
«НАУКОВІ ГОРИЗОНТИ»,
«SCIENTIFIC HORIZONS»

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

2018, № 12 (73)

Виходить дванадцять разів на рік
ЗАСНОВАНО 12 БЕРЕЗНЯ 1998 р.
Матеріали друкуються українською,
частково російською та англійською мовами

Редакційна колегія:

д.е.н. Скидан О. В.
(головний редактор)
д.с.-г.н. Романчук Л. Д.
д.е.н. Ходаківський Є. І.
(заступники головного редактора)
к.с.-г.н. Тимошук Т. М.
к.е.н. Куровська Н. О.
(відповідальні секретарі)
д.вет.н. Борисевич Б. В.
д.т.н. Братішко В. В.
д.с.-г.н. Веремєєнко С. І.
д.вет.н. Галатюк О. Є.
д.т.н. Грабар І. Г.
д.т.н. Голуб Г. А.
д.вет.н. Горальський Л. П.
д.с.-г.н. Гузій А. І.
д.с.-г.н. Дідора В. Г.
д.вет.н. Довгій Ю. Ю.
д.т.н. Друкований М. Ф.
д.т.н. Запольський А. К.
д.е.н. Зіновчук В. В.
д.е.н. Зінчук Т. О.
д.вет.н. Ільницький М. Г.
д.вет.н. Калиновський Г. М.
д.с.-г.н. Ковальов В. Б.
д.с.-г.н. Куян В. Г.
д.т.н. Кухарець С. М.
д.е.н. Малиновський А. С.
д.е.н. Масловська Л. Ц.
д.е.н. Микитюк В. М.
д.с.-г.н. Мойсієнко В. В.
д.с.-г.н. Надточій П. П.
д.т.н. Паламарчук І. П.
д.с.-г.н. Пелехатий М. С.
д.с.-г.н. Савченко Ю. І.
д.т.н. Сидорчук О. В.
д.с.-г.н. Славов В. П.
д.е.н. Цаль-Цалко Ю. С.

Editorial board:

O. V. Skidan, Dr. of Ec. Sc.
(editor-in-chief)
L. D. Romanchuk, Dr. of Agr. Sc.
Ye. I. Hodakivsky, Dr. of Ec. Sc.
(deputies editor-in-chief)
T. M. Tymoshchuk, Cand. of Agr. Sc.
N. O. Kurovska, Cand. of Ec. Sc.
(executive secretaries)
B. V. Borysevych, Dr. of Vt. Sc.
V.V. Bratishko, Dr. of Eng. Sc.
S. I. Veremeyenko, Dr. of Agr. Sc.
O. Ye. Galatyuk, Dr. of Vt. Sc.
I. G. Grabar, Dr. of Eng. Sc.
G. A. Golub, Dr. of Eng. Sc.
L. P. Goralsky, Dr. of Vt. Sc.
A. I. Guziy, Dr. of Agr. Sc.
V. G. Didora, Dr. of Agr. Sc.
Y. Y. Dovgiy, Dr. of Vt. Sc.
M. F. Drukovan, Dr. of Eng. Sc.
A. K. Zapolsky, Dr. of Eng. Sc.
V. V. Zinovchuk, Dr. of Ec. Sc.
T. O. Zinchuk, Dr. of Ec. Sc.
M. G. Ilnytsky, Dr. of Vt. Sc.
G. M. Kalynovsky, Dr. of Vt. Sc.
V. B. Kovaliov, Dr. of Agr. Sc.
V. G. Kuyan, Dr. of Agr. Sc.
S. M. Kuharets, Dr. of Eng. Sc.
A. S. Malynovsky, Dr. of Ec. Sc.
L. Ts. Maslovska, Dr. of Ec. Sc.
V. M. Mykytyuk, Dr. of Ec. Sc.
V. V. Moiseyenko, Dr. of Ec. Sc.
P. P. Nadtochiy, Dr. of Agr. Sc.
I. P. Palamarchuk, Dr. of Eng. Sc.
M. S. Pelehaty, Dr. of Agr. Sc.
Y. I. Savchenko, Dr. of Agr. Sc.
O. V. Sydorchuk, Dr. of Eng. Sc.
V. P. Slavov, Dr. of Agr. Sc.
Yu. S. Tsal-Tsalko, Dr. of Ec. Sc.



**Засновник, редакція,
видавець –**

**ЖИТОМИРСЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ
АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Свідоцтво
про державну реєстрацію
Серія КВ № 23134-12974 ПР
від 19.02.2018 р.

Науковий журнал включено до Переліку наукових фахових видань України з сільськогосподарських, ветеринарних (наказ МОН України № 261 від 06.03.2015 р.), економічних (наказ МОН України № 528 від 12.05.2015 р.) та технічних наук (наказ МОН України № 1021 від 07.10.2015 р.)

Відбір статей до друку проводиться редакційною колегією згідно з вимогами, що друкуються у науковому журналі, та шляхом додаткового рецензування і надання відповідної рекомендації.

ISSN: 2663-2144

Головний редактор
О. В. Скидан

Відповідальні за випуск
Є. І. Ходаківський, Н. О. Куровська

Науковий редактор
Є. І. Ходаківський,

Редагування англomовних текстів
Г. О. Хант, С. В. Кубрак

Редактор
Л. В. Якубовська

Редагування бібліографічних списків:
О. І. Касянюк, Н. Г. Яремчук

Комп'ютерний набір та верстка
О. М. В'юнцова

Макетування
О. М. В'юнцова

**Друкується за рішенням
Вченої ради ЖНАЕУ
протокол № 5 від 26.12.2018 р.**

Підписано до друку 28.12.2018 р.
Формат 210x297.

Ум. друк. арк. 9,7
Наклад 300 пр. Зам. № 399

**Адреса редакції видавця
та виготовлювача:**

10008, м. Житомир,
бульвар Старий, 7, ЖНАЕУ.

Контактні телефони:
(0412) 22–85–97, (0412) 22–04–17

Факс: (0412) 22–04–17

Свідоцтво суб'єкта
про державну реєстрацію
ДК № 3402 від 23.02.2009 р.

Address of the publishers:

Zhytomyr National
Agroecological University
Stary Boulevard, 7
10008, Zhytomyr, Ukraine

Telephone number:
(0412) 22–85–97, (0412) 22–04–17

Fax: (0412) 22–04–17

e-mail: skydanolegv@ukr.net

© Житомирський національний
агроєкологічний університет, 2018

УДК 636.2.034:637.1

СПОСІБ ОЦІНКИ СТАНУ ОПОРНО-РУХОВОГО АПАРАТУ ВЕЛИКОЇ РОГАТОЇ ХУДОБИ**Е. Б. Алієв¹, О. С. Гаврильченко²***e-mail: aliev@meta.ua*¹Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України
вул. Інститутська, 1, с. Сонячне, Запорізький р-н, Запорізька обл., 69093, Україна²Дніпровський державний аграрно-економічний університет
вул. ім. Ворошилова, 25, м. Дніпро, 49600, Україна

Хвороби кінцівок у корів спостерігаються часто і завдають господарствам відчутних збитків. Особливо ця проблема загострилася в умовах спеціалізації молочного скотарства, що пов'язано з різкою зміною годівлі та утримання тварин. Для вирішення проблеми захворювання кінцівок корів необхідно проводити постійну діагностику їх стану. Метою досліджень є створення способу оцінки стану опорно-рухового апарату великої рогатої худоби, в якому додатково здійснюють автоматизований розрахунок кінематичних показників руху заданих точок тіла тварини, розрахунок на їх основі комплексного показника рухливості і порівняння його з еталонним показником, що дозволяє виявляти порушення ходи тварини і діагностувати захворювання, що їх спричиняють, навіть на ранніх стадіях. Розрахунок кінематичних показників руху заданих точок тіла тварини, зокрема точок, що відповідають суглобам кінцівок, дозволяє здійснювати не тільки якісну, а й кількісну оцінку ступеня її кульгавості. Оцінка вигину спини тварини під час ходьби підвищує точність виявлення захворювань її опорно-рухового апарату. В якості пристрою для отримання тривимірного зображення використана одна кольорова відеокамера, а також інфрачервоний випромінювач та приймач, що утворюють датчик глибини, призначений для визначення відстані від пристрою до кожної точки зображення. Робота такого пристрою полягає у здійсненні відеозйомки з можливістю отримання як кольорового двовимірного відеозображення, так і тривимірного зображення, в якому яскравість кожної точки характеризує відстань між нею та пристроєм. Для обробки й аналізу тривимірних зображень потрібно використовувати комп'ютер із встановленим відповідним програмним забезпеченням. Таким чином, використання запропонованого способу дозволить в автоматичному режимі визначати комплексний показник рухливості ВРХ і проводити діагностику захворювань її опорно-рухового апарату, в тому числі кінцівок, а також визначати додаткові характеристики, такі як геометричні розміри тварин. Визначення комплексного показника рухливості підвищує якість структурування стада за віко-продуктивними групами тварин і, відповідно, ефективність керування стадом.

Ключові слова: велика рогата худоба, опорно-руховий апарат, кульгавість, діагностика, стана, рухливість, продуктивність.

Постановка проблеми

Хвороби кінцівок у корів спостерігаються часто і завдають господарствам відчутних збитків. Дослідженнями [1] було встановлено структуру середньостатистичного стада за стадіями захворювання кінцівок, згідно з якою 26 % корів у стаді мають порушення опорно-рухового апарату. Дослідженнями [2–3] було виявлено, що кожен випадок кульгавості в середньому несе збитки в розмірі 320 €, що включає: зниження продуктивності корови, їх вибракування, втрати у вазі, збільшення витрат на лікування. Особливо ця проблема загострилася в умовах спеціалізації молочного скотарства, що пов'язано з різкою зміною годівлі та утримання тварин. Причинами захворювань копитець є різноманітні механічні пошкодження з наступним проникненням у живі тканини патогенних мікроорганізмів. Сприяє даній

патології концентрація тварин на обмеженій площі, погана якість підлог, гіподинамія, порушення санітарно-гігієнічних норм, незбалансоване годування, а також важливу роль відіграє й породний фактор.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Для вирішення проблеми захворювання кінцівок корів необхідно проводити постійну діагностику їх стану. Дослідження [4] показали, що регулярна оцінка рухливості корови дозволяє вже на ранніх стадіях розпізнати ледь помітну кульгавість з точністю понад 80 %. Новітні технології визначення кульгавості на основі датчиків тиску з точністю 60–70 % не витримують конкуренції. І це – додатковий мотив для розробки нових автоматизованих систем і алгоритмів для візуального виявлення кульгавості. В результаті попередніх досліджень

[5–8] розроблені основні концепції діагностики стану опорно-рухового апарату великої рогатої худоби.

Мета, завдання та методика досліджень

Метою досліджень є створення способу оцінки стану опорно-рухового апарату великої рогатої худоби, в якому додатково здійснюють автоматизований розрахунок кінематичних показників руху заданих точок тіла тварини, розрахунок на їх основі комплексного показника рухливості і порівняння його з еталонним показником, що дозволяє виявляти порушення ходи тварини і діагностувати захворювання, що їх спричиняють, навіть на ранніх стадіях.

Результати досліджень

Поставлене завдання вирішується тим, що в способі оцінки стану опорно-рухового апарату великої рогатої худоби, який включає отримання тривимірного зображення тварини, додатково здійснюють автоматизоване визначення заданих точок тіла тварини, розрахунок кінематичних показників руху цих точок, розрахунок на їх основі комплексного показника рухливості і порівняння його з еталонним показником, а також додатково здійснюють автоматичну оцінку вигину спини тварини під час ходьби і враховують її при розрахунку комплексного показника рухливості.

Розрахунок кінематичних показників руху заданих точок тіла тварини, зокрема точок, що відповідають суглобам кінцівок, дозволяє здійснювати не тільки якісну, а й кількісну оцінку ступеня її кульгавості.

Оцінка вигину спини тварини під час ходьби підвищує точність виявлення захворювань її опорно-рухового апарату.

Комплексний показник рухливості пов'язаний з показниками руху заданих точок тіла тварини співвідношенням:

$$K = f(\bar{r}_i(t), \bar{v}_i(t), \bar{a}_i(t)), \quad (1)$$

де K – комплексний показник рухливості;

$\bar{r}_i(t)$ – радіус-вектор i -ї точки тіла тварини в момент часу t , м;

$\bar{v}_i(t)$ – вектор швидкості руху i -ї точки тіла тварини в момент часу t , м/с;

$\bar{a}_i(t)$ – вектор прискорення i -ї точки тіла тварини в момент часу t , м/с².

В якості пристрою для отримання тривимірного зображення ВРХ може бути використаний будь-який пристрій, що має відповідні функції, а саме: тривимірна камера, або кілька двовимірних камер, або одна двовимірна камера з джерелом і приймачем оптичного випромінювання тощо. В переважному варіанті пропонується використовувати пристрій, до складу якого входять зокрема одна кольорова відеокамера, а також інфрачервоний випромінювач та приймач, що утворюють датчик глибини, призначений для визначення відстані від пристрою до кожної точки зображення. Робота такого пристрою полягає у здійсненні відеозйомки з можливістю отримання як кольорового двовимірного відеозображення, так і тривимірного зображення, в якому яскравість кожної точки характеризує відстань між нею та пристроєм. Для обробки й аналізу тривимірних зображень потрібно використовувати комп'ютер із встановленим відповідним програмним забезпеченням.

На рис. 1 представлена схема розміщення обладнання для реалізації способу оцінки стану опорно-рухового апарату ВРХ.

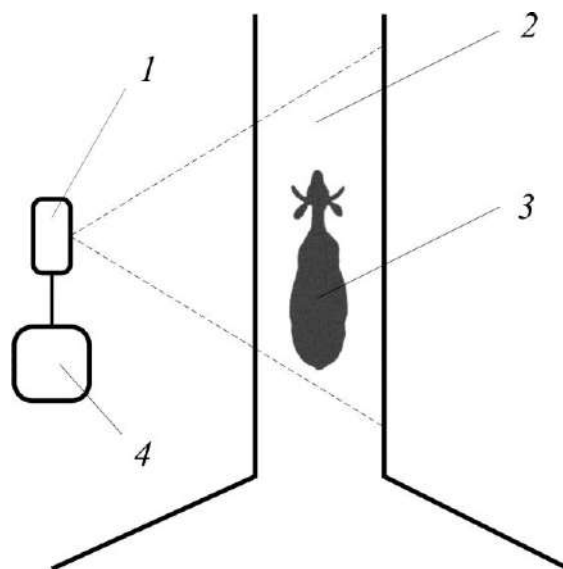


Рис. 1. Схема розміщення обладнання для реалізації способу оцінки стану опорно-рухового апарату ВРХ

Пристрій для отримання тривимірного зображення 1 встановлюють поруч з коридором 2, по якому рухається тварина 3, таким чином, щоб довжина частини коридору, що знаходиться у полі огляду камери пристрою, перевищувала

середню довжину тварини. Дистанція між пристроєм 1 і коридором 2 повинна бути достатньою для визначення відстані до тварини 3, що рухається коридором. До початку проходження тварини пристрій 1 підключають до комп'ютера 4 і проводять налаштування, яке включає в себе щонайменше побудову статистичної моделі заднього плану.



Рис. 2. Блок-схема алгоритму процесу аналізу руху ВРХ для випадку визначення як кінематичних показників руху, так і вигину спини тварини

При проходженні тварини 3 коридором 2 відбувається процес аналізу її руху, що включає наступні етапи (рис. 2): відеозйомку, визначення тварини як об'єкта переднього плану, трекінг тварини, відстеження траєкторій і визначення кінематичних показників руху заданих точок тіла тварини, розрахунок комплексного показника рухливості тварини та порівняння його з еталонним показником. Додатково визначається наявність або відсутність вигину спини тварини. В результаті порівняння, ступінь захворювання опорно-рухового апарату даної тварини

оцінюється за бальною шкалою згідно з комплексним показником рухливості. Вказаний процес повторюється для кожної тварини, яка проходить ділянкою коридору, що знаходиться у полі огляду камери пристрою 1. Приклад результату визначення заданих точок тіла (трекінгу) корови представлено на рис. 3.

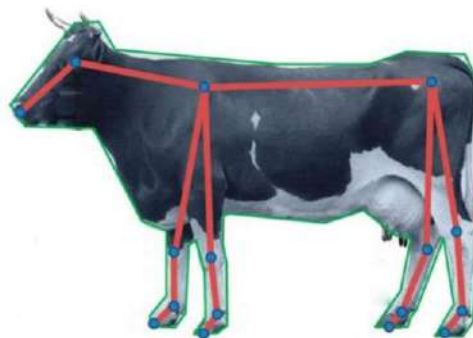


Рис. 3. Приклад результату визначення заданих точок тіла (трекінгу) корови

Крім цього, разом із аналізом руху ВРХ може проводитися визначення її геометричних розмірів, що може бути використано, наприклад, для проведення бонітурки.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Таким чином, використання запропонованого способу дозволить в автоматичному режимі визначати комплексний показник рухливості ВРХ і проводити діагностику захворювань її опорно-рухового апарату, в тому числі кінцівок, а також визначати додаткові характеристики, такі як геометричні розміри тварин. Визначення комплексного показника рухливості підвищує якість структурування стада за віко-продуктивними групами тварин і, відповідно, ефективність керування стадом.

References

1. Gasteiner, J. (2005). Ursachen für Lahmheiten bei Milchkühen. *Stallbau im Rahmen der neuen Bundes Tierhaltungsverordnung. Tiergesundheit. Stallklima und Emissionen* (pp. 57–62). Raumberg-Gumpenstein.
2. Tsyher, P. (2009). Khromota ne prokhodyt vnezapno [The limp does not pass suddenly]. *Novoe selskoe khoziaistvo*, 5, 76–78 [in Russian].
3. Panko, I. S. & Petryk, M. V. (2007). Profilaktyka khvorob kintsivok u vysokoproduktyvnykh koriv [Prophylaxis of limb

diseases in highly productive cows]. *Veterynarna medytsyna Ukrainy*, 3, 16–18 [in Ukrainian].

4. Khabibullin, T. (2011). Novyye kopyta ne kupish ili kak pravilno ukhazhivat za kopytami korov [New hooves can not buy or how to properly care for the hooves of cows]. *Selskokhozyaystvennyye vesti*, 3 (86), 6–8 [in Russian].

5. Aliiev, E. B. (2014). Biomekhanichna model funktsionuvannia zoomorfnoho mekhanizmu kintsivok velykoi rohatoi khudoby [Biomechanical model of functioning of zoomorphic mechanism of the limbs of cattle]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka*, 144, 243–250 [in Ukrainian].

6. Tislichenko, O. S. & Aliiev, E. B. (2013). Rozrobka struktury i pryntsyphu roboty avtomatyzovanoi systemy diahnozyky zakhvoriuvan kintsivok VRKh [Development of the structure and principle of the automated system of diagnosis of diseases of the extremities of cattle]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka*, 132, 77–83 [in Ukrainian].

7. Shevchenko, I. & Aliiev, E. B. (2013). Automated control systems for technical processes in dairy farming. *Annals of Warsaw University of Sciences. SGGW. Agriculture (Agricultural and Forest Engineering)*, 61, 41–49.

8. Shevchenko, I. A. & Aliyev, E. B. (2013). Strategiya razrabotki avtomatizirovannoy sistemy upravleniya molochnym skotovodstvom [Strategy for the development of an automated dairy cattle management system]. *Vestnik VNIIMZh. Ser. Mekhanizatsiya. avtomatizatsiya i mashinnyye tekhnologii v zhivotnovodstve* Moskva, 3 (11), 37–43 [in Russian].

METHOD FOR ESTIMATING THE STATE OF THE SUPPORT AND MOTOR APPARATUS OF CATTLE

E. Aliiev¹, O. Gavrilchenko²
e-mail: aliev@meta.ua

¹Institute of Oilseed Crops of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine
st. Institutska, 1, pos. Sunny, Zaporozhye district, Zaporozhye region, 69093, Ukraine

²Dneprovsk State Agrarian-Economic University
st. them. Voroshilova, 25,
city. Dnipro, 49600, Ukraine

Diseases of the limbs of cows are often observed and cause significant losses to farms. Especially this problem has become aggravated under the conditions of specialization of dairy cattle breeding, which is associated with a sharp change in the feeding and maintenance of animals. To solve the problem of disease of the limbs of cows, it is necessary to conduct a constant diagnosis of their condition. The aim of the research is to create a method for assessing the state of the musculoskeletal system of cattle, in which they additionally carry out an automated calculation of the kinematic indicators of the movement of given points of the animal's body, calculating a complex mobility indicator based on them and comparing it with a reference indicator that allows detecting disorders of the animal diseases that are caused even in the early stages. The calculation of the kinematic indicators of the movement of given points of the animal's body, in particular the points corresponding to the joints of the extremities, allows not only qualitative but also quantitative assessment of the degree of its lameness. The assessment of the bending of the back of the animal while walking increases the accuracy of detection of diseases of its musculoskeletal system. As a device for obtaining a three-dimensional image, a single color video camera was used, as well as an infrared emitter and receiver, which form a depth sensor, designed to determine the distance from the device to each point of the image. The operation of such a device consists of video recording with the possibility of obtaining both a color two-dimensional video image and a three-dimensional image in which the brightness of each point characterizes the distance between it and the device. To process and analyze three-dimensional images, you need to use a computer with the appropriate software installed. Thus, the use of the proposed method will allow in automatic mode to determine the complex indicator of the mobility of cattle and to diagnose diseases of its musculoskeletal system, including limbs, as well as to determine additional characteristics, such as the geometric dimensions of animals. The definition of a complex indicator of mobility improves the quality of structuring the herd for the age-productive groups of animals and, accordingly, the efficiency of herd management.

Keywords: cattle, musculoskeletal system, lameness, diagnosis, condition, mobility, performance.

СПОСОБ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА**Э. Б. Алиев¹, А. С. Гаврильченко²***e-mail: aliev@meta.ua*

¹Институт масличных культур Национальной академии аграрных наук Украины
ул. Институтская, 1, пос. Солнечный, Запорожский р-н,
Запорожская обл., 69093, Украина

²Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет
ул. им. Ворошилова, 25,
г. Днепр, 49600, Украина

Болезни конечностей у коров наблюдаются часто и наносят хозяйствам ощутимые убытки. Особенно эта проблема обострилась в условиях специализации молочного скотоводства, что связано с резким изменением кормления и содержания животных. Для решения проблемы заболевания конечностей коров необходимо проводить постоянную диагностику их состояния. Целью исследований является создание способа оценки состояния опорно-двигательного аппарата крупного рогатого скота, в котором дополнительно осуществляют автоматизированный расчет кинематических показателей движения заданных точек тела животного, расчет на их основе комплексного показателя подвижности и сравнение его с эталонным показателем, позволяющим выявлять нарушения походки животного и диагностировать заболевания, которые вызваны даже на ранних стадиях. Расчет кинематических показателей движения заданных точек тела животного, в частности точек, отвечающих суставам конечностей, позволяет осуществлять не только качественную, но и количественную оценку степени его хромоты. Оценка изгиба спины

животного во время ходьбы повышает точность обнаружения заболеваний его опорно-двигательного аппарата. В качестве устройства для получения трехмерного изображения использована одна цветная видеокамера, а также инфракрасный излучатель и приемник, образуют датчик глубины, предназначен для определения расстояния от устройства к каждой точке изображения. Работа такого устройства заключается в осуществлении видеосъемки с возможностью получения как цветного двумерного видеоизображения, так и трехмерного изображения, в котором яркость каждой точки характеризует расстояние между ней и устройством. Для обработки и анализа трехмерных изображений нужно использовать компьютер с установленным соответствующим программным обеспечением. Таким образом, использование предлагаемого способа позволит в автоматическом режиме определять комплексный показатель подвижности КРС и проводить диагностику заболеваний его опорно-двигательного аппарата, в том числе конечностей, а также определять дополнительные характеристики, такие как геометрические размеры животных. Определение комплексного показателя подвижности повышает качество структурирования стада за возрастно-продуктивными группами животных и, соответственно, эффективность управления стадом.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, опорно-двигательный аппарат, хромота, диагностика, состояния, подвижность, производительность.

