнічний строк і річний наробіток умовного еталонного трактора з'ясована з ймовірністю відповідно 0,75 і 0,90. Зміна рівня виконання сівби льону-довгунця в оптимальний агротехнічний строк та річного наробітку умовного еталонного трактора залежно від розораності сільськогосподарських угідь описується сповільнено зростаючими гіперболами. З підвищенням розораності сільськогосподарських угідь понад 50 % зростання рівня виконання сівби льону-довгунця в оптимальний агротехнічний строк і річного наробітку умовного еталонного трактора уповільнюється. Одержані результати досліджень опосередковано свідчать про агроекологічну доцільність визначеного вченими агрономічного спрямування [1, 2, 3, 4] обмеження розораності сільськогосподарських угідь та вченими-економістами [5] характеру зміни родючості угідь залежно від розораності земель.

Напрямок подальших розвідок на нашу думку має бути спрямований на розкриття змісту інноваційної технології виробництва рошенцевої льонотрести як однієї з умов сприяння відродженню льонарства в Україні [16].

Література

1. Особливості програмування агроєкосистем Полісся / В.П. Стрельченко, А.М. Бовсуновський, О.П. Стецюк, М.В. Налапко // Вісн. аграр. науки. – 1999. – № 10 – С. 21–24.
2. Булигін С.Ю. Формування просторової бази землеробства 21-го сторіччя / С.Ю. Булигін // Вісн. Харків. держ. аграр. ун-ту. «Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство» – Харків, 1999. – № 2. – С. 20–25.
3. Сайко В.Ф. Проблеми раціонального використання земельного фонду України / В.Ф. Сайко // Землеробство. – К.: Урожай, 1996. – Вип. 71. – С. 3–10.
4. Зубець М.В. Ерозія: стан та шляхи розв'язання проблеми / М.В. Зубець, С.А. Балюк, Д.О. Тімченко // Вісн. аграр. науки. – 2008. –

№ 3. – С. 8–12.

5. Микитюк В.М. Формування продовольчої безпеки в Україні: регіональний аспект: монографія / В.М. Микитюк, О.В. Скидан. – Житомир: Вид-во Держ. агроєколог. ун-ту, 2005. – 248 с.

6. Киртбая Ю.К. Основы теории использования машин в сельском хозяйстве / Киртбая Ю.К. – М.: Машгиз, 1957. – 278 с.

7. Киртбая Ю.К. Основы комплексной механизации сельского хозяйства / Киртбая Ю.К. – К.: Вид-во Укр. акад. с.-г. наук, 1961. – 209 с.

8. Саакян Д.Н. Система показателей комплексной оценки мобильных машин / Саакян Д.Н. – М.: Агропромиздат, 1988. – 415 с.

9. Типові норми продуктивності машин і витрати палива на збиранні сільськогосподарських культур / [Вітвіцький В.В., Демчак І.М., Пивовар В.С. та ін.]. – К.: НДІ «Укראгропромпродуктивність», 2005. – 544 с.

10. Свищевский Б.С. Эксплуатация машинно-тракторного парка / Свищевский Б.С. – М.: Сельхозгиз, 1958. – 660 с.

11. Лімонт А.С. Розораність сільськогосподарських угідь та результативність машинно-тракторного парку / А.С. Лімонт // Вісн. Житомир. нац. агроєколог. ун-ту. – Житомир, 2008. – № 2. – С. 118–129.

12. Лімонт А.С. Ефективність інженерної служби з використання машин в рослинництві: монографія / Лімонт А.С. – Житомир: Полісся, 2009. – 196 с.

13. Лімонт А.С. Технологічна ефективність оптимальної тривалості сівби льону-довгунця / А.С. Лімонт // Сільськогосподарські машини зб. наук. ст. – Луцьк: РВВ Луцького нац. техн. ун-ту, 2009. – Вип. 18. – С. 222–229.

14. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении: учеб. пособ. / Дмитриев Е.А. – М.: Изд-во Москов. ун-та, 1972. – 292 с.

15. Хикс Ч. Основные принципы планирования эксперимента / Хикс Ч.; пер. с англ. Т.И. Голиковой, Е.Г. Коваленко, Н.Г. Микешинной; под ред. В.В. Налимова. – М.: Мир, 1967. – 407 с.

16. Технологічні аспекти відродження льонарства в Україні / [В.М. Нелеп, О.М. Головня, О.В. Романюк, О.А. Дейнека] // Агроінком. – 2008. – № 11–12. – С. 27–30.

Рецензент д.т.н. Грабар І.Г.

УДК 62.629.369

© О.О. Налобіна, д.т.н.

Національний університет водного господарства та природокористування

В.Л. Мартинюк, к.т.н., В.С. Пуць, к.т.н.

Луцький національний технічний університет

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ АВТОМОБІЛЬНОГО КРАНА

У статті запропоновано методику встановлення функціонально-конструктивних елементів з найменшою надійністю для автомобільного крана, яка базується на основах системного аналізу технічних систем.

НАДІЙНІСТЬ, КРАН АВТОМОБІЛЬНИЙ, ЙМОВІРНІСТЬ, СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ, МЕТОД, МЕТОДОЛОГІЯ, РУЙНУВАННЯ

Постановка проблеми. Важливою та актуальною проблемою сучасного машинознавства є підвищення якості та надійності машин. Забезпечення надійності потребує вирішення ряду науково-практичних задач :

– розробка та апробація удосконаленої методики прогнозування показників надійності, яка б дозволила зменшити ступінь невизначеності та ризиків неповного врахування факторів зовнішнього впливу на розвиток і прояв дефектів;

– виявлення місць найбільш ймовірного прояву дефектів конструкції.

Вирішення даних задач потребує здійснення системного аналізу процесу експлуатації. Основою для проведення системного аналізу є експериментальні дані, отримані за допомогою сучасних методів діагностичного контролю прояву дефектів, зокрема, з використанням методу неруйнівного контролю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вирішенню проблем забезпечення і підвищення довговічності, надійності і безпеки експлуатації зварних кранових металоконструкцій присвятили свої дослідження такі видатні вчені, як Волков Д.П. [1], Вонсовський С.В. [2], Дубов А.А. [3], Соколов С.А., [4], Котельников В.С. [5], Шишков Н.А. [6], Невзоров Л.А. [7] і багато інших. У роботах наголошується, що зварні несучі металоконструкції вантажопідіймальних кранів, не зважаючи на значні конструктивні та

інші відмежування (зовнішній вигляд, принцип дії, область застосування), мають між собою багато спільного:

- являють собою складні зварні конструкції з трубчастого, пустотілого прямокутного або кутового прокату;
- виготовляються переважно з маловуглецевих і низьколегованих сталей;
- використовують в якості основних стикові і кутові зварні з'єднання;
- мають ряд сильно навантажених вузлів, в яких за певних умов (динамічні навантаження і т.п.) можуть виникати небезпечні локальні зони концентрації напружень з проходженням місцевої пластичної деформації.

Роботи Кузнецова В.В. [8], Біргера І.Н. [9], Горохова Є.В. [10], Маковського А.М. [11], Фролова П.Т. [12] присвячені дослідженню вантажопідійомних кранів, які відносяться до об'єктів підвищеної небезпеки, тому їх технічний стан в процесі експлуатації періодично піддається контролю із застосуванням оглядів і обстежень. Авторами встановлено, що обстеження конструкцій в процесі експлуатації проводиться з метою отримання необхідних даних для оцінки технічного стану та прийняття проектних рішень з ремонту, реконструкції або рішень щодо продовження терміну служби об'єкта. Необхідність у таких обстеженнях виникає при тривалих термінах експлуатації.

Аналіз відомих досліджень виявив, що підвищення ефективності роботи кранів залежить суттєво від якості їх конструкції. Якість крана, у значній мірі, визначається його надійністю. Зі збільшенням надійності крана зростає час між ремонтами. Чим вища надійність, тим менше часу витрачається на його обслуговування. Надійність крана закладається на стадіях проектування та виготовлення, проявляється у процесі його експлуатації. Надійність не є сталою величиною на протязі строку експлуатації. Деталі спрацьовуються, що веде до зменшення надійності конструкції.

Надійність – складна властивість крана, яка складається з безвідмовності, ремонтпридатності, довговічності. На даний час зустрічаються різні за своєю методологічною основою методики оцінювання та прогнозування вище згаданих критеріїв надійності. За даними таких досліджень складають звіти, які можуть використовуватись різними установами, що використовують автомобільні крани, з метою оцінки відповідності надійності автомобільних кранів встановленим нормам і тенденції їхніх змін.

Для забезпечення надійності потрібен ряд заходів, які дозволяють більш ефективно продовжити строк служби кранів. Дана задача повинна вирішуватись декількома шляхами:

- розробка надійних конструкційних елементів;
- розробка методології оцінки надійності, що базується на системному аналізі процесу експлуатації кранів.

Саме другий напрямок обрано нами за **мету роботи**, яку сформульовано наступним чином:

Мета дослідження: базуючись на методологічних підходах системного аналізу та результатах експертиз, виконаних із використанням методу неруйнівного контролю, виявити функціонально-конструктивні елементи з найменшою надійністю для автомобільного крана.

Результати дослідження. Крани – обладнання підвищеної небезпеки. Автомобільні крани, у порівнянні з іншими, мають високу ступінь ризику. У даній роботі пропонується системний підхід до створення ситуаційної моделі виявлення найбільш небезпечних вузлів і надаються результати оцінювання втрати роботоздатності.

Розглянемо складну технічну систему – «Автомобільний кран».

З метою проведення аналізу типових відмов і оцінювання їхнього впливу на втрату роботоздатності крана проведемо декомпозицію досліджуваної системи. Виділимо основні блоки автомобільного крана. Зауважимо при цьому, що для спрощення декомпозиційної моделі ми врахували лише ті структурні блоки, де злами було зафіксовано найчастіше (рис. 1). Аналіз активності декомпозиційних блоків проводимо за наступними показниками:

- $P_i(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи блоку;
- $Q_i(t)$ – ймовірність відмов.

Розрахунок даних характеристик виконували на базі статистичних даних, зібраних на протязі трьох років на державному підприємстві «Рівненський експертно-технічний центр Держпраці» (випробувальна лабораторія діагностики та неруйнівного контролю).

Ймовірність відмов для кожної складової блоку 1 – «Рамні конструкції» (рис. 1):

1. Відмови через тріщини в опорній рамі:

$$Q_{11}(t) = n_{11} / n_{заг1} = 9 / 11 = 0,82,$$

де n_{11} – кількість одиниць техніки, у яких виявлено тріщини в опорній рамі, $n_{заг1}$ – загальна кількість одиниць техніки, у яких виявлено дефект чи пошкодження в блоці №1 «Рамні конструкції»

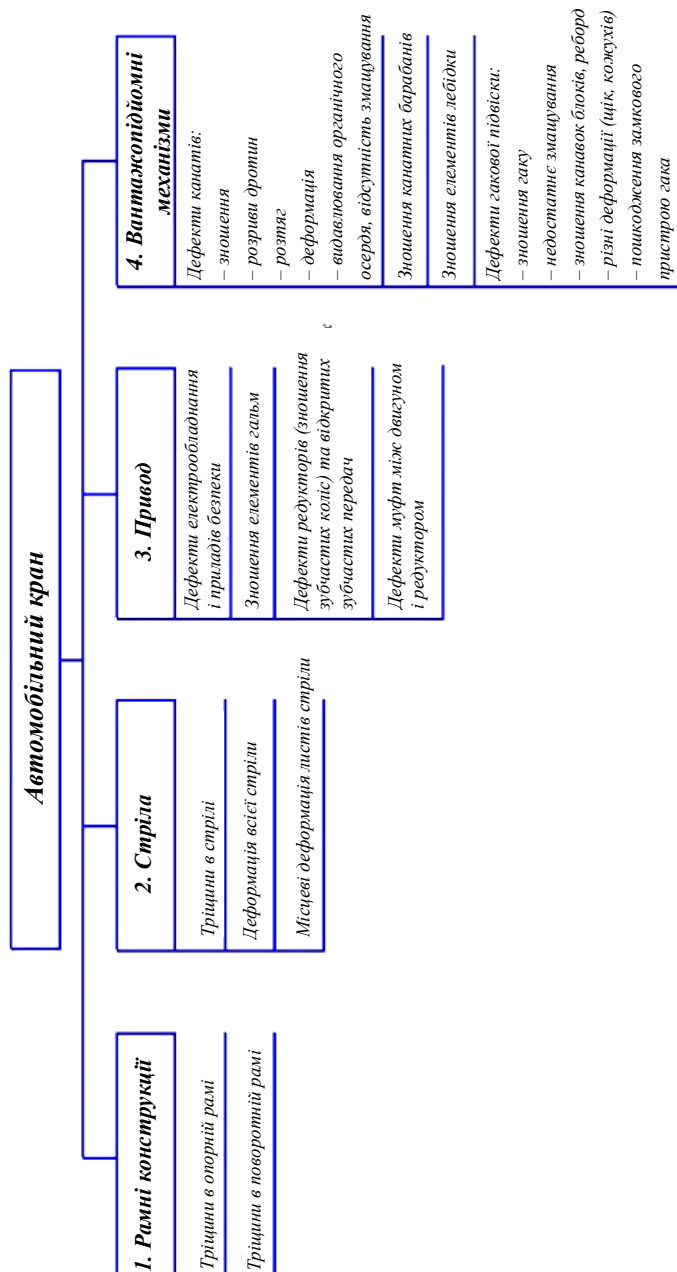


Рис. 1 – Декомпозиційна модель автомобільного крана

2. Відмови поворотної рами через появу тріщин:

$$Q_{12}(t) = n_{12} / n_{заг} = 2 / 11 = 0,18,$$

де n_{12} – кількість одиниць техніки, у яких виявлено тріщини в поворотній рамі.

Ймовірність безвідмовної роботи кожної складової блоку 1:

3. Робота без відмов в опорній рамі:

$$P_{11}(t) = 1 - Q_{11}(t) = 1 - 0,82 = 0,18.$$

4. Робота без відмов в поворотній рамі:

$$P_{12}(t) = 1 - Q_{12}(t) = 1 - 0,18 = 0,82.$$

5. Загальна ймовірність безвідмовної роботи блоку 1:

$$P_{заг}(t) = P_{11}(t) \cdot P_{12}(t) = 0,18 \cdot 0,82 = 0,15.$$

6. Загальна ймовірність відмови у роботі блоку 1:

$$Q_{заг}(t) = 1 - P_{заг}(t) = 1 - 0,15 = 0,85.$$

Аналогічний розрахунок проведено для блоків 2, 3 та 4. Отримані результати наведено в таблиці.

Таблиця – Результати теоретичних розрахунків

Для блоку 1			
Показник	Роки		
	2013	2014	2015
1	2	3	4
Кількість одиниць техніки у яких виявлено дефект чи поломку, $n_{заг}$	11	3	8
Загальна ймовірність відмови, $Q_{заг}(t)$	0,85	0,87	0,89
Загальна ймовірність безвідмовної роботи, $P_{заг}(t)$	0,15	0,13	0,11
Для блоку 2			
Показник	Роки		
	2013	2014	2015
Кількість одиниць техніки у яких виявлено дефект чи поломку, $n_{заг}$	37	46	28
Загальна ймовірність відмови, $Q_{заг}(t)$	0,85	0,86	0,85
Загальна ймовірність безвідмовної роботи, $P_{заг}(t)$	0,15	0,14	0,15

Продовження таблиці

1	2	3	4
Для блоку 3			
	2013	2014	2015
Кількість одиниць техніки у яких виявлено дефект чи поломку, $n_{заг}$	83	104	66
Загальна ймовірність відмови, $Q_{заг}(t)$	0,7	0,7	0,7
Загальна ймовірність безвідмовної роботи, $P_{заг}(t)$	0,3	0,3	0,3
Для блоку 4			
	2013	2014	2015
Кількість одиниць техніки у яких виявлено дефект чи поломку, $n_{заг}$	119	149	92
Загальна ймовірність відмови, $Q_{заг}(t)$	0,77	0,77	0,77
Загальна ймовірність безвідмовної роботи, $P_{заг}(t)$	0,23	0,23	0,23

Очевидно, що відмова окремого елемента не завжди є кінцевою подією. Виразимо ймовірність появи пікової події через ймовірність кінцевих подій. Подамо графічно дану залежність (рис. 2) у вигляді дерева відмов.

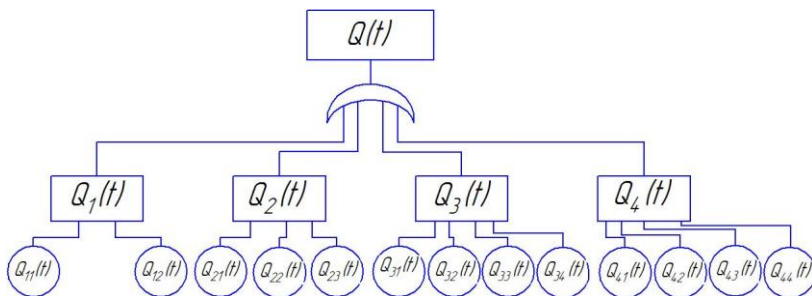


Рис. 2 – Дерево відмов автомобільного крана

Дана модель – «дерево» дає можливість формалізувати подальші дослідження, а саме оцінити вплив кожного декомпозиційного блоку на формування показника $Q(t)$.

Оцінку динаміки зміни визначених показників надійності наведено у вигляді графічних залежностей (рис. 3 – 5) .