УДК 631.147:632.937.3

УЗАГАЛЬНЕННЯ ВИМОГ ДО ВИРОБНИЦТВА ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ ТВАРИННИЦТВА**Г. А. Голуб, О. А. Марус**

e-mail: gagolub@ukr.net

Національний університет біоресурсів і природокористування України
м. Київ, вул. Героїв оборони, 15, 03041, Україна

Наведена актуальність і важливість виробництва екологічно безпечної продукції тваринництва. Аналіз вимог до виробництва екологічно безпечної продукції тваринництва дозволив сформулювати перелік головних показників, які є невід'ємною складовою такого виробництва, до них відносяться: доступ тварин до відкритих пасовищ; підбір порід зі стійкістю до хвороб; безприв'язне утримання тварин; відповідність приміщень та відкритих майданчиків біологічним та поведінковим потребам тварин; обов'язкова ідентифікація та реєстрація тварин; відповідна кількість тварин на 1 га с.-г. угідь; репродукцію тварин необхідно здійснювати природнім методом; вигодовування тварин проводити натуральним материнським молоком; використовувати корми власного виробництва не менше 50 %; вибір породи що є головним у формуванні стада; правильний підбір раціону; дотримання технології вигодовування та системи вигодування; особливу увагу потрібно приділяти лікуванню тварин та використанню відповідних препаратів; здійснювати реєстрацію тварин та утилізацію відходів; постійно проводити контроль за якістю продукції. До заборон при виробництві продукції тваринництва відносять: розведення тварин на прив'язі або в ізоляції; утримання тварин на примусовій відгодівлі; використання штучних замінників молока; використання стимуляторів росту та хімічних ветеринарних препаратів. Поєднання існуючих біологічних методів виробництва екологічно безпечної сільськогосподарської продукції, продукції тваринництва та переробки в єдину технологічну систему дозволить підвищити рівень біологізації продукції, покращити екологічну ситуацію та отримати часткову енергетичну незалежність її виробництва, а також вийти на Світовий ринок з якісною продукцією.

Ключові слова: екологічно безпечна продукція, тваринництво, біодобриво, енергоносій.

Постановка проблеми

Наразі перед людством постало декілька невідкладних проблем. Серед них продовольча, енергетична та екологічна, розв'язання яких вимагає максимально ефективного збалансування харчових, сировинних та енергетичних потреб з можливостями агроєкосистем. Комплексне вирішення цих проблем спрямоване на подолання протиріччя, коли збільшення виробництва продуктів харчування або виробництва та споживання енергії призводить до порушення екологічної рівноваги і погіршення стану навколишнього природного середовища. До того ж, питання виробництва екологічно безпечної та якісної продукції харчування, яке неможливе без використання екологічно чистих технологій, стає все актуальнішим.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В останні роки спостерігається тенденція до розвитку органічного виробництва в Україні, зростає кількість підприємств, які направили свою діяльність на отримання екологічно безпечної продукції тваринництва. Інтенсивніше

в напрямку виробництва екологічно безпечної продукції почали працювати підприємства молочного виробництва, в 2015 році підприємств в Україні, що виробляють органічну молочну продукцію (сировину), вже було біля двадцяти [1]. З 2014 р. в Україні почав працювати перший завод з виробництва екологічно безпечної молочної продукції ТОВ «Органік мілк» [2]. Займатись виробництвом екологічно безпечної продукції можливо лише за умови проходження сертифікації підприємств спеціальними організаціями. В Україні сертифікацією підприємств, що виробляють екологічно безпечну продукцію, займається ТОВ «Органік стандарт», який для країн, що не є членами Європейського Союзу, застосовує стандарт Міжнародних акредитованих органів сертифікації з органічного виробництва і переробки, еквівалентний Постановам Ради (ЄС) № 834/2007, № 889/2008 [3]. Також до позитивних подій необхідно віднести те, що постійно відбуваються наукові семінари, на яких обговорюються питання рецептурного складу компонентів, як невід'ємного процесу виробництва екологічно безпечної продукції як на етапі годівлі худоби із зазначенням змін

фізико-хімічних характеристик продукції, так і складу компонентів виробництва самої продукції на етапах переробки [4]. Також необхідно відмітити, що не без уваги залишається важливий завершальний етап у виробництві екологічно безпечної продукції – це вибір пакувального матеріалу [5], оскільки від цього залежить наскільки витриманий весь ланцюг виробництва такої продукції.

Нами також проводилися дослідження в напрямку переробки відходів галузі тваринництва з подальшим отриманням біогазу та біодобрих [6, 7, 8]. За результатами досліджень були розроблені обертові метантенки з визначенням параметрів руху частинок біомаси упродовж обертання реактора [9, 10]. Головна перевага їх полягає в тому, що обертовий барабан знаходиться в рідині, що значно зменшує енергетичні витрати на виробництво біогазу, які, в основному, направлені на перемішування субстрату [11, 12]. Відома низка теоретичних досліджень, які направлені на вивчення питання руху матеріальної частинки по радіальних лопатках циліндричних реакторів [13, 14, 15, 16].

Водночас, питання врахування впливу біоенергоконверсії органічної сировини агроєкосистем на можливості забезпечення

енергетичної автономності виробництва зі збереженням родючості ґрунтів та виробництвом екологічно безпечної продукції тваринництва з одночасним підвищенням ефективності її виробництва залишається відкритим. Хоча також є суттєві напрацювання в напрямку енергетичної автономності агроєкосистем [17, 18]. Сформована концепція виробництва екологічно безпечної продукції рослинництва і тваринництва дала можливість виділити загальні вимоги до виробництва відповідної продукції [19].

Позитивна динаміка розвитку виробництва органічної продукції тваринництва в Україні сприяла необхідності встановлення відповідних вимог на державному рівні. Таким чином, 30 березня 2016 року постановою № 241 Кабінету Міністрів України були затверджені Детальні правила виробництва органічної продукції (сировини) тваринного походження.

При переході на виробництво органічної продукції потрібно технологію розглядати не тільки як наявність відповідним показникам, а й відповідність кількісному потенціалу, це правило відноситься до відкритих пасовищ та приміщень утримання тварин, де важливо розглядати їх кількість в м² на одну голову (табл. 1), [3].

Таблиця 1. Вимоги до вигодовування та утримання тварин за виробництва екологічно безпечної продукції тваринництва

Назва вимоги	Найменування тварин		Назва показника	Дані
Максимальна кількість тварин на 1 га с.-г. угідь	Телята на відгодівлі та ВРХ віком до 12 місяців			5
	Самці та самиці ВРХ (від 12 до 24 місяців)			3,3
	Самці ВРХ (від 24 місяців)			2
	Племінні телиці та телиці на відгодівлі			2,5
	Дійні корови			2
Площа приміщень	Велика рогата худоба, кг	До 100	Щільність розміщення, м ² на одну голову	1,5
		До 200		2,5
		До 350		4
		Більше 350		5
	Дійні корови			6
	Племінні бугаї			10
Площа відкритих майданчиків	Велика рогата худоба, кг	До 100	Майданчики для вигулу, крім пасовищ, м ² на одну голову	1,1
		До 200		1,9
		До 350		3
		Більше 350		3,7
	Дійні корови			4,5
	Племінні бугаї			30

До важливих показників слід віднести (табл. 2), [3]: доступ тварин до відкритих пасовищ; підбір порід зі стійкістю до хвороб; безприв'язне утримування тварин; відповідність приміщень та відкритих майданчиків біологічним та поведінковим потребам тварин; обов'язкова ідентифікація та реєстрація тварин; відповідна кількість тварин на 1 га с.-г. угідь; репродукцію тварин необхідно здійснювати

природним методом; вигодовування тварин проводити натуральним материнським молоком; використовувати корми власного виробництва не менше 50 %; вибір породи, який є головним у формуванні стада; правильний підбір раціону; дотримання технології вигодовування та системи вирощування; особливу увагу потрібно приділяти лікуванню тварин та використанню відповідних препаратів тощо.

Таблиця 2. Вимоги до розведення тварин при виробництві екологічно безпечної продукції тваринництва

Показник	Назва вимоги
Здоров'я тварин	Підтримувати, в основному, шляхом здійснення профілактичних заходів
Вибір породи	Переважа надається місцевим породам з врахуванням її стійкості до специфічних хвороб
Створення стада	Створення стада здійснюють із телят віком не менше 6 місяців і вони повинні вирощуватися відповідно до правил органічного виробництва.
Оновлення стада	До стада можуть вводитись самиці тварин, що не народжували, з господарств, які здійснюють виробництво традиційної (неорганічної) продукції (сировини), в кількості, що не перевищує 10% поголів'я
Репродукція	Повинна здійснюватися переважно природним методом
Реєстрація	Тварини повинні бути ідентифіковані та зареєстровані
Приміщення для утримання	Приміщення повинні відповідати біологічним та поведінковим потребам тварин і мати гладку та не слизьку підлогу
Розміщення	Потрібно враховувати оптимальні показники площі приміщень
Пасовище	Тварини повинні мати вільний доступ до відкритих пасовищ
Персонал	Повинен володіти необхідними базовими знаннями і навичками щодо здоров'я та належного утримання тварин
Раціон	Встановлюється залежно від віку, маси тіла, стану здоров'я та виду корму
Годівля	Для годівлі, крім періоду, коли тварин переводять із зимового утримання на літнє, використовуються корми, не менше ніж на 50% власного виробництва
Вигодовування	Тварини вигодовуються натуральним материнським молоком не менше 3 місяців
Відгодовля	Відгодовля худоби для виробництва м'яса може здійснюватись у приміщенні за умови, що такий період не повинен перевищувати 1/5 тривалості їх життя і становить менше трьох місяців
Система вирощування	Для травоядних тварин система вирощування має ґрунтуватись переважно на використанні пасовищ у різні пори року. Не менше 60% сухої речовини у добовому раціоні травоядних тварин на відгодовлі становить грубий корм, свіжий або висушений фураж чи силос. Для тварин молочного напрямку цей показник може бути зменшений до 50% на початку лактації на період не більше 3 місяців
Лікування	Застосовуються фітотерапевтичні, гомеопатичні препарати, мікроелементи та препарати, використання яких дозволено під час органічного виробництва
Очищення та дезінфекція приміщень	Використовуються препарати, які дозволені при органічному виробництві
Утилізація відходів	Екскременти, сечовина тварин та гній, у тому числі струхлявіле сіно та солома утилізуються з дотриманням ветеринарно-санітарних вимог
Контроль	Виробник веде та зберігає журнал обліку виробництва продукції
Якість	Вироблена продукція підлягає оцінці та підтвердженню відповідності виробництва

До заборон (табл. 3) при виробництві органічної продукції тваринництва відносять: розведення тварин на прив'язі або в ізоляції; утримання тварин на примусовій відгодовлі; використання штучних замінників молока;

використання стимуляторів росту та хімічних ветеринарних препаратів. Зрозуміло, що дотримання всіх вимог можливо лише при підборі висококваліфікованих і обізнаних фахівців [3].

Таблиця 3. Існуючі заборони до розведення тварин при виробництві екологічно безпечної продукції тваринництва

Показник	Назва вимоги
Утримування	На прив'язі або в ізоляції. Телят віком більше семи днів в індивідуальних боксах
Відгодівля	Утримання тварин на примусовій відгодівлі
Вигодовування	Використання штучних замінників молока та сухого молока
Годівля	Здійснення дієтичної або іншої обмеженої годівлі тварин, що призводить до анемії
Ветеринарні препарати	Застосування хімічних алопатичних ветеринарних препаратів або антибіотиків з профілактичною метою
Стимулятори	Застосування речовин для стимулювання росту або продуктивності тварин

Мета, завдання та методика досліджень

Метою роботи є визначення вимог до виробництва екологічно безпечної продукції тваринництва із можливістю здійснення переробки органічних відходів з отриманням добрив та біогазу для компенсації енергетичних потреб господарства.

Для досягнення мети було сформовано наступне завдання досліджень: удосконалити технологічний процес органічного виробництва продукції тваринництва.

Дослідження проводилися на основі аналізу законодавчих актів з виробництва екологічно безпечної продукції тваринництва. Аналіз узагальнювався шляхом визначення основних елементів технологій виробництва продукції тваринництва та окремо визначались основні показники традиційної технології виробництва продукції тваринництва та показники технології органічного виробництва продукції тваринництва.

Результати досліджень

Виробництво екологічно безпечної продукції може собі дозволити лише господарство, яке поєднує рослинництво і тваринництво. Проблема зводиться до того, що при переході на виробництво екологічно-безпечної продукції рослинництва необхідно, в першу чергу, відмовлятися від застосувань мінеральних добрив та використовувати органічні. Більшість господарств перейшло лише на виробництво продукції рослинництва, і лише частина господарств виробляє продукцію тваринництва. Тому перейти на виробництво екологічно-безпечної продукції господарствам досить складно, навіть за наявності бажання, оскільки відмовитись від мінеральних добрив неможливо у зв'язку з відсутністю у власному господарстві, або у колег підприємців, що знаходяться поруч,

галузі тваринництва. У виробників продукції тваринництва ситуація аналогічна – відсутність сертифікованої органічної продукції рослинництва унеможливує вироблення органічної продукції тваринництва. Закуповування для виробництва органічної продукції тваринництва зерна, комбікормів або рослинних кормів призводить до зростання ціни на кінцеву продукцію, що негативно впливає на формування ціни на дану продукцію, а відповідно і на її попит. Господарствам, що взяли курс на виробництво органічної продукції рослинництва, у свою чергу, необхідно мати ресурси екологічно безпечних для ґрунтів органічних добрив. Отримати такі добрива можливо без переробки гною та посліду з використанням процесів компостування, при цьому енергетичне забезпечення цих процесів доцільно здійснювати за рахунок використання біогазових установок.

Серйозною задачею на сучасному етапі є також залучення в енергетичний баланс біологічних видів палива як поновлюваних ресурсів акумульованої сонячної енергії, оскільки збільшення використання біологічних енергоресурсів доволі складний процес, що потребує додаткових витрат для надання їм необхідних якостей.

Основні елементи технологій виробництва продукції тваринництва приведені схематично на рисунку 1.

Одним з варіантів співпраці з колегами є створення фермерських кооперативів, що дозволить спільно вирішувати окремо вузькогалузеві проблеми виробництва органічної продукції з метою отримання додаткового прибутку.

Прикладом такої співпраці може бути виробництво додаткових енергоресурсів за рахунок переробки гною і отримання енергоресурсу у вигляді біогазу або електроенергії, до того ж, у виробників продукції

тваринництва стоїть питання утилізації гною та залишків від забійного цеху. Використання біогазових установок у сільськогосподарському виробництві обумовлено трьома основними факторами. Це виробництво поновлюваної

енергії, екологічно чистих органічних добрив та покращення санітарно-епідеміологічного стану довкілля. Застосування біогазових установок є привабливим через широкий вибір сировини, яка може застосовуватися для їх роботи.

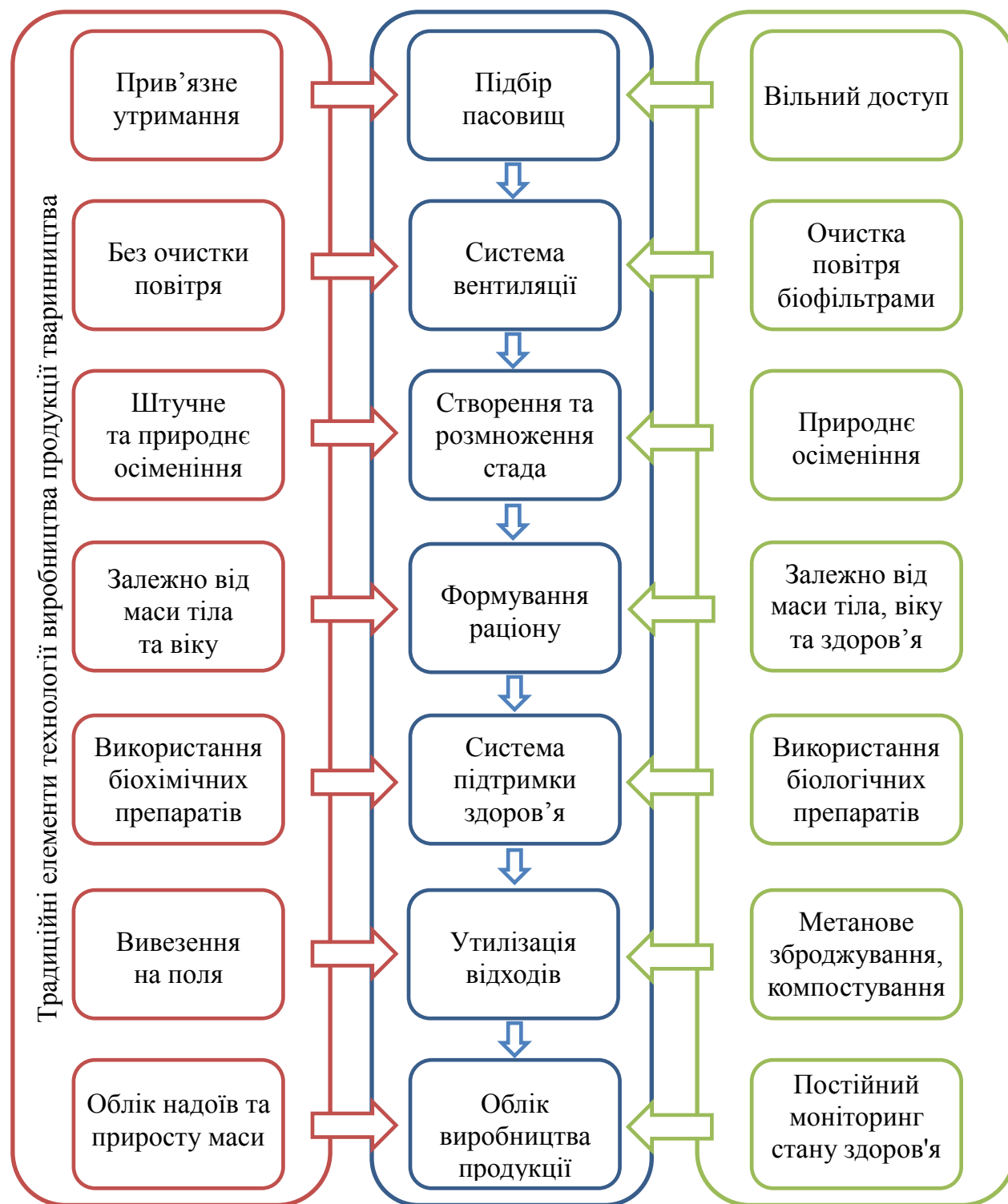


Рис. 1. Основні елементи технологій виробництва продукції тваринництва

Висновки та перспективи подальших досліджень

Поєднання існуючих біологічних методів виробництва екологічно безпечної сільськогосподарської продукції, продукції тваринництва та переробки в єдину технологічну систему дозволить підвищити рівень біологізації продукції, покращити екологічну ситуацію та отримати часткову енергетичну незалежність її виробництва, а також вийти на Світовий ринок з якісною продукцією.

Подальші дослідження в напрямку виробництва екологічно безпечної продукції тваринництва доцільно направити на створення регіональних комплексів з виробництва екологічно безпечної сільськогосподарської продукції з одночасною її переробкою.

References

1. Prus, M. P., Lets, V. V. & Bilyk, R. I. (2016). Ryzyk poshyrennia babeziozu velykoi rohatoi khudoby v orhanichnykh molochnykh gospodarstvakh ta zakhody yoho profilaktyky [The risk of babesiosis of cattle in organic dairy farms and measures to prevent it]. *Orhanichne vyrobnytstvo i prodovolcha bezpeka: zbirnyk tez IV Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii* (pp. 12–16). Zhytomyr: Yevenok O. O. [in Ukrainian].
2. Skydan, O. V. & Yushchenko, O. M. (2016). Formuvannya rehionalnoi polityky rozvytku orhanichnoho vyrobnytstva [Formation of a regional policy for the development of organic production]. *Orhanichne vyrobnytstvo i prodovolcha bezpeka: zbirnyk tez IV Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii* (pp. 16–26). Zhytomyr: Yevenok O. O. [in Ukrainian].
3. OrganIk standart (2018) Retrieved from <http://www.organicstandard.com.ua/ua/services/standards> [in Ukrainian].
4. Bilyk, R. & Berezovska, O. (2016). Tendentsii rozvytku orhanichnoho molochnoho vyrobnytstva v Ukraini [Trends in the development of organic milk production in Ukraine]. *Orhanichne vyrobnytstvo i prodovolcha bezpeka: zbirnyk tez IV Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii* (pp. 9–12). Zhytomyr: Yevenok O. O. [in Ukrainian].
5. Denysiuk, L. M., Kovalchuk, I. V., Kovalchuk, I. I. & Hryn, O. A. (2016). Vyrobnytstvo orhanichnoi molochnoi produktsii v umovakh TOV «ORHANIK MILK» [Production of organic dairy products in the conditions of LLC ORGANIC MILK]. *Orhanichne vyrobnytstvo i prodovolcha bezpeka: zbirnyk tez IV Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii* (pp. 26–33). Zhytomyr: Yevenok O. O. [in Ukrainian].
6. Holub, H., Kukharets, S., Marus, O., Yarosh, Ya (2016). Mekhanika rukhu chastynok po obertovykh lopatkakh reaktoriv zbrodzhuvannia [Mechanics of particle motion by rotating blades fermentation reactors]. *Tekhnika i tekhnolohii APK*, 3 (78), 10–13 [in Ukrainian].
7. Marus, O. A. & Holub, H. A. (2016). Analiz konstruksii reaktoriv dlia tverdogaznoi fermentatsii [The analysis of reactor designs for processing solid organic waste]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy*, 241, 380–387 [in Ukrainian].
8. Marus, O. A. & Holub, H. A. (2016). Analiz konstruksii horyzontalnykh tsylindrychnykh reaktoriv dlia vyrobnytstva biohazu [Construction analysis of horizontal cylindrical reactors for the production of biogas]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy*, 251, 238–246 [in Ukrainian].
9. Holub, H. A. & Kukharets, S. M. (2015). Vyznachennia parametriv rukhu chastynok biomasy pid chas obertannia [Determination of parameters of motion of biomass particles during rotation of methane tin]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Ser. Tekhnika ta enerhetyka APK*, 212 (2), 254–264 [in Ukrainian].
10. Kukharets, S.M. Dynamika rukhu skladovykh substratu v obertovykh reaktorakh [Dynamics of motion of substrate constituents in rotary reactors]. *Visnyk Zhytomyrskoho natsionalnoho ahroekolohichnoho universytetu*, 1 (53), t. 1, 249–258 [in Ukrainian].
11. Holub, H., Kukharets, S. & Ruban, B. (2014). Osoblyvosti konstruksii modulnoi biohazovoi ustanovky z obertovym reaktorom [Design features a modular biogas installation with a rotating reactor]. *Tekhnika i tekhnolohii APK*, 9 (60), 10–14 [in Ukrainian].
12. Holub, H. A., Dubrovina, O.V., Ruban, B. O. & Voitenko, V. O. (2012). Tekhnichne zabezpechennia vyrobnytstva biohazu [Technical support for the biogas production]. *Zbirnyk naukovykh prats Vinnytskoho natsionalnoho ahroarohoho universytetu. Ser. Tekhnichni nauky*, 10, 17–19 [in Ukrainian].

13. Golub, G. A., Szalay, K., Kukharets, S. M. & Marus O. A. (2017). Energy efficiency of rotary digesters. *Progress in Agricultural Engineering Sciences*, 13 (1), 35–49.

14. Holub, H. A. & Marus, O. A. (2016). Mekhanika rukhu chastynky po radialnii lopatsi obertovoho barabana [Mechanics of motion of a particle on a radial blade of a rotating drum]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Ser. Tekhnika ta enerhetyka APK*, 241, 350–358 [in Ukrainian].

15. Holub, H. A. & Marus, O. A. (2016). Analiz rivnian rukhu materialnoi chastynky po radialnii lopatsi obertovoho barabana [Analysis of equations of motion of a material particle on a radial blade of a rotating drum]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Ser. Tekhnika ta enerhetyka APK*, 251, 43–53 [in Ukrainian].

16. Holub, H. A., Marus, O. A. & Yarosh, Ya. D. (2017). Analiz rukhu chastynky po radialnii lopatsi obertovoho barabana z urakhuvanniam oporu seredovyscha [Analysis of the motion of a particle on a radial blade of a rotating drum, taking into account the resistance of the medium]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Ser. Tekhnika ta enerhetyka APK*, 258, 28–39 [in Ukrainian].

17. Kukharets, S. M. (2016). Pidvyshchennia enerhetychnoi avtonomnosti ahroekosystem. Mekhaniko-tekhnologichni osnovy [Increase of energy autonomy of agroecosystems. Mechanical and technological bases]. Zhytomyr: ZhNAEU [in Ukrainian].

18. Holub, H. A., Kukharets, S. M., Chuba, V. V. & Marus, O. A. (2018). Vyrobnystvo i vykorystannia biopalyv v ahroekosystemakh. Mekhaniko-tekhnologichni osnovy [Production and use of biofuels in agroecosystems. Mechanical and technological bases]. Kyiv: NUBiP Ukrainy [in Ukrainian].

19. Holub, H. A. & Marus O.A. (2016). Kontseptsii vyrobnystva ekolohichno bezpechnoi produktsii roslinnyystva ta tvarynnyystva [The concept of environmentally sound production of livestock and crop production]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy*, 254, 366–377 [in Ukrainian].

GENERALIZATION OF THE REQUIREMENT FOR PRODUCTION OF ENVIRONMENTALLY SAFE PRODUCTION OF ANIMALS

G. Golub, O. Marus

e-mail: gagolub@ukr.net

National University of Life

and environmental sciences of Ukraine

Kyiv, Heroev Oborony str., 15, 03041, Ukraine

The paper shows the relevance and importance of environmentally sound production of animal products. Analysis of the requirements for the production of environmentally safe animal products allowed to form a list of the main indicators, which are an integral part of this production, these include: access to open pasture animals; selection of species resistant to disease; Loose holding animals; compliance rooms and open areas biological and behavioral needs of animals; mandatory identification and registration of animals; the corresponding number of animals per 1 hectare of agricultural grounds; Animal reproduction should be carried out natural methods; feeding animals carry natural mother's milk; use of feed produced at least 50%; selection of species that are important in the formation of the herd; proper selection of diet; the technology of feeding and cultivation systems; special attention should be paid to the treatment of animals and the use of appropriate medicines; the registration of animals and disposal of waste; constantly to monitor the quality of products. To ban the production of livestock products include: breeding animals on a leash or in isolation; accepted for forced feeding; the use of synthetic substitutes for milk; the use of chemical growth promoters and veterinary drugs. The combination of current biological production methods environmentally safe agricultural products, livestock production and processing in a single technological system will improve the biologization products, improve the ecological situation and obtain partial energy independence of its production and to enter the world market with quality products.

Keywords: environmentally safe products, livestock, bio fertilizer, energy source.

ОБОБЩЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ПРОИЗВОДСТВУ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ ПРОДУКЦИИ ЖИВОТНОВОДСТВА

Г. А. Голуб, О. А. Марус
e-mail: gagolub@ukr.net

Национальный университет биоресурсов и
природопользования Украины
г. Киев, ул. Героев Оборона, 15, 03041, Украина

Приведена актуальность и важность производства экологически безопасной продукции животноводства. Анализ требований к производству экологически безопасной продукции животноводства позволил сформировать перечень главных показателей, которые являются неотъемлемой составляющей такого производства, к ним относятся: доступ животных к открытым пастбищам; подбор пород с устойчивостью к болезням; беспривязное содержание животных; соответствие помещений и открытых площадок биологическим и поведенческим потребностям животных; обязательная идентификация и регистрация животных; соответствующее количество животных на 1 га сельскохозяйственных угодий; репродукцию животных необходимо осуществлять естественным методом; вскармливание животных проводить натуральным материнским молоком; использовать корма собственного производства не менее 50 %;

выбор породы, который является главным в формировании стада; правильный подбор рациона; соблюдение технологии вскармливания и системы выращивания; особое внимание нужно уделять лечению животных и использованию соответствующих препаратов; осуществлять регистрацию животных и утилизацию отходов; постоянно проводить контроль за качеством продукции. К запретам при производстве продукции животноводства относят: разведение животных на привязи или в изоляции; содержание животных на принудительном откорме; использование искусственных заменителей молока использования стимуляторов роста и химических ветеринарных препаратов. Сочетание существующих биологических методов производства экологически безопасной сельскохозяйственной продукции, продукции животноводства и переработки в единую технологическую систему позволит повысить уровень биологизации продукции, улучшить экологическую ситуацию и получить частичную энергетическую независимость ее производства, а также выйти на Мировой рынок с качественной продукцией.

Ключевые слова: экологически безопасная продукция, животноводство, биоудобрение, энергоноситель.

УДК 631.4; 631.31

РОЗРОБКА РЕОЛОГІЧНОЇ МОДЕЛІ ДЕРНОВО-ПІДЗОЛИСТОГО ҐРУНТУ

П. М. Забродський, С. М. Кухарець, Б. А. Шелудченко, А. А. Пінкін

e-mail: zabrpm@gmail.com, saveliy_76@ukr.net,

sheludchenkobogdan@ukr.net, anatoliypinkin@gmail.com

Житомирський національний агроекологічний університет

бульвар Старий, 7, м. Житомир, 10008, Україна

Для забезпечення при механічному обробітку оптимальної структури ґрунту з достатньою кількістю агрономічно цінних водотривких агрегатів необхідно розуміти процеси, які відбуваються при взаємодії робочого органу ґрунтообробної машини з ґрунтом. При цьому, потрібно враховувати особливості структури і організації різних типів ґрунтів. Так малозв'язні дерново-підзолисті ґрунти складають біля половини всіх ґрунтів Полісся і лісостепу України. Такі ґрунти вимагають особливого підходу при механічному обробітку, щоб запобігти руйнуванню наявних у них водотривких агрегатів. Дерново-підзолистий ґрунт як полідисперсне дискретне середовище, що деформується, має реологічні властивості. Одним із методів, який широко використовується для опису реологічних властивостей ґрунтів, є метод механічних моделей. Механічні моделі базуються на поєднанні властивостей пружності (пружний елемент Гука), в'язкості (в'язкий елемент Ньютона) і пластичності (пластичний елемент Сен-Венана). На основі цих моделей складають диференціальні рівняння стану ґрунту. З рівнянь можуть визначатися дотичні і нормальні напруження в ґрунті, які виникають при навантаженні його зсувом чи стисканням, а також і деформації ґрунту. В статті досліджені різні механічні реологічні моделі ґрунту, особливості їх побудови, а також рівняння, створені на основі цих моделей. При побудові реологічних моделей ґрунту намагалися створити універсальну механічну модель, яка описувала б властивості будь-якого ґрунту. Але, оскільки в залежності від складу, ґрунт може мати дуже різні механічні властивості, більш доцільним є створення механічних моделей для конкретного виду ґрунту. Це дозволяє більш точно описати властивості ґрунту і напруження чи пов'язані з ними параметри. Розглянуті деякі із розроблених реологічних моделей конкретних видів ґрунту. Розроблена механічна реологічна модель для дерново-підзолистого ґрунту.

Ключові слова: ґрунт, модель, реологія, параметри.

Постановка проблеми

Конструкції робочих органів сучасних ґрунтообробних знарядь не враховують особливості їх дії на конкретні види ґрунту. Необхідно вивчити процеси, що відбуваються при механічному обробітку дерново-підзолистого ґрунту як системи, що має реологічні властивості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Серед інших головних завдань обробітку ґрунту однією з головних є забезпечення оптимальної структури ґрунту. Структура ґрунту, тобто особливість його будови, яка викликана властивостями і способом розташування окремих частинок і агрегатів, їх величиною, є одним із визначальних факторів, що визначають його родючість. Вивченню властивостей ґрунту було присвячено багато досліджень різних таких вчених: Горячкін, Кушнар'єв, Воронін, Шеїн, Мілановський, Золотарецька, Абрикова та інші. При вивченні процесів, які відбуваються при механічному

обробітку, ґрунт розглядався у вигляді або модернізованого суцільного середовища, або дискретного середовища. В залежності від мети дослідження доцільними можуть бути обидва уявлення. Але якщо в механіці ґрунтів при будівництві споруд більш доцільним є розгляд ґрунту як суцільного середовища, оскільки основною метою є дослідження змін напружено-деформованого стану ґрунту у часі, то, з точки зору агрономіки ґрунтів, метою якої є вивчення процесів, що забезпечують створення умов для максимальної родючості ґрунту за рахунок утворення оптимальної його структури, ґрунт необхідно розглядати як деформоване дискретне середовище, що має реологічні властивості.

Дослідниками розроблено багато дискретних моделей ґрунту, на основі яких пояснюються явища, які відбуваються в ґрунті при механічному обробітку і створенні відповідні математичні моделі для розрахунку його механічних характеристик. Так, в роботі [1] розглядається модель ґрунту, розроблена М. М. Івановим. У цій моделі ґрунт складається з

шарів кулеподібних частинок (рис. 1). Кожна кулеподібна частинка передає зовнішнє зусилля порівну на дві частинки, що лежать нижче. Така модель дозволяє розрахувати розподілення зусиль в будь-якому шарі і побудувати епюру напружень.

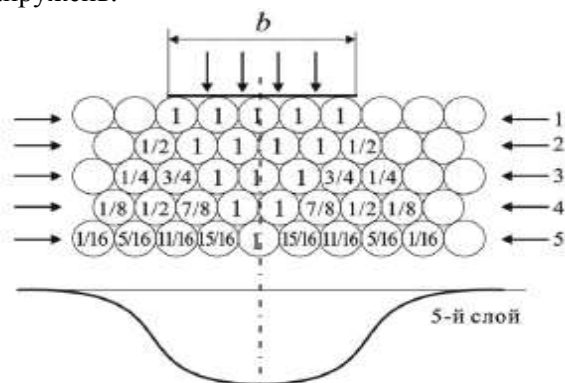


Рис. 1. Схема розподілення тисків у середовищі кулеподібних частинок

Г. І. Покровський розглядав ґрунт як систему довільних за формою частинок, що випадковим чином спираються одна на одну, тобто ґрунт представлявся у вигляді сукупності макроскопічних зерен, а його властивості вивчалися на основі статистичної механіки з використанням апарату теорії вірогідності і математичної статистики. В сучасних умовах ґрунт розглядається як система матеріальних частинок, що взаємодіють між собою. Тобто ґрунт можна вважати полідисперсною системою, що складається з трьох фаз: твердої фази, яка утворює твердий каркас ґрунту, є його основою і складається з залишкових мінералів чи уламків гірської породи, а також рослинних залишків і продуктів їх розпаду, гумусу, глинистих мінералів тощо; рідкої фази, тобто ґрунтового розчину, що заповнює його поровий простір; газової фази – повітря, що заповнює пори ґрунту, не заповнені водою. До цих трьох фаз багато дослідників додають ще одну – біомасову або живу, яка складається з рослин, комах, одноклітинних організмів, бактерій, тощо [2]. Всі ці фази знаходяться у тісній взаємодії між собою і разом визначають властивості ґрунту. Ґрунт як полідисперсне дискретне середовище, що деформується, має реологічні властивості.

Мета, завдання та методика досліджень

Метою і завданням даного дослідження є розробка реологічної моделі дерново-підзолистого ґрунту для більш досконалого

вивчення процесів, які відбуваються при механічному обробітці, напруженого стану і деформацій ґрунту. Методологічною основою досліджень є методи і прийоми діалектичного пізнання досліджуваної проблеми, методологічні та теоретичні положення класичної механіки, механіки твердого тіла, колоїдної хімії та інших галузей науки.

Результати досліджень

Одним із методів, який широко використовується для опису реологічних властивостей ґрунтів, є метод механічних моделей. На основі цих моделей складають диференційні рівняння стану ґрунту. Механічні моделі базуються на поєднанні властивостей пружності (пружний елемент Гука), в'язкості (в'язкий елемент Ньютона) і пластичності (пластичний елемент Сен-Венана).

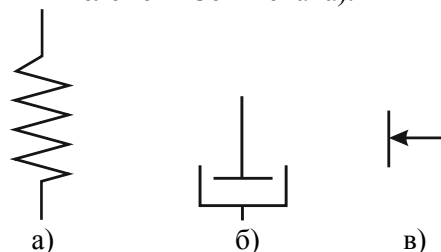


Рис. 2. Елементи механічних моделей ґрунту: а) пружний елемент Гука; б) в'язкий елемент Ньютона; в) пластичний елемент Сен-Венана

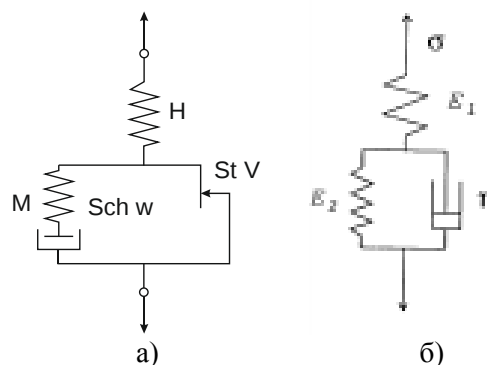


Рис. 3. Реологічні моделі: а) пружно-в'язко-пластичного тіла Шведова; б) посиленого ґрунту

Відомими є реологічні моделі Кельвіна, Максвела, Шведова (рис.3а), Денисова, Кісаля. Так, структурна формула моделі Шведова має вигляд:

$$S_{\text{ШВ}} = H - \left(\frac{M}{StV} \right)$$

Рівняння Шведова, що характеризує релаксацію тіла:

$$\tau = \tau_k + \frac{(\tau_0 - \tau_k) \exp(-tG)}{\eta}$$

де τ_k – межа текучості в тілі Шведова; τ_0 – миттєве напруження; G – модуль пружності; η – коефіцієнт в'язкості.

Модель іншого пружно-пластично-в'язкого нерелаксуючого тіла Бінгама утворюється при видаленні з моделі Шведова одного пружного елемента H . Структурна формула цього тіла має вигляд:

$$B = H - \left(\frac{N}{StV} \right)$$

Рівняння тіла Бінгама записується таким чином:

$$\tau = \tau^H - \tau^T,$$

де τ^T – граничний опір зсуву сен-венанового елемента.

На основі механічних моделей можна визначати не тільки дотичні, а й нормальні напруження. Так, для вивчення реологічних властивостей посиленних ґрунтів, які використовують у настипах при будівництві мостів, залізниці, доріг, гідротехнічних споруд, розроблена механічна модель [3], що складається з двох базових елементів, які працюють разом і відповідають двом складовим посиленого ґрунту: самому ґрунту і посилювачу (рис. 3б).

Цими елементами є пружина, що характеризується жорсткістю E_1 , і система Кельвіна, яка характеризується жорсткістю E_2 і в'язкістю η . Модель прийнятна для різних геотекстилів, що працюють при постійних і зростаючих навантаженнях. Рівняння, що описує дану модель, виглядає наступним чином:

$$\frac{1}{E_1} \left[\frac{d}{dt} + \frac{E_1 + E_2}{\eta} \right] \sigma = \left[\frac{d}{dt} + \frac{E_2}{\eta} \right] \varepsilon,$$

де σ та ε напруження і деформація, t – реальний час.

Постійні матеріалів E_1 , E_2 і η повинні визначатися експериментально.

З точки зору аеромеханіки, А. С. Кушнар'ов запропонував таку модель ґрунту, (що зображено

на рис. 4а). Структурна формула моделі Кушнар'ова має вигляд:

$$K_u = M - \left(\frac{M}{StV} \right)$$

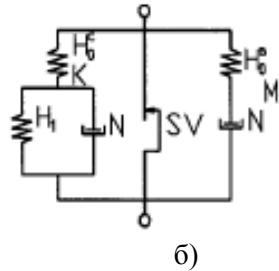
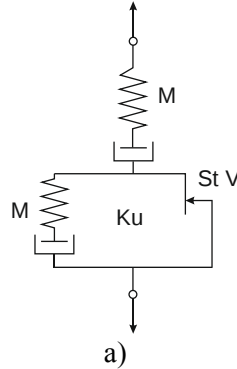


Рис. 4. Реологічні моделі ґрунту:
а) Кушнар'ова, б) запропонована
В. П. Дьяковом

Більш складну модель ґрунту, яка представляє собою систему з паралельного з'єднання тіл Кельвіна, Максвелла і сен-венанового елемента, пропонує В. П. Дьяков (рис. 4б), [4]. При цьому, модель тіла Кельвіна відображає пружну післядію деформації при постійному напруженні, модель Максвелла – релаксацію пружних напружень за постійного деформації, елемент Сен-Венана – кардинальну властивість дискретних тіл – опір тертю, що діє як на початковій стадії деформування, так і в граничному стані. Деформація моделі складається з пружної і пластичної частин і дорівнює величині деформації як тіла Максвелла, так і тіла Кельвіна. Елемент Сен-Венана виступає як регулятор рівня проявлення властивостей післядії пружної деформації і релаксації пружних напружень.

Структурна формула цієї моделі:

$$D = \frac{K}{SV}$$

Зусилля, що діє на ґрунт відповідно до моделі, дорівнює сумі зусиль у пружному, в'язкому і пластичному елементах:

$$\tau = G\gamma_0 + \eta\dot{\gamma} + \tau^T,$$

де $G\gamma_0$ – сумарний опір миттєвих пружних деформацій; $\eta\dot{\gamma}$ – опір пружнов'язкої деформації; $\tau^T = \tau^{SV}$ – сухе (кулонове) тертя.

В. С. Нестяк та К. Т. Мамбеталін, розглядаючи ґрунт як трирівневу систему, яку

представляють макроагрегат, мікроагрегат та елементарна ґрунтова частинка, пропонують відповідну механічну модель (рис. 5), [5]. Модель складається з трьох блоків, що характеризують властивості кожного з рівнів.

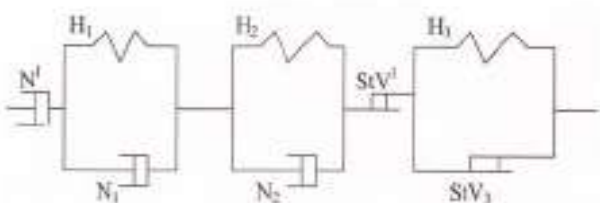


Рис. 5. Реологічна модель ґрунту

як трирівневої системи. H , N , StV
елементи пружності, в'язкості і сухого тертя,
індекси 1, 2, 3 – макроагрегат,
мікроагрегат, ґрунтова частинка

Відповідно до цієї моделі напруження, що виникають в ґрунті, при стисканні визначаються формулою:

$$\tau = \left(\tau_0 e^{\frac{G}{\eta_N + \eta_K} t} \right)_I + (G\gamma + \eta_N \gamma)_II + \left[\frac{2\gamma}{\lambda_M} + \left(\frac{2\gamma}{\lambda_M} + \eta \gamma \right) \right]_{III},$$

де τ_0 – початкове напруження зсуву;

e – основа натурального логарифму;

G – модуль зсуву; η_N та η_K – коефіцієнти

в'язкості елементів; γ – швидкість деформації;

λ_M – коефіцієнт пропорційності; t – тривалість деформації.

Ця реологічна модель представляє тіло, що характеризується структурною в'язкістю. В такому тілі у процесі деформації змінюється структура, а в результаті змінюється і його в'язкість.

Для всіх вищерозглянутих механічних моделей і відповідних рівнянь загальним є те, що, розглядаючи ґрунт як полідисперсне дискретне середовище, що має властивості пружності, пластичності і в'язкості, намагалися створити універсальну механічну модель, яка описувала б властивості будь-якого ґрунту. Але, оскільки в залежності від складу, ґрунт може мати дуже різні механічні властивості, більш доцільним є створення механічних моделей для конкретного виду ґрунту. Це дозволяє більш точно описати властивості ґрунту і напруження чи пов'язані з ними параметри. Так, ґрунти рисових полів Південного Китаю здебільшого є

глинистими. На думку автора, дослідження [6] їх можна розглядати як багатофазову систему, тобто насичену структуру з нестискаємих частинок і нестискаємої рідини. Механічна модель, яка описує властивості такої системи, представлена на рис. 6.

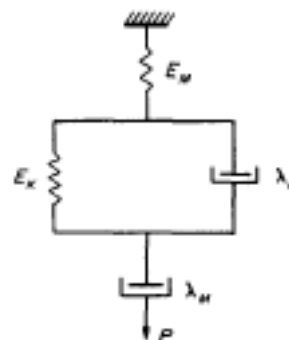


Рис. 6. Реологічна модель глинистого ґрунту з Південного Китаю

Рівняння, що описує деформації в такій системі, має вигляд:

$$u = \frac{\alpha P}{\sqrt{A \left[\frac{1}{E_M} + \frac{1}{\lambda_M} + \frac{1}{E_K} \left(1 - e^{-\frac{E_K t}{\lambda_K}} \right) \right]}}$$

Величина деформації в цьому рівнянні складається з трьох частин:

пружної деформації, яка є миттєвою деформацією в момент часу завантаження:

$$u_e = \frac{\alpha P}{\sqrt{A}} \cdot \frac{1}{E_M}$$

в'язкої деформації, яка лінійно збільшується з часом:

$$u_v = \frac{\alpha P}{\sqrt{A}} \cdot \frac{1}{\lambda_M}$$

відкладеної деформації, яка наближається до певного значення як межі:

$$u_d = \frac{\alpha P}{\sqrt{A}} \cdot \frac{1}{E_K} \left(1 - e^{-\frac{E_K t}{\lambda_K}} \right)$$

У цих рівняннях α – коефіцієнт форми; A – площа; P – навантаження; E_K , E_M , λ_K , λ_M – реологічні параметри.