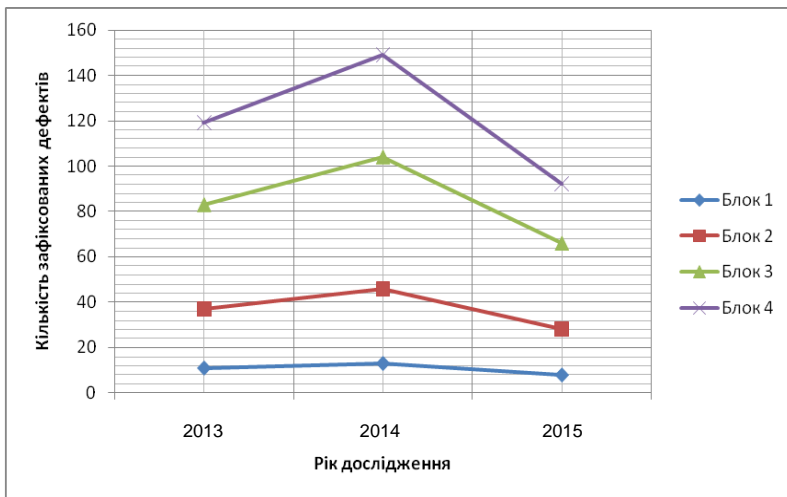


Рис. 3 – Динаміка виникнення дефектів (зламів) конструкції автомобільного крану

Збільшення кількості зафіксованих дефектів у 2014 році, наведених на рис. 3, пояснюються незначним збільшенням кількості досліджених кранів у цьому році. У 2013 і 2015 роках кількість об'єктів дослідження була однаковою.

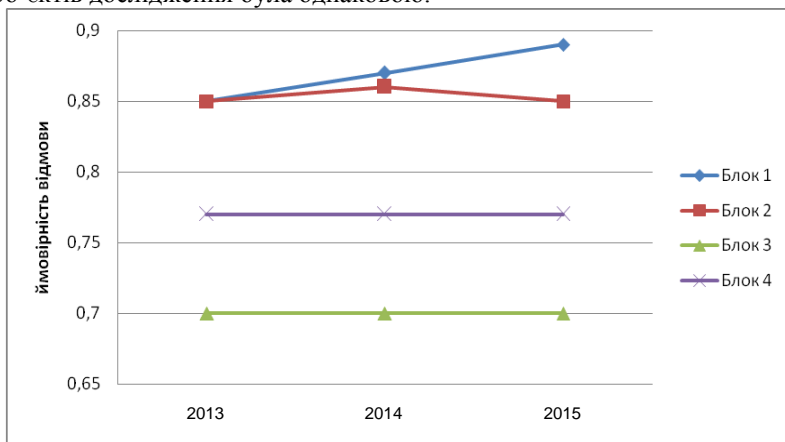


Рис. 4 – Динаміка ймовірності відмов автомобільного крану

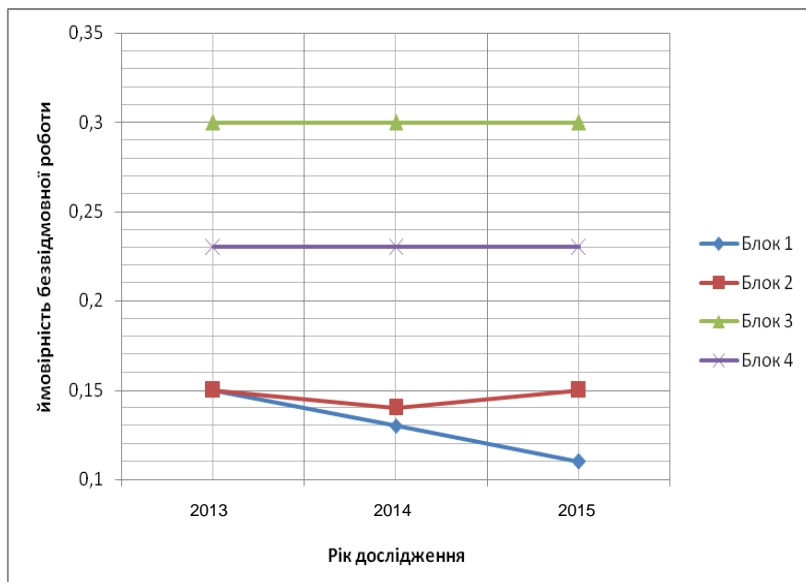


Рис. 5 – Динаміка ймовірності безвідмовної роботи автомобільного крану

Наведені вище результати досліджень дозволили виявити основні вузли, де найчастіше є прояв дефектів і оцінити надійність за показниками ймовірності відмов і безвідмовної роботи.

Висновки.

1. З метою удосконалення проведення прогнозування надійності автомобільних кранів потрібно аналізувати функціонування окремих конструктивних елементів, базуючись на основах системного аналізу як це запропоновано у роботі.

2. Базуючись на даних експертних оцінок встановлено, що кран автомобільний втрачає свою роботоздатність найчастіше через вихід з ладу вантажопідйомних механізмів.

Література

1. Волков Д.П. Строительные машины [Текст] / Д.П. Волков, С.А. Евтюков. – СПб, [Изд-во ДНК], 2002. – 376 с.
2. Вонсовский С.В. Ферромагнетизм. [Текст] / С.В. Вонсовский, Я.С. Шур. – М.Л: [ГИТЛ], 1948. – 816 с.

3. Дубов А.А. Метод магнитной памяти (ММП) металла и приборы контроля. [Текст]: Учеб. пособ. / А.А. Дубов, Ал.А. Дубов, С.М. Колокольников. – М.: [Изд-во ЗАО "Тиссо"], 2003. – 320с.
4. Соколов С.А. Прочность и долговечность металлических конструкций ПТМ. [Текст] / С.А. Соколов, Г.П. Карзов. – Л.: [ЛПИ], 1989. – 88 с.
5. V.S. Kotelnikov, Eremin A., Zaretsky A.A., Short A.A. The concept of residual life assessment of metal structures of cranes, exhaust standard period // Occupational safety in the industry. 2000. - №10. - P. 41-46.
6. Сборник нормативных и справочных документов по безопасной эксплуатации грузоподъемных машин [Текст]: в 2т. / В.С. Котельников, Н.А. Шишков, А.М. Горлин. – М.: НПО ОБТ, 1995. – 378 с.
7. Невзоров Л.А. Устройство и эксплуатация грузоподъемных кранов: учебник для нач. проф. образования / Л.А. Невзоров, Ю.И. Гудков, М.Д. Полосин. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 448 с.
8. Металлические конструкции [Текст]: в 3 т / под. общей ред. В.В. Кузнецова [ЦНИИ проект - стальнойконструкция им. М.П. Мельникова]. - М.: Изд-во АСВ, 1998. – Т.1: Общая часть. [Справочник проектировщика] / под ред. В.В. Кузнецова. – 2004. – 576 с.
9. Биргер И.А. Техническая диагностика. [Текст] / И.А. Биргер. – М.: [Машиностроение], 1978. – 240 с.
10. Горохов Е.В. Повышение долговечности металлических конструкций мостовых кранов. [Текст] / Е.В. Горохов, Н.Т. Карпенко. – Киев-Донецк: Вища шк., 1986. –145 с.
11. Маковский А.М. Диагностирование грузоподъемных кранов при автоматизированном учете их технического состояния [Текст] /А.М. Маковский, И.А. Лукьянов, К.Н. Редько, Б.П. Кожевников, Е.Е. Куренной, А.А. Русинов, П.С. Скрыпник // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2002. – № 4. – С. 6-8.
12. Фролов П.Т. Эксплуатация и испытания строительных машин [Текст] / П.Т. Фролов, И.В. Петров, М.С. Балаховский, В.П. Сергеев, В.Д. Мартынов. – М.: Высш. шк., 1970. – 392 с.
13. Перегрудов Ф.И. Основы системного анализа / Ф.И. Перегрудов, Ф.П. Тарасенко. – Томск, Изд-во «НТЛ», 2001. – 396 с.

УДК 663.52

© С. Г. Панасюк, к.т.н., В.А.Сай, к.т.н., О. В. Калахан
Луцький національний технічний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕМІЩЕННЯ ПОТОКІВ У ТАРІЛЧАСТІЙ РЕКТИФІКАЦІЙНІЙ КОЛОНІ

У статті приведено результати теоретичних досліджень процесу переміщення потоків рідини та пари на тарілках ректифікаційної колони і запропоновано математичну модель масопередачі для визначення технологічних параметрів колони.

РЕКТИФІКАЦІЯ, РЕКТИФІКАЦІЙНА КОЛОНА, ТАРІЛКА, РІДИНА, ПАРА, МАСООБМІН, МАСОПЕРЕДАЧА.

Постановка проблеми. Для проведення процесу ректифікації застосовують ректифікаційні колони, у яких відбувається розділення водно-спиртової суміші на відносно чисті компоненти на основі різниці температур кипіння. При проведенні процесу ректифікації відбувається очистка спирту-сирцю від кислот, сивушних масел, альдегідів, ефірів, а також підвищення його міцності. Ступінь поділу суміші рідин на складові компоненти, чистота одержуваного дистилляту і кубового залишку залежать від того, наскільки розвинена поверхня контакту фаз, від кількості поданої на зрошення флегми і будови контактних пристроїв ректифікаційної колони [5, 7].

Ректифікація, як і всі масообмінні процеси, пов'язана із перенесенням маси речовини (етилового спирту) із рідкої фази в парову в результаті їх безпосереднього контакту на тарілках ректифікаційної колони. Швидкість процесу масообміну та масопередачі залежить від фізичних та гідродинамічних умов протікання і визначається конструктивними особливостями контактних тарілок.

Математичне моделювання ректифікаційних колон та процесу масообміну на основі гідродинамічних режимів у них дозволяє визначити оптимальні параметри проведення процесу, отримати дані про поведінку потоків у колоні при зміні параметрів системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням та математичним моделюванням масо- і теплообмінних процесів, які відбуваються у ректифікаційних колонах, займались багато вчених [2, 3, 4, 6, 8]. У своїй праці Журавський І.М. [2] висвітлив результати дослідження впливу різних параметрів на роботу ректифікаційної колони на основі методики розрахунку колони за теоретичними ступенями розділення „від тарілки до тарілки” з урахуванням

гідравлічного опору тарілки. Робота Міщенко О.С. [2] присвячена вивченню впливу різних факторів на флегмове число ректифікаційної колони та витрату грюючої пари на основі математичного моделювання взаємозалежностей параметрів ректифікаційної колони за умови врахування гідравлічного опору масообмінних тарілок.

Обґрунтуванням та розробкою математичних моделей масо- і теплообмінних процесів займався Кафаров В.В., який у своїх працях [3, 4] висвітлив основи побудови моделей та проаналізував моделювання гідродинамічних, тепло- та масообмінних процесів.

Проведені дослідження стали основою моделювання ректифікаційних колон з метою обґрунтування їх параметрів пошуку залежностей між характеристиками процесу ректифікації та встановлення оптимальних параметрів.

Мета дослідження – описати математично рух потоків рідини та пари у тарілчастій ректифікаційній колоні з ковпачковими контактними тарілками.

Результати дослідження. В процесі ректифікації відбувається збагачення парової фази легколетким компонентом (ЛЛК), яким є етиловий спирт, в результаті барботування парової фази у рідину, розташовану та тарілці ректифікаційної колони. Утворена гетерогенна суміш складається з двох фаз: рідкої та парової, що характеризуються двома полями швидкості, температури та тиску.

Розглянемо повну ректифікаційну колону для отримання етилового спирту (рис. 1), що містить N контактних тарілок. У колону подається вихідна суміш у кількості F з концентрацією етилового спирту x_F на тарілку, розташовану між концентраційною та виснажною частинами колони.

Зверху колони відбирається пара, збагачена ЛЛК, яка проходить через дефлегматор, де частина пари конденсується і у вигляді флегми Φ повертається назад у колону, а частина направляється в холодильник, у якому конденсується, утворюючи дистилат у кількості D із вмістом ЛЛК x_D . Знизу колони відводиться кубовий залишок W із вмістом ЛЛК x_W .

Основними параметрами, які характеризують ректифікаційну колону є діаметр та висота колони, кількість контактних тарілок, міжтарілкова відстань, витрата рідини і пари. Висота колони залежить від початкової та кінцевої концентрацій ЛЛК, рушійної сили та швидкості перенесення маси речовини. Детерміноване перенесення речовини в процесі масопередачі ґрунтується на законах Фіка.

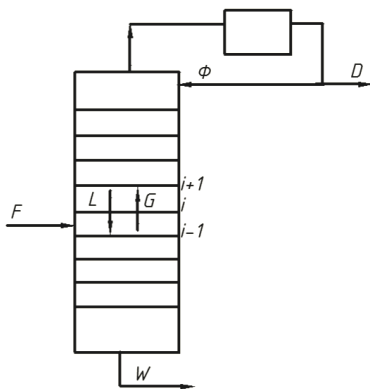


Рис.1 – Схема ректифікаційної колони

Для забезпечення контакту між паровою та рідкою фазами у ректифікаційній колоні використані багатоковпачкові тарілки. Навантаження пари і рідини повинні мати оптимальні значення, необхідні для створення активної зони контакту фаз на тарілці та уникнення «захлинання» тарілок у випадку великих швидкостей пари у вільному просторі колони або великого навантаження рідини. Міжтарілкова відстань повинна забезпечити створення умов для контакту пари та рідини, що відбувається у зонах барботажу, піни та бризок, які розташовані послідовно над тарілкою.

При моделюванні ректифікаційної колони приймемо допущення, що парова фаза є ідеальною, а рідина на тарілці повністю перемішана.

Рівняння загального матеріального балансу на контактних тарілках ректифікаційної колони можна записати у вигляді:

$$L_{i+1} + G_{i-1} + F_i = L_i + G_i + S_i, \quad (1)$$

де L_{i+1}, L_i – кількість потоку рідини відповідно на $(i+1)$ -ій та i -ій тарілках, моль/с;

G_{i-1}, G_i – кількість пари відповідно на $(i-1)$ -ій та i -ій тарілках, моль/с;

F_i – кількість рідини, що надходить зовні на i -ту тарілку, моль/с;

S_i – кількість рідини, яка відбирається з i -ої тарілки, моль/с.

Рівняння матеріального балансу за ЛЛК на контактних тарілках ректифікаційної колони:

$$L_{i+1} \cdot x_{i+1} + G_{i-1} \cdot y_{i-1} + F_i \cdot x_{Fi} = L_i \cdot x_i + G_i \cdot y_i + S_i \cdot x_{Si}, \quad (2)$$

де x_{i+1} , x_i – вміст ЛЛК у рідині відповідно на $(i+1)$ -й та i -й тарілках, мол. частки;

y_{i-1} , y_i – вміст ЛЛК у парі відповідно на $(i-1)$ -й та i -й тарілках, мол. частки;

x_{Fi} , x_{si} – вміст ЛЛК відповідно у рідині, що надходить на i -ту тарілку та у рідині, яка відбирається з i -ої тарілки, мол. частки.

Тепловий баланс ректифікаційної колони опишеться рівнянням:

$$L_{i+1} \cdot h_{i+1} + G_{i-1} \cdot H_{i-1} + F_i \cdot h_{Fi} = L_i \cdot h_i + G_i \cdot H_i + S_i \cdot h_{si}, \quad (3)$$

де h , H – ентальпії рідини та пари.

Рівняння фазової рівноваги:

$$y_i^* = K_i \cdot x_i. \quad (4)$$

де K_i – константа рівноваги.

У тарілчастій ректифікаційній колоні створюється барботажний шар, який має складну структуру і непостійну поверхню розділу фаз через виникнення циркуляційних потоків рідини в результаті диспергування пари у вигляді пухирців. Особливістю тарілчастих ректифікаційних колон є перехресний рух рідкої та парової фаз, оскільки рідина, витікаючи із живильного патрубку, переміщується до зливного вдовж тарілки, а пара виходить із прорізів ковпачків у шар рідини (рис. 2).

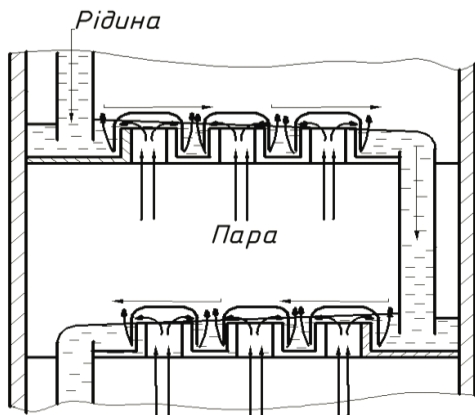


Рис. 2 – Схема руху потоків рідини і пари в тарілчастій колоні

Масопередачу на контактній тарілці можна оцінити ефективністю тарілки або коефіцієнтом корисної дії тарілки за Мерфрі, який є аналогічним до локальної ефективності у випадку ідеального перемішування:

$$\eta_m = \eta_a = \frac{y_i - y_{i-1}}{y^* - y_{i-1}}, \quad (5)$$

де y_{i-1} – склад пари, яка надходить на контактну тарілку;

y_i – склад пари, яка покидає контактну тарілку;

y^* – рівноважний склад пари;

η_m – ккд тарілки за Мерфрі;

η_a – локальна ефективність.

Відповідно до [4] для характеристики руху потоку пари у масообмінному просторі тарілки застосовується модель ідеального витіснення. Рівняння для визначення кількості речовини (поток) на вході на i -ту контактну тарілку та виході з неї можна записати у вигляді:

$$\begin{aligned} M_{Bx} = M_{i-1} &= v \cdot C_{i-1} = \omega \cdot f_1 \cdot C_{i-1} \\ M_{Bux} = M_i &= v \cdot C_i = \omega \cdot f_1 \cdot C_i \end{aligned}, \quad (6)$$

де $\omega = \frac{v}{f_0}$ – середня лінійна швидкість потоку рідини, м/с;

f_0 – переріз зони ідеального витіснення, м²;

f_1 – елементарний переріз зони потоку витіснення, м²;

v – об'ємна швидкість потоку, м³;

C_{i-1}, C_i – концентрація етилового спирту в потоці, відповідно, на вході на i -ту контактну тарілку та виході з неї, моль/м³.