Поведінка промерзлих ґрунтів під навантаженням характеризується трьома стадіями [7]. Спочатку відбувається миттєва деформація, яка включає в себе пружні і пластичні компоненти, потім настає стабілізація

деформації, за якої швидкість деформації становить константу для заданого рівня напружень залежно від функції $\phi(F)$. Якщо $\phi(F) \leq 0$, то швидкість деформації прагне до нуля. На третій стадії, при відносно великих напруженнях, деформація знову зростає. В

реологічній механічній моделі першій стадії відповідає тіло Максвелла, другій стадії, за постійної деформації тривалий період, відповідає тіло Кельвіна і третій стадії відповідає тіло Бінгама (рис. 7).

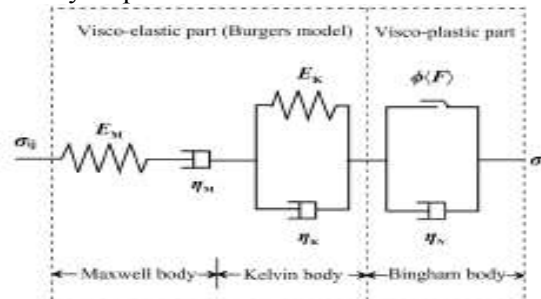


Рис. 7. Реологічна модель замерзлого ґрунту

Рівняння, що описує деформації ґрунту за такої реологічній моделі, має вигляд:

$$e_{ij} = \sigma_{ij}/(2E_M) + \sigma_{ij}/(2\eta_M) + \sigma_{ij}/(2E_K) [1 - \exp(-E_K/\eta_K t)] (\phi(F) \leq 0)$$

У цьому рівнянні E_M і E_K – модулі пружності тіл Максвелла і Кельвіна, відповідно; η_M , η_K і η_N – коефіцієнти в'язкості тіл Максвелла, Кельвіна і Бінгама; $\phi(F)$ – це масштабна функція, що представляє величину ступеня повзучості.

Відповідно до статистичних даних біля половини всіх земель Полісся і лісостепу України складають дерново-підзолисті ґрунти. Такі ґрунти мають у своєму складі відносно малу частку мулу і фізичної глини, зате велику частку (біля 30%) крупного пілу (0,05–0,01 мм). Такий склад ґрунту обумовлює відповідні реологічні властивості. Для дерново-підзолистих ґрунтів характерною є дилатансна поведінка на початку деформації, з часом, за рахунок великої питомої поверхні частинок ґрунту і збільшення числа контактів, відбувається самовільне злипання частинок твердої фази між собою і утворення термодинамічно стійкої просторової структури. При цьому, за дослідженнями [8] реологічний параметр міцності R_{k2} – початок руйнування структури перевищує параметр R_{k1} – початок течії ґрунтової суспензії. Тому на наступному етапі деформації переважаючим явищем є реоексія за деякої участі тиксотропних процесів.

Відповідна реологічна модель дерново-підзолистого ґрунту представлена на рис. 8.

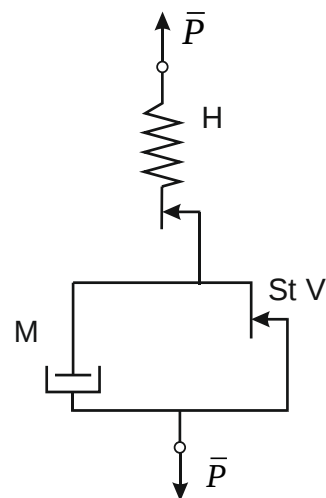


Рис. 8. Реологічна модель дерново-підзолистого ґрунту

Деформація моделі складається з пружної деформації елемента Гука, пластичної деформації елемента Сен-Венана та пружно-пластично-в'язкого нерелаксуючого тіла Бінгама. Зусилля, що діють на ґрунт відповідно до представленої моделі, дорівнюють сумі зусиль у пружному, пластичному і пружно-пластично в'язкому елементах:

$$\tau = G\gamma_0 + \tau_1^T + \eta\dot{\gamma} + \tau_2^T$$

де $G\gamma_0$ – сумарний опір миттєвих пружних деформацій; $\eta\dot{\gamma}$ – опір пружнов'язкої деформації;

τ_1^T і τ_2^T – граничний опір зсуву селванових елементів 1 і 2.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Розроблена механічна реологічна модель дозволяє враховувати особливості поведінки під навантаженням дерново-підзолистого ґрунту, впливу навантажень на напруження в ґрунті і зміни його структурного складу. Вона послужить основою для вивчення впливу зміни конструктивних параметрів робочих органів ґрунтообробних знарядь на параметри ґрунту.

References

1. Panov, I. M. & Vetokhin, V. I. (2008). *Fizicheskiye osnovy mekhaniki pochv* [Physical fundamentals of soil mechanics]. Kiyev: Feniks [in Russian].
2. Protasenya, O. N., Larchenkov, L. V. & Protasenya, M. L. (2018). *Deformatsionnyy mekhanizm uplotneniya strukturnoho tela* [The deformation mechanism of compaction of the structural body]. *Nauka i tekhnika*, 17, 29–41 [in Russian].
3. Sawicki, A. (1999). Rheological model of geosynthetic-reinforced soil. *Geotextiles and geomembranes*, 17, 33–49.
4. Diakov, V. P. (2007). *Mekhanyka pochvy y reolohiya hruntov* [Soil mechanics and soil rheology]. *Dostizheniya nauki i tekhniki*, 7, 48–51 [in Russian].
5. Nestiak, V. S. & Mambetalin, K. T. (2011). *Mekhanyko-tekhnologicheskyye aspekty enerhetyky obrabotky pochvy* [Mechanical and technological aspects of energy tillage]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 11 (85), 106–110 [in Russian].
6. Pan Jun-zheng (1986). The general rheological model of paddy soil in South China. *Journal of Terramechanics*, 23 (2), 59–68.
7. Songhe, Wang, Jiling, Qi, Zhenyu, Yin, Jianming, Zhang & Wei, Ma. (2014) A simple rheological element based creep model for frozen soils. *Cold Regions Science and Technology*, 106–107, 47–54.
8. Shein, E. V., Pochatkova, T. N. & Kholodkov, A. I. (2016). *Reologicheskiye svoystva dernovo-podzolistoy pochvy*. [Rheological properties of sod-podzolic soil]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 6 (194), 86–89 [in Russian].

DEVELOPMENT OF A RHEOLOGICAL MODEL OF SOD PODZOLIC SOIL

P. Zabrodskyi, S. Kukharets,
B. Sheludchenko, A. Pinkin

e-mail: zabrpm@gmail.com, saveliy_76@ukr.net,
sheludchenkobogdan@ukr.net

Zhytomyr National Agroecological University,
Stary Boulevard, 7, Zhytomyr, 10008, Ukraine

To ensure optimal in mechanical cultivation of soil structure with plenty of agronomically valuable aggregates impermeable need to understand the processes occurring in the interaction of the working body of tillage machines from soil. It should take into account the features of the structure and organization of different types of soils. So slightly-ligated sod-podzolic soils make up about half of all soils of Polissya and Ukraine's forest-steppe. Such soils require a special approach when machining to prevent the destruction of their available waterproof units. The sod-podzolic soil, as a polydisperse discrete deformed medium, has rheological properties. One of the methods that is widely used to describe the rheological properties of soils is the method of mechanical models. The mechanical model based on a combination of elastic properties (elastic element Hooke), viscosity (Newtonian viscous element) and ductility (Saint Venant's plastic element). On the basis of these models are the differential equations of soil condition. In this case, the equations can be determined by tangential and normal stresses in the soil, which arise when loaded by its displacement or compression, as well as deformation of the soil. Different mechanical rheological models of the soil, peculiarities of their construction, as well as equations created on the basis of these models are investigated in the article. When constructing rheological soil models, they tried to create a universal mechanical model that would describe the properties of any soil. But, because depending on the composition, the soil may have very different mechanical properties, it is more appropriate to create mechanical models for a specific type of soil. This allows more precisely to describe the properties of the soil and tension, or the parameters associated with them. Some of the developed rheological models of specific types of soil are considered. A mechanical rheological model for sod-podzolic soils has been developed.

Keywords: soil, model, rheology, parameters.

**РАЗРАБОТКА РЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОГО ГРУНТА**

**П. Н. Забродский, С. Н. Кухарец,
Б.А. Шелудченко, А. А. Пинкин**

e-mail: zabrpm@gmail.com, saveliy_76@ukr.net,
sheludchenkobogdan@ukr.net

Житомирский национальный
агроэкологический университет
бульвар Старый, 7, г. Житомир, 10008, Украина

Для обеспечения при механической обработке оптимальной структуры почвы с достаточным количеством агрономически ценных водопрочных агрегатов необходимо понимать процессы, происходящие при взаимодействии рабочего органа почвообрабатывающей машины с грунтом. При этом нужно учитывать особенности структуры и организации различных типов почв. Так, малосвязные дерново-подзолистые почвы составляют около половины всех почв Полесья и лесостепи Украины. Такие почвы требуют особого подхода при механической обработке, чтобы предотвратить разрушение имеющихся в них водопрочных агрегатов. Дерново-подзолистые почвы как полидисперсионная дискретная среда деформируются, имеют реологические свойства. Одним из методов, который широко используется для описания реологических свойств почв является метод механических моделей. Механические модели базируются на сочетании свойств упругости (упругий элемент Гука), вязкости (вязкий

элемент Ньютона) и пластичности (пластический элемент Сен-Венана). На основе этих моделей составляют дифференциальные уравнения состояния почвы. При этом, из уравнений могут определяться касательные и нормальные напряжения в почве, которые возникают при нагрузке ее сдвигом или сжатием, а также и деформации почвы. В статье исследованы различные механические реологические модели почвы, особенности их построения, а также уравнения, созданные на основе этих моделей. При построении реологических моделей пытались создать универсальную механическую модель, которая описывала бы свойства любого грунта. Но, поскольку в зависимости от состава, почва может иметь самые разные механические свойства, более целесообразным является создание механических моделей для конкретного вида почвы. Это позволяет более точно описать свойства почвы и напряжения или связанные с ними параметры. Рассмотрены некоторые из разработанных реологических моделей конкретных видов почвы. Разработана механическая реологическая модель для дерново-подзолистой почвы.

Ключевые слова: почва, модель, реология, параметры.

УДК 531.32

**ВПЛИВ ОПОРУ ПОВІТРЯ НА РУХ ЧАСТИНКИ ПО РАДІАЛЬНІЙ ЛОПАТЦІ
ОБЕРТОВОГО БАРАБАНА****Г. А. Голуб¹, О. А. Марус¹, Й. Чесна²***e-mail: gagolub@ukr.net, jonas.cesna@asu.lt*¹Національний університет біоресурсів і природокористування України
м. Київ, вул. Героїв оборони, 15, 03041, Україна,²Факультет сільськогосподарського машинобудування, університет ім. Aleksandras Stulginskis,
вул. Studentu. 15, LT-53362 Akademija Kauno r., Литва,

Пристрої для перемішування на основі обертових барабанів знаходять все більше поширення при розробці біотехнологічних процесів ферментації, а тому підвищення ефективності їх роботи шляхом обґрунтування методів визначення параметрів відцентрового руху частинок по радіальній лопатці в обертовому барабані, які дозволять встановити раціональні значення кутової швидкості та конструктивні параметри обертових барабанів, потребує подальшого удосконалення.

Досліджено рух матеріальної частинки по радіальній лопатці в обертовому барабані із врахуванням наступних параметрів: діаметра та радіуса барабану, початкового радіуса положення матеріальної частинки на лопатці, прискорення сили тяжіння, коефіцієнта тертя матеріалу по лопатці, еквівалентного діаметра та щільності частинки, а також динамічної в'язкості повітря. Використання параметрів руху матеріальної частинки по радіальній лопатці в обертовому барабані, що були наведені раніше, дозволили визначити та порівняти закономірності руху частинки з урахуванням та без урахування опору повітря в залежності від квадранта, в якому вона знаходиться.

Отримані траєкторії матеріальної частинки при русі по радіальній лопатці в обертовому барабані дозволили визначити вплив опору повітря на радіальне переміщення та радіальну швидкість частинки в 4-х квадрантах. Дані дослідження показують, що на траєкторію руху матеріальної частинки в різних квадрантах впливає відцентрова сила, сила тертя, що виникає за рахунок коріолісової сили, сила тертя за рахунок сили тяжіння, а також безпосередньо сила тяжіння. Але кожна сила впливає по-різному в залежності від місця знаходження матеріальної частинки, тобто кута ковороту радіальної лопатки.

Ключові слова: барабан, радіальна лопатка, рух частинки, опір повітря.

Постановка проблеми

Пристрої для перемішування на основі обертових барабанів знаходять все більше поширення при розробці біотехнологічних процесів ферментації, а тому підвищення ефективності їх роботи шляхом обґрунтування методів визначення параметрів відцентрового руху частинок по радіальній лопатці в обертовому барабані, які дозволять встановити раціональні значення кутової швидкості та конструктивні параметри обертових барабанів, потребує подальшого удосконалення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Основи аналізу руху матеріальних частинок по робочих органах із горизонтальною та вертикальною віссями обертання були закладені у відомій праці академіка П. М. Василенка [1]. Значний обсяг досліджень щодо визначення відносної швидкості руху матеріальної точки по

робочих органах з горизонтальною віссю обертання був проведений також у роботах [2, 3, 4] з метою визначення параметрів робочих органів для розпушування компостів та внесення органічних добрив. Ці дослідження стосувалися аналізу відцентрового руху матеріальних частинок по радіальних робочих органах в обмеженому секторі повороту барабана. Частина відомих досліджень направлена на вивчення руху частинок біомаси упродовж обертання горизонтальних реакторів для виробництва біогазу [5, 6, 7, 8, 9].

Встановлено також [10, 11, 12], що рішення диференційного рівняння, яке описує рух матеріальної частинки, що рухається по радіальних лопатках в обертовому барабані із урахуванням опору повітря, має наступний вигляд для переміщення та відносної швидкості руху частинки по лопатці:

$$r = C_1 \exp(\lambda_1 t) + C_2 \exp(\lambda_2 t) + \frac{g}{w\sqrt{4w^2 + k_1^2}} \sin\left(B + \arctg \frac{4fw + k_1(1 - f^2)}{2[w(1 - f^2) - fk_1]} + wt\right); \quad (1)$$

$$v_R = \frac{dr}{dt} = \lambda_1 C_1 \exp(\lambda_1 t) + \lambda_2 C_2 \exp(\lambda_2 t) + \frac{g}{\sqrt{4w^2 + k_1^2}} \cos\left(B + \arctg \frac{4fw + k_1(1 - f^2)}{2[w(1 - f^2) - fk_1]} + wt\right). \quad (2)$$

де r – поточний радіус положення частинки на лопатці, м; λ_1, λ_2 – корені характеристичного рівняння, с^{-1} ; t – час повороту барабана, с; g – прискорення земного тяжіння, м/с^2 ; w – кутова швидкість обертання барабана, рад/с ; k_1 – коефіцієнт пропорційності при ламінарному обтіканні частинки повітрям, с^{-1} ; f – коефіцієнт тертя частинки по матеріалу лопатки, відн. од.; B – початковий кут повороту лопатки барабана, рад.; v_R – відносна швидкість руху частинки по лопатці, м/с .

Коефіцієнт пропорційності k_1 визначає силу опору середовища, яка направлена протилежно напрямку швидкості руху частинок і пропорційна швидкості руху частинки у першій степені, коли повітря обтікає частинки ламінарним потоком при числах Рейнольдса

менших 5. Виходячи з цього, можемо записати [4]:

$$k_1 = \frac{3\pi\eta d_E}{m} = \frac{3\pi\eta d_E}{\rho V} = \frac{18\eta}{\rho d_E^2}, \quad (3)$$

де η – динамічна в'язкість середовища, Н с/м^2 ; d_E – розміри частинки через діаметр еквівалентного шару, м; m – маса частинки, кг; ρ – щільність матеріалу частинки, кг/м^3 ; V – об'єм частинки, м^3 .

При початкових умовах:

$$t = 0; \quad r = R_{II} = R - 0,5d_E; \quad v_R = v_{RII} = 0, \quad (4)$$

значення постійних величин становитимуть:

$$C_1 = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \left[R_{II} - \frac{g}{w\sqrt{(4w^2 + k_1^2)}} \sqrt{1 + \frac{w^2}{\lambda_2^2}} \times \sin\left(B + \arctg \frac{4fw + k_1(1 - f^2)}{2[w(1 - f^2) - fk_1]} - \arctg \frac{w}{\lambda_2}\right) \right], \quad (5)$$

$$C_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \left[\frac{g}{w\sqrt{(4w^2 + k_1^2)}} \sqrt{1 + \frac{w^2}{\lambda_1^2}} \times \sin\left(B + \arctg \frac{4fw + k_1(1 - f^2)}{2[w(1 - f^2) - fk_1]} - \arctg \frac{w}{\lambda_1}\right) - R_{II} \right]. \quad (6)$$

Якщо опір повітря відсутній, коефіцієнт пропорційності при ламінарному обтіканні частинки повітрям дорівнює нулю, а рівняння

(1–6) набувають вигляду, який найчастіше застосовується у дослідженнях:

$$r = C_1 \exp(\lambda_1 t) + C_2 \exp(\lambda_2 t) + \frac{g}{2w^2} \sin \left(B + wt + \arctg \frac{2f}{1-f^2} \right); \quad (7)$$

$$v_R = \frac{dr}{dt} = \lambda_1 C_1 \exp(\lambda_1 t) + \lambda_2 C_2 \exp(\lambda_2 t) + \frac{g}{2w} \cos \left(B + wt + \arctg \frac{2f}{1-f^2} \right). \quad (8)$$

Значення постійних величин при цьому мають значення:

$$C_1 = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \left[R_{II} - \frac{g}{2w^2} \sqrt{1 + \frac{w^2}{\lambda_2^2}} \sin \left(B + \arctg \frac{2f}{1-f^2} - \arctg \frac{w}{\lambda_2} \right) \right];$$

$$C_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \left[\frac{g}{2w^2} \sqrt{1 + \frac{w^2}{\lambda_1^2}} \sin \left(B + \arctg \frac{2f}{1-f^2} - \arctg \frac{w}{\lambda_1} \right) - R_{II} \right]. \quad (9)$$

Для встановлення та усвідомлення різниці в значеннях поточного радіусу положення частинки на лопатці та відносної швидкості руху частинки по лопатці, за наявності опору повітря та без нього, доцільно провести додаткові дослідження.

Мета, завдання та методика досліджень

Метою досліджень є встановлення різниці в значеннях поточного радіусу положення частинки на лопатці та відносної швидкості її руху по лопатці при наявності опору повітря та без нього.

Для досягнення мети було сформовано наступне завдання: дослідити вплив сил, що

виникають упродовж руху матеріальної частинки по радіальній лопатці обертового барабану на радіальну швидкість та переміщення частинки з урахуванням опору повітря та без нього.

Дослідження проводилися з використанням методів аналізу руху частинок по шорстких обертових поверхнях.

Результати досліджень

Із урахуванням початкових умов, розрахуємо параметри руху матеріальної частинки, що відцентрово рухається по радіальних лопатках в обертовому барабані при вихідних параметрах, наведених у табл. 1.

Таблиця 1. Вихідні параметри руху матеріальної частинки по радіальних лопатках в обертовому барабані

Параметри	Од. виміру	Значення
Діаметр барабана	мм	2000
Радіус барабана	мм	1000
Початковий радіус положення частинки на лопатці	мм	500
Прискорення сили тяжіння	м/с ²	9,81
Коефіцієнт тертя матеріалу по лопатці	—	0,40
Еквівалентний діаметр частинки	м	0,001
Щільність частинки	кг/м ³	1200
Динамічна в'язкість повітря	Н с/м ²	0,0000182

Результати розрахунку параметрів руху матеріальної частинки, що відцентрово рухається по радіальних лопатках в обертовому барабані

при вищенаведених вихідних параметрах наведені на рис. 1–4.



Рис. 1. Параметри руху частинки в 1-ому квадранті (0–90 град.)

Із рис. 1 видно, що опір повітря впливає як на переміщення, так і на швидкість матеріальної частинки по радіальній лопатці в 1-ому квадранті. Причому радіальна швидкість як з урахуванням, так і без урахування опору повітря зі зростанням кута повороту барабана змінюється по-різному. При зміні кута повороту барабана від 0 до 30 градусів відбувається зростання радіальної швидкості, хоча крива, що описує рух з урахуванням опору повітря, має меншу швидкість. Це говорить про те, що відцентрова сила переважає силу тертя, а при зростанні кута

повороту барабана швидкість її починає знижуватись, оскільки сила тяжіння більше притискає матеріальну частинку до лопатки. А при знаходженні лопатки в межах від 80 до 90 градусів матеріальна частинка із врахуванням опору повітря навіть має вже від'ємну радіальну швидкість і починає рухатися у протилежну сторону. Лінія, що відображає радіальне переміщення, підтверджує те, що матеріальна частинка із врахуванням опору повітря, починає рухатись по лопатці до центру барабана.



Рис. 2. Параметри руху частинки в 2-ому квадранті (90–180 град.)

При знаходженні матеріальної частинки в 2-ому квадранті (рис. 2) її рух по радіальній лопатці знову стає направленим від центру обертання, але при повороті лопатки на кут від 90 до 120 градусів радіальне переміщення та швидкість майже не змінюються. При повороті лопатки на кут від 120 до 150 градусів радіальна швидкість та переміщення починають зростати, а

при повороті лопатки на кут вже від 150 градусів до 180 відбувається різкий зріст даних показників. Це пояснюється тим, що сумарна сила тертя від сили тяжіння та від коріолісової сили стають незначними, а безпосередньо сила тяжіння суттєво впливає на переміщення.

У третьому квадранті (рис. 3) швидкість матеріальної частинки зростає пропорційно при

повороті лопатки на кут від 180 до 270 градусів, а радіальне переміщення починає різко зростати починаючи вже при повороті лопатки на кут більше 210 градусів. Це пояснюється тим, що

при таких кутах повороту лопатки збільшується вага частинки направлена у сторону її руху, а сумарна сила тертя від сили тяжіння та від коріолісової сили зменшується.



Рис. 3. Параметри руху частинки в 3-ому квадранті (180–270 град.)

У четвертому квадранті (рис. 4) радіальна швидкість матеріальної частинки значно зростає при повороті лопатки на кут від 270 до 300 градусів, а при повороті лопатки на кут від 300 до 360 градусів ріст швидкості відбувається з меншою інтенсивністю. Це пояснюється тим, що при знаходженні частинки при повороті лопатки на кут від 270 до 300 градусів сила тяжіння меншою мірою впливає на швидкість її руху.

Радіальне переміщення матеріальної частинки по радіальній лопатці також починає зростати при повороті лопатки на кут від 300 градусів, тому що з цього моменту зменшується притискання частинки до лопатки силою тяжіння, до того ж, складова сили тяжіння, яка направлена від центру обертання, також впливає на дане радіальне переміщення.



Рис. 4. Параметри руху частинки в 4-ому квадранті (270–360 град.)