Зміна концентрації етилового спирту в потоці виразиться диференціальним рівнянням :

$$\frac{dC}{d\tau} = -\omega \cdot \frac{dC}{dz}, \quad (7)$$

де z – геометричний параметр, який визначає довжину зони ідеального витіснення, м;

τ – час переміщення потоку, с.

В початковий момент часу концентрація етилового спирту в потоці пари буде визначатися довжиною зони ідеального витіснення.

Розв'язок рівняння (7), яке містить дві змінні: час τ та висоту ректифікаційної колони H при початкових умовах $C(z, 0) = C_0$, $0 \leq z \leq l$ та граничній умові $C(0, \tau) = C_0(\tau)$, $\tau > 0$ запишеться у вигляді:

$$C(x, \tau) = \begin{cases} C_0, \tau < \frac{z}{\omega} \\ C_0 \left(\tau - \frac{H}{\omega} \right), \tau > \frac{z}{\omega} \end{cases}. \quad (8)$$

У вихідному потоці концентрація етилового спирту досягне заданого значення протягом часу, який рівний середньому часу перебування потоку в ректифікаційній колоні:

$$\tau_0 = \frac{H}{\omega}. \quad (9)$$

Потік рідини, який контактує з парою, буде рухатися вздовж контактної тарілки і для випадку повного перемішування рівняння матеріального балансу буде мати вигляд:

$$Lx_{i+1} + K_{mo} Vx_i^* = Lx_i + K_{mo} Vx_i, \quad (10)$$

де L – кількість рідини, що потрапляє на i -ту контактну тарілку, моль/с;

x_i, x_{i+1} – вміст ЛЛК у рідині, що знаходиться на i -ій контактній тарілці та потрапляє із контактної тарілки, розташованої вище, мол. част.;

x_i^* – рівноважний вміст ЛЛК в рідині, мол. част.;

V – об'єм рідини, що знаходиться на контактній тарілці, м³;

K_{mo} – об'ємний коефіцієнт масопередачі, моль/(м³·с).

Якщо врахувати, що $L = \gamma \cdot V$ (γ – густина рідини, моль/м³), рівняння (10) можна представити виразом:

$$L \cdot (x_{i+1} - x_i) - K_{mo} \cdot \gamma \cdot L \cdot (x_i - x_i^*) = 0. \quad (11)$$

Час перебування рідини на контактній тарілці виразиться рівністю:

$$\tau = \frac{\gamma}{K_{mo}} \cdot \frac{x_{i+1} - x_i}{x_i - x_i^*}. \quad (12)$$

Якщо застосувати значення коефіцієнта корисної дії тарілки за

Мерфрі $\eta_{mp} = \frac{x_{i+1} - x_i}{x_{i+1} - x_i^*}$, отримаємо:

$$\tau = \frac{\gamma}{K_{mo}} \cdot \frac{\eta_{mp}}{1 - \eta_{mp}}. \quad (13)$$

Отже, час перебування рідини на тарілці залежить від коефіцієнта корисної дії тарілочки, який при ідеальному перемішуванні рідини на тарілці рівний локальній ефективності масоперенесення, а також від коефіцієнта масопередачі. Склад рідини, як видно із рівняння (12) є функцією часу перебування її на тарілці, тому можемо записати:

$$\frac{x_{i+1} - x_i}{x_i - x^*} = \tau \cdot \frac{K_{mo}}{\gamma}. \quad (14)$$

Розв'яжемо рівняння (14) відносно x_i і отримаємо:

$$x_i = \frac{x_{i+1} + \tau \cdot \frac{K_{mo}}{\gamma} x_i^*}{1 + \tau \cdot \frac{K_{mo}}{\gamma}}. \quad (15)$$

При моделюванні процесу ректифікації в тарілчастій колоні можна використати метод потарілкового розрахунку від куба до дефлегматора, попередньо допустивши, що вихідна суміш подається в колону на шістнадцяту тарілку (загальна кількість тарілок –78) при температурі кипіння 78-82 °С і рідина на кожній тарілці знаходиться при температурі кипіння, пара – при температурі точки роси, а тиск по висоті колони є постійним. Вміст етилового спирту у кубовому залишку, що сходить з нижньої тарілочки складає $x_w=0,01$ мас. %, а в дистилаті, отриманому на верхній тарілці ректифікаційної колони – $x_D=96,2$ мас. %. Температура кипіння на верхній тарілці колони – 84 °С.

Для розв'язку системи рівнянь математичного опису визначають рівноважний склад пари, яка виходить з куба колони:

$$y_w^* = \varphi(x_w). \quad (16)$$

Склад рідини на нижній (першій) тарілці ректифікаційної колони розраховується з рівняння матеріального балансу:

$$x_1 = \frac{Wx_w - Gy_w^*}{L + F}, \quad (17)$$

де W – кількість кубового залишку, що сходить з нижньої тарілочки, моль/с.

Склад пари y_2 , що надходить на тарілку, розташовану вище, з нижньої тарілочки:

$$y_2 = y_1 + \left[1 - \exp\left(-\frac{K_{mo}}{G}\right) \right] \cdot (y_w^* - y_1). \quad (18)$$

Склад рідини x_2 , яка міститься на тарілці, розташованій вище, визначиться з рівняння матеріального балансу за вмістом ЛЛК:

$$x_2 = \frac{Wx_w + Gy_1}{L + F}. \quad (19)$$

Аналогічно проводиться розрахунок для кожної тарілки ректифікаційної колони і здійснюється перевірка загального матеріального балансу за прийнятим вмістом ЛЛК у кубовому залишку x_w та розрахованим у дистилляті x_D .

Висновок. Запропонована математична модель ректифікаційної колони дасть змогу теоретичним шляхом обґрунтувати її раціональні технологічні параметри.

Література

1. Бондарь А.Г. Математическое моделирование в химической технологии. – К.: Вища школа, 1973. – 279 с.
2. Журавський І.М. Розробка енергозбережної низькоінвестиційної технології спирту в брагоректифікації. Автореферат. – Київ, 2007 – 24 с.
3. Кафаров В.В. Основы массопередачи. – М.: Высшая школа, 1979. – 439 с.
4. Кафаров В.В., Глебов М.Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств. – М.: Высшая школа, 1991. – 400 с.
5. Маринченко, В.О. Технологія спирту: підручник для студентів вищих навчальних закладів [Текст] / В.О. Маринченко, В.А. Домарецький П.Л. Шиян та ін.; під ред. В.О. Маринченка. – Вінниця: Поділля. – 2000, 2003. – 496 с.
6. Міщенко О.С. Розробка та впровадження енергозберігаючих технологій ректифікації етилового спирту. Автореферат. – Київ, 2000 – 19 с.
7. Циганков П.С. Ректификационные установки спиртовой промышленности. – М.: Пищ. пром-сть, 1987. – 336 с.
8. Шиян П.Л. Інноваційні технології спиртової промисловості. Теорія і практика: монографія [Текст] / П.Л. Шиян, В.В. Сосницький, С.Т. Олійнічук. – К.: Асканія, 2009. – 424 с.

Рецензент д.т.н. Дідух В.Ф.

УДК 631.3

©В.В. Сацок, к.т.н.; О.В. Голій, к.т.н.; Д.Л. Курдельчук
Луцький національний технічний університет

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОДАЧІ СИПКОГО ЗВ'ЯЗНОГО МАТЕРІАЛУ СТРІЧКОВИМ ТРАНСПОРТЕРОМ

В статті наведений теоретичний аналіз руху частинки сипкого зв'язного матеріалу під час його подачі стрічковим транспортером. складені і розв'язані диференційні рівняння руху центра мас частинки із врахуванням сили зчеплення частинок.

ЧАСТИНКА, РУХ, ЗЧЕПЛЕННЯ, ДИФЕРЕНЦІЙНЕ РІВНЯННЯ, СИЛА, ШВИДКІСТЬ.

Постановка проблеми. Одним із складових процесів, які необхідно розглянути при обґрунтуванні параметрів ліній для виробництва сапропелевих добрив, є подача матеріалу стрічковим транспортером.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Відомі результати досліджень даного питання засновані на моделі матеріальної точки [1]. Дана теорія справедлива для ідеально сипких матеріалів (початковий опір зсуву $\tau_0 = 0$).

Результати дослідження фізико-механічних властивостей сапропелю [2] показують, що для даних матеріалів існує деякий початковий опір зсуву τ_0 . Співставлення значень коефіцієнтів тертя показало, що коефіцієнт зовнішнього тертя більший від коефіцієнта внутрішнього. Звідси слідує, що рух матеріалу буде відбуватися не безпосередньо по поверхні стрічкового транспортера, а по внутрішніх поверхнях матеріалу.

У праці [3] наведено модель частинки із приведеними параметрами. Запропоновано залежність для визначення сили тертя для сипкого зв'язного матеріалу:

$$F_{\text{тр.1}} = c' + f_0 N_1, \quad (4)$$

де c' – приведена сила зчеплення частинки;

f_0 - коефіцієнт внутрішнього тертя;

N_1 - нормальна реакція.

Мета дослідження – створення математичної моделі руху сипкого зв'язного матеріалу, яка враховує силу зчеплення частинок, під час подачі матеріалу стрічковим транспортером.

Результати дослідження. Розглянемо рух частинки M із

приведеними параметрами, з урахуванням сили зчеплення при сходженні її зі стрічкового транспортера. Частинка перебуває на транспортері на висоті h_0 від поверхні стрічки (h_0 - висота розміщення центра мас шару матеріалу на стрічці транспортера). Для визначення параметрів руху частинки, при її сходженні із стрічкового транспортера, застосуємо диференційні рівняння руху матеріальної точки. Введемо натуральну систему координат τC_n (рис.1). Положення осі C_n нормалі до траєкторії руху частинки відносно вертикалі визначається кутом β .

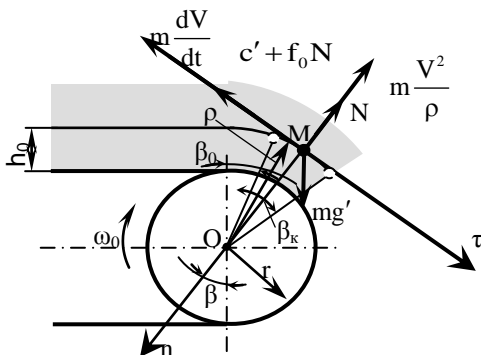


Рис.1 - Схема до визначення параметрів руху частинки під час подачі матеріалу стрічковим транспортером

При тихохідному режимі розвантаження транспортера $V_c^2 < g'(r+h_0)$ (де V_c - швидкість стрічки транспортера, r - радіус приводного барабана), матеріал, наближаючись до барабана, починає обертатись разом з ним. Частинка, починаючи з деякого положення визначеним $\angle\beta_0$, починає здійснювати відносний рух (ковзання), і при положенні $\angle\beta_k$

відірветься від опорної поверхні, здійснюючи політ.

У загальному випадку, рівняння руху частинки матимуть вигляд:

$$\begin{cases} m \frac{dV}{dt} = \sum_{k=1}^n F_{k\tau}^c; \\ m \frac{V^2}{\rho} = \sum_{k=1}^n F_{kn}^c, \end{cases} \quad (2)$$

де V - швидкість руху частинки;

ρ - радіус кривизни траєкторії руху частинки;

$\frac{V^2}{\rho}, \frac{dV}{dt}$ - проєкції вектора прискорення частинки, відповідно, на осі

C_n та C_τ натуральної системи координат;

$\sum_{k=1}^n F_{kn}^c$, $\sum_{k=1}^n F_{kr}^c$ - суми проекцій зовнішніх сил, які діють на частинку, відповідно, на осі C_n та C_r ;

На частинку, положення якої визначає $\angle \beta$ (рис.1) (при чому $\angle \beta_0 < \angle \beta < \angle \beta_k$), діють такі зовнішні сили : сила ваги $G = mg'$; нормальна реакція опорної поверхні N ; сила тертя ковзання $F_{\text{тр}} = c' + f_0 N$,

Радіус кривизни траєкторії руху частинки, положення якого визначається кутом $\angle \beta$, рівний $\rho = r + h_0$.

Тоді, з урахуванням вищевикладеного, система рівнянь, що описують рух частинки, матиме вигляд

$$\begin{cases} m \frac{V^2}{r + h_0} = mg' \cos \beta - N; \\ m \frac{dV}{dt} = mg' \sin \beta - (c' + f_0 N). \end{cases} \quad (3)$$

Виключивши із системи реакцію опорної поверхні N та враховуючи, що $V = \omega(r + h_0)$ (де ω - кутова швидкість руху частинки), отримаємо:

$$m(r + h_0) \frac{d\omega}{dt} - mg' \sin \beta + c' + mg' f_0 \cos \beta - m\omega^2 f_0 (r + h_0) = 0, \quad (4)$$

при цьому

$$N = mg' \cos \beta - m\omega^2 (r + h_0). \quad (5)$$

Після спрощення виразу (3), отримаємо:

$$\frac{d\omega}{dt} - \omega^2 f_0 + \frac{g'}{r + h_0} (f_0 \cos \beta - \sin \beta) + \frac{c'}{m(r + h_0)} = 0. \quad (6)$$

Враховуючи, що $\omega = \frac{d\beta}{dt}$; $\frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\beta}{dt^2}$, запишемо:

$$\frac{d^2\beta}{dt^2} - f_0 \left(\frac{d\beta}{dt} \right)^2 + \frac{g'}{(r + h_0)} (f_0 \cos \beta - \sin \beta) + \frac{c'}{m(r + h_0)} = 0. \quad (7)$$

Розв'язавши диференціальне рівняння другого порядку (7), отримаємо:

$$\omega^2 = \frac{2g'}{(r + h_0)(4f^2 + 1)} \left((2f^2 - 1) \cos \beta - 3f_0 \sin \beta \right) + \frac{c'}{mf_0(r + h_0)} + Ce^{2f_0\beta}. \quad (8)$$

Визначаємо постійну інтегрування C , при $t = t_0$, $\beta = \beta_0$,
 $\omega = \omega_0$.

де β_0 – значення кута β , при якому частинка почне ковзати по матеріалу на барабані,

ω_0 – кутова швидкість частинки в момент початку її ковзання:

$$C = \left(\omega_0^2 - \frac{2g'}{(r+h_0)(4f_0^2+1)} \left((2f_0^2-1)\cos\beta_0 - 3f_0\sin\beta_0 \right) - \frac{c'}{mf_0(r+h_0)} \right) e^{-2f_0\beta_0}. \quad (9)$$

Підставивши (9) у (8), отримаємо:

$$\omega^2 = \frac{2g'}{(r+h_0)(4f_0^2+1)} \left((2f_0^2-1)\cos\beta - 3f_0\sin\beta \right) + \frac{c'}{mf_0(r+h_0)} + \left(\omega_0^2 - \frac{2g'}{(r+h_0)(4f_0^2+1)} \left((2f_0^2-1)\cos\beta_0 - 3f_0\sin\beta_0 \right) - \frac{c'}{mf_0(r+h_0)} \right) e^{2f_0(\beta-\beta_0)}. \quad (10)$$

У момент відриву частинки від опорної поверхні $\omega = \omega_k$, а $\beta = \beta_k$. Тоді, на основі (10) запишемо:

$$\omega_k^2 = \frac{2g'}{(r+h_0)(4f_0^2+1)} \left((2f_0^2-1)\cos\beta_k - 3f_0\sin\beta_k \right) + \frac{c'}{mf_0(r+h_0)} + \left(\omega_0^2 - \frac{2g'}{(r+h_0)(4f_0^2+1)} \left((2f_0^2-1)\cos\beta_0 - 3f_0\sin\beta_0 \right) - \frac{c'}{mf_0(r+h_0)} \right) e^{2f_0(\beta_k-\beta_0)}. \quad (11)$$

З іншого боку, ω_k визначаємо із (5), виходячи з умови, що в момент відриву $\omega = \omega_k$, а $N = 0$

$$\omega_k^2 = \frac{g' \cos\beta_k}{(r+h_0)}. \quad (12)$$

Для визначення кута β_0 , при якому частинка починає ковзати, скористаємося залежністю (4) і такими умовами: при $\beta = \beta_0$

$$\omega = \omega_0 = \frac{V_c}{r+h_0}; \quad \frac{d\omega}{dt} = 0. \quad (13)$$

Тоді, враховуючи вищевикладене на основі (4), запишемо:

$$\frac{c'}{m} - \frac{f_0 V_c^2}{r + h_0} = g'(\sin \beta_0 - f_0 \cos \beta_0). \quad (14)$$

Із (14) враховуючи, що $f_0 = \frac{\sin \varphi_0}{\cos \varphi_0}$, де φ_0 – кут внутрішнього тертя, отримаємо:

$$\beta_0 = \arcsin \left(\frac{c' \cos \varphi_0}{mg'} - \frac{V_c^2 \sin \varphi_0}{(r + h_0)g'} \right) + \varphi_0. \quad (15)$$

Використовуючи вирази (13) та (14), запишемо вираз для визначення початкової кутової швидкості частинки ω_0 :

$$\omega_0^2 = \frac{c'}{m(r + h_0)f_0} - \frac{g' \sin(\beta_0 - \varphi_0)}{(r + h_0) \sin \varphi_0}. \quad (16)$$

Прирівнявши праві частини виразів (11) та (12) та підставивши значення ω_0 , отримаємо:

$$\frac{g' \cos(\beta_k)}{(r + h_0)} = \frac{2g'}{(r + h_0)(4f_0^2 + 1)} \left((2f_0^2 - 1) \cos \beta_k - 3f_0 \sin \beta_k \right) + \frac{c'}{mf_0(r + h_0)} - \left(\frac{g' \sin(\beta_0 - \varphi_0)}{(r + h_0) \sin \varphi_0} + \frac{2g'}{(r + h_0)(4f_0^2 + 1)} \left((2f_0^2 - 1) \cos \beta_0 - 3f_0 \sin \beta_0 \right) \right) e^{2f_0(\beta_k - \beta_0)}. \quad (17)$$

Після математичних перетворень рівність (17) набере такого вигляду:

$$\left(\frac{(4f_0^2 + 1)c'}{mg'f_0} - 3(\cos \beta_k + 2f_0 \sin \beta_k) \right) e^{-2f_0\beta_k} = \left(\frac{(4f_0^2 + 1) \sin(\beta_0 - \varphi_0)}{\sin(\varphi_0)} + \left(4f_0^2 - 2 \right) \cos \beta_0 - 6f_0 \sin \beta_0 \right) e^{-2f_0\beta_0}. \quad (18)$$

Рівняння (18) не підлягає розв'язку аналітичними методами, тому для його розв'язання необхідно застосовувати числові методи обрахунку.