Аналізуючи рух матеріальної частинки в усіх квадрантах, ми бачимо, що найбільша радіальна швидкість розвивається саме в третьому та четвертому квадрантах. При цьому, зі зростанням швидкості радіального переміщення опір повітря також збільшує свій вплив на радіальне переміщення.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Аналіз руху матеріальної частинки по радіальній лопатці з урахуванням опору повітря в усіх квадрантах показав, що він незначно, але уповільнює швидкість частинки по лопатці та впливає на радіальне її переміщення. Тому, враховуючи опір повітря, можна більшою мірою

наблизити теоретичні дослідження до реальних умов руху матеріальної частинки.

Подальші дослідження в напрямку руху матеріальної частинки по радіальній лопатці в обертовому барабані потрібно розширювати із врахуванням вентиляторного ефекту.

References

1. Vasilenko, P. M. (1960). *Teoriya dvizheniya chastitsy po sherokhovatym poverkhnostyam selskokhozyaystvennykh mashin* [Theory of particle motion on the rough surfaces of agricultural machinery]. Kiyev: UASKhN [in Russian].
2. Marchenko, N. M., Lichman, G. I. & Shebalkin, A. E. (1990). *Mekhanizatsiya vneseniya organicheskikh udobreniy* [Mechanization of organic fertilizer]. Moskva: Agropromizdat [in Russian].
3. Yakubauskas, V. I. (1973). *Tekhnologicheskiye osnovy mekhanizirovannogo vneseniya udobreniy* [Technological basis of mechanized fertilization], Moskva: Kolos [in Russian].
4. Holub, H. A. (2007). *Ahropromyslove vyrobnytstvo yistivnykh hrybiv. Mekhaniko-tekhnologichni osnovy* [Agro-industrial production of edible fungi. Mechanical and technological bases]. Kyiv: Ahrarna nauka [in Ukrainian].
5. Holub, H. A. & Kukharets, S. M. (2015). *Vyznachennia parametriv rukhu chastynok biomasy pid chas obertannia metantenka* [Determination of parameters of motion of biomass particles during rotation of methane tin]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Ser. Tekhnika ta enerhetyka APK*, 212 (2), 254–264 [in Ukrainian].
6. Kukharets, S. M. (2016). *Pidvyshchennia enerhetychnoi avtonomnosti ahroekosystem. Mekhaniko-tekhnologichni osnovy* [Increase of energy autonomy of agroecosystems. Mechanical and technological bases]. Zhytomyr: ZhNAEU [in Ukrainian].
7. Holub, H. A., Kukharets, S. M., Marus, O. A. & Yarosh, Ya. D. (2016). *Mekhanika rukhu chastynok po obertovykh lopatkakh reaktoriv zbrodzhuvannia* [Mechanics of motion of particles by rotating blades of fermentation reactors]. *Tekhnika i tekhnologii APK*, 3 (78), 10–13 [in Ukrainian].
8. Kukharets, S. M. (2016). *Dynamika rukhu skladovykh substratu v obertovykh reaktorakh* [Dynamics of motion of substrate constituents in rotary reactors], *Visnyk Zhytomyrskoho natsionalnoho ahroekologichnoho universytetu*, 1 (53), t. 1, 249–258 [in Ukrainian].
9. Golub, G. A., Szalay, K., Kukharets, S. M. & Marus O. A. (2017). *Energy efficiency of rotary digesters. Progress in Agricultural Engineering Sciences*, 13 (1), 35–49.
10. Holub, H. A. & Marus, O. A. (2016). *Mekhanika rukhu chastynky po radialnii lopatsi obertovoho barabana* [Mechanics of motion of a particle on a radial blade of a rotating drum]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Ser. Tekhnika ta enerhetyka APK*, 241, 350–358 [in Ukrainian].
11. Golub, G. A. & Marus, O. A. (2016). *Analiz rivnian rukhu materialnoi chastynky po radialnii lopatsi obertovoho barabana* [Analysis of equations of motion of a material particle on a radial blade of a rotating drum]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Ser. Tekhnika ta enerhetyka APK*, 251, 43–53 [in Ukrainian].
12. Golub, G. A., Marus, O. A. & Yarosh, Ya. D. (2017). *Analiz rukhu chastynky po radialnii lopatsi obertovoho barabana z urakhuvanniam oporu seredovyshcha* [Analysis of the motion of a particle on a radial blade of a rotating drum, taking into account the resistance of the medium]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Ser. Tekhnika ta enerhetyka APK*, 258, 28–39 [in Ukrainian].

INFLUENCE OF AIR SUPPLY ON THE ROPE OF PARTS ON THE RADIAL LOADS OF REDBURG

G. Golub¹, O. Marus¹, J. Cesna¹

mail: gagolub@ukr.net, jonas.cesna@asu.lt

¹National University of Life

and environmental sciences of Ukraine

Kyiv, Heroev Oborony str., 15, 03041, Ukraine, e-

²Faculty of Agricultural Engineering, Aleksandras Stulginskis University, Studentu str.

15, LT-53362 Akademija Kauno r., Lithuania

The devices for mixing on the basis of rotary drums are increasingly used in the development of biotechnological processes of fermentation, and therefore, increasing the efficiency of their work by

substantiating methods for determining the parameters of the centrifugal movement of particles on a radial shovel in a rotating drum that will allow the establishment of rational angular velocity and structural parameters of rotary drums, needs further improvement.

In this work the motion of a material particle on a radial shovel in a rotating drum with the consideration of the following parameters: the diameter and radius of the drum, the initial radius of the position of the material on the shoulder blade, the acceleration of gravity, the coefficient of friction of the material on the shaft, the equivalent diameter and particle density, and also the dynamic 'air quality'. The use of particle motion parameters on a radial shovel in a rotating drum, as shown above, allowed to determine and compare the patterns of particle motion, taking into account and without taking into account the air resistance, depending on the quadrant in which it is located.

The trajectories of the material particle in motion along the radial shovel in a rotating drum have allowed to determine the effect of the air resistance on radial displacement and the radial velocity of the particle in 4 quadrants. These studies show that the trajectory of the motion of a material particle in different quadrants is influenced by the centrifugal force, the friction force that occurs due to the coriolis force, the frictional force due to the gravitational force, and also the force of gravity. But each force influences differently, depending on the location of the material particle, that is, the angle of the vane of the radial blade.

Keywords: drum, radial blade, the movement of particles, air resistance.

**ВЛИЯНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ
ВОЗДУХА НА ДВИЖЕНИЕ ЧАСТИЦЫ
ПО РАДИАЛЬНОЙ ЛОПАТКЕ
ВРАЩАЮЩЕГОСЯ БАРАБАНА**

Г. А. Голуб¹, О. А. Марус¹, Й. Чесна²
mail: gagolub@ukr.net, jonas.cesna@asu.lt

¹Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

г. Киев, ул. Героев Оборона,
15, 03041, Украина,

²Факультет сельскохозяйственного
машиностроения, Университет им. Aleksandras
Stulginskis, Studentu str. 15, LT-53362
Akademija Kauno r., Lithuania

Устройства для перемешивания на основе вращающихся барабанов находят все большее распространение при разработке биотехнологических процессов ферментации, а потому повышение эффективности их работы путем обоснования методов определения параметров центробежного движения частиц по радиальной лопатке во вращающемся барабане, которые позволят установить рациональные значения угловой скорости и конструктивные параметры вращающихся барабанов, требует дальнейшего совершенствования.

Исследовано движение материальной частицы по радиальной лопатке во вращающемся барабане с учетом следующих параметров: диаметра и радиуса барабана, начального радиуса положения материальной частицы на лопатке, ускорение силы тяжести, коэффициента трения материала по лопатке, эквивалентного диаметра и плотности частицы, а также динамической вязкости воздуха. Использование параметров движения материальной частицы по радиальной лопатке во вращающемся барабане, которые были приведены ранее, позволили определить и сравнить закономерности движения частицы с учетом и без учета сопротивления воздуха в зависимости от квадранта в котором она находится.

Полученные траектории материальной частицы при движении по радиальной лопатке во вращающемся барабане позволили определить влияние сопротивления воздуха на радиальное перемещение и радиальную скорость частицы в 4-х квадрантах. Данные исследования показывают, что на траекторию движения материальной частицы в различных квадрантах влияет центробежная сила, сила трения, возникающая за счет кориолисовой силы, сила трения за счет силы тяжести, а также непосредственно сила тяжести. Но каждая сила воздействует по-разному в зависимости от места нахождения материальной частицы, то есть угла поворота радиальной лопатки.

Ключевые слова: барабан, радиальная лопатка, движение частицы, сопротивление воздуха.

УДК 631.371:620.92

ДОСЛІДЖЕННЯ ШВИДКОСТІ ПОТОКУ ЕМУЛЬСІЇ В ЦИРКУЛЯЦІЙНИХ РЕАКТОРАХ

Я. Д. Ярош, М. М. Кухарець, В. М. Овдіюк, В. В. Кухарець*e-mail: yaroslav.yarosh76@gmail.com, kolobok-777@ukr.net, 96534v@gmail.com, lidanaz@ukr.net*

Житомирський національний агроекологічний університет

бульвар Старий, 7, м. Житомир, Україна, 10008

В циркуляційних реакторах за допомогою дискової форсунки у процесі виробництва дизельного біопалива забезпечується перемішування емульсії. При проходженні емульсії через дискову форсунку створюється турбулентний потік, що забезпечує необхідну ефективність перемішування емульсії у прошарку фіксованої висоти. Проте для встановлення раціональних значень геометричних та технологічних параметрів циркуляційних реакторів необхідне експериментальне дослідження зміни швидкості потоку емульсії. Тому метою дослідження є встановлення швидкості потоку емульсії в залежності від подачі насоса гідростанції та зазору між дисками форсунки.

Для проведення досліджень швидкості потоку емульсії в циркуляційних реакторах, що оснащені дисковою форсункою, було розроблено експериментальну установку. Експериментальна установка складалася із дискової форсунки, робочої ємності, гідростанції для перекачування емульсії, частотного перетворювача для зміни частоти обертання гідронасоса, цифрового аналізатора параметрів споживання енергії, тахометра для вимірювання частоти обертання валу насоса. Під час проведення експериментів змінювалися зазор між дисками форсунки та частота обертів гідронасоса та вимірювались швидкість потоку емульсії.

Аналіз результатів експериментальних досліджень дискової форсунки дозволив встановити залежність зміни швидкості у потоці емульсії за довжиною потоку в залежності від зазору між дисками форсунки при різних значеннях подачі насоса гідростанції. В результаті проведених експериментальних досліджень знайдено сімейство рівнянь, що описують динаміку швидкості у потоці емульсії. Знаючи швидкість потоку емульсії, можна встановити характер руху рідини та раціональну довжину потоку емульсії. Знаючи раціональну довжину потоку емульсії, можна підібрати ефективні діаметри дискової форсунки та циркуляційного реактора.

Ключові слова: дизельне біопаливо, дискова форсунка, циркуляційний реактор, частота обертів, швидкість, зазор між дисками.

Постановка проблеми

Дизельне біопаливо в основному отримують у процесі переестерифікації або метанолізу [1, 2, 3]. Метиловий спирт, олія та каталізатор утворюють багатofазну емульсію, в якій пришвидшення проходження реакції необхідне перемішування [2, 4]. Параметри перемішування значною мірою впливають на якість отриманого у процесі метанолізу дизельного біопалива [5, 6, 7].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Останнім часом розповсюдження набувають енергоефективні реактори із використанням форсунок [8, 9, 10] та циркуляцією емульсії за замкненим контуром [11]. Використання таких реакторів дозволяє значно спростити процес переестерифікації та об'єднати його із операцією відстоювання в одній ємності. Однак, в циркуляційних реакторах форсунки розміщені таким чином, що можливе утворення зони застоювання емульсії. В дослідженнях [12, 13] пропонується використання циркуляційних

реакторів із дисковою форсункою. Використання таких форсунок дозволяє уникати зон застоювання емульсії та значно полегшує видалення отриманого дизельного біопалива із реактора. Для процесу етерифікації рослинних олій запропоновано циркуляційне перемішування, що здійснюється багатократним перекачуванням рідини за замкненим контуром. Дискову форсунку встановлено у верхній частині змішувача (рис. 1) із можливістю її руху вздовж осі реактора.

При проходженні емульсії через дискову форсунку створюється турбулентний потік, що забезпечує необхідну ефективність перемішування емульсії у прошарку фіксованої висоти. За рахунок відкачування емульсії із нижньої частини змішувача, шар емульсії опускається, інтенсивність перемішування зменшується, починається інтенсивне протікання реакції переестерифікації.

Проте для встановлення раціональних значень геометричних та технологічних параметрів циркуляційних реакторів необхідне

експериментальне дослідження зміни швидкості потоку емульсії.

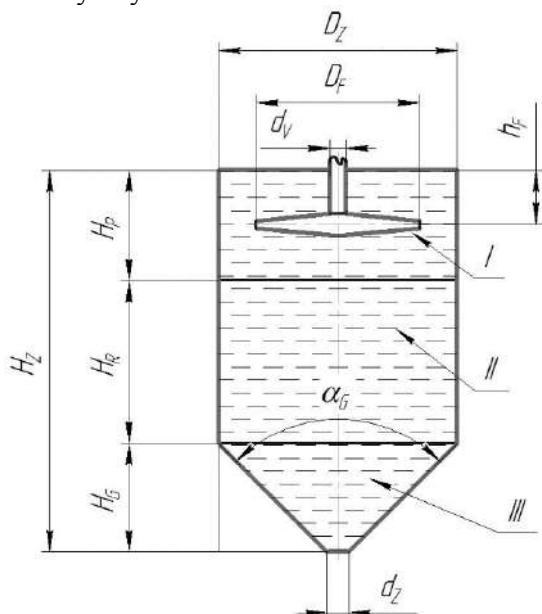


Рис. 1. Структурна схема реактора:

I – область перемішування; II – область проходження реакції; III – область відстоювання гліцерину; H_Z – висота розділювача, м; H_P – висота області перемішування, м; H_R – висота області перебігу реакції, м; H_G – висота області відстоювання гліцерину, м; D_Z – робочий діаметр розділювача, м; D_F – діаметр дискової форсунки, м; h_F – висота встановлення дискової форсунки, м; d_V – діаметр вхідного отвору дискової форсунки, м; d_Z – діаметр отвору для зливання гліцерину, м; α_G – конусність області відстоювання, рад.

Мета, завдання та методика досліджень

Метою дослідження є встановлення швидкості потоку емульсії в залежності від подачі насоса гідростанції та зазору між дисками форсунки.

Для досягнення мети було сформовано такі завдання:

- обґрунтувати склад дослідної установки та виконати експериментальні дослідження швидкості потоку емульсії;

- провести аналіз результатів виконаних експериментальних досліджень швидкості потоку емульсії.

Для проведення досліджень швидкості потоку емульсії було розроблено експериментальну установку (рис. 2). Вона містила: дискову форсунку діаметром 0,32 м, робочу ємність, гідростанцію для перекачування емульсії, частотний перетворювача Hitachi-3G3JX-A4075-EF, цифровий аналізатор параметрів споживання енергії DMK-30, тахометр UT-372. Гідростанція містила: насос шестеренчастий марки НШ-100, асинхронний електродвигун АІР-112-М4 із потужністю 5,5 кВт та номінальною частотою обертання 1500 об/хв, систему шлангів та труб. Частота обертів електродвигуна насоса гідростанції регулювалася частотним перетворювачем Hitachi-3G3JX-A4075-EF та вимірювалася тахометром UT-372, потужність споживану гідростанцією визначали згідно показів аналізатора DMK 30.



а)



б)

Рис. 2. Установка для проведення експериментальних досліджень дискової форсунки (а) та дискова форсунка (б)

Для проведення експериментальних досліджень в якості імітації емульсії використовувалися соняшникова олія за температури довкілля 20°C.

Під час проведення експериментів змінювалися: зазор між дисками форсунки та частота обертів гідронасоса та вимірювалися швидкість потоку емульсії.

Швидкість струменя визначалась за формулою:

$$v = \sqrt{2gH_v} \quad (1)$$

де H_v – швидкісний напір у потоці емульсії, м.

Швидкісний напір визначався за допомогою п'єзометричних трубок (рис. 3) і дорівнював висоті емульсії в трубці над вільною поверхнею.

Інтервали значень та рівні варіювання досліджуваних факторів наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Інтервали значень та рівні варіювання досліджуваних параметрів

Найменування параметра та його позначення	Рівні факторів		Інтервали варіювання
	min	max	
Частота обертів гідронасоса хв^{-1}	300	1400	550
Зазор між дисками форсунки, мм	2	6	2
Довжина потоку, м	0	0,3	0,05



Рис. 3. П'єзометричні трубки

Отримані данні було оброблено за допомогою спеціального програмного забезпечення для аналізу двохфакторних експериментів.

Результати досліджень

Аналіз результатів експериментальних досліджень дискової форсунки дозволив встановити залежність зміни швидкості у потоці емульсії за довжиною потоку в залежності від зазору між дисками форсунки за різних значення подачі насоса гідростанції.

Так, за частоти обертів гідронасоса 1400 хв^{-1} швидкість потоку емульсії описується рівняння:

$$v = 3,237 - 0,6805h_0 - 0,1168l_x + 0,0604h_0^2 + 0,0034h_0l_x + 0,0019l_x^2 \quad (2)$$

де v – середня швидкість потоку, м/с;

l_x – довжина потоку, м.

h_0 – зазор між дисками форсунки, мм;

Графічно рівняння (5) відображено на рис. 4.

За частоти обертів гідронасоса 850 хв^{-1} швидкість потоку емульсії описується рівнянням:

$$v = 2,7953 - 0,6487h_0 - 0,0977l_x + 0,0496h_0^2 + 0,0065h_0l_x + 0,0013l_x^2 \quad (3)$$

Графічно рівняння (6) відображено на рис. 5.

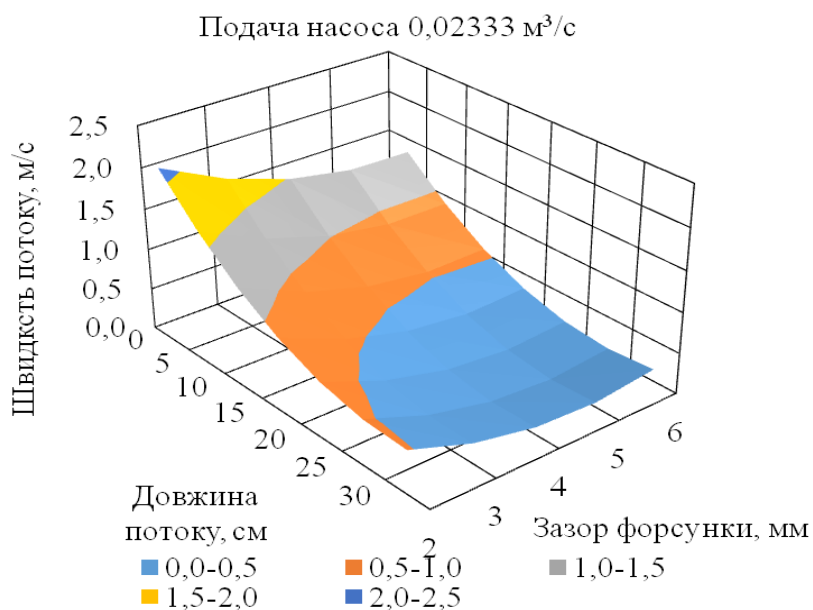


Рис. 4. Залежність швидкості емульсії за довжиною потоку від зазору між дисками форсунки за максимальної подачі насоса гідростанції

При частоті обертів гідронасоса 300 хв-1 швидкість потоку емульсії описується рівнянням:

$$v = 1,8887 - 0,5348h_0 - 0,0498l_x + 0,0422h_0^2 + 0,0061h_0l_x + 0,0003l_x^2 \quad (4)$$

де v – середня швидкість потоку, м/с;
Графічно рівняння (7) відображено на рис. 6.

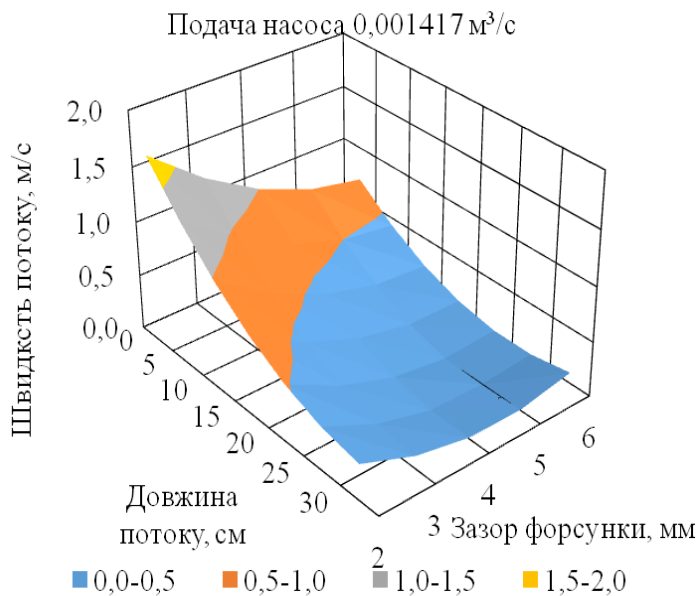


Рис. 5. Залежність швидкості емульсії за довжиною потоку від зазору між дисками форсунки за середньої подачі насоса гідростанції

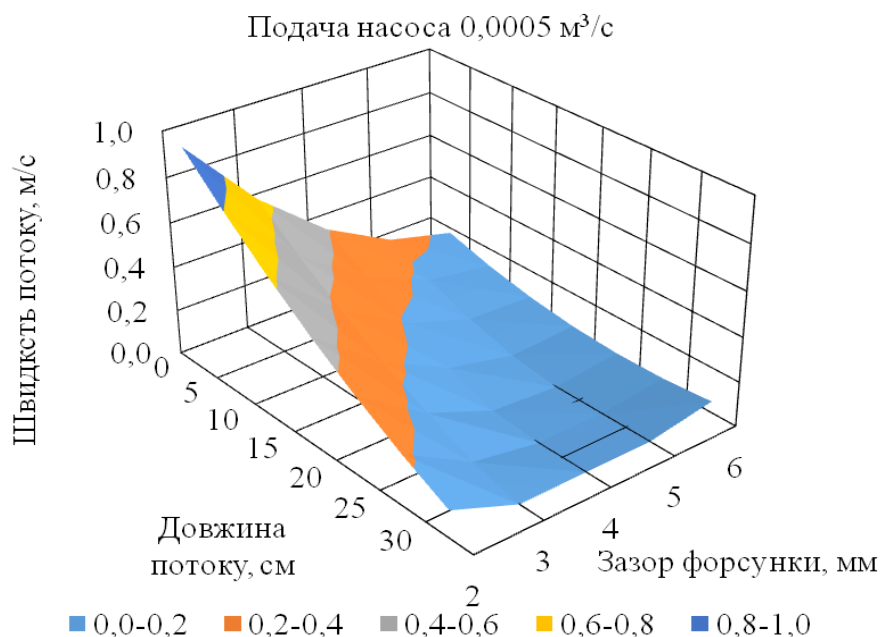


Рис. 6. Залежність швидкості емульсії за довжиною потоку від зазору між дисками форсунки за мінімальної подачі насоса гідростанції

З аналізу рівнянь (2, 3 та 4) і графічних залежностей на рис. 4–6 походить, що максимальна швидкість спостерігається за виходу потоку емульсії із форсунки при зазорі між дисками форсунки 2 мм та максимальній подачі насоса гідростанції.