Висновки. Отримані залежності дозволять визначити основні кінематичних параметрів руху частинки сипкого зв'язного матеріалу під час його подачі стрічковим транспортером.

Література

1. Спиваковський А.О. Транспортирующие машины. - М.: Изд-во Машиностроение, 1968. 504с.

2. Сацюк В.В. Результати дослідження фізико-механічних властивостей сапропелю та органо-мінеральних сумішей на його основі // Сільськогосподарські машини. Зб. наук. ст., вип.11. - Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛДТУ, 2003. - С.101-106.

3. Сацюк В.В. Модель частинки із приведеними параметрами, що враховує силу зчеплення частинок // Сільськогосподарські машини. Зб. наук. ст., вип. 21 том 2.-Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛНТУ. – 2011.–С.80–82.

Рецензент д.т.н. Дідух В.Ф.

УДК 331.45:63

©В.І. Федорчук-Мороз, к.т.н.

Луцький національний технічний університет

ОБГРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНИХ РІШЕНЬ З ПОПЕРЕДЖЕННЯ РИЗИКУ ТРАВМУВАННЯ В АГРАРНОМУ СЕКТОРІ

У статті розглянуто сучасний стан охорони праці в аграрному секторі, проаналізовано рівень виробничого травматизму та професійних захворювань. Запропоновано рекомендації для покращення умов праці, попередження ризику травмування на виробництві.

БЕЗПЕКА ПРАЦІ, ВИРОБНИЧИЙ ТРАВМАТИЗМ, ПРОФЕСІЙНЕ ЗАХВОРЮВАННЯ, ПОПЕРЕДЖЕННЯ РИЗИКУ

Постановка проблеми. В умовах розвитку науково-технічного прогресу в усіх галузях агропромислового комплексу широкого впровадження нових технічних засобів механізації і автоматизації виробничих процесів, індустріальних технологій виробництва сільськогосподарської продукції, а також нових форм організації й оплати праці, особливого значення набуває система охорони праці. З року в рік статистика показує зниження кількості нещасних випадків у сільськогосподарському виробництві. Але залишається нез'ясованим, чи ці позитивні тенденції пов'язані з підвищенням ефективності працезахоронної діяльності, чи є результатом приховування виробничих травм без важких наслідків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останнім часом у наукових дослідженнях, в практиці формування нормативної бази охорони праці та планування профілактики виробничого травматизму все ширше застосовується методологія ризику, яка призначена вирішувати завдання виявлення та об'єктивного оцінювання ризиків, у тому числі кількісними показниками, що має забезпечувати обґрунтований вибір та застосування практично здійснених і економічно обґрунтованих заходів для мінімізації ризику травмування на виробництві.

Великий внесок у розвиток теорії та практики аналізу причин виробничого травматизму, безпеки праці та виробничого середовища, методів обґрунтування профілактичних заходів внесли вітчизняні вчені: Амоша О.І., Белов П.Г., Бересневич П.В., Булгаков Ю.Ф., Гогіташвілі Г.Г., Голінько В.І., Гурін А.О., Запорожець О.І., Клебанов Ф.С., Козлов В.І., Лапшин О.Є., Левченко О.Г., Лесенко Г.В., Лисюк М.О., Лучко І.А., Ткачук К.Н., Швидкий М.І. та інші. Значний вклад у розвиток теорії ризику внесли зарубіжні та вітчизняні вчені Д.Б.Браун, Качинський А.Б., Корнійчук М.Т., Х.Кумамото, В.Маршалл, Е.Дж.Хенлі та інші [1].

Проте аналіз нормативної бази з охорони праці, методів і прийомів, які використовуються в практиці вибору та обґрунтування профілактичних заходів, показав, що вирішальне значення на сьогодні мають нормативні методи та методи суб'єктивних рішень. Аналітичні методи (аналіз статистики травматизму та його причин, математичне моделювання, економічні розрахунки) застосовуються епізодично, лише в окремих випадках. Тому на рівні підприємства спостерігається дефіцит інформації про причини травматизму, що призводить до обґрунтування профілактичних заходів практично "наосліп", спираючись на інтуїцію та особистий досвід, а не на об'єктивні оцінки. Пояснюється такий стан відсутністю методичних основ профілактики виробничого травматизму загалом, відсутністю методів об'єктивного виявлення та оцінювання причин ризику травмування на виробництві, недосконалістю методів обґрунтування профілактичних заходів.

В сучасних умовах господарювання питання дослідження впливу наглядової діяльності в сфері охорони праці на рівень травматизму набуває особливої актуальності, оскільки сприяє пошуку та раціональному використанню додаткових резервів зниженню рівню виробничого травматизму.

Процеси економічної інтеграції України в міжнародне співтовариство висувають, зокрема, нові вимоги до системи управління охороною праці, орієнтовані на міжнародні стандарти. У сфері охорони праці, яка є важливою підсистемою загальної системи управління

виробництвом, на сьогоднішній день не вирішено ряд актуальних питань щодо її нормативно-правового забезпечення [2].

Метою роботи є пошук ефективних рішень для попередження ризику травмування з урахуванням безпосередніх технічних і організаційних причин нещасних випадків, характерних для сучасного аграрного сектора.

Результати дослідження. Забезпечення безпечних та нешкідливих умов праці є однією з найважливіших умов підвищення соціально-економічної ефективності. Ефективність профілактики виробничого травматизму і професійної захворюваності в першу чергу залежить від якісного їх аналізу.

За даними Міжнародної організації праці в сільськогосподарському виробництві зайнято 1,3млрд. працюючих (біля 50% всієї робочої сили світу). Кожен рік на виробництві в світі гине біля 335 тис. працюючих, а в сільському господарстві – більше 170 тис.

Напрямами державної політики з питань охорони праці у реформованому аграрному секторі є: розроблення нових законопроектів, адаптованих до створення безпечних умов праці – таких, як дійовий механізм притягнення посадових осіб до відповідальності за недотримання вимог безпеки праці; випуск техніки, яка відповідає стандартам травмо безпеки; фінансування заходів щодо забезпечення виконання галузевої програми; відпрацювання взаємодії всіх функціональних підрозділів органів влади у сфері управління аграрним сектором як по горизонталі, так і по вертикалі, їх взаємодії з органами Держпраці; уточнення структурної побудови галузевої служби охорони праці, завдань і функціональних обов'язків її підрозділів, їх правове закріплення.

За даними Державної служби України з питань праці за 12 місяців 2016 року в агропромисловому комплексі (АПК) було зареєстровано 578 випадків виробничого травматизму, з них смертельно було травмовано – 83 особи. За 6 місяців 2017 року у АПК, відповідно до статистичних даних, наданих цим державним наглядовим органом, трапилося 224 нещасних випадки, смертельно травмувалася на виробництві 31 особа. Проти аналогічного періоду минулого року ці показники знизилися на 11 та 3 випадки відповідно [3].

У Волинській області за 12 місяців 2016 року взято на облік 181 нещасний випадок, смертельно було травмовано 17 працівників. За 6 місяців 2017 року в нашій області було зареєстровано 72 випадки виробничого травматизму, причому 4 людей загинуло.

Як показує аналіз виробничого травматизму, переважна більшість нещасних випадків трапляється через організаційні причини – 110 (60,8%) а саме: порушення трудової і виробничої дисципліни – 85, в т. ч. невиконання вимог інструкцій з охорони праці – 83; порушення правил дорожнього руху – 8; невиконання посадових обов'язків – 2.

Психофізіологічні причини стали наслідком 52 (28,7%) нещасних випадків, технічні причини – 19 (10,5%).

Основними технічними причинами є незадовільний стан виробничого середовища – 6 випадків, незадовільний технічний стан виробничих об'єктів, споруд, засобів виробництва – 5 випадків. Основними психофізіологічними причинами є особиста необережність потерпілого – 26 випадків та протиправні дії інших осіб – 24 випадки.

Основними видами подій, що призвели до нещасного випадку, були:

- падіння, обрушення, обвал предметів, матеріалів, породи, ґрунту тощо – 35 (19,3%). Найбільше цих подій припадає на підземне видобування кам'яного вугілля – 22;
- дія предметів та деталей, що рухаються, розлітаються, обертаються – 36 (19,9%);
- падіння потерпілого – 42 (23,2%), в т.ч. під час пересування – 23, з висоти – 16.

Найбільше нещасних випадків трапилось при використанні наступного технічного обладнання: автомобільний транспорт – 16 (8,8%), деревообробне обладнання – 8 (4,4%), верстати металорізальні – 3 (1,7%) [4]. Зокрема, 27 травня 2016 року у приміщенні каналізаційної насосної станції свинокомплексу ФГ «Аміла», що у Турійському районі Волинської області, через накопичення парів шкідливих речовин та небезпечних газів постраждало 4 працівники, з них 1 смертельно. Скоріш за все, були порушені вимоги нормативних документів з охорони праці, зокрема, НПАОП 41.0-1.01-79 «Правила техніки безпеки при експлуатації систем водопостачання та водовідведення населених місць».

На думку багатьох дослідників, насправді рівень виробничого травматизму в АПК набагато гірший. Адже важливо оцінювати не абсолютні значення виробничого травматизму, а відносні – на 100 тисяч працівників. А цей показник (коефіцієнт частоти травматизму та профзахворювань) практично не поліпшився протягом останніх десяти років. Значна кількість потерпілих у сільському господарстві не реєструється через приховування нещасних випадків або через те, що деякі категорії зайнятих (сезонні робітники, разові виконавці, члени

сімей фермерів та ін.) не належать до найманих працівників, а отже, обліку не підлягають [5].

Відповідно до статистичних даних, рівень професійних захворювань у аграрному секторі незначний. Зокрема, управління Фонду соціального страхування від нещасних випадків та професійних захворювань у Волинській області повідомляє про те, що усі 89 професійних захворювань, які були розслідувані у 2016 році, відносяться до вугільної галузі. На думку більшості дослідників, це свідчить лише про недовиявлення профзахворювань у сільській місцевості, що є результатом руйнування системи медичного обслуговування, насамперед профпатологічного.

Адже, якщо розглянути роботу механізатора, то вплив на його здоров'я таких чинників як надмірні шум та вібрація однозначно можуть призвести до шумово-вібраційної патології, а праця в умовах надмірної запиленості – до профзахворювань пилової етіології (пневмоконіози, алергічні риніти, бронхіти тощо). Крім того, в ході роботи, механізатор у роботі стикається з багатьма хімічними сполуками різного ступеня токсичності. Головними з них є вихлопні гази, пестициди, мінеральні добрива та ін. Особливості умов праці механізаторів відбиваються на стані їх здоров'я. Загальний рівень захворюваності механізаторів як по матеріалах медичних оглядів, так і при аналізі тимчасової непрацездатності, є високий і може стати причиною професійних захворювань.

В умовах реформування та розгалуження економіки назріла необхідність розроблення та практичного застосування новітніх методів управління охороною праці, що були б прийнятними на всіх рівнях вертикалі управління від верхнього державного рівню до підприємства. Враховуючи реалії сьогодення, навряд слід очікувати швидких позитивних зрушень у питанні вдосконалення нормативно-правової бази охорони праці, отже при впровадженні будь-якого новітнього методу слід розраховувати на чинні нормативно-правові документи з охорони праці.

Основні заходи щодо запобігання травматизму передбачені в системі нормативно-технічної і нормативно-правової документації з безпеки праці; в організації навчання і забезпечення робочих безпечними методами та засобами роботи, раціональному плануванні коштів і визначенні економічної ефективності від запланованих заходів. Основним завданням нормативно-технічної і нормативно-правової документації з безпеки праці сприяти попередженню виникнення небезпеки і прийняттю найбільш ефективних заходів до їх ліквідації або локалізації при проектуванні виробничих процесів і обладнання, будівель і споруд. Нормативно-технічна документація

щодо безпеки праці розробляється з урахуванням характеру потенційно небезпечних факторів, ступеня їх небезпечності і зони поширення, психофізіологічних і антропометричних особливостей людини.

Заходи по запобіганню виробничого травматизму включають якісне проведення інструктажу та навчання робітників, залучення їх до роботи за спеціальністю, здійснення постійного керівництва та нагляду за роботою; організацію раціонального режиму праці і відпочинку; забезпечення спецодягом, спецвзуттям, особистими засобами захисту і навчання правилам їх використання; виконання правил експлуатації обладнання; раціональне їх використання; виконання правил експлуатації обладнання; раціональне архітектурно-планувальне рішення при проектуванні і будівництві виробничих будівель у відповідності із санітарними, будівельними і протипожежними нормами і правилами; створення безпечного технологічного і допоміжного обладнання; правильний вибір і компонування обладнання у виробничих приміщеннях відповідно із нормами і правилами техніки безпеки і виробничої санітарії; проведення комплексної механізації і автоматизації виробничих процесів, створення надійних технічних засобів запобігання аваріям, вибухам і пожежам на виробництві; розробка нових технологій, які виключають утворення шкідливих і небезпечних факторів та ін. [6].

Висновки. Рівень виробничого травматизму і смертності у аграрному секторі високий порівняно із середнім в Україні. У розрахунку на 100 тис. працюючих він практично не поліпшився протягом останніх десяти років. Оскільки переважна більшість нещасних випадків трапляється через організаційні причини (порушення трудової і виробничої дисципліни; невиконання вимог інструкцій з охорони праці; порушення правил дорожнього руху; невиконання посадових обов'язків), то значного покращення становища можна досягти за рахунок профілактичних заходів без надмірних витрат часу та коштів. Система обліку профзахворювань не виконує своїх завдань та вимагає кардинального поліпшення, що є дуже важливим напрямом подальших досліджень.

Література

1. Федорчук-Мороз В.І. Окремі аспекти в профілактиці виробничого травматизму/ В.І Федорчук-Мороз // Екологічні нотатки. – Луцьк: РВВ Луцького національного технічного університету, 2015. – № 2. – С. 120-126.
2. Забезпечення промислової та цивільної безпеки в Україні та в світі: управління, технології, моделі: [кол. монографія] / за наук.

ред. проф. Матвійчук Л.Ю. – Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2016. – 220 с. (співавтор – В.І. Федорчук-Мороз, с. 190-196).

3. Статистичні дані виробничого травматизму з початку року [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://dsp.gov.ua/>.

4. Профілактика нещасних випадків та профзахворювань [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.social.org.ua/departaments/lutsk/prof3>.

5. Коновалов Ю. Сучасні проблеми виробничого травматизму та професійної захворюваності в сільському господарстві України // Аграрна економіка. – 2010. – Т.3, №1, 2. – С. 94-100.

6. Ткачук К. Н., Кружилко О. Є. Прогнозування виробничого травматизму: монографія – К.: Основа, 2014. – 345 с.

Рецензент д.т.н. Шваб'юк В.І.

УДК 631.331

©І.Є. Цизь, к.т.н., С.М. Хомич, к.т.н., А.І. Цизь
Луцький національний технічний університет

©Голій О.В. к.т.н.

Волинська державна сільськогосподарська станція Інституту
сільського господарства Західного Полісся НААН України

АНАЛІЗ СПОСОБІВ ДОБУВАННЯ ТА ТРАНСПОРТУВАННЯ САПРОПЕЛЮ

У статті наведено результати аналізу способів добування та транспортування сапропелю. Показано негативні та позитивні сторони кожного зі способів транспортування. Запропонована пневматична установка для добування та транспортування покладів природної вологості до берегової лінії.

САПРОПЕЛЬ, ДОБАВКА, ДОБРИВО, ТЕХНОЛОГІЯ, МІКРОЕЛЕМЕНТ, ПНЕВМАТИЧНИЙ ЗАБІРНИЙ ПРИСТРІЙ.

Постановка проблеми. Волинська область багата на озера. Серед західних областей України вона має їх найбільше – до 170 озер площею від 2 до 2450 га. За походженням вони різноманітні. Переважна більшість – це карстові озера, менша – заплавні. Останні – неглибокі, приурочені до заплави р. Прип'яті і до заплави її крупних

приток, являють собою залишки старих русел. Їх режим тісно пов'язаний з ріками, а під час весняної повені самостійне існування озер припиняється. Заплавні озера заболочені, з низькими берегами і в'язким дном, яке містить чималу кількість покладів сапропелів.