Висновки та перспективи подальших досліджень

За довжиною потоку спостерігається падіння швидкості, причому необхідна інтенсивність потоку емульсії забезпечується для циркуляційних реакторів із внутрішнім діаметром до 1 м за частоти обертів насоса НШ-100 гідростанції від 300 до 500 об/хв, для діаметрів від 1 до 2 м за частоти обертів від 700 до 1000 об/хв. Для циркуляційних реакторів діаметром більше 2 м необхідно застосовувати максимальні оберти гідронасоса чи підбирати насос більшої продуктивності.

У подальшому, знаючи швидкість потоку емульсії, можна встановити характер руху рідини та встановити раціональну довжину потоку емульсії. Виходячи із раціональної довжини потоку емульсії, можна узгодити та підібрати ефективні діаметри як форсунки, так і циркуляційного реактора.

References

1. Holub, H., Kukharets, S., Osypchuk, O. & Kukharets, V. (2015). Analiz protsesu otrymannia biodyzelnoho palnoho i obgruntuvannya osnovnykh parametriv reaktora-rozdiliuvacha [Analysis of the process of obtaining biodiesel fuel and justification of the main parameters of the reactor separator]. *Motrol, Commission of motorization and energetics in agriculture*, 17 (9), 149–155 [in Ukrainian].
2. Ehsan, M. & Tofajjal, T. H. (2015). Production of Biodiesel Using Alkaline Based Catalysts From Waste Cooking Oil: A Case Study. *Journal of Procedia Engineering*, 105, 638–645.
3. Baskar, G. & Aiswarya, R. (2016). Trends in Catalytic Production of Biodiesel from Various Feedstocks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 496–504.
4. Qiu, Z., Zhao, L. & Weatherley, L. (2010). Process Intensification Technologies in Continuous Biodiesel Production. *Journal of Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 49 (4), 323–330.
5. Amelio, A., Van de Voorde, T., Creemers, C., Degreè, J., Darvishmanesh, S., Luis, P. & Van der Bruggen, B. (2016). Comparison Between Exergy and Energy Analysis for Biodiesel Production. *Journal of Energy*, 98, 135–145.
6. Rahmat, B., Setiasih, I. & Kastaman, R. (2013). Biodiesel Reactor Design with Glycerol

Separation to Increase Biodiesel Production Yield. *Makara Journal of Technology*, 17 (1), 11-16.

7. Somnuk, K., Prasit, T. & Prateepchaikul, G. (2017). Effects of Mixing Technologies on Continuous Methyl Ester Production: Comparison of Using Plug Flow, Static Mixer, and Ultrasound Clamp. *Journal of Energy Conversion and Management*, 140, 91–97.

8. Crudo, D., Bosco, V., Cavaglià, G., Grillo, G., Mantegna, S. & Cravotto, G. (2016). Biodiesel Production Process Intensification Using a Rotor-Stator Type Generator of Hydrodynamic Cavitation. *Journal of Ultrasonics Sonochemistry*, 33, 220–225.

9. Alenezi, R., Santos, R.C.D., Raymahasay, S. & Leeke, G. A. (2013). Improved Biodiesel Manufacture at Low Temperature and Short Reaction Time. *Journal of Renewable Energy*, 53, 242-248.

10. Sungwornpatansakul, P., Hiroi, J., Nigahara, Y., Jayasinghe, T. & Yoshikawa, K. (2013). Enhancement of Biodiesel Production Reaction Employing the Static Mixing. *Journal of Fuel Processing Technology*, 116, 1-8.

11. Holub, H. A., Kukharets, S. M., Chuba, V. V., Pavlenko, M. Iu. & Yarosh, Ya. D. (2017). Obgruntuvannia parametriv obladnannia dlia otrymannia ta vykorystannia dyzelnoho biopalyva v ahrovyrobnytstvi [Rationale for the parameters of equipment for production and use of biodiesel in agricultural production]. *Skhidno-Yevropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii*, 2/1(86), 28–33 [in Ukrainian].

12. Yarosh, Ya. (2017). Vstanovlennia ratsionalnykh parametriv zmishuvacha iz dyskovoiu forsunkoiu dlia otrymannia dyzelnoho biopalyva [Installation of rational parameters of a mixer with disk injector for diesel biofuel production]. *Silskohospodarski mashyny*, 36, 194–203 [in Ukrainian].

13. Yarosh, Y., Kukharets, S. & Tsyvenkova, N. (2018). The determination of parameter of a reactor-mixer with a disk injector. *Vidnovliuvana enerhetyka*, 2 (53), 80-87.

THE INVESTIGATION OF THE SPEED OF EMULSION FLOW IN CIRCULATING REACTORS

Y. Yarosh, M. Kukharets, V. Ovdiiuk,
V. Kukharets

Zhytomyr National Agroecological University,
Stary Boulevard, 7, Zhytomyr, 10008, Ukraine

In a circulating reactor the emulsion traversing is provided by means of a disk injection nozzle in the process of diesel biofuel generation. In the process

of emulsion floating through the disk injection nozzle is formed a turbulent stream which provides a necessary efficiency of emulsion traversing within the fixed height. But to determine the rational values of geometric and technical parameters of the circulating reactors it is necessary to conduct an experimental investigation of changes of the emulsion flow speed. That is why the goal of the research is to determine the speed of the emulsion flow depending on the discharge of the hydro-station pump and the gap clearance between the disks of the injection nozzle.

To determine the speed of the emulsion flow in the circulating reactors, which are fitted with a disk injection nozzle, an experimental machine was developed. The experimental machine consisted of a disk injection nozzle, service capacity, hydro-station for emulsion pumping, frequency converter for changing the rotation frequency of a hydro-pump, digital analyzer of the parameters of energy consumption, tachometer for measuring the rotation frequency of the pump shaft. During the experiment, the gap clearance between the disks of the injection nozzle and the rotation frequency of the pump were changed, the speed of the emulsion flow was measured.

The analysis of the experimental data of a disk injection nozzle made it possible to determine the dependence of speed changes in the emulsion flow on the flow length depending on the gap clearance between the disks of the injection nozzle under various values of discharge of the hydro-station pump. As follows from the experiment, a set of equations which describe the speed dynamic in the emulsion flow has been found. Knowing the speed of the emulsion flow, both the character of the liquid traversing and the rational length of the emulsion flow can be determined. Knowing the rational length of the emulsion flow, the efficient diameters of a disk injection nozzle and of circulating reactor can be chosen.

Keywords: diesel biofuel, disk injection nozzle, circulating reactor, rotation frequency, speed, gap clearance between the disks.

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ПОТОКА ЭМУЛЬСИИ В ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ РЕАКТОРАХ

Я. Д. Ярош, Н. Н. Кухарец,
В. В. Овдиюк, В. В. Кухарец

Житомирский национальный
агроэкологический университет
бульвар Старый, 7, г. Житомир, 10008, Украина

В циркуляционных реакторах с помощью

дисковой форсунки в процессе производства дизельного биотоплива обеспечивается перемешивание эмульсии. При прохождении эмульсии через дисковую форсунку создается турбулентный поток, обеспечивающий необходимую эффективность перемешивания эмульсии в прослойках фиксированной высоты. Однако для установления рациональных значений геометрических и технологических параметров циркуляционных реакторов необходимо экспериментальное исследование изменения скорости потока эмульсии. Поэтому целью исследования является установление скорости потока эмульсии в зависимости от подачи насоса гидростанции и зазора между дисками форсунки.

Для проведения исследований скорости потока эмульсии в циркуляционных реакторах, оснащенных дисковой форсункой, была разработана экспериментальная установка. Экспериментальная установка состояла из дисковой форсунки, рабочей емкости, гидростанции для перекачки эмульсии, частотного преобразователя для изменения частоты вращения гидронасоса, цифрового анализатора параметров потребления энергии,

тахометра для измерения частоты вращения вала насоса. При проведении экспериментов менялись зазор между дисками форсунки и частота вращения гидронасоса, а также измерялась скорость потока эмульсии.

Анализ результатов экспериментальных исследований дисковой форсунки позволил установить зависимость изменения скорости в потоке эмульсии по длине потока в зависимости от зазора между дисками форсунки при различных значениях подачи насоса гидростанции. В результате проведенных экспериментальных исследований найдено семейство уравнений, описывающих динамику скорости в потоке эмульсии. Зная скорость потока эмульсии, можно установить характер движения жидкости и рациональную длину потока эмульсии. Зная рациональную длину потока эмульсии, можно подобрать эффективные диаметры дисковой форсунки и циркуляционного реактора.

Ключевые слова: Дизельное биотопливо, дисковая форсунка, циркуляционный реактор, число оборотов, скорость, зазор между дисками.

УДК 631.319.2

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ТА АГРОНОМІЧНИХ ВИМОГ
ДО СМУГОВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ****Г. А. Голуб*, А. В. Дворник *****e-mail: gagolub@ukr.net, a.dvornyk@ukr.net****Национальний університет біоресурсів і природокористування України****вул. Героїв Оборони, 15В, м. Київ, 03041, Україна;******ВП НУБіП України «Ніжинський агротехнічний інститут»****вул. Шевченка, 10, м. Ніжин, 16600, Україна**

Вибору раціональних параметрів та їх оптимізації стосовно агрегатів смугового обробітку ґрунту не приділено достатньої уваги. Особливо це стосується урахування кількісних значень якісних показників обробітку ґрунту, тому, необхідно розглядати одночасно декілька показників якості та використовувати узагальнений показник, що враховує відповідність стану обробленої смужки до агротехнічних вимог передпосівного обробітку. Найбільш характерною є залежність узагальненого показника якості смугового обробітку ґрунту від параметрів робочих органів, властивостей ґрунту і швидкісних режимів роботи агрегату. У статті обґрунтовано використання узагальненого показника якості смугового обробітку ґрунту на основі окремих показників з урахуванням їх вагомості та розроблено методики їх визначення, узагальнено агрономічні вимоги до технології смугового обробітку ґрунту. Якість смугового обробітку спочатку визначається візуальним оглядом обробленої смужки, при цьому звертається увага на рівномірність розміщення ґрунтових агрегатів, загальний стан стерні та рослинні рештки. Глибина обробітку визначається за допомогою твердоміра Рев'якіна або мірного штока. Поперечну нерівність поверхні смужки визначають методом видовження шнура при копіюванні рельєфу ґрунту або за допомогою профілювання висоти гребенів та глибини борозен. Грудкуватість визначається накладанням на поверхню обробленої смужки прямокутної облікової рамки площею 0,24 м² (40×60 см), із комірками розміром 50×25 мм. Робочі органи агрегатів для смугового обробітку повинні рівномірно обробляти ґрунт на глибину насінневого ложа, не забиватися ґрунтом та рослинними рештками. Дотримання агротехнічних вимог при смуговому обробітку ґрунту забезпечить можливість виконання глибокого рівномірного рихлення із внесенням добрив, формування якісного насінневого ложа та подальшого посіву сільськогосподарських культур.

Ключевые слова: *поперечна нерівність поверхні, глибина обробітку, грудкуватість поверхні, вагомисть показників, узагальнений показник.*

Постановка проблеми

Вибору раціональних параметрів та їх оптимізації стосовно агрегатів смугового обробітку ґрунту не приділено достатньої уваги. Особливо це стосується урахування кількісних значень якісних показників обробітку ґрунту. Не конкретизовані агротехнічні вимоги до показників якості обробітку ґрунту при використанні агрегатів смугового обробітку ґрунту. Відсутні допустимі межі їх зміни залежно від природно-кліматичних зон, метеорологічних чинників та культур попередників. Обґрунтування допустимих меж зміни якісних показників обробітку ґрунту на основі економічних критеріїв також часто узагальнені [3, 6]. У деяких випадках показники якості обробітку ґрунту навпаки характеризуються надмірно жорсткими нормативами, що призводить до збільшення витрат і суттєвих труднощів при проектуванні

машин, і тому виникає необхідність введення узагальненого показника якості смугового обробітку ґрунту на основі використання оцінки окремих конкретизованих показників якості із врахуванням їх вагомості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Для оцінки якості обробітку ґрунту використовують рівень досягнення заданих значень показника якості обробленого ґрунту [2, 3, 5, 6] як відношення значень показника якості, що досягнув заданих значень під час виконання технологічної операції, до загальної кількості виміряних значень показника якості обробленого ґрунту або коефіцієнт варіації відхилення показника якості від його середнього або заданого значення, що визначається за загальновідомими виразами статистичної математики.

Вагомисть показників якості відіграє важливу роль при оцінці якості обробітку ґрунту

і впливає на результат визначення його ефективності. Найоб'єктивніше оцінити відповідність показників якості роботи агрегату для смугового обробітку ґрунту агротехнічним вимогам дозволяє ймовірність перебування їх у заданих межах [3].

На основі літературних джерел [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10] встановлено вагомості показниками якості смугового обробітку ґрунту: глибина обробітку, поперечна нерівність поверхні обробленої смужки, грудкуватість поверхні. Вони є ознакою рівномірного формування насінневого ложе, і в подальшому кожен показник окремо і всі комплексно впливають на розвиток кореневої системи рослини.

Мета, завдання та методика досліджень

Мета дослідження – встановити залежність узагальненого показника якості смугового обробітку ґрунту від параметрів робочих органів, властивостей ґрунту і швидкісних режимів роботи агрегату.

Завдання дослідження – обґрунтувати використання узагальненого показника якості смугового обробітку ґрунту на основі окремих показників якості обробітку ґрунту з урахуванням їх вагомості та узагальнити методики визначення окремих показників якості обробітку ґрунту.

Алгоритм визначення відхилень показників якості роботи від нормативних значень агротехнічних вимог із урахуванням їх

допустимих значень визначають за наступним виразом [3]:

$$\gamma = \begin{cases} \frac{\gamma_{\phi} - \gamma_{T3}}{\gamma_{T3}} = \frac{\gamma_{T3}^{\min} - \gamma_{\phi}}{\gamma_{T3}^{\min}} \text{ при } \gamma_{\phi} < \gamma_{T3}^{\min} \\ \frac{\gamma_{\phi} - \gamma_{T3}}{\gamma_{T3}} = \frac{\gamma_{\phi} - \gamma_{T3}^{\max}}{\gamma_{T3}^{\max}} \text{ при } \gamma_{\phi} > \gamma_{T3}^{\max} \\ \frac{\gamma_{\phi} - \gamma_{T3}}{\gamma_{T3}} = 0 \text{ при } \gamma_{T3}^{\min} \leq \gamma_{\phi} \leq \gamma_{T3}^{\max} \end{cases}, \quad (1)$$

де $\gamma_{T3}^{\min}, \gamma_{T3}^{\max}$ – мінімальне та максимальне значення показника якості роботи агрегатів, яке задане агротехнічними вимогами, кг, м або шт.; γ_{ϕ} – фактичне значення показника якості роботи, кг, м або шт.

Результати досліджень

При оцінці ефективності смугового обробітку ґрунту необхідно розглядати одночасно декілька показників якості та доцільно використовувати узагальнений показник, що враховує відповідність стану обробленої смужки до агротехнічних вимог передпосівного обробітку.

Значення узагальненого показника, враховуючи відхилення вимірних показників якості від заданих меж нормативних значень та їх вагомості, доцільно визначати за виразом:

$$\begin{aligned} \Pi_{\gamma} = \gamma_h & \left(\frac{h_{T3}^{\min} - h_{\phi}}{h_{T3}^{\min}} \text{ при } h_{\phi} < h_{T3}^{\min}; \frac{h_{\phi} - h_{T3}^{\max}}{h_{T3}^{\max}} \text{ при } h_{\phi} > h_{T3}^{\max}; 0 \text{ при } h_{T3}^{\min} \leq h_{\phi} \leq h_{T3}^{\max} \right) + \\ & + \gamma_B \left(\frac{B_{\phi} - B_{T3}^{\max}}{B_{T3}^{\max}} \text{ при } B_{\phi} > B_{T3}^{\max}; 0 \text{ при } 0 \leq B_{\phi} \leq B_{T3}^{\max} \right) + \\ & + \gamma_N \left(\frac{N_{\phi} - N_{T3}^{\max}}{N_{T3}^{\max}} \text{ при } N_{\phi} > N_{T3}^{\max}; 0 \text{ при } 0 \leq N_{\phi} \leq N_{T3}^{\max} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

де γ_h – вагомості показника глибини обробітку, відн. од; $h_{T3}^{\min}, h_{T3}^{\max}$ – мінімальне та максимальне значення заданої глибини обробітку ґрунту, см; h_{ϕ} – фактичне значення глибини обробітку ґрунту, см; γ_B – вагомості показника поперечної нерівності поверхні обробленої смужки, відн. од; $B_{T3}^{\max}$ – максимально допустиме значення поперечної

нерівності поверхні обробленої смужки, см; B_{ϕ} – фактичне значення поперечної нерівності поверхні обробленої смужки, см; γ_N – вагомості показника грудкуватості поверхні, відн. од; $N_{T3}^{\max}$ – максимально допустиме значення грудкуватості поверхні, тобто кількості комірок із грудками розміром ≥ 5 см, шт.; N_{ϕ} – фактична

грудкуватість, тобто фактична кількість комірок із грудками розміром ≥ 5 см, шт.

Якість смугового обробітку спочатку визначається візуальним оглядом обробленої смужки (рис. 1), при цьому звертається увагу на рівномірність розміщення ґрунтових агрегатів,

загальний стан стерні та рослинні рештки. Фотографування обробленої смужки дозволяє комплексно охарактеризувати її зовнішній вигляд та провести подальше оцінювання за межами поля.



Рис. 1. Загальний вигляд та фотографування обробленої смужки

Джерело: розроблено автором на основі даних [1, 7, 8, 9].

Глибина обробітку (h_{ϕ}) визначається за допомогою твердоміра Рев'якіна або мірного штока. На середині смужки, де проходила секція для смугового обробітку ґрунту, фіксується глибина обробітку ґрунту (10 разів вздовж смужки). Величину глибини обробітку ґрунту доцільно зменшити на 5 % тому, що товщина шару ґрунту після його розпушування збільшується. Відхилення глибини обробітку не повинно перевищувати ± 2 см від заданого значення.

Поперечну нерівність поверхні смужки визначають методом видовження шнура при копіюванні рельєфу ґрунту (рис. 2, а, б) або за допомогою профілювання висоти гребенів та глибини борозен (рис. 2 в).

Визначення поперечної нерівності поверхні смужки методом видовження шнура (рис. 2, а, б) виконують у наступній послідовності: на краях обробленої смужки викладають і фіксують дві паралельно розміщені планки та заміряють фактичну відстань між планками (l). Відстань

між планками зазвичай перевищує ширину смужки, оскільки майже неможливо розмістити їх відповідно до заданої ширини обробітку. Перпендикулярно до планок у вільному стані викладають гнучкий шнур, який копіює поверхню смужки, і на ньому відмічають точки дотику з планками. Після цього вирівнюють шнур і заміряють його вирівняну довжину (l_B). Вимірювання проводяться три рази вздовж обробленої смужки через кожні 10 см.

Фактичну поперечну нерівність обробленої смужки визначають за формулою:

$$B_{\phi} = \left(\frac{l_B - l}{l} \right) \cdot 100\% \quad (3)$$

де B_{ϕ} – фактична поперечна нерівність, см; l_B – довжина вирівняного шнура, см; l – фактична відстань між вимірювальними планками, см.



Рис. 2. Визначення якості обробленої смужки

а, б – визначення поперечної нерівності поверхні методом видовження шнура; в – визначення поперечної нерівності поверхні за допомогою профілювання; г – вимірювання грудкуватості поверхні з накладанням облікової рамки.

Джерело: розроблено автором на основі даних [1, 7, 8, 9].

Середнє значення фактичної поперечної нерівності обробленої смужки, визначеної методом видовження шнура, повинно становити не більше 15 %, а максимальне відхилення одного із замірів не повинно перевищувати 25 %.

Визначення поперечної нерівності обробленої поверхні методом профілювання (рис. 2 в) базується на побудові проекції ламаної лінії. Мірну рейку з поділками на підставках фіксованої висоти (15 см) встановлюють поперек обробленої смужки. Довжина рейки дорівнює заданій ширині обробленої смужки (l_p). За допомогою лінійки у точках, відповідно до позначок на рейці (кожні 3 см), заміряють і фіксують відстань між рейкою і поверхнею обробленого ґрунту, при цьому відстань у борозенках буде більшою, ніж на гребнях або

грудках. За отриманими даними, без урахування висоти підставок, у координатах х-у будується ламана лінія, яка описує профіль обробленого ґрунту. Визначається загальна довжина ламаної лінії (l_L). Фактичну поперечну нерівність обробленої смужки визначають за формулою:

$$B_\phi = \left(\frac{l_L - l_p}{l_p} \right) \cdot 100\% \quad (4)$$

де B_ϕ – фактична поперечна нерівність, см; l_L – загальна довжина ламаної лінії, см; l_p – довжина рейки, що дорівнює заданій ширині обробленої смужки, см.

За агротехнічними вимогами до передпосівного обробітку ґрунту поперечна нерівність поверхні повинна становити не більше

15 %, а в окремих точках глибина борозенок і висота гребенів повинні бути не більше 5 см.

Грудкуватість обробленого ґрунту впливає не тільки на розвиток коренів рослин, але й на водно-повітряний та поживний режим і

вважається важливим фактором родючості. Структурні агрегати за розмірами поділяються на декілька типів: брилувата структура – агрегати розміром > 10 см; грудкувата – від 3 до 10 см; зерниста – від 0,25 до 3 см.



Рис. 3. Форми поперечного перерізу смужки після обробітку

Джерело: розроблено автором.

Для вирощування сільськогосподарських культур цінними агрегатами є грудки розміром від 0,5 до 5 см, тобто ступінь подрібнення ґрунту

на поверхні з формуванням ґрунтових агрегатів розміром не більше 5 см.

Грудкуватість визначається накладанням на поверхню обробленої смужки прямокутної облікової рамки (рис. 2, г) площею 0,24 м² (40×60 см), із комірками розміром 50×25 мм. Підраховується кількість комірок, займаних грудками розміром 5 см і більше на поверхні ґрунту, і визначається їх відсоткове відношення до загальної кількості комірок облікової рамки. Для передпосівного обробітку грудкуватість з розміром грудок більше 5 см повинна становити до 10%, наявність грудок розміром більше 10 см взагалі не допустима [7].

Робочі органи агрегатів для смугового обробітку повинні рівномірно обробляти ґрунт на глибину насінневого ложе, не забиватися ґрунтом та рослинними рештками. Залежно від комплектації робочих органів, смужка може мати різні форми поперечного перерізу (рис. 3). У цілому поверхня обробленої смужки повинна бути рівномірною (рис. 3, б), тобто значення ступеня нерівності обробленої поверхні повинно бути не більше 15 %.

Під час осіннього обробітку ґрунту необхідно, щоб смужка мала випуклість від країв до середини (рис. 3, в), тобто при профілюванні

поверхні не бажано заглиблення лійки більше 5 см від мірної рейки без урахування висоти підставок (15 см), щоб передбачити просідання ґрунту впродовж зими. Весною допускається увігнутість смужки посередині оброблених смужок (рис. 3, а), тобто заглиблення лійки до 5 см від мірної рейки без урахування висоти підставок. Розкидання грудок за межі ширини обробленої смужки (рис. 3, д, е) не бажане тому, що це погіршує загальний стан вирівнювання поверхні поля й негативно впливає на виконання технологічних операцій, таких як догляд за посівами.

Якщо смуговий обробіток використовується лише для закладання добрив і після нього передбачено додатковий обробіток ґрунту (лушення, дискування або оранка), то вимірювання якості не обов'язкове і смужка може бути з борозною (рис. 3, г) та нерівномірною (рис. 3, д).

На основі існуючих вимог до передпосівного обробітку ґрунту запропоновано агротехнічні вимоги до агрегатів смугового обробітку ґрунту (табл. 1).

Таблиця 1. Агротехнічні вимоги до смугового обробітку ґрунту

Показники	Вимоги та допуски
Швидкість руху агрегату	від 4 до 10 км/год.
Глибина обробітку	від 20 до 40 см
Глибина внесення добрив	від 10 до 30 см
Відхилення від заданої глибини обробітку	± 2 см
Ширина обробленої смужки	від 20 до 40 см
Поперечна нерівність обробленої смужки	не більше 15 %
Висота гребнів або глибина борозенок	до 5 см
Грудкуватість обробленого ґрунту (діаметр грудок більше 50 мм)	до 10%
Наявність рослинних решток в обробленій смужці	від 20 до 50 г/м ²

Джерело: узагальнено автором на основі даних [1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10].

Висновки та перспективи подальших досліджень

Дотримання агротехнічних вимог при смуговому обробітку ґрунту забезпечить можливість виконання глибокого рівномірного рихлення із внесенням добрив, формування якісного насінневого ложа та подальшого посіву сільськогосподарських культур. Методика оцінки ефективності смугового обробітку встановлює відповідність впливу робочих органів на стан обробленої смужки і забезпечує

оперативне налагодження техніки й усунення недоліків. Запропонований узагальнений показник, із урахуванням вагомості окремих показників якості, визначає відносне відхилення значень окремих якісних показників обробітку ґрунту від технологічно заданих, забезпечуючи об'єктивність оцінки. Перспективи подальших досліджень полягають у використанні розробленої методики для смугового обробітку ґрунту.

References

1. Chernilevskyi, M. S., Biliavskyi, Yu. A., Kropyvnytskyi R. B. & Vorona L. I. (2012). Ahrotekhnichni vymohy ta otsinka yakosti obrobitku gruntu [Agrotechnical requirements and assessment of the quality of soil cultivation]. Zhytomyr: Zhytomyrskyy natsionalnyy ahroekologichnyy universytet [in Ukrainian].

2. Vilfrid H. (2011). Osoblyvosti zastosuvannya ta perevahy tekhnolohiyi Strip Till [Features and benefits of Strip Till technology]. *Ahronom*, 4 (50), 70–73 [in Ukrainian].

3. Holub H. A. (2008). Kryterii optymizatsii parametriv mashyn ta obladnannia [Criteria of Optimization of Machine and Equipment Parameters]. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Ahroinzhenerni doslidzhennya*, 12 (2), 17–24 [in Ukrainian].

4. Gronau, Yan (2015). Preimushchestva polosnoy obrabotki pochvy (strip till) v dolgosrochnoy perspektive [Advantages of strip cultivation of soil (strip till) in the long term]. Retrieved from <http://striptill.com.ua/preimushchestva-obrobki-pochvu/> [in Russian].

5. Lebediev, A. & Lebedieva, I. (2018). Metodologichni pidkhody do syntezy novykh metodiv vyprobuvan [Methodological approaches to the synthesis of new test methods]. *Tekhnika i tekhnolohiia APK*, 1 (100), 31–35 [in Ukrainian].

6. Lebedye, S., Korobko, A. & Kozlov, Yu. (2017). Do pytannya otsynyuvannya tochnosti vymiryuvan pid chas vyprobuvan silskohospodarskykh mashyn [On the measurement of accuracy of measurements during tests of agricultural machines]. *Tekhnika i tekhnolohiia APK*, 10 (97), 22–25 [in Ukrainian].

7. Karvorskiy, T., Kasimov, I. & Klochkov, B. (1988). Obrabotka pochvy pri intensivnom vzdelyvanii polevykh kultur [Soil cultivation with intensive cultivation of field crops]. Moskva: Agropromizdat [in Russian].

8. Kravchenko, M. S., Tsarenko, M. O. & Mishchenko, Yu. H. (2003). Praktykum iz zemlerobstva [Workshop on agriculture]. Kyiv: Meta [in Ukrainian].

9. Skorobohatov, D., Golub, H. & Marus, O. (2016). Syderalni kultury. Mekhaniko-tekhnologichni osnovy podribnennya ta zahortannya [Sederal cultures. Mechanic-technological bases of shredding and wrapping]. Kyiv: NUBiP Ukrayiny [in Ukrainian].

10. Shustik, L., Hromadska, V., Martynina, L., Nehulyayeva, N. & Suprun, V. (2017). Shlyakhy realizatsiyi tekhnolohiyi smuhovoho obrobitku gruntu v malykh i serednikh hospodarstvakh [Ways of implementation of technology of sand cultivation of soil in small and medium-sized farms]. *Tekhnika i tekhnolohiia APK*, 11 (98), 16–21 [in Ukrainian].

REFERENCE OF QUALITY AND HORNOMIC REQUIREMENTS FOR GROUNDWATER PROTECTION INDICATORS

G. Golub*, A. Dvornyk **

e-mail: gagolub@ukr.net, a.dvornyk@ukr.net

* National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

street Heroes of Defense, 15B, Kyiv, 03041, Ukraine

** VB NUBiP of Ukraine "Nizhyn Agrotechnical Institute"

street Shevchenko, 10, Nizhyn, 16600, Ukraine

The choice of rational parameters and their optimization with respect to aggregates of strip processing has not been paid enough attention. This is especially true of the quantitative values of the quality parameters of soil cultivation, therefore, it is necessary to consider several quality indicators simultaneously and use a generalized indicator that takes into account the correspondence of the condition of the treated strip to the agrotechnical requirements of the presowing treatment. The most characteristic is the dependence of the generalized index of the quality of strip processing on the parameters of working organs, soil properties and high-speed operation modes of the unit. The article substantiates the use of the generalized quality indicator of strip processing on the basis of individual indicators, taking into account their importance and developed methods for their determination, generalized agronomic requirements for technology of strip processing of soil. The quality of strip processing is first determined by visual inspection of the treated strip, paying attention to the uniformity of placement of soil aggregates, the general condition of stubble and plant residues. The depth of processing is determined using a Revyakin hardness tester or a measuring rod. The transverse unevenness of the surface of the strip is determined by the method of lengthening the cord when copying the relief of the soil or by profiling the height of the ridges and the depth of the furrows. Tubbiness is determined by superimposing a rectangular accounting frame with an area of 0,24 m² (40 × 60 cm), with cells measuring 50 × 25 mm, to the

surface of the treated strip. The working organs of the machines for strip processing should evenly process the soil to the depth of the seedbed, and not clog the soil and plant residues. Compliance with agrotechnical requirements for strip processing will ensure the possibility of performing a deep, uniform loosening with the application of fertilizers, the formation of a quality seedbed and further planting of crops.

Keywords: transverse irregularity of the surface, depth of cultivation, lumpiness of the surface, weight of indicators, generalized index.

ОБОСНОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА И АГРОНОМИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К ПОЛОСНОЙ ОБРАБОТКЕ ПОЧВЫ

Г. А. Голуб * А. В. Дворник **

e-mail: gagolub@ukr.net, a.dvornyk@ukr.net

* Национальный университет биоресурсов
и природопользования Украины

ул. Героев Оборона, 15В.,

г. Киев, 03041, Украина;

** ОП НУБиП Украины

«Нежинский агротехнический институт»

ул. Шевченко, 10, г. Нежин, 16600, Украина

Выбору рациональных параметров и их оптимизации относительно агрегатов полосового обработки не уделено достаточного внимания. Особенно это касается учета количественных значений качественных показателей обработки почвы, поэтому, необходимо рассматривать одновременно несколько показателей качества и использовать обобщенный показатель, учитывающий соответствие состояния обработанной полосы к агротехническим требованиям предпосевной обработки. Наиболее характерна зависимость обобщенного показателя качества полосной

обработки от параметров рабочих органов, свойств почвы и скоростных режимов работы агрегата. В статье обосновано использование обобщенного показателя качества полосной обработки на основе отдельных показателей с учетом их значимости и разработаны методики их определения, обобщенны агрономические требования к технологии полосной обработки почвы. Качество полосной обработки сначала определяется визуальным осмотром обработанной полосы, при этом обращается внимание на равномерность размещения грунтовых агрегатов, общее состояние стерни и растительных остатков. Глубина обработки определяется с помощью твердомера Ревьякина или мерного штока. Поперечную неровность поверхности полосы определяют методом удлинения шнура при копировании рельефа почвы или с помощью профилирования высоты гребней и глубины борозд. Бугорчатость определяется наложением на поверхность обработанной полосы прямоугольной учетной рамки площадью $0,24 \text{ м}^2$ ($40 \times 60 \text{ см}$), с ячейками размером $50 \times 25 \text{ мм}$. Рабочие органы агрегатов для полосной обработки должны равномерно обрабатывать почву на глубину семенного ложе, а не забиваться почвой и растительными остатками. Соблюдение агротехнических требований при полосной обработке обеспечит возможность выполнения глубокого равномерного рыхления с внесением удобрений, формирование качественного семенного ложе и дальнейшего посева сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: поперечная неровность поверхности, глубина обработки, бугорчатость поверхности, значение показателей, обобщенный показатель.

УДК 629.113

ФАКТОРИ ВПЛИВУ НА КОЧЕННЯ КОЛЕСА**О. А. Бешун, Я. О. Меланченко***e-mail: beshun@ukr.net*

Національний університет біоресурсів і природокористування України

м. Київ, вул. Героїв оборони, 15, 03041, Україна

В теорії трактора і автомобіля використовується умовна кількісна характеристика опору кочення колеса, яка визначається як відношення сили опору коченню колеса до його нормального навантаження і називається коефіцієнт опору кочення колеса. Для визначення даного параметра дослідниками запропоновано цілу низку методів, способів і прийомів та конструкцію обладнання, яке дозволяє визначати цей показник експериментально. Виконано аналіз існуючих методів визначення сили і коефіцієнта опору коченню колеса, а також факторів, які впливають на значення цих параметрів в різних умовах експлуатації мобільних енергетичних і транспортних засобів.

Виконаний аналіз дозволив зробити висновок про те, що через велику кількість факторів, а також величезне різноманіття як типів і видів шин, так і станів та видів опорних поверхонь й інших чинників, що впливають на величину сили і коефіцієнта опору кочення колеса, а також враховуючи складність процесу взаємодії колеса з опорною поверхнею, до цього часу не існує аналітичної моделі розрахунку останніх для загального випадку. Тому вищезазначені показники визначаються виключно експериментальними методами. Але, враховуючи, що конструкції пневматичних шин і технології їх виготовлення протягом останнього десятиріччя суттєво змінилися, що очевидно вплинуло на їх властивості та характеристики (параметри), існує потреба в уточненні коефіцієнтів опору коченню коліс різних мобільних машин (тракторів, автомобілів, сільсько- і лісгосподарських машин). З урахуванням наявних недоліків в існуючих методах і пристроях для експериментального визначення сили і коефіцієнта опору коченню колеса, існують резерви для їх вдосконалення, що дозволить підвищити точність реєстрації необхідних параметрів.

Ключові слова: коефіцієнт, сила, опір, кочення, колесо, шина, опорна поверхня, тиск, пляма контакту, навантаження, динамометр, фактор.

Постановка проблеми

Розвиток технічного забезпечення сільського господарства і транспорту вимагає створення та застосування на сучасній техніці рушіїв, які повинні мінімізувати енергетичні витрати та негативний вплив на ґрунт [1]. Відомі світові виробники розробили і продовжують вдосконалювати різноманітні за формою протекторів і загалом конструкцією шини для забезпечення роботоздатності в тих чи інших дорожніх чи польових умовах. Від успішності точного обчислення значень сили і коефіцієнта опору коченню колеса залежать результати вирішення теоретичних і практичних задач, що виникають на стадії створення, доведення і дослідження колісних машин, оскільки ці коефіцієнти впливають на більшість експлуатаційних властивостей автотранспортних і мобільних енергетичних засобів. Визначення реальних значень сили і коефіцієнта опору коченню колеса і машини в цілому звичайно має

технічні, а часто і економічні складнощі. Тому визначення їх точних значень в реальних умовах руху є актуальним завданням в теорії трактора, автомобіля та самохідних лісових машин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Для визначення параметрів взаємодії рушіїв з опорною поверхнею з метою моделювання відповідних умов роботи застосовують різноманітні методи та обладнання [2–7]. Результати таких досліджень дозволяють отримати показники роботи колеса у конкретних умовах. Процеси взаємодії коліс з опорною поверхнею безпосередньо впливають на техніко-експлуатаційні показники роботи машинно-тракторних агрегатів, автомобілів та самохідних лісових машин.

Наразі існує досить велика кількість способів визначення коефіцієнтів опору коченню [6–16]. Основні напрями зводяться до використання спеціальних стендів і застосування конкретних методів в умовах реального руху на реальних

покриттях. Для визначення опору коченню шини розроблено стандарт [8], що рекомендує використання методу вибігу на спеціальних барабанних випробувальних стендах. Не дивлячись на відносно невеликі розміри необхідного для цього обладнання і, відповідно, приміщення загальна вартість досліджень залишається досить значною і частіше всього недоступною для більшості науково-дослідних лабораторій. У багатьох випадках випробування доводиться проводити на моделях автомобілів [6, 7, 14].

Мета, завдання та методика досліджень

Враховуючи наявність недоліків в існуючих методах і пристроях для визначення сили і коефіцієнта опору коченню колеса, проаналізувати фактори, які впливають на їх величину, та встановити можливість усунення цих недоліків за рахунок розроблення конструкції для реалізації вдосконаленого методу, що дозволить підвищити точність реєстрації необхідних параметрів. Для досягнення мети було сформовано наступне завдання досліджень: виконати аналіз факторів, що впливають на величину сили і коефіцієнта опору кочення колеса, та проаналізувати можливість

вдосконалення методів визначення сили і коефіцієнта опору коченню колеса. Дослідження проводилися на основі аналізу діючих стандартів, наукових статей, довідкової літератури та патентів [8, 17, 9–15, 18–22, 16].

Результати досліджень

Основна проблема, що досліджується в теорії кочення веденого колеса – опір коченню. В загальному випадку рівномірного кочення веденого колеса по горизонтальній поверхні у випадку еластичної шини та деформованої поверхні кочення енергія, що підводиться до колеса, витрачається на виконання трьох видів робіт, які в сумі дорівнюють загальній енергії опору коченню колеса [18]:

- вертикальне пресування ґрунту і утворення ущільненого сліду (колії);
- пружна деформація шини, яка викликає внутрішнє тертя в матеріалі шини;
- тертя протектора шини по поверхні дороги в плямі контакту.

Рівняння балансу сил опору коченню колеса в теорії трактора і автомобіля [18] має наступний вигляд:

$$P_f = P_{fг} + P_{fш} + P_{fтр} = k_{г} \cdot b_{ш} \cdot h_{к}^2 + k_{ш} \cdot G_H \cdot (h_H \cdot D_K)^{1/3} + \frac{(2/3) \cdot \mu_{п} \cdot G_H \cdot k_s \cdot h_H}{D_K}, \quad (1)$$

де $P_{fг}$, $P_{fш}$, $P_{fтр}$ – сили опору коченню колеса від деформації ґрунту, деформації шини та тертя пружного проковзування, відповідно; $k_{г}$ – коефіцієнт об'ємного стиснення матеріалу опорної поверхні (ґрунту); $b_{ш}$ – ширина обода колеса (шини); $h_{к}$ – глибина колії; $k_{ш}$ – безрозмірний коефіцієнт, що залежить від матеріалу шини, конструкції її каркасу та інших факторів (визначається експериментально); G_H – вертикальне навантаження; h_H – деформація стиснення; D_K – діаметр колеса; $\mu_{п}$ – коефіцієнт тертя протектора шини по опорній поверхні; k_s – кінематичний коефіцієнт, що враховує відмінність поверхні реальної шини від циліндричної, а також нахил площини обертання колеса до опорної поверхні.

Таким чином, у випадку припущення про лінійну залежність деформації матеріалу опорної поверхні (ґрунту) від тиску, і враховуючи, що пружність опорної поверхні не враховується (ґрунт в основному проявляє пластичні властивості), сила

опору кочення колеса залежить від властивостей опорної поверхні, що характеризується коефіцієнтом об'ємного стиснення матеріалу опорної поверхні (ґрунту), ширини обода колеса (шини), більшою мірою від глибини колії (залежність квадратична), а також від вертикального навантаження, нормальної деформації шини, характеристики її матеріалу й розмірів та осевого навантаження і відносної деформації шини.

Слід зазначити, що сила опору коченню колеса, яка витрачається на деформацію опорної поверхні (ґрунту), практично не залежить від діаметра колеса, а лише від ширини його обода (протектора шини), бо опір пресуванню не залежить від тиску і кривизни обода на ділянці накату.

Також варто відмітити, що через складність об'ємної деформації шини при роботі колеса, її геометричних форм, конструкції каркасу, застосовуваних матеріалів та інших факторів важко встановити залежність для аналітичного розрахунку сил внутрішнього тертя, тому у вищенаведеній формулі [1] для визначення сил

деформації шини використовуються параметри, що можуть бути визначені лише за проведення експериментальних досліджень. Більше того, взаємодія шини з опорною поверхнею у плямі контакту не обмежується лише наведеними в балансі параметрами. Пружне проковзування відбувається також внаслідок деформації шини під дією ведучого чи гальмівного моментів, прикладених до колеса. Тому коефіцієнтом тертя необхідно враховувати вплив і інших процесів на взаємне ковзання протектора шини і опорної поверхні.

Таким чином, опір коченню колеса викликають декілька різних сил та реакцій. В залежності від умов роботи сили і реакції, що діють на колесо, відрізняються за місцем прикладання, характером і напрямом дії. Тому в загальному випадку кочення колеса єдиної фізичної сили опору коченню не існує. В якості останньої приймають умовну силу, рівну за значенням і протилежну за напрямом активній штовхаючій (тягнучій) силі, необхідній для подолання всіх сил опору, що виникають при коченні даного колеса в конкретних умовах.

Дорожні умови експлуатації тракторів і автомобілів істотно відрізняються. Трактори значну частину часу працюють на полі з розпушеним ґрунтом, підготовленим під посів, а автомобілі переміщуються по дорогах з твердим покриттям або гарно ущільненим шляхам. Керуючись прагненням знизити значення коефіцієнта опору коченню, на тракторах застосовують шини низького тиску, а на дорожніх автомобілях – високого тиску. При роботі на м'яких сільськогосподарських фонах тиск повітря в шинах трактора слід знижувати до мінімально допустимого заводською інструкцією.

Мінімальний тиск повітря в шині обмежується наступними чинниками: нормальною деформацією шини, що визначає термін її служби; повертанням шини на ободі при передачі високого моменту або при екстремому гальмуванні; бічною деформацією шини направляючих коліс, що знижує стійкість проти бічного відведення.

Огляд існуючих способів визначення сили і коефіцієнта опору коченню, а також пристроїв для

їх реалізації, їх кількості, різноманітності, свідчить про прагнення дослідників позбутися недоліків, властивих відомим і доступним для використання методам [9 – 13, 15] (див. рис. 1, 2 та 3). У випадку застосування будь-якого з методів вибігу [8], при якому вимірюють швидкість або уповільнення машини у функції часу, що є головною їх особливістю, судять про сили опору руху, похибка вимірювання швидкості і її похідної завжди вища, ніж у разі вимірювань шляху і часу вибігу, оскільки вона дорівнює сумі похибок вимірювання останніх [14]. Недоліками відомих способів частіше за все є підвищена трудомісткість вимірювань, низькі точність і достовірність визначення сили опору повітря, а також висока вартість досліджень.

Відомі і широко вживані методи і пристрої для визначення опору коченню коліс автомобіля і опору руху повітря мають недоліки [7, 9 – 13], що вимушують дослідників створювати нові пристрої [14], у тому числі засновані на нових методах реєстрації необхідних параметрів. Рекомендовані діючими стандартами способи визначення опору коченню коліс з використанням стендів з біговими барабанами (див. рис. 2) вимушують здійснювати кочення колеса по криволінійній поверхні і обумовлює відносно високу вартість досліджень [14].

Згідно з ГОСТ Р 52899-2007 [2], визначення коефіцієнта опору коченню може бути виконано за різних режимів кочення колеса.

Прийнято розглядати ведучий, вільний, нейтральний, ведений і гальмівний режими. Для експериментального визначення коефіцієнта опору коченню найраціональніше використовувати ведений режим кочення колеса, при якому достатньо знати значення величин зусилля на динамометрі 5.

Установка для визначення значень величин опору коченню коліс і опору повітряного середовища руху реального автомобіля, запропонована автором роботи [14] представлена на рис. 4.



Рис. 1. Загальний вигляд станда для випробування колеса з пневматичною шиною



Рис. 2. Загальний вигляд станду з біговими барабанами, призначеного для проведення лабораторних досліджень процесу кочення колеса

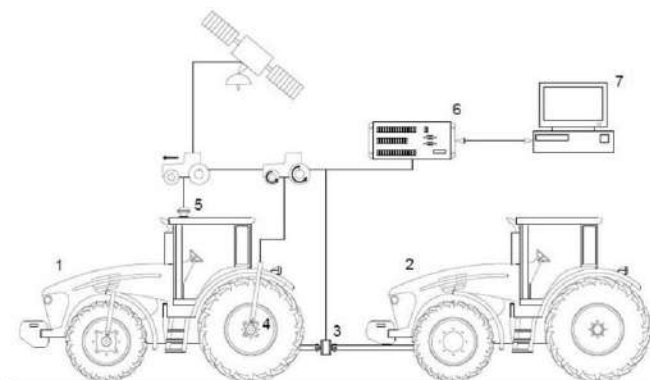


Рис. 3. Схема проведення тягових випробувань трактора:

1 – тестовий трактор; 2 – трактор-гальмо;
3 – динамометр; 4 – датчик частоти обертання ведучого колеса; 5 – антена для визначення дійсної швидкості руху з використанням GPS-навігації; 6 – блок збору і обробки експериментальних даних; 7 – ПК з програмним забезпеченням для аналізу експериментальних даних

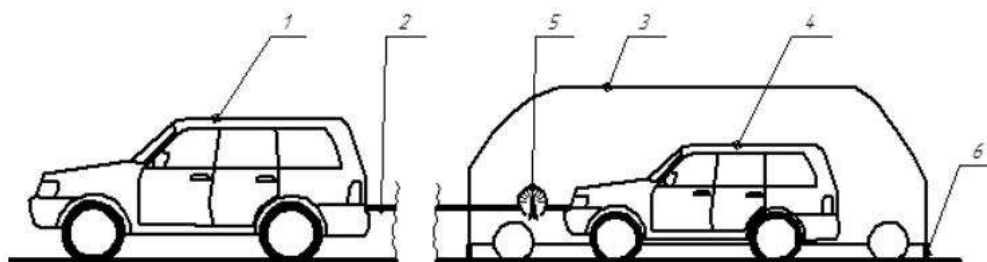


Рис. 4. Схема установки для визначення значень величин опору коченню коліс і опору повітряного середовища руху реального автомобіля [14]:

1 – тягач; 2 – сполучний трос; 3 – колісний жорсткий чохол; 4 – автомобіль; 5 – датчик сили тяги (дотичних реакцій), прикладених до коліс буксируваного автомобіля; 6 – еластична юбка

Сполучний трос 2 при цьому має значну довжину, що виключає вплив збурюючого повітряного потоку на колісний жорсткий чохол 3, усередині якого знаходиться випробовуваний автомобіль 4, створюваного тягачем 1, що рухається. Гнучка юбка 6 ізолює підчохольний простір від дії повітряних потоків на кузов випробовуваного автомобіля.