Сапропелі в свою чергу використовуються в сільському господарстві, а саме у землеробстві, в якості добрива та у тваринництві, як мінеральні добавки до основного корму. Мінеральна частина сапропелів, містить велику кількість мікроелементів, таких як: Co, Mn, Cu, B, Br, Mo, V, Cr, Be, Ni, Ag, Sn, Pb, As, Ba, Sr, Ti, багаті вітамінами групи B (B1, B12, B3, B6), E, C, D, P, каратиноїдами, багатьма ферментами, наприклад, каталазами, пероксидазами, редуказами, протеазами.

Не зважаючи на те, що відомо і практикується дуже багато способів добування сапропелю, які активно використовуються, важливою проблемою залишається його транспортування до берегу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Згідно аналізу та узагальненню існуючих класифікацій технологій добування сапропелю у роботі [1] була запропонована удосконалена класифікація, яка базується на принципі поділу їх за типом енергії, яка використовується для здійснення даного процесу, та видом забірних пристроїв, які при цьому використовуються (рис. 1).

У відомих технологіях добування озерних покладів найбільш широко використовується механічна енергія, енергія гідравлічного струменю та їх поєднання у гідромеханізованій технології. Меншого застосування набула енергія стиснутого повітря і практично не застосовується для промислових розробок пневмомеханізована технологія.

При механічному способі добування, суть якого полягає в використанні ковша. Екскаватор розміщується на плавучому понтоні, а добуті поклади транспортуються до берегової лінії баржою із наступним перевантаженням у наземний транспорт. Таке технічне рішення дозволяє добувати поклади природної вологості, але вимагає значних затрат на транспортно-перевантажувальні роботи і спричинює значне замулення води.

Використання шнекових забірних пристроїв за механічного способу добування дозволяє забезпечити неперервність процесу, а також існують конструктивні рішення, що дозволяють зневоднювати сапропель у процесі його добування. Широке впровадження таких пристроїв обмежується значною їх металомісткістю, особливо для значних глибин добування та складністю механізму приводу робочого органу. За даного способу добування сапропель найчастіше транспортується до берега за допомогою баржі.

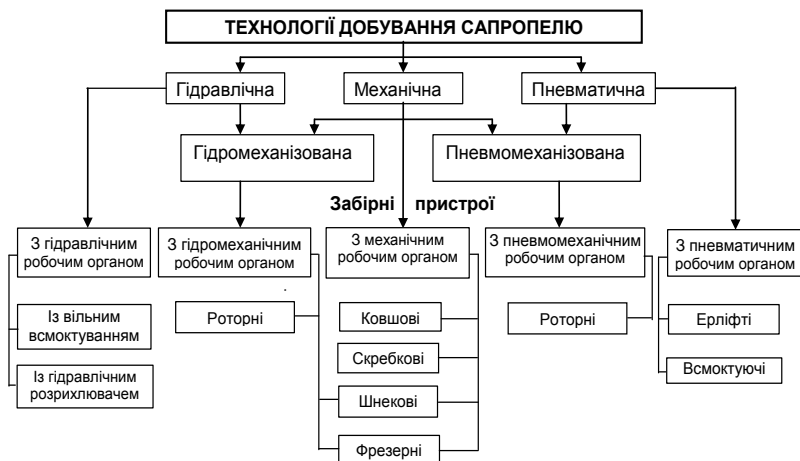


Рис. 1 – Класифікація технологій добування сапропелю

Засоби, які використовуються для добування сапропелю із використанням енергії гідравлічного струменя можна поділити на дві підгрупи за типом забірної пристрою: із вільним всмоктуванням та із гідравлічним розрихлювачем. У такому випадку суміш сапропелю із водою (сапропелева пульпа) вільно всмоктується через насадки різноманітної конструкції ґрунтовим насосом [2]. Одним з найпоширеніших способів транспортування пульпи до берега є встановлення пульпопроводу на воді, який являє собою систему труб із підтримуючими поплавками. За допомогою насоса пульпа по цих трубопроводах транспортується на берег. Основним недоліком цього способу є те, що вміст сухої речовини в сапропелевій пульпі не перевищує 3%.

Під час добування сапропелю із невеликих за розмірами водойм може здійснюватися викид струменя пульпи безпосередньо від земснаряда на берег. Напірну трубу земснаряда обладнують спеціальним наконечником - конусом з зменшеним вихідним перерізом. Чим менший діаметр отвору, тим більша віддаль викидання. Але, з іншого боку, зростає навантаження на ґрунтовий насос та падає продуктивність. Максимальна дальність викиду досягається встановленням конуса із нахилом 45° до горизонту. Також, на дальність подачі впливає величина напору і потужність приводу насоса. Практично досягнуто відстань подачі пульпи понад 100 метрів від земснаряда. Також за допомогою даного способу можна здійснювати завантаження і на баржу, коли берег знаходиться не в зоні

досяжності. У такому випадку наявні такі ж самі недоліки, як і для гідромеханізованого способу добування.

Розробці конструкцій пневматичних забірних пристроїв та впровадження їх під час добування сапропелю приділялось невіправдано мало уваги. Адже за гідравлічних та гідромеханічних технологій добування спостерігається протиріччя яке полягає у наступному. Для досягнення бажаної консистенції пульпи доводиться спочатку поклади насичувати водою, а потім із значними затратами часу та ресурсів проводити їх зневоднення.

Наявні розробки пневматичних забірних пристроїв можна згрупувати за принципом дії на ерліфтні та всмоктуючі.

Існує значна кількість конструктивних розробок ерліфтних пристроїв для добування корисних копалин із дна озер, морів та океану та інших водойм [3,4]. Але лише не значна їх кількість пропонується до використання під час добування сапропелю. Така особливість спричинена специфікою сапропелевих покладів, а отже і необхідністю інтенсифікації процесу утворення газорідної суміші у змішувачі ерліфта. Тому з точки зору запропонованої класифікації змішувач розглядається, як забірний пристрій [1]. Так у конструкції ерліфтного пристрою Сукач М.К. пропонує застосовувати псевдозрідження сапропелевих покладів струменем повітря, який виходить із форсунок встановлених під кутом до осі подаючого патрубка. Це забезпечує утворення повітро-струменевого гвинта, що покращує роботу забірного пристрою. Такий засіб для добування сапропелю дозволяє значно підвищити ефективність процесу завдяки збільшенню концентрації сапропелю в пульпі. Також підвищується надійність та знижується металомісткість процесу через відсутність механічних приводів та виконавчих органів. Але у той же час залишається відкритим питання забивання рослинними рештками та ефективності роботи за папільонажного способу добування.

Знайшли своє застосування під час добування сапропелів і всмоктуючі забірні пристрої у складі пневматичних камерних насосів. Такі конструктивні розробки застосовуються у обладнанні італійської фірми „Pneuma”. Особливістю роботи розглядуваного засобу є наявність двох робочих циклів: заповнення камери сапропелем та витіснення стиснутим повітрям. З метою підвищення продуктивності такий насос обладнується трьома камерами.

Для забезпечення всмоктування покладів під час добування на глибині менше 4 м використовують вакуумний пристрій. Забірний пристрій виконують або у вигляді ковша закритого решіткою (у випадку горизонтальної розробки покладів) або у вигляді решітчастого конусу (під час вертикальної розробки покладів) [5].

Розглядувані пристрої дозволяють добувати сапропель природної консистенції та не допускають підвищення мутності води. Але у той же час навіть за відсутності механічних пристроїв даний засіб характеризується значною металомісткістю, потребує компресора із робочим тиском від 0,8 МПа та автоматичного блоку керування роботою клапанної системи. Обладнання описаними видами забірних пристроїв робить проблематичним добування покладів підвищеної в'язкості (із пониженою вологістю) та забруднених рослинними рештками.

Вирішити ряд проблем притаманних для пневматичних забірних пристроїв дозволяють пневмо-механічні. Так обладнання ерліфтного забірною пристрою роторним вихреутворювачем дозволяє покращити його роботу на покладах підвищеної в'язкості та забруднених рослинним рештками.

Аналогічний ефект досягається під час використання всмоктувально-фрезерного забірною пристрою в складі пневматичних камерних насосів для добування сапропелю. Але це у свою чергу ще додатково ускладнює конструкцію таких засобів.

Але, нажаль, для усіх описаних способів добування сапропелю з допомогою енергії повітря не розроблено ефективних пристроїв для транспортування покладів до берегу.

Метою дослідження - є синтез схеми пневматичного засобу для добування та транспортування сапропелю до берегу.

Результати дослідження. На основі аналізу відомих технічних рішень засобів для добування сапропелю, які використовують енергію стиснутого струменя повітря можна запропонувати наступну схему пристрою для добування та транспортування покладів природної вологості (рис.2.).

Робота такого пристрою відбувається наступним чином. Під час занурення пристрою шар сапропелю розрізається захисною решіткою 6 та потрапляє до корпусу 1 і заповнює його порожнину. Стиснуте повітря подається від компресора 8 до магістралі подачі повітря 7, потрапляє до кільцевого напірного трубопроводу 3 і виходить через форсунки 4. Потік стиснутого повітря, що виходить через форсунки 4, розрихлює поклади сапропелю на частинки, захоплює їх та спрямовує до вертикального транспортуючого трубопроводу 2. Таким чином, сапропель у пневморозрідженому стані, потрапивши до вертикального транспортуючого трубопроводу 2, під дією виштовхувальної сили повітря надходить до надводної поверхні. Далі, завдяки подачі стисненого повітря по напірних трубопроводах 5,9,10, відбувається переборення опору в'язкого тертя сапропелю по стінках трубопроводу та його транспортування до берега. З метою

забезпечення необхідної віддалі транспортування сапропелю кількість напірних трубопроводів встановлюється відповідно до віддаленості установки від берегової лінії.

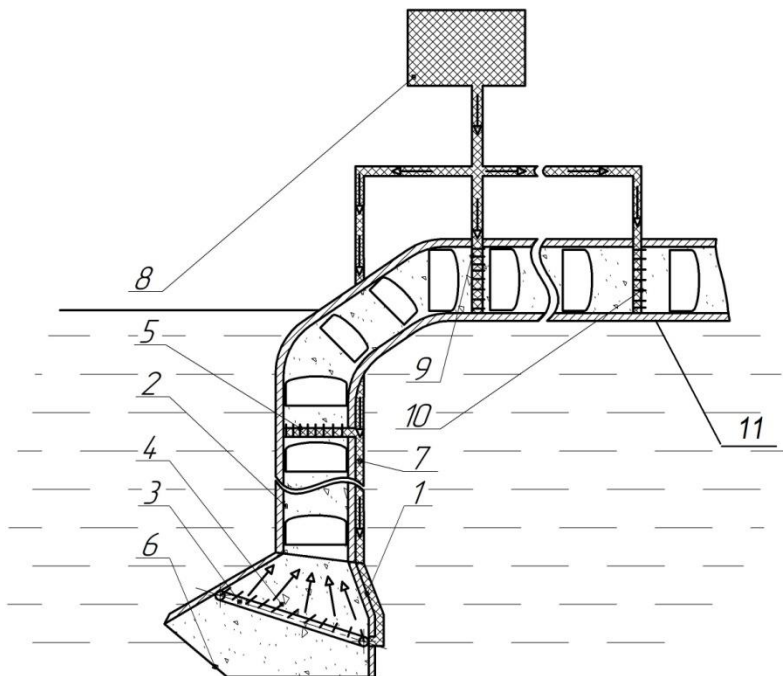


Рис. 2 – Схема установки для пневматичного добування та транспортування сапропелю: 1 - корпус; 2 - вертикальний транспортуючий трубопровід; 3 - кільцевий напірний трубопровід; 4 - форсунки; 5, 9, 10 - напірний трубопровід; 6 - захисна решітка; 7 - магістраль подачі повітря; 8 - компресор; 11 - горизонтальний транспортуючий трубопровід

Висновки. Запропонований пристрій забезпечує зниження енергетичних затрат на добування та транспортування сапропелю до берега, високу ефективність виконання технологічного процесу при мінімальних екологічних наслідках впливу на навколишнє середовище, а також інтенсифікацію процесу і рівномірність розробки шарівозерного сапропелю при збільшенні глибини залягання.

Література

1. Хомич С.М. Обґрунтування параметрів забірною пристрою засобу для добування сапропелю: дис. ... канд.тех.наук : 05.05.11/ Хомич Сергій Миколайович. – Луцьк, 2013.- 250с.
2. Лопотко М.З. Сапропели БССР их добыча. Под ред. Академика Г.В. Богомолова Минск наука и техника, 1974 – 208с.
3. Сукач М.К. Рабочие процессы глубоководных машин. К.: Наукова думка, 2004. – 364 с.
4. Сукач М.К., Чередник В.М. Установка для транспортування ґрунту в акваторіях / Гірн., буд., дор. та меліорат. машини. – 2010. – Вип. 75. – С. 57-61.
5. Технические характеристики и принципы работы ПНК. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: http://www.pneuma.lv/tehn_har.html. - Назва з екрана.

Рецензент д.т.н. Шваб'юк В.І.

УДК 631.331

©М.С.Шведик, к.т.н., Бебко О.О.

Луцький національний технічний університет

©В.В. Теслюк, д.т.н.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ З ВИЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНО-ДОПУСТИМОЇ ВИСОТИ УСТАНОВКИ КОНФУЗОРА НАД ХЛІБОСТОЄМ

У статті наведено результати аналізу робочого процесу мотовила розміщеного в конфузори пневмовловлювача на основі якого встановлено, що він не може повністю охоплювати мотовило, оскільки між нижнім переднім краєм конфузора і колосовим шаром повинен бути деякий технологічний зазор, наявність якого запобігатиме удару по колоскам. За результатами експериментальних досліджень побудовано графічну залежність висоти установки конфузора над хлібостоем від розрідження в конфузори.

**ПНЕВМОВЛОВЛЮВАЧ, КОНФУЗОР, МОТОВИЛО, ПЛАНКА,
ХЛІБОСТІЙ, КОЛОС, ЗЕРНИНА, УДАР, РОЗРІДЖЕННЯ,
ВИСОТА**

Постановка проблеми. В процесі комбайнового збирання зернових колосових культур внаслідок ударів планок мотовила по стеблах відбувається вибивання зерен з колосків. При цьому з кожного колоска вибивається по 2 зернини, які є найбільш крупними і найціннішими за всіма параметрами. Враховуючи те, що натура 1000 шт. такого зерна становить 55...65г, а на момент збирання на 1 м² поля в середньому знаходиться 500...600 стебел [1,2], то прості розрахунки показують, що на кожному гектарі вибивається по 5...6 ц зерна. Практично ці втрати є незворотними, оскільки сучасний технічний стан зернозбиральних комбайнів не дозволяє їх усунути.

На нашу думку найбільш ефективним способом недопущення втрат зерна вибитого з колосків планками мотовила є застосування пневмовловлювання [3], яке ґрунтується на створенні розрідження в зоні мотовила. Однак в світовій практиці такий спосіб збирання зернових колосових культур ще не застосовувався і технічні засоби для його реалізації не пропонувались. Тому виникає потреба в розробці конструкції пневмовловлювача і в проведенні його експериментальних досліджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз літературних джерел, приурочених питанням пневмотранспортування зерна і вороху та його сепарації, показує, що вони є достатньо вивчені. На основі результатів досліджень авторами [4,5,6,7,8,9] розроблені і запропоновані сільсько-господарському виробництву відповідні рекомендації, які лягли в основу розробки сучасних зернозбиральних комбайнів і зерночисних машин.

Однак питання, що стосуються безпосередньо застосування пневмовловлювання зерна вибитого планками мотовила, в літературних джерелах не висвітлювались. А тому відсутність будь-яких даних, зокрема щодо створення необхідної глибини розрідження в конфузори пневмовловлювача зерна та висоти його установки над хлібостоєм, не сприяють розробці ефективних технічних рішень для його реалізації.

Метою дослідження є процес пневмопідйому зерна з лотка і визначення максимально-допустимої висоти установки конфузора над хлібостоєм.

Результати дослідження. Виходячи з призначення пневмовловлювача зерна, його конфузори повинен охоплювати зо всіх сторін мотовило, а нижньою відкритою частиною рухатись над колосовим шаром. При цьому створюване в конфузори розрідження повинно поширюватись в колосовий шар і вловлювати зерно, що вибивається з колосків планками мотовила, а також від розхитування стебел вітром. Однак аналіз робочого процесу мотовила показує, що

конфузор не може повністю охоплювати мотовило, оскільки між нижнім переднім краєм конфузора і колосовим шаром повинен бути деякий технологічний зазор, наявність якого запобігатиме удару по колоскам.

Отже, цілком є очевидним те, що надто великий зазор спричинятиме значному підсмоктуванню повітря і відповідно глибина розрідження в конфузіві буде різко зменшуватись, що призведе до неповного вловлювання вибитого зерна і як наслідок його втрати зростатимуть. У випадку, коли зазор буде недостатнім, або ж зовсім відсутнім, то передній край конфузора буде вдарятись об колосся і вибиватиме зерно поза зоною розрідження, що знову ж таки призводитиме до втрат зерна. Таким чином виникає правомірне питання, якою ж повинна бути максимально-допустима висота установки дифузора над хлібостоєм. Для того, щоб дати відповідь на це питання, нами були проведені лабораторні дослідження за допомогою установки, загальний вигляд якої наведено на рис.1, а її схему на рис.2.



Рис.1 – Загальний вигляд лабораторної установки для визначення максимально допустимої висоти установки дифузора над хлібостоєм

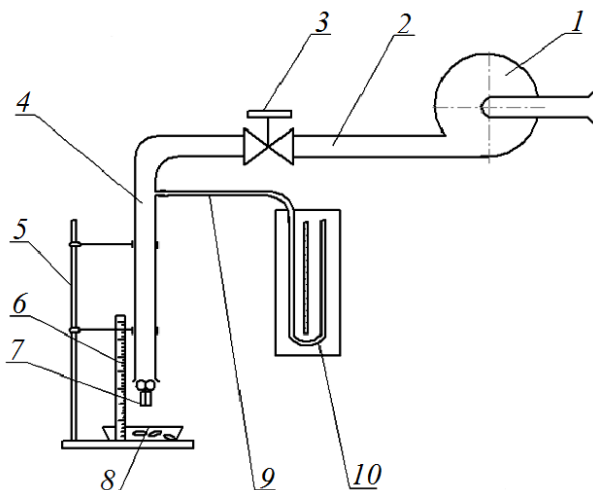


Рис. 2 – Схема лабораторної установки для визначення максимально-допустимої висоти установки дифузора над хлібостоем

Лабораторна установка складається з вентилятора 1 з'єднаного за допомогою трубопроводу 2 з вертикальним патрубком 4, який закріплений в тримачах штатива 5. На трубопроводі 2 встановлено регулювальний кран 3. Під патрубком встановлено піддон 8 для зерна, а збоку лінійка 6.

Для визначення максимально-допустимої висоти установки дифузора над хлібостоем брали три наважки зерна по 100 г кожна. Потім вертикальний патрубок 4 встановлювали на висоті 0,2 м від поверхні столу і перекривали краном 3 канал, після чого включали вентилятор 1 і поступово відкривали кран. При цьому швидкість повітряного потоку збільшували до 25м/с, яку вимірювали анемометром 7.

Глибину розрідження в патрубку визначали за показами U-подібного водяного манометра 10 з'єднаного патрубком 9.

Після того, як в патрубку був створений стабільний повітряний потік і відповідно глибина розрідження, на дно піддону висипали рівномірним шаром наважку, накривали її листом картону і встановлювали під патрубком, потім лист картону знімали і поступово опускали патрубок 4 доти, поки з піддону повністю не висмоктувалось зерно. Досліди проводили в трикратній повторності, а результати вимірювання глибини розрідження в патрубку (конфузорі) після повного засмокування наважки зерна з піддону занесли в таблицю.

За результатами експериментальних досліджень на рис.3 побудовано графічну залежність висоти h (м) установки конфузора над

хлібостоєм від розрідження H (Па) в конфузори.

З графіка видно, що у міру збільшення висоти установки конфузора над хлібостоєм глибина розрідження H (Па) прямо пропорційно збільшується і на висоті 0,20 м для зернових колосових культур сягає 55...60 Па. Максимально-допустима висота установки конфузора повинна становити не більше 0,10 м, а мінімальна – 0,05 м, що забезпечує підйом зерна з різними фізико-механічними властивостями. При цьому оптимальне значення розрідження для насіння жита складає 28...36, ячменю – 35...45 і пшениці – 32...38 Па.

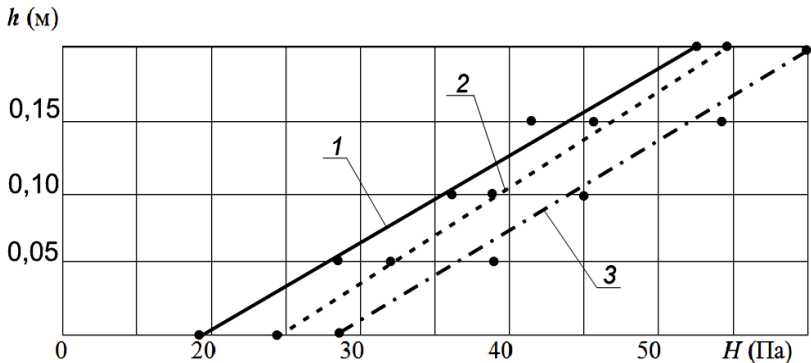


Рис. 3 – Залежність висоти h (м) установки конфузора над хлібостоєм від глибини розрідження H (Па): 1 - для жита, 2 - пшениці, 3 – ячменю

Висновки. Таким чином, на основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що для надійного пневмовловлювання зерна конфузор необхідно встановлювати над колосоносним шаром на висоті 0,05 м, при цьому глибина розрідження буде мінімальною і становитиме для жита 28, пшениці 32 і ячменю 35 Па.

Література

1. M.Shvedik. STUDIES OF PNEUMATIC COLLECTOR OF GRAIN KNOCKED OUT BY REEL BATS / Результати досліджень пневмовловлювача зерна, що вибивається планками мотвила. Lutsk National Technical University (Ukraine). INMATEH – Agricultural engineering. INMA Bucharest. - 2016.-Vol. 48. no.1/2016. p.13-20.

2. В.А. Дубровин, Н.С. Шведки. Анализ процесса взаимодействия планки мотвила из колосоносным слоем. MOTROL.

Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Lublin-RZESZÓW -2014.- Vol. 16, № 3.p.273-278.

3. А.с. №1181590 (СССР). Способ уборки зерновых культур и зерноуборочный комбайн. Шведик Н.С. – Заявл. 14.02.83., №3552957. Опубл. в Б.И., №36. – 1985.

4. Шмат І.К., Сисолін П.В., Самарін О.Є., Бондарев Є.І. Методи і принципи проектування сільськогосподарських машин і агрегатів. Навчальний посібник. – Херсон: «Олді-плюс»; 2009.- 132с.

5. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Кн.1. Машини для рільництва/ П.В.Сисолін, В.М.Сало, В.М. Кропівний; За ред.. М.І.Черновола –К.: Урожай, 2001.- 384 с.

6. Босой Е.С., Вернеев О.В. и др.. Теория, конструкция и расчет сельхозмашин. – М.: Машиностроение, 1978. – 568с.

7. Теорія і розрахунок зернозбиральних комбайнів./К.І.Шмат, О.Є.Самарін, Є.І.Бондарев, О.В.Мигальов. – Херсон: ОЛДІ-плюс; 2009. – 256с.

8. В.В.Смыслов. Гидравлика и аэродинамика: Учебник для вузов.-Киев: Вища школа. Головное узд-во, 1979. - 336с.

9. Калицун В.И., Дроздов Е.В. Основы гидравлики и аэродинамики. – М.: Стройиздат, 1980. – 247с.

УДК 677.021

©А.В. Шимко, аспірант

Луцький національний технічний університет

©Л.С. Серілко, к.т.н.

Національний університет водного господарства та природокористування

ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ РОТОРУ ОЧИСНОГО ПРИСТРОЮ

У даній статті проаналізовано конструкцію запропоновано очисного механізму для картоплезбиральних машин. Отримано рівняння руху бульб у даному механізмі та надано рекомендації щодо вибору частоти обертання його ротору

ОЧИСНИЙ МЕХАНІЗМ, БУЛЬБА, ТОПНАМБУР, КАРТОПЛЯ.

Постановка питання. Картопля є однією з найважливіших продовольчих і сировинних культур, виробництвом якої займаються понад 140 країн світу. Хоч Україна і має достатньо сприятливих умов для вирощування цієї культури, але рівень технологічної ефективності її виробництва залишається на досить низькому рівні, в порівнянні з іншими провідними виробниками з Європи та світу.

На даний час аграрії увагу приділяють й іншій надзвичайно цінній культурі – топінамбуру. Топінамбур має вищу харчову цінність у 2,7-7,9 разів ніж інші кормові рослини, з нього отримують фруктозу, спирт, кормові дріжджі, тощо [3]. Для збирання бульб картоплі використовують картоплезбиральні комбайни, для бульб топінамбуру – їх оснащують спеціальними адаптерами.

На якість процесу збирання врожаю бульб картоплі, у значній мірі, впливає процес очищення її від ґрунту, та інших домішок. Крім того, низька ефективність очисних робіт знижує продуктивність процесу збирання бульб та спричиняє необхідність використання ручної праці під час їхнього очищення.

Якщо ж розглядати процес збирання топінабуру, то необхідним є застосування робочих органів, які б забезпечували процес роз'єднання зкріплених між собою бульб цієї культури.

Враховуючи вище означене, розробка робочого органу, який за умови незначних конструктивних змін забезпечить виконання двох технологічних завдань: очищення бульб картоплі від домішок і розділення бульб топінамбуру під дією відцентрових сил є актуальною науково-практичною задачею.

Аналіз останніх досліджень. Дослідженнями процесу очищення бульб картоплі займалися Петров Г.Д. [1], Костенко М.Ю [2], Болохоев В.С.[3], Верещагін Н.І.[4], Горячкін В.П.[5], Мацепуро М.Е. [6] ті інші. Аналіз відомих досліджень виявив, що існуючі робочі органи для очищення бульб не забезпечують потрібної якості виконання робіт, особливо за умови високої вологості ґрунту, їхньої захаращеності камінням.

Крім того, чинні конструкції не придатні для використання у ході проведення збору бульб топінамбуру, що не дозволяє зробити картоплезбиральну машину універсальною, тобто придатною для збирання обох культур.

Враховуючи це, актуальним є питання розробки очисного механізму, який буде здатний не лише відокремити налипший ґрунт на бульби картоплі, але і розірвати зв'язки бульб топінамбуру.

Мета дослідження. Метою даної роботи є теоретичне дослідження запропонованого очисного механізму для універсальної збиральної машини.

Результати дослідження. Для покращення відділення бульб картоплі та топінамбуру запропоновано очисний механізм [7] (рис.1.)

Під час руху бульбозбиральної машини шар ґрунту із бульбою підрізується лемешем і подається на пружковий елеватор 6. Направляючими 1 бульбоносний шар спрямовується до очисного механізму, відділяється від коріння та інших домішок із подальшим транспортуванням до бункеру. Під час очистки бульб за допомогою очисного механізму уловлювачі 2 запобігають вильоту бульб із пружкового елеватора 6.

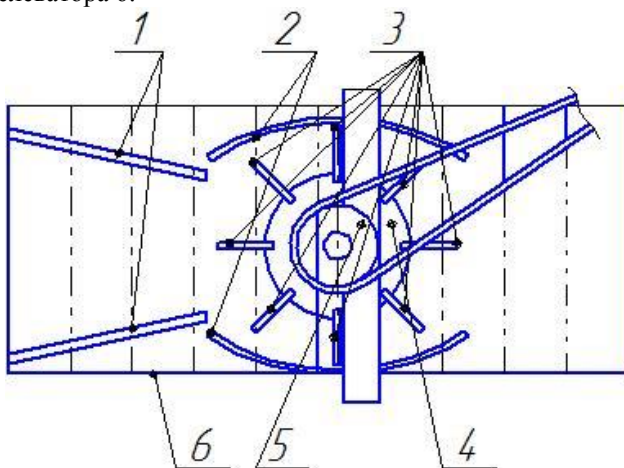


Рис.1 – Схема очисного механізму: 1 – направляючі; 2 – уловлювачі; 3 – лопаті; 4 – диск; 5 – привід; 6 – пружковий транспортер

Даний механізм дасть змогу більш якісно відділити різні домішки та коріння самих рослин від бульб картоплі та топінамбура, а також запобігти вилітанню останніх із транспортера, що призведе до збільшення продуктивності збиральних робіт та підвищення якості очистки самих бульб.

Розглянемо які сили будуть діяти на бульбу картоплі (топінамбура), що знаходяться в очисному механізмі (рис 2).

Рівняння руху бульби в очисному механізмі матиме вигляд:

$$\ddot{x} = \omega^2 \cdot x - f_1 \cdot g \cdot \frac{\dot{x} + V_1 \cdot \sin(\omega \cdot t)}{\sqrt{(\dot{x} + V_1 \cdot \sin(\omega \cdot t))^2 + (\omega \cdot x + V_1 \cdot \cos(\omega \cdot t))^2}} - f_2 \cdot \left(2 \cdot \omega \cdot \dot{x} + f_1 \cdot g \cdot \frac{\omega \cdot x + V_1 \cdot \cos(\omega \cdot t)}{\sqrt{(\dot{x} + V_1 \cdot \sin(\omega \cdot t))^2 + (\omega \cdot x + V_1 \cdot \cos(\omega \cdot t))^2}} \right), \quad (1)$$

де t – час знаходження бульби в очисному механізмі, с;
 x – відстань від центру очисного механізму до бульби, м.

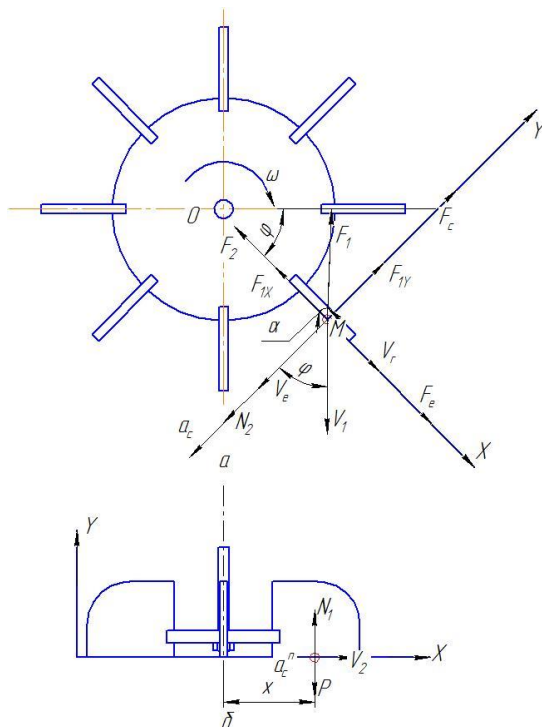


Рис.2 – Схема дії сил на бульбу при взаємодії із ротором очисного механізму: а – вид зверху; б – вид збоку

На рис. 2 прийнято наступні позначення:

- V_1 - швидкість транспортера, м/с;
- V_r – відносна швидкість руху бульби по поверхні лопаті, м/с;
- V_e – переносна швидкість бульби, м/с;
- a_e^n – доцентрове прискорення, м/с²;
- a_c – прискорення Коріоліса, м/с²;
- F_c – переносна відцентрова сила інерції, Н;
- F_c – Коріолісова сила інерції, Н;
- F_1 – сила тертя по поверхні транспортера, Н;
- F_2 – сила тертя по лопаті, Н;
- α – кут між віссю Y та швидкістю F_1 , град;

φ – кут між віссю Y та швидкістю V_1 , град.

З використанням залежності (1) виконано розрахунки з метою встановлення величини шляху, пройденого бульбою по поверхні лопаті, від часу її знаходження в очисному механізмі (рис.3).

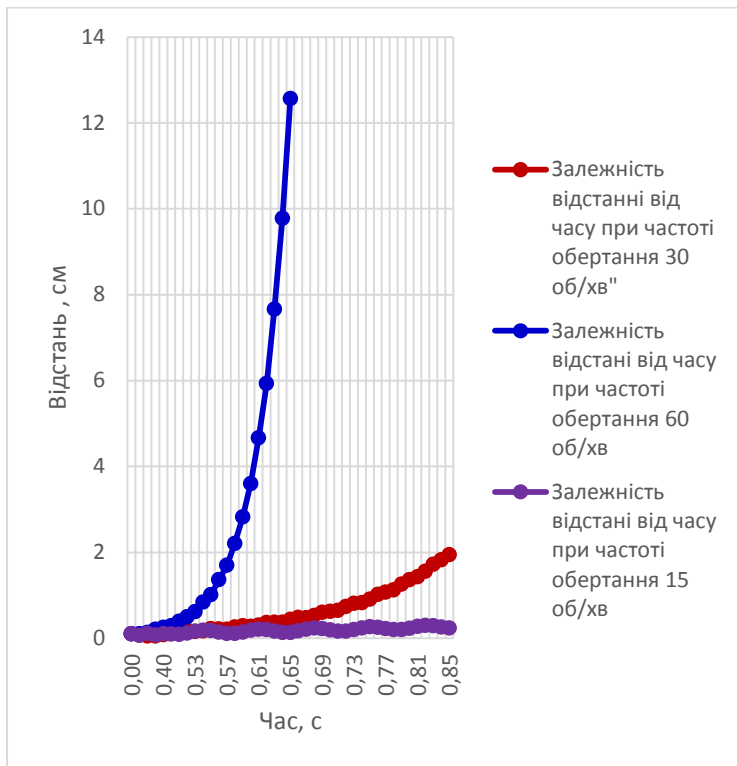


Рис.3 – Графік залежності шляху, пройденого бульбою по поверхні лопаті, від часу її знаходження в очисному механізмі

З графіку видно що при частоті обертання ротора в 60 об^{-1} буде відсутнє накопичення бульб в очисному механізмі. При менших частотах обертання високою є ймовірність того, що бульби не будуть встигати виходити з очисного механізму.

Також для виключення максимального завантаження очисного механізму, час який проходить бульба від леміша до очисного механізму має бути більший часу, який буде рівний періоду, між потраплянням бульби в очисний механізм та виходу із нього.

Висновок. У ході теоретичних досліджень встановлено, що при швидкості обертання ротора більшій, ніж швидкість транспортера, завантаження бульбами очисного механізму буде мінімальне. При швидкості обертання ротора, рівній швидкості транспортера, а також меншій ніж швидкість транспортера, буде присутній процес збільшення завантаженості очисного механізму, що приведе до накопичення бульб між його лопатями.

Література

1. Петров Г. . Картофелеуборочные машины/Г.Д. Петров. - М.: Машиностроение,1984, - 214 с
2. Костенко М.Ю. Теоретические вопросы применение элеваторов с комбирированными прутками в картофелеуборочных машинах: Монография – Рязань.- 2010.- 53с.
3. Болохоэв В.С. Обоснование параметров рабочих органов картофелеуборочных машин для снижение повреждение клубней: автореф. дис на соискание уч. степени кан. тех. наук: спец. 05.20.01 «Технология и средства механизации сельского хозяйства»/ - Улан-Удэ, 2013. – 22с.
4. Верещагин Н.И. Комплексная механизация возделывания, уборки и хранения картофеля/ Н.И. Верещагин, К.А. Пшеченков. – М.: Колос, 1977. – 351с.
5. Горячкин В.П. Земледельческая механика. Собрание сочинений в трет томах/ В.П. Горячкин. Т.1.-М.:Колос, 1968.-720с. Т.2.-М.:Колос, 1968. – 455 с.
6. Мацепуро М.Е. Технологические основы механизации уборки картофеля. Минск, 1959. С. 297;
7. Підкопуючий робочий орган картоплезбиральної машини: пат. України № 103967: МПК А01D 19/02/ О.О. Налобіна, А.В. Шимко. - № 201610046; заявл. 03.10.2016; опубл. 10.03.2017, Бюл. № 5.

Рецензент д.т.н. Налобіна О.О.

ANNOTATIONS - / - АННОТАЦИИ

V..Bodak, V. Grabovets, M. Bodak. Selection of rational successful taking action. In practice, sapropel is extracted in various ways. Depending on the area and depth of the reservoir, as well as the thickness of the sapropel deposits, choose a certain method of extraction. The article presents the results of the analysis of sapropel extraction in practice and in new ways.

Formulation of the problem. Since the depth of the reservoir varies from several centimeters to several meters, the methods of extraction are chosen differently. The choice of the correct method of extraction depends not only on the moisture content of the raw material, but also on the further ecological situation in the reservoir.

Analysis of recent research and publications. A prerequisite for choosing a method should be the comparative calculation and environmental safety of several options. Sometimes it is better to abandon the cheap method of obtaining sapropel, so as not to spend a lot of money on its dewatering and processing into commodity products.

The long-known and most common methods of obtaining sapropel from under water are: hydraulic, hydromechanized, grapple, excavator.

The purpose of research. Increasing the efficiency of harvesting sapropel due to the right choice of method for cleaning the reservoir, obtaining raw materials with a minimum moisture, reducing the negative effects of interference in the ecosystem of the reservoir.

Research results. Recently, new methods of obtaining sapropels are often used: screw and pneumo-screw, spot-vacuum, suction, scraper-suction, with the help of a shut-off cylinder

- / -

В.И.Бодак, В.В. Грабовец, М.В.Бодак. Выбор рационального способа добычи сапропеля. На практике сапропель добывают различными способами. В зависимости от площади и глубины водоема, а также толщины залежей сапропеля выбирают определенный способ добычи. В статье представлены результаты анализа добычи сапропелей распространенными на практике и новыми способами.

D. Borysyuk, A. Spirin, I. Tverdokhle, I. Gunko. Vibro-acoustic diagnostics of driven bridges of wheeled agricultural tractors.

Serviceable driven bridge of wheeled agricultural tractors are provides optimum handling, traffic safety, durability and reliability.

Working with faulty knobs of a driven bridge worsens the control and stability of the tractor, reduces the safety of its movement.

The defective driving bridge contributes to the vibration of the tractor frame, which weakens rivets and threaded joints, disturbs the alignment of the engine and transmission, and creates additional loads in the body parts.

Vibration of the whole tractor accelerates wear and causes breakage of many parts.

The experience of the machine-tractor park shows that the managed bridge is one of the least reliable and durable tractor units.

From the above it is clear what great importance is the support of a controlled bridge of a wheeled tractor and its separate elements in a proper technical condition.

The mathematical description of the controllable bridge of a wheeled tractor as a multidimensional dynamic system is presented with the purpose of determining its technical state by a vibroacoustic method of diagnosis is presented. A system for vibro-acoustic diagnosis of controlled bridges of wheeled agricultural tractors is presented.

VIBRO-ACOUSTIC DIAGNOSTIC, DRIVEN BRIDGE, TRACTOR, AMPLITUDE-PHASE CHARACTERISTIC, AMPLITUDE-FREQUENCY CHARACTERISTIC, PHASE-FREQUENCY CHARACTERISTIC.

-/-

*Д.В. Борисюк, А.В. Спирич, И.В. Твердохлеб, И.В. Гунько.
Виброакустическая диагностика управляемых мостов колесных сельскохозяйственных тракторов.*

Представлено математическое описание управляемого моста колесного трактора как многомерной динамической системы с целью определения его технического состояния виброакустическим методом диагностирования. Представлена система для вибро-акустического диагностирования управляемых мостов колесных сельскохозяйственных тракторов.

ВИБРОАКУСТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА, УПРАВЛЯЕМЫЙ МОСТ, ТРАКТОР, АМПЛИТУДНО-ФАЗОВАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА, АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА, ФАЗО-ЧАСТОТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА.

O. Bundza. The research of the dependence of stem cut form on the quality of herbicide application process

The study presents the analyses of the traditional weeding methods on the agricultural lands. It remarks significant unproductive losses of the working herbicide solution while spraying. The research provides examples of the unproductive losses that take place while spraying. The author considers the advantages of the couplant method of high weeds destruction in comparison with spraying. The author analyses recent publications in this sphere and establishes the goals and the tasks of the research. He also presents the design of the experimental unit aimed to study the dependence between the stem cut form and the herbicide application as well as the quantity of unproductive losses. The author presents original methods of experimental research. This work includes the study of interdependence between the stem cut angle and the quality of herbicide solution application. The work also presents the study of interdependence between the stem cut angle and the amount of unproductive herbicide losses during the couplant application. There are the photographs of the plant stems after the couplant. The work presents the results analyses, recommends the rational value of the plants stem cut angle to provide proper herbicide application on the cut and minimal unproductive losses of the working solution.

-/-

Бундза О.З. Исследование влияния формы среза стеблей на качество процесса нанесения гербицида

Изложены результаты анализа традиционных способов уничтожения сорняков и выявлены их недостатки. Рассмотрены преимущества контактного способа уничтожения высокорослых сорняков по сравнению с опрыскиванием. Изложены авторские методики проведения экспериментальных исследований, направленных на обоснование формы среза растений, которая обеспечивает качество процесса нанесения рабочей жидкости во время их обработки контактным способом. Приведены результаты выполненных экспериментальных исследований.

N. Vasylychuk Investigation of the angle of friction and the effort of the surface of the sunflower

The paper presents the results of experimental studies on determining the friction angles of sunflower stems (the friction angle of the outer surface of the stem and the surface of the cut), depending on the moisture content of the selected specimens. Laboratory assemblies for studying the coefficients of friction of the outer surface and the surface of cuttings of sunflower stems, as well as for determining the stem breaking force, have been developed and manufactured. Experimental studies have been performed. Installed: the coefficient of friction of the outer surface of the stem on the steel surface is 0.36-0.44 depending on the humidity; the coefficient of friction of the surface of the stem cut on the steel surface is 0.47- 0,62 at depending on the humidity. Based on the experimental data obtained mathematical models that describe the relationship between the efforts of breaking the sunflower stems from the sample volcano and their diameter. It is established that at 10% moisture the stem is very fragile and the fracture is practically non-deformed, that is, instantaneously. Under conditions of increasing humidity, before the breakage the stem significantly flexes, and only then occurs fracture. The obtained research results will be used in the course of mathematical modeling of processes of interaction of working bodies of a reaper with stems.

- / -

H.B. Васильчук, Исследование угла трения и усилия излома стеблей подсолнечника

В работе изложены результаты экспериментальных исследований по определению коэффициентов трения стеблей подсолнечника и усилия излома в зависимости от влажности образцов и диаметра стеблей. Определены соответствующие математические зависимости и проведено аппроксимирования результатов.

M. Holotiuik Research of mechatronics systems in machine building..

This paper describes the study of the peculiarities of mechatronics along with the creation of tools for robotics that involves the creation of technical systems and complexes based on the usage of these tools. The main area of application is industry and, primarily, machine building and appliances production. In the research the analysis and the classification of technological complexes with the usage of robots are developed. The analysis of the composition of the algorithmic stage of development was carried out in order to find out the algorithms for the operation of the whole complex and its parts, requirements for control devices, communication channels and supplementary equipment. It is determined that in algorithmic development of technological complexes the important issue is to provide requirements for their reliability. In the work the functional scheme of organization of management of the technological complex is developed, the final stage of the design process of the technological complex is its technical implementation. This stage includes, in particular, the development or selection of industrial robots, their control devices, technological equipment, transport routes and modes of transportation, communication channels, information security devices based on requirements defined in the previous stages of designing. According to the results of the robotizing of technological complexes in the existing production has been established that the tasks of complex automation and rotation of existing

production have significant features that make it difficult to solve in comparison with the creation of new technological complexes. When solving the task of controlling all complexes, the loading carrying capacity of industrial robots and other robotics equipment is of principal importance, since it mainly determines their size, and hence the possibility of placement in the workplace instead of released workers. It has been established that along with industrial robots for the mentioned above purposes the its wide usage is found in balanced manipulators with manual control, their application allows to substantially facilitate labour conditions, increase productivity, thereby, reducing the number of workers.

- / -

Голотюк Н.В. Исследование мехатронных систем в машиностроении

В работе изложены исследования особенностей мехатроники наряду с созданием средств робототехники, которое заключается в создании технических систем и комплексов, основанных на использовании этих средств. Основной областью применения остается промышленность и прежде всего машиностроение и приборостроение. В работе выполнен анализ и разработана классификация технологических комплексов с применением роботов. Был проведен анализ состава алгоритмического этапа разработки для определения алгоритмов функционирования всего комплекса и его частей, требований к устройствам управления, каналам связи и вспомогательному оборудованию.

V. Kovbasa, A. Spirin, O. Turcan, About interaction of the deformed belt of clamping conveyor with stem

For cannabis harvesting using one of the following technologies: agricultural machines, which provide for the capture and transportation of stems in a near-vertical position, i.e. to the state in which they are mowed during the harvesting period. This raises the question of the need for a reliable clamping of the stem in the transporter without damaging it. Therefore, the issue of transport with a stem is relevant, since it is associated with the choice of parameters and operating modes of the machine for cleaning hemp, and also with the design of the machines themselves.

The article discusses the research results of the interaction of the deformed belt of clamping conveyor with the deformed stem. The results of researches are got on the basis of decision of contact problem of interaction of two resiliently deformed bodies of uncoordinated geometrical form. At researches influences of external factors that affect stem are taken into account.

Namely, the bending of the stem under the influence of dynamic loads from the movement of the machine and the wind load, resulting in stresses from the bending of the stem in the place of clamping. These stresses are taken into account in the final expressions of equivalent stresses in the stem in the clamping zone using the superposition method, that is, the summation of the stresses arising from the contact interaction and the bending of the stem.

Thus, as a research results the values of equivalent stress in the zone of contact depending on the elastic modulus of two bodies, their geometric shapes and sizes are got. These values of equivalent stress can be used for being of parameters and modes of motion of clamping conveyor by comparing of them to the plastic limit or of stem strength tensile. The results of researches can find application at planning of clamping conveyors of agricultural or another technique, where the condition of

maintenance of integrity of stem or body of cylindrical form is required.

- / -

В.П. Ковбаса, А.В. Спірин, О. В. Цуркан, Про взаємодію деформівної стрічки затискового транспортера зі стеблом

В статті наведені результати досліджень взаємодії деформівної стрічки затискового транспортера з деформівним стеблом на основі розв'язку контактної задачі взаємодії двох пружно деформівних тіл неузгодженої геометричної форми. Отримано величини еквівалентних напружень в зоні контакту в залежності від модулі пружності двох тіл, їхніх геометричних форм та розмірів. Ці значення можуть бути використані для знаходження параметрів та режимів руху затискового транспортера шляхом порівняння їх з границею пластичності чи границею міцності стебла при проектуванні затискових транспортерів сільськогосподарської або іншої техніки.

R. Kirchuk Theoretical prerequisites of drying processes modeling of disperse plant material

Kinetic calculation of the drying process is an important part of the scientific argumentation of the parameters of the crop production technological process. Mathematical models be capable of optimize the parameters of the dryers and modes operation. Therefore, research on the methods of drying dispersion materials is an actual task.

Often, special mechanisms are created for the intensification of drying processes, which influence the technological process of raw material processing. Much attention is paid to theoretical analysis of the process for optimizing drying methods. There are classic and modern methods for describing the drying process. They can be divided into three groups: empirical, semi-empirical and analytical. The empirical method is based on an experiment like the "black box". An example of the semi-empirical method for analyzing the drying process is the well-known Liquow equation. Analytical methods are based on the heat-mass transfer equations.

It is necessary to allocate three parts of modeling of disperse material. The first part is a model for drying one grain of material. The second part is a model of drying the layer of grain. And the third part is a model of drying of a moving layer of grain.

The system of prerequisites must exist for the theoretical description of each part. The prerequisites are based on experiments. Often, a criterion analysis is used.

The complex analysis of assumptions system is necessary for an adequate modeling of the drying processes of disperse agricultural materials.

- / -

Р.В. Кирчук Теоретические предпосылки моделирование процесса сушки дисперсных растительных материалов

В статье представлен анализ современных подходов теоретического описания и моделирования процессов сушки дисперсных растительных материалов. Предложены и проанализированы модели сушки отдельных частиц, элементарного слоя и толстого слоя материала. Обоснованно предпосылки и предложено ряд допущений, необходимых для моделирования процессов сушки семян сельскохозяйственных культур.

Limont A., Polishchuk O., Plujnikov O. The agrolandscapes of Polissya and the use of machine and tractor fleet under the conditions of large-scale agrarian formations.

Tilled agricultural area of large commercial flax sowing enterprises of

Ukrainian Polissya, in which the fibre flax sown area of investigated formations ranged from 70 to 545 hectares at the time of steady development of flax-growing has been characterized. The size of tilled agricultural area of the investigated enterprises ranged from 38.2 to 83.1% with variation coefficient 14.9%. The level of fiber flax sowing within the optimum agrotechnical term fluctuates from 0.38 to 0.97, the variation coefficient amounting to 23.7%. The annual operating time of the conventional standard tractor varied from 897 to 2576 of conventional standard hectares, the variation coefficient being 24.4%. The asymmetry and the excess of empirical distributions of farm lands ploughing up, the level of fiber flax sowing within the optimum agrotechnical terms and the annual operating time of the conventional standard tractor are determined. The coordination of the investigated distributions with the normal law is proved by using Pearson χ^2 -criterion. The importance of the effects of the farm lands ploughing up on the assessment indices of the efficiency of using the machine and tractor fleet is proved on the basis of the dispersive analysis. The importance of the effects of the farm lands ploughing up on the level of fiber flax sowing within the optimum agrotechnical terms and the annual operating time of the conventional standard tractor are determined with the probability amounting to 0.75 and 0.90 respectively. The qualitative correlation between the level of fiber flax sowing within the optimum agrotechnical terms, and the annual operating time of the conventional standard tractor, as well as the ploughing up of farm lands determine the correlation coefficient 0.332 and minus 0.072 respectively, the correlation likes of the resultant traits on the factorial in the same sequence amounting to 0.376 and 0.400. In case of tilled agricultural area increase in the investigated range, the level of fibre flax sowing at optimum agrotechnical term and tractor annual operating time increase slowly by hyperbolic curves and possess asymptotic value. The 50 per cent increase in the ploughing up of farm lands leads to the slowing-down of the level of fiber flax harvesting within the optimum agrotechnical terms and with respect to the annual operating time of the conventional standard tractor.

AGRICULTURAL LANDSCAPES, AGRICULTURAL LAND, PLOUGHING UP, MACHINE-AND-TRACTOR FLEET, USE, FIBRE-FLAX, SOWING, AGROTECHNICAL TIMING, TRACTOR, PRODUCTION

- / -

Лимонт А. С., Полищук А. С., Плужников О.Б. Агрорадишафты Полесья и использование машинно-тракторного парка в условиях крупнотоварных аграрных формирований. Охарактеризована распаханность сельскохозяйственных угодий крупнотоварных льносеющих предприятий Житомирского Полесья, в которых в годы устойчивого развития льноводства в Украине посевная площадь льна-долгунца изменялась от 70 до 545 га. В предприятиях распаханность сельскохозяйственных угодий колебалась в пределах 38,2–85,1% с коэффициентом вариации 14,9%. С повышением распаханности в исследуемых пределах уровень выполнения сева льна-долгунца в оптимальный агротехнический срок и годовая наработка условного эталонного трактора замедленно возрастают по гиперболическим кривым, достигая соответствующих асимптотических значений.

E. Nalobina, V. Martyniuk, V. Puts SYSTEM ANALYSIS OF AUTOMOBILE CRANE OPERATING RELIABILITY

The article proposes a based on the technical systems system analysis

methodology for automobile crane functional and structural elements with the least reliability identifying.

To provide reliability we need numerous measures for more efficient crane working life prolongation as it has been defined. This task can be solved in several ways: 1) the development of reliable structural elements; 2) the development of based on a system analysis methodology for assessing reliability of the using of cranes.

The second direction was chosen as the purpose of this work. In order to solve the above problem, a complicated technical system - "Automobile Crane" - was considered. The analysis of typical failures and estimation of their influence on loss of crane's working capacity is executed.

For this purpose, the decomposition of the studied system was carried out, the main blocks, which determine the reliability of the crane were identified. The analysis of the activity of decomposition blocks is performed on the following indicators: probability of failure-free operation of the block; probability of failure. It is established that the automobile crane loses its working ability most often due to failure of carrying mechanisms.

RELIABILITY, AUTOMOBILE CRANE, PROBABILITY, SYSTEM ANALYSIS, METHOD, METHODOLOGY, DESTRUCTION

- / -

А.А. Налобина, В.Л. Мартынюк, В.С. Пуць Системный анализ эксплуатационной надежности автомобильного крана

В статье предложена методика установления функционально-конструктивных элементов с наименьшей надежностью для автомобильного крана, базирующаяся на основах системного анализа технических систем.

НАДЕЖНОСТЬ, КРАН АВТОМОБИЛЬНЫЙ, ВЕРОЯТНОСТЬ, СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, МЕТОД, МЕТОДОЛОГИЯ, РАЗРУШЕНИЕ

S. Panasiuk, V. Say, E. Kalahan. Modeling the process of moving flows on the plates distillation column.

The article presents the results of theoretical studies of the process of moving the liquid and vapor flows on the plates of the rectification column and proposes a mathematical model for mass transfer to determine the technological parameters of the column.

Rectification, like all mass-exchange processes, is associated with the transfer of the mass of matter from the liquid phase to the steam as a result of their direct contact on the plates of the rectification column. The speed of the process of mass exchange and mass transfer depends on the physical and hydrodynamic conditions of leakage and is determined by the constructive features of the contact plates.

The residence time of the liquid on the cymbal depends on the efficiency of the plate, which, when perfectly mixing the liquid on the plate, is equal to the local efficiency of the mass transfer, as well as the mass transfer coefficient.

- / -

С. Г. Панасюк, В.А.Сай. Е. В. Калахан. Моделирование процесса перемещения потоков в тарелочной ректификационной колонне.

В статье приведены результаты теоретических исследований процесса

перемещения потоков жидкости и пара на тарелках ректификационной колонны и предложена математическая модель массопередачи для определения технологических параметров колонны.

V. Satsyuk, D. Kurdelchuk. Theoretical studies on the supply of bulk bonded material by a tape conveyor

The article presents a theoretical analysis of the movement of a particle of loose cohesive material during its feeding by a belt conveyor. A natural coordinate system is introduced and differential equations of motion of the material point are applied. The differential equations of motion of the particle's center of mass are compiled and solved, taking into account the binding force of the particles. The obtained dependencies will allow to determine the main kinematic parameters of the motion of a particulate bulky coherent material during its introduction by the belt conveyor. Equation can not be solved by analytical methods, therefore numerical methods of calculation need to be used for its solution.

- / -

В.В. Сацюк, Д.Л. Курдельчук. Теоретические исследования подачи сыпучего связанного материала ленточным транспортером

В статье приведен теоретический анализ движения частицы сыпучего связанного материала во время его подачи ленточным транспортером. Составлены и решены дифференциальные уравнения движения центра масс частицы с учетом силы сцепления частиц.

V. Fedorchuk-Moroz. REASONING OF EFFECTIVE SOLUTIONS FOR INJURIES RISK PREVENTION IN AGRICULTURE

The statistics show that the amount of injuries in agriculture is reducing every year. But it still remains unclear whether these positive trends are the results of increased effectiveness of labour protection or are caused by concealing the facts of not serious injuries. The process of economic integration of Ukraine to the international community imposes new requirements to the system of labour protection in accordance with international standards. The level of manufacturing injuries and the death rates is extremely high comparing to the average one in Ukraine. It has not improved significantly during the last decade. Since the majority of accidents happen due to organizational reasons (violation of labour discipline, non-fulfillment of labour protection requirements, violation of traffic rules, non-fulfillment of job responsibilities), significant improvement can be made by preventive measures without unreasonable time and money expenditures. The system of manufacturing injuries registration does not fulfill its task and needs to be dramatically improved, which is a very important sphere for future research.

SAFETY OF LABOUR, MANUFACTURING INJURIES, OCCUPATIONAL DISEASE, RISK PREVENTION.

- / -

В.И. Федорчук-Мороз. Обоснование эффективных решений по предупреждению риска травмирования в аграрном секторе

В статье рассмотрено современное состояние охраны труда в аграрном секторе, проанализирован уровень производственного травматизма и профессиональных заболеваний. Предложены рекомендации для улучшения условий труда, предупреждения риска травмирования на производстве.

БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА, ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ТРАВМАТИЗМ, ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ЗАБОЛЕВАНИЕ, ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ РИСКА

Tsiz I., Homich S., Tsiz A., Golii O. Analysis of methods of extraction and transportation of sapropel

The article presents the results of analysis of the methods of extraction and transportation of sapropel. The negative and positive aspects of each of the transportation methods are shown. A pneumatic plant is proposed for transportation of fertility of natural moisture to the coast.

The fence unit includes a housing, a circular pressure pipeline with nozzles, a supply line for air and a conveying pipeline. The case has a s-shaped shape and a protective grille, and the transport pipeline is equipped with an additional pressure pipeline with holes. The new thing is that it is equipped with a transport conduit that is designed to deliver sapropel pulp to the shore and increase the efficiency of the process. Also, in the conveying pipeline, additional pressure pipelines are installed which are designed to accelerate the flow of pulp due to compressed air and their quantity may vary depending on the distance of the installation from the shore.

- / -

Цызь А.И., Цызь И.Е., Голій А.В. Анализ способов добычи и транспортировки сапропеля

В статье приведены результаты анализа способов добычи и транспортировки сапропеля. Отображено негативные и позитивные стороны каждого из способов транспортировки. Предложена пневматическая установка для добычи и транспортировки отложений естественной влажности на берег.

M.Shvedik, V.Teslyuk, A.Bebco. The results of experimental studies on the determination of the maximum permissible height of the installation of the confuser over chlistos.

The article presents the results of the analysis of the workflow of the helicopter located in the confusion pneumatic tracer on the basis of which it is established that it can not fully cover the bogie, since there must be some technological gap between the lower front edge of the confuser and the helical ball, the presence of which will prevent collision damage.

Thus, too large a gap will cause a significant air intake and, accordingly, the depth of the dilution in the confusion will sharply decrease, which will lead to incomplete catching of the cut grain and, accordingly, its loss will increase. In the event that the clearance is insufficient or completely absent, the front edge of the confuser will strike on the ears and knock out the grain outside of the dilution area, which will again lead to grain losses.

To determine the maximum allowable height of the diffuser installation over the grain yield, three swabs of grain per 100 g each. Then the vertical pipe was installed at a height of 0,2 m from the surface of the table and covered with a tap duct, and then switched on the fan and gradually opened the tap. At the same time, the air flow rate was increased to 25m/s, which was measured by an anemometer.

According to the results of experimental studies, the graphical dependence of the height of the installation of the confuser on the grain yield of the dilution in the confusion was constructed.

PNEUMATIC DEVICE, CONFUSOR, BOBBIN REEL, PLANE, CHLISTOS, COLOR, GRAIN, JOLT, AIR DISCHARGE, HIGH

- / -

Шведик Н.С, Теслюк В.В., Бєбко А.А. Результаты экспериментальных исследований с определения максимально допустимой высоты установки конфузора над хлебостоем.

В статье приведены результаты анализа рабочего процесса мотвила расположенного в конфузоре пневмоулавливателя зерна на основании которого установлено, что он не может полностью охватывать мотвило, поскольку между нижним передним краем конфузора и колосовым слоем должен быть некоторый технологический зазор, наличие которого предотвратит удар по колосьях. По результатам экспериментальных исследований построено графическую зависимость высоты установки конфузора над хлебостоем от разрежения в конфузоре.

ПНЕВМОУЛАВЛИВАТЕЛЬ, КОНФУЗОР, МОТВИЛО, ПЛАНКА, ХЛЕБОСТОЙ, КОЛОС, ЗЕРНО, УДАР, РАЗРЕЖЕНИЕ, ВЫСОТА

A. Shymko, L. Serilko Definition of the rational frequency of rotor of cleaning mechanism

In this article was analyzed the design of the proposed cleaning mechanism treatment machine for potato harvesting machines. Currently agricuturalists are paying attention not only to potatoes, but also to another extremely valuable culture - the Jerusalem artichoke. To collect the potato tubers, farmers use potato harvesters, and for Jerusalem artichoke use potato harvesters, which are equipped with special adapters.

The quality of the process of harvesting potato tubers, to a large extent, is influenced the process of cleaning it from the soil, and other impurities. In addition, the low efficiency of cleaning works reduces the productivity of the process of collecting tubers and necessitates the use of manual labor during their cleaning.

If you consider the process of picking up the Jerusalem artichoke, then it is necessary to use the working bodies which would ensure the process of to breaking the ties of the Jerusalem artichoke tubers with its roots.

It was deduced the equation of movement of tubers and given recommendations on the choice of rotor frequency of the cleaning mechanism.

- / -

А.В. Шимко, Л.С. Серилко, Определение рациональной частоты вращения ротора очистительного устройства

В данной статье проанализировано конструкцию предложенного очистительного механизма для картофелеуборочных машин. Получено уравнения движения клубней в данном механизме и даны рекомендации по выбору частоты вращения его ротора.

ЗМІСТ

1. Бодак В.І., Грабовець В.В., Бодак М.В. Вибір раціонального способу добування сапропелю	3
2. Борисюк Д.В., Спірін А.В., Твердохліб І.В., Гунько І.В. Віброакустичне діагностування керованих мостів колісних сільськогосподарських тракторів	6
3. Бундза О.З. Дослідження впливу форми зрізу стебла на якість процесу нанесення гербіциду	16
4. Васильчук Н.В. Дослідження коефіцієнту тертя та зусилля зламу стебел соняшнику	25
5. Голотюк М.В. Дослідження мехатронних систем в машинобудуванні	31
6. Ковбаса В.П., Спирин А.В., Цуркан О.В. О взаимодействии деформируемой ленты зажимного транспортера со стеблом	38
7. Кірчук Р.В. Теоретичні передумови моделювання процесу сушіння дисперсних рослинних матеріалів	47
8. Лімонт А.С., Поліщук О. С. , Плужніков О. Б. Агроландшафти полісся і використання машинно-тракторного парку в умовах великотоварних аграрних формувань	57
9. Налобіна О.О., Мартинюк В.Л., Пуць В.С. Системний аналіз експлуатаційної надійності автомобільного крана	67
10. Панасюк С. Г., Сай В.А., Калахан О. В. Моделювання процесу переміщення потоків у тарілчастій ректифікаційній колоні	76
11. Сацюк В.В., Голій О.В., Курдельчук Д.Л. Теоретичні дослідження подачі сипкого зв'язного матеріалу стрічковим транспортером	84
12. Федорчук-Мороз В.І. Обґрунтування ефективних рішень з попередження ризику травмування в аграрному секторі	89
13. Цизь І.С., Хомич С.М., Цизь А.І., Голій О.В. Аналіз способів добування та транспортування сапропелю	95
14. Шведик М.С., Бебко О.О., Теслюк В.В. Результати експериментальних досліджень з визначення максимально-допустимої висоти установки конфузора над хлібостоем	101
15. Шимко А.В., Серілко Л.С. Визначення раціональної частоти обертання ротору очисного пристрою	106
Анотації	112

**ВИМОГИ ДО МАТЕРІАЛІВ, ЩО ПРОПОНУЮТЬСЯ ДО ДРУКУ
У ЗБІРНИКУ „СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ”
ЛУЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ**

Публікуватись будуть статті, які містять теоретичні або експериментальні дослідження. У статтях повинно бути зрозуміло і повністю викладено зміст питання, що розглядається.

ПЛАН СТАТТІ

1. **Постановка проблеми** у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.
2. **Аналіз останніх досліджень і публікацій**, в яких запропоновано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор, виділення раніше невіршених частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.
3. **Формулювання цілей статті (мета дослідження)**.
4. **Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих результатів (результати дослідження)**.
5. **Висновки** з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку.
6. **Використана література**.

ТЕКСТ

1. Стаття подається на CD або DVD носіях, а також повинна бути роздрукована (на лазерному принтері) на білих аркушах формату A5 (з одного боку). Параметри сторінки: ліве поле – 1 см; праве – 2 см; верхнє – 2,0 см; нижнє – 2,0 см; брошування – 1 см; від краю до колонтитула верхнього – 1,25 см, до нижнього – 1,25 см.
2. Шапка статті містить: шифр УДК, ініціали та прізвище автора (–ів), науковий ступінь. Шифр УДК, прізвище, назва, текст статті розділені 1 інтервалом.

Назва статті повинна бути достатньо короткою (не більше 8 слів). Упродовж всієї статті необхідно строго дотримуватися однакових термінів, позначень, умовних скорочень та символів. Маловідомі скорочення розшифровуються при першому згадуванні. Наукові позначення, терміни та одиниці виміру застосовують згідно з діючими стандартами. Текст статті повинен містити необхідні формули без простих математичних перетворень. Якщо за результатами досліджень отримано таблицю і побудовано графік, то в статті наводять щось одне – або графік, або таблицю. Посилання в тексті на джерела слід зазначати порядковим номером за переліком

посилань, виділеним двома квадратними дужками. Забезпечити нерозривність виразів типу „258 мм”, „І.П. Прізвище” та ін.

3. Шрифт заголовка статті **ARIAL** із напівжирним виділенням.
4. На початку статті наводять *анотацію*, яка містить короткий виклад змісту (2–3 речення курсивом).
5. Набір тексту здійснюється у редакторі не нижче **MS WORD 6.0/7.0**. Для основного тексту необхідно використовувати шрифт **Times New Roman**. Розмір шрифту – 10 пунктів з одинарним інтервалом міжрядь. Абзацний відступ 1,27 см. У параметрах абзацу встановлюють „перед” і „після” на величину 0.
6. Літературу наводять у кінці статті згідно з вимогами державного стандарту (**ДСТУ ГОСТ 7.1:2006**) через один інтервал від останнього рядка. Літературні джерела розміщуються у порядку посилання на них у тексті статті. Обсяг літератури не повинен перевищувати 0,2 обсягу статті.
7. Після літератури наводиться назва статті, автори та анотація російською та англійською мовами. Анотація англійською мовою подається у розширеному форматі та повинна містити не менше 200 слів, об’єднаних у 10–15 речень.
8. Структурні частини статті *обов’язково* виділяються **підзаголовками** відповідно до вказаного вище плану статті.
9. Нумерація сторінок – лише на роздрукованій копії олівцем.
10. Роздрукований оригінал закінчується підписом автора.

ФОРМУЛИ

1. Формули будують у редакторах: **MS Equation, Math Type**. Для набирання формул застосовувати шрифти: **Times New Roman, Symbol** (*курсив*). Основний розмір шрифту формул – 10 пунктів. Формули вирівнюють по центру. Надто довгі формули розбивають на дрібні елементи. Формула не повинна займати більше 5/6 ширини рядка.
2. Після формули наводять пояснення усіх значень символів і числових коефіцієнтів у тій послідовності, у якій вони подані у формулі. Перший рядок пояснення починають без абзацного відступу зі слова „де”, без двокрапки. Нумерувати слід лише ті формули, на які є посилання у наступному тексті. Інші номерувати не рекомендується. Номери позначають арабськими цифрами в круглих дужках біля правого краю сторінки.
3. Формули входять до речення як його рівноправний елемент, тому в кінці формул і в тексті перед ними розділові знаки ставлять відповідно до правил пунктуації. Двокрапка перед формулою ставиться лише у випадках, передбачених правилами пунктуації:

а) у тексті перед формулою є узагальнююче слово; б) цього вимагає побудова речення, що передує формулі.

ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ

1. Рисунки, графіки, діаграми, фотографії та ін. розташовуються у тексті статті (після першого згадування). Їх розмір та контрастність повинні забезпечувати чітке читання.
2. Позиції на рисунках проставляються над виносками.
3. Підрисунковий підпис починається скороченим словом „Рис.”, далі йдуть: пробіл, номер рисунка, який позначається арабськими цифрами, тире, пробіл та назва рисунка. Якщо на рисунку вказані позиції його елементів, то вони *обов'язково* розшифровуються у підрисунковому підписі після назви рисунка і двокрапки або за текстом статті. Крапка в кінці підрисункового підпису не ставиться. Якщо в статті тільки один рисунок, то він не нумерується.

ТАБЛИЦІ

1. Таблиці розташовують у тексті статті (після першого згадування), над таблицею з вирівнюванням по лівому краю необхідно поставити її порядковий номер – Таблиця 1 – і т.д. та назву. Якщо в статті тільки одна таблиця, то вона не нумерується. Таблиця не виходить за поля тексту.
2. Числа та позначення не замінювати „лапками”. Усі позначення вказувати повністю, без скорочень.

ДОДАТКОВІ ДОКУМЕНТИ

1. Анкетні дані автора (–ів): Прізвище І.Б., науковий ступінь, вчене звання, місце роботи, посада, домашня адреса, номери дом., сл. телефонів.
2. Рецензія на статтю, підписана доктором технічних наук.

Подані матеріали будуть редагуватись.

Офіційний сайт видання: agrmash.info

Адреса редакції: 43018 м. Луцьк, вул. Львівська, 75, каб. 359.

Тел. (0332) 74–61–32.

E-mail: lab–amb@ukr.net

Наукове видання

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

Збірник наукових статей
Випуск 37, 2017

Збірник входить до "Переліку наукових фахових видань
України...". Галузь наук - технічні
(Наказ Міністерства освіти і науки України № 241 від 09.03.2016)

Відповідальний за випуск: В.Ф. Дідух
Комп'ютерна верстка: О.М. Гапонюк

Підписано до друку 28.11.2017 р. Формат 60×84/16.
Ум. друк. арк. 8,0. Наклад 100.

Друк ПП Іванюк В.П.
43021 м. Луцьк, вул. Винниченка, 65
Свідоцтво Держкомінформу України ВЛн №31 від 04.02.2004р.

Реєстраційне свідоцтво
Міністерства юстиції України КВ №15902–4374 ПР