Значення величини дотичних реакцій на колесах автомобіля фіксує датчик сили тяги 5. Опір повітря руху автомобіля дорівнює нулю, оскільки його кузов ізолюваний від дії зустрічного (і будь-

якого іншого) повітряного потоку. Таким чином, за допомогою датчика 5, відбувається реєстрація «чистих значень» сили опору коченню реального автомобіля на реальній опорній поверхні, без впливу на нього сили опору повітряного середовища.

Опір коченню залежить від геометричних параметрів коліс (діаметра і ширини коліс), фізико-механічних властивостей ґрунту і шини, ваги машин, її розподілу між колесами тощо. Розглянемо вплив різних конструктивних і

експлуатаційних факторів на показники опору коченню колеса і колісної машини в цілому.

Вплив конструкції шини на опір коченню колеса. Різні конструктивні особливості шини по-різному впливають на силу опору її коченню.

Товщина протектора і шини. Гістерезисні втрати значною мірою залежать від товщини стінок шини. Чим більше маса шини, тим більша кількість матеріалу бере участь в деформації, тим більші сили і енергія необхідні для її здійснення. Вплив товщини проектора на силу опору коченню особливо помітний у діагональній шині. Показник такого впливу – природний знос шини у процесі експлуатації. При повністю зношеному протекторі опір коченню діагональної шини знижується на 20...25 %.

Підвищенням на 25...70 % коефіцієнтом опору коченню в порівнянні з дорожніми шинами володіють всюдихідні шини. Це обумовлено наступними чинниками. По-перше, протектор всюдихідних шин має приблизно вдвічі більшу товщину, ніж протектор дорожніх шин. По-друге, протектор всюдихідних шин має більш розріджений рисунок, який порушує плавність кочення колеса. Воно перекошується як би по нерівній поверхні унаслідок чергування виступів і западин. Створюється більший опір коченню у порівнянні з опором коченню дорожніх шин. Цей ефект особливо помітний при їзді по дорозі з твердим покриттям.

Каркас шини. При русі з малою швидкістю по дорозі з твердим покриттям опір коченню колеса мало залежить від конструкції каркаса шини. У міру підвищення швидкості виявляється істотна перевага радіальної шини. При швидкості 30...35 м/с коефіцієнт опору коченню радіальної шини на 15...20 % менше, ніж у діагональної. В процесі експлуатації ця перевага радіальних шин втрачається, оскільки, у міру зносу діагональних шин, їх коефіцієнт опору коченню знижується.

На сільськогосподарських фонах, що деформуються, типових для роботи тракторів, переваги радіальної шини виявляються і на низьких швидкостях. Володіючи більшою еластичністю, ніж діагональні, радіальні шини створюють велику опорну поверхню в плямі контакту з ґрунтом, меншу глибину колії і плече прикладання вертикальної реакції. Тому коефіцієнт опору коченню радіальної шини на сільськогосподарських фонах менший, ніж діагональної.

Не менш важливий і агротехнічний аспект відміченої властивості радіальної шини. Він полягає в тому, що зі збільшенням плями контакту знижується тиск на ґрунт, а як наслідок і його ущільнення. Зі збільшенням кількості і розмірів нерівностей позитивний вплив діаметра підвищується, особливо за збільшення швидкості руху. Дуже помітне зниження коефіцієнта опору коченню при збільшенні діаметра колеса у процесі роботи на сільськогосподарських фонах, що деформуються. Чим більше ширина колеса, тим більше опір коченню: не суттєво на дорогах з твердим покриттям і помітніше на опорних поверхнях, що деформуються.

Додаткові втрати енергії на кочення виникають при здвоюванні коліс у візках автомобілів. Унаслідок різних умов кочення (нерівності профілю, повороти тощо) і різних радіусів (знос, різний тиск повітря) виникає неконтрольована диференціалом кінематична невідповідність. Підтримці однакового тиску повітря в здвоєних шинах автомобіля перешкоджає в експлуатації складність доступу до вентиля внутрішньої шини. Швидкості поступального руху здвоєних коліс вирівнюються за рахунок ковзання або буксування одного з них.

Здвоювання коліс. Здвоювання коліс особливе сильно позначається на показниках роботи тракторів, тому що, у порівнянні з компактно розташованими автомобільними здвоєними шинами, тракторні рознесені на відстань, достатню для того, щоб між здвоєними колесами міг розташуватися рядок оброблюваних культурних рослин. Залежно від тягового класу трактора і оброблюваної культури ця відстань може складати 45...70 см і більше.

Неоднаковий внутрішній тиск повітря в шинах здвоєних коліс, різний їх знос, застосування шин різного типорозміру і прогин балки, що сполучає колеса, приводять до нерівномірного розподілу вертикального навантаження між колесами. Так, при відмінності тиску повітря в шинах низького тиску здвоєних коліс 0,04 МПа різниця нормальних реакцій опорної поверхні на колеса склала 23 %, а підвищення коефіцієнта опору коченню – 5 %. Це викликано нерівномірним розподілом крутного моменту між колесами через нерівномірний розподіл нормальних реакцій ґрунту під здвоєними колесами. Внаслідок цього виникає ковзання коліс і збільшується сила опору їх коченню як у ведучому, так і у веденому режимі.

Застосування здвоєних коліс найефективніше з міркувань агротехніки на рихлому і вологому ґрунті, при виконанні ранньовесняних робіт, оскільки вантажопідйомність коліс збільшується удвічі, що дозволяє знизити тиск повітря в шинах і на ґрунт. У цих умовах зниження тиску рушіїв на ґрунт досягається при незначному впливі на енергетичні показники циркуляції потужності між здвоєними колесами. Відзначають навіть зниження сили опору коченню здвоєних коліс на рихлому і вологому ґрунті у порівнянні з силою опору коченню одинарних коліс, пояснюючи це переважним впливом зниження глибини колії, а не збільшенням ширини колеса.

Найбільш складні режими руху тракторів з широко рознесеними здвоєними колесами – непрямолінійний рух і поворот. При криволінійному русі здвоєних коліс у ведучому режимі між ними виникає циркуляція потужності, тому що зовнішнє по відношенню до центру повороту колесо котиться з юзом. Ковзання здвоєних коліс залежить від умов їх кочення, причому циркулюючий момент може досягати 15 % від ведучого моменту на осі колеса.

При повороті додатковому навантаженню піддаються деталі, що жорстко сполучають між собою здвоєні колеса. Навантаження цих елементів і витрати енергії на буксування або ковзання коліс залежать від фону, радіусу повороту і відстані між здвоєними колесами. Так, при збільшенні відстані між шинами від 45 до 70 см момент опору повороту трактора зростає на 15 % при радіусі 8 м і на 27 % при радіусі 5 м.

Навантаження на шину. Навантаження на шину регламентується стандартом. Завод-виробник вказує нормальне гранично допустиме статичне навантаження, що забезпечує в експлуатації задану довговічність. Експлуатація машини з перевищенням допустимого навантаження призводить до зниження терміну служби шини. При русі транспортного засобу по бездоріжжю нормальне навантаження на шину може обмежуватися нісивною здатністю опорної поверхні, або зростаючим опором коченню.

Сила опору коченню P_f при русі автомобіля (трактора) по твердих дорогах обумовлена, головним чином, гістерезисними і дисипативними втратами, частка яких досягає 90...95 % загальних втрат енергії на кочення. До інших чинників, що формують силу опору коченню, відносяться проковзування протектора шини відносно дороги і опір повітря.

Колеса автомобіля (трактора) працюють у різних умовах за навантаженням, передаваним моментом, геометрією і фізичним станом опорної поверхні (ґрунту, дороги). Тому загальну силу опору коченню автомобіля (трактора) прийнято визначати за формулою:

$$P_f = f \cdot G_{\Pi} \cdot \cos \alpha = f \cdot m_{\Pi} \cdot g \cdot \cos \alpha, \quad (2)$$

де f – коефіцієнт опору коченню; G_{Π} – повна вага автомобіля (трактора); m_{Π} – повна маса автомобіля (трактора); α – кут підйому (ухилу) дороги, g – прискорення вільного падіння.

В теорії трактора і автомобіля використовується умовна кількісна характеристика опору кочення колеса, яка визначається як відношення сили опору коченню колеса до його нормального навантаження і називається коефіцієнт опору коченню колеса [2]:

$$f = \frac{P_f}{G_{\Pi}} = \frac{P_f}{m_{\Pi} \cdot g}. \quad (3)$$

Коефіцієнтом опору коченню є деякий усереднений коефіцієнт опору коченню всієї машини, тому що врахувати особливості кочення кожного колеса окремо важко.

Опір коченню ведучого колеса по м'якому фону залежить, в основному, від глибини колії, що формує момент опору коченню. На дорогах з твердим покриттям найбільш істотним чинником, що визначає деформацію шини і підвіски, а отже, і втрати енергії, є характер нерівностей.

Розсіювання потужності, або дисипативні втрати, відбувається у всіх пружних і демпфуючих елементах машини, в тому числі і у пневматичних шинах. Потужність розсіювання в шинах залежить від їх розмірів, конструкції і режиму коливань. Наприклад, в шинах трактора К-701 потужність розсіювання складає 2,2...3,7 кВт при русі по стерні. Для шин передніх коліс автомобіля ЗиЛ-131 потужність втрат складає 1,5 кВт при русі по дорозі з покриттям буличника зі швидкістю 50 км/год і 0,15 кВт при русі по ґрунтовій дорозі зі швидкістю 25 км/год.

Щоб скласти уявлення про співвідношення дисипативних втрат в шинах, можна розглянути дані по автомобілях. Хоча слід мати на увазі істотні відмінності як в параметрах конструкції тракторних шин, так і в умовах їх роботи порівняно з автомобілем. Енергія розсіювання в шинах автомобіля в 4...10 разів менше втрат енергії в амортизаторах. Чим більше високочастотних складових у спектрі збурення дороги, тим відносно вище частка втрат в шинах у порівнянні з втратами

в амортизаторах. Так, при русі автомобіля ЗиЛ-131 по дорозі з покриттям буличника зі швидкістю 50 км/год потужність втрат на розсіювання в демпфуючих елементах підвіски склала 6 кВт, що в 4 рази більше потужності втрат у шинах коліс.

Потужність втрат в шинах і підвісці – це та частина потужності двигуна, яка витрачається на збудження і підтримку безперервних вертикальних коливань остову машини. Її величина складає 10...15 % потужності загальних втрат на подолання опору коченню автомобіля. Зі зростанням швидкості руху потужність розсіювання збільшується.

Опір коченню залежить від швидкості руху автомобіля (трактора): до 50 км/год він приблизно постійний, а понад 100 км/год інтенсивно зростає. Це пояснюється різким посиленням коливань шини і збільшенням витрат енергії при ударах.

При дуже великих швидкостях попереду колеса формується повітряне ущільнення.

У теорії автомобіля коефіцієнт опору коченню з урахуванням швидкості руху визначають за декількома емпіричними залежностями, одна з них має вигляд:

$$f = f_0 \cdot [1 + (0,06 \cdot v_A)^2], \quad (4)$$

де f_0 – коефіцієнт опору коченню при швидкості руху менше 50 км/год; v_A – швидкість автомобіля.

Сила опору коченню – це одна із основних складових опору руху всієї машини. Втрати енергії на кочення викликаються внутрішнім тертям в шині, проковзуванням елементів протектора по опорній поверхні і присмоктуванням його до неї, а також деформацією опорної поверхні. Внутрішнє тертя в шині зумовлене деформацією шини в зоні контакту з поверхнею шляху. На сухій твердій поверхні втрати на тертя складають не більше 5...10 % від загальних втрат на кочення.

Втрати, що обумовлені присмоктуванням протектора до опорної поверхні, викликані наявністю замкнутих контурів рисунку протектора шини, з яких витискається повітря. Під час виходу цих контурів з поверхні контакту на відривання протектора від опорної поверхні затрачується деяка сила. На мокрій поверхні волога герметизує ділянки шини і втрати зростають.

Відношення a/r називають коефіцієнтом опору коченню і позначають $f = a/r$.

Тому силу опору коченню визначають як добуток

$$P_f = R_Z \cdot f. \quad (5)$$

Коефіцієнт опору коченню, що обумовлений зміщенням точки a прикладення нормальної реакції дороги R_Z залежить від деформації шини і опорної поверхні, а значить від таких факторів як тип покриття дороги, тиск повітря у шині, навантаження на колесо, швидкості руху та інше. Зменшення тиску повітря в шині приводить до зростання її деформації, а зі збільшенням деформації шини коефіцієнт опору коченню зростає. Зростання швидкості руху також приводить до його збільшення. На нерівній поверхні шляху виникають додаткові сили і вертикальні коливання, які збільшують частоту деформації шини. Це викликає втрати енергії та збільшення коефіцієнта опору коченню. Сьогодні нема повного аналітичного обґрунтування і математичного опису усіх явищ, які супроводжують кочення пневматичної шини. Тому силу і коефіцієнт опору коченню, а також вплив на них різних факторів, визначають експериментальним шляхом. У цьому випадку коефіцієнт опору коченню розраховують на підставі виміряних значень сил P_f і R_Z за формулою:

$$f = \frac{P_f}{R_Z}.$$

Під час кочення еластичного колеса по ґрунтовій поверхні деформується не лише шина, але й ґрунт. Основні засади взаємодії пневматичного колеса з ґрунтом були у свій час опрацьовані в численних працях українського вченого, професора Харківського автомобільно-дорожнього інституту Олександра Костянтиновича Бируля та інших дослідників. Їхні роботи наразі залишились основою теорії прохідності самохідних машин по ґрунтових поверхнях.

Деформація ґрунту під час кочення пневматичного колеса відбувається у трьох напрямках – нормально до поверхні, у поперечному і в поздовжньому напрямках (у площині обертання колеса). Нормальна деформація зумовлена стискуванням і ущільненням ґрунту під дією нормального тиску, який створює колесо у зоні контакту. Під колесом у ґрунті формується ущільнене ядро, яке разом з колесом, немов би клин, грузне у нижні шари ґрунту, видавлюючи частинки ґрунту в поперечному і поздовжньому напрямках. Поздовжня деформація, тобто зсув і ущільнення ґрунту в поздовжньому напрямку, відбувається внаслідок дії як нормальних, так і дотичних сил, що діють від ведучих і ведених коліс на опорну поверхню.

Процес утворення колії на слабких ґрунтах взаємопов'язаний із деформацією і кінематикою кочення колеса. На деформацію ґрунту, крім його власних якостей, значний вплив має тиск повітря в шині та її жорсткість. Характер деформації шини на ґрунті відрізняється від її деформації на жорсткій поверхні, а характер деформації ґрунту є дещо інакшим, ніж під час втискання у нього жорсткого штампа. Площа поверхні контакту шини з ґрунтом є більшою, ніж площа контакту з твердою поверхнею. Збільшується частина шини, яка деформується, але зменшується її нормальна деформація і тиск у зоні контакту. Залежно від

співвідношення жорсткості шини і витримувальної здатності ґрунту змінюється форма дна колії і характер розподілу нормальних напружень на поверхні контакту (рис. 5) [3]. Якщо тиск повітря у шині має відносно велике значення, то шина і колія, яку вона утворює в ґрунті, мають випуклу форму, як зображено на рис. 5а. Якщо зменшити тиск повітря, то зменшиться жорсткість шини і зростає її прогин, а дно колії стане приблизно плоским. Відповідно змінюється епіюра нормальних напружень ґрунту і вони дещо зменшаться, як зображено на рис. 5б.

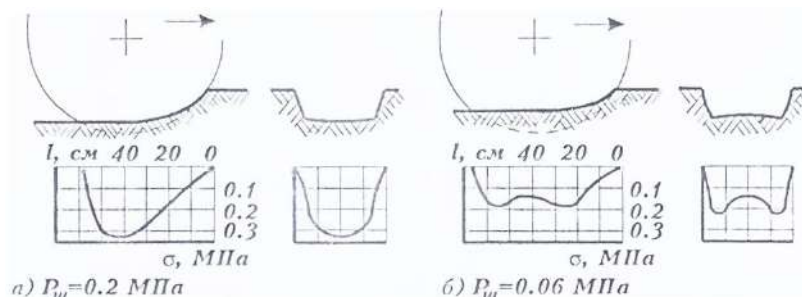


Рис. 5. Деформація шини 12,00-18 на піщаному ґрунті та розподіл нормальних напружень у зоні контакту для різного тиску повітря у шині

У ґрунті під колесом виникають реакції ґрунту, які умовно розділяють на результуючі нормальні і подовжні реакції. Ці результуючі реакції прикладені в деякій точці плями контакту колеса з ґрунтом, зміщеною на величину відносно лінії дії сили, що проходить через вісь обертання колеса. Такий зсув реакцій викликаний, в основному, так званими гістерезисними втратами енергії, що виникають при деформації ґрунту і шини.

Передня набігаюча частина шини деформується одночасно з деформацією ґрунту, а задня частина шини відновлює свою форму під дією пружних сил. Одночасно деякою мірою зменшується і вертикальна деформація ґрунту, хоча пружні властивості ґрунту незначні. Витрати енергії на деформацію шини і ґрунту більші, ніж повернена енергія, оскільки частина енергії витрачається на внутрішнє тертя в матеріалі.

Для рихлих ґрунтів витрати енергії на його деформацію в загальному балансі втрат на кочення колеса значно більше витрат енергії на деформацію шини. Тому в таких умовах можна зменшити деформацію ґрунту, тобто глибину колії, збільшенням площі контакту шини з опорною поверхнею за рахунок зниження тиску повітря в шині або збільшення ширини колеса. Останнє досягається застосуванням шин, що мають як у тракторів, так у автомобілів ширший профіль, або

здвоюванням коліс у тракторів. У зарубіжній практиці на ґрунтах із слабкою нісивною здатністю застосовують навіть строєні колеса.

Тиск повітря в шинах доцільно регулювати залежно від дорожньо-польових умов, з тим щоб в різноманітних умовах сумарні втрати на деформацію ґрунту і шини були мінімальними і підвищувалися тягово-зчіпні властивості машини. З цією метою на автомобілях високої прохідності встановлюють пристрої для регулювання тиску повітря в шинах на ходу. У особливо складних дорожніх умовах (наприклад, заболочена місцевість, пісок), користуючись краном управління в кабіні, можна знизити тиск повітря в шинах до 0,05...0,01 МПа, що забезпечить істотне збільшення площі контакту шини з ґрунтом, але при цьому швидкість руху не повинна перевищувати 10...20 км/год; при виході на дорогу з твердим покриттям після подолання важкопрохідної ділянки шляху тиск повітря в шинах за допомогою компресора доводять до 0,30...0,45 МПа залежно від моделі автомобіля. Устаткування сучасних тракторів пневматичною системою полегшує регулювання тиску повітря в їх шинах.

Для експериментального визначення втрат на кочення зазвичай за допомогою динамометра вимірюють силу, необхідну для рівномірного переміщення в цілому машини, а також

визначають вагу машини. Значення цього коефіцієнта варіює в широких межах (див. табл. 1). Значення коефіцієнта опору коченню для різних умов руху та різних машин вказані в табл. 1.

Таблиця 1. Коефіцієнт опору коченню f при взаємодії ходової частини різних машини з різними опорними поверхнями [18–22]

Тип і стан опорної поверхні	Значення коефіцієнта опору коченню
<i>Сільськогосподарські трактори</i>	
Асфальт	0,018
Бруківка	0,020
Дорога: грунтова суха грунтова на глині снігова укатана	0,030...0,050 0,040 0,030...0,050
Луг: скошений некошений	0,070...0,090 0,080...0,100
Стерня	0,080...0,120
Злежана оранка	0,120...0,140
Поле: свіжозоране культивоване підготовлене під посів	0,120...0,220 0,160...0,200 0,160...0,180
Пісок: вологий сухий	0,100...0,150 0,160...0,220
Задерніле болото	0,200...0,250
Глибокий сніг (0,4 м)	0,180...0,200
Цілина, щільний переліг	0,050...0,070
2–3-річний переліг, скошена лука	0,060...0,080
<i>Самохідні лісові машини</i>	
Лісовий волок складні умови середні умови	0,150...0,240 0,030...0,070
<i>Автомобілі</i>	
Асфальтобетонне шосе у стані: доброму задовільному	0,015...0,018 0,018...0,020
Гравійно-щебенева дорога у стані: доброму задовільному	0,020...0,025 0,022...0,030
Бруківка: у доброму стані з вибоїнами	0,025...0,030 0,035...0,050
Грунтова дорога: суха, рівна після дощу	0,025...0,050 0,050...0,150
Піщана і супіщана: суха мокра	0,100...0,300 0,060...0,150
Суглиниста цілина: суха в пластичному стані в текучому стані луг	0,040...0,060 0,100...0,200 0,200...0,300 0,060...0,100
Ожеледиця	0,015...0,030
Снігова наїжджена дорога	0,030...0,050

Цей метод є спрощеним, оскільки не враховує впливу тягового навантаження. Для точнішого визначення сили при усталеному режимі роботи трактора необхідно заміряти ведучий момент (записом на осцилограму даних тензоматочин, встановлених на ведучі колеса) і зусилля на гаку трактора.

Висновки та перспективи подальших досліджень

На основі аналізу діючих стандартів, наукових статей, довідкової літератури та патентів встановлено, що через велику кількість факторів, а також величезне різноманіття як типів та видів шин, так і станів та видів опорних поверхонь й інших чинників, що впливають на величину сили і коефіцієнта опору кочення колеса, а також враховуючи складність процесу взаємодії колеса з опорною поверхнею, до цього часу не існує аналітичної моделі розрахунку останніх для загального випадку. Тому вищезазначені показники визначаються виключно експериментальними методами. Але, враховуючи, що конструкції пневматичних шин і технології їх виготовлення протягом останнього десятиріччя суттєво змінилися, що очевидно вплинуло на їх властивості та характеристики (параметри), існує потреба в уточненні коефіцієнтів опору коченню коліс різних мобільних машин (тракторів, автомобілів, сільсько- і лісгосподарських машин), на що, власне, і планується спрямувати подальші дослідження. З урахуванням наявних недоліків в існуючих методах і пристроях для визначення сили і коефіцієнта опору коченню колеса, існують резерви для їх вдосконалення, що дозволить підвищити точність реєстрації необхідних параметрів. Тому подальші дослідження доцільно спрямувати саме в цих двох напрямках.

References

1. Vodyanik, I. I. (1990). *Vozdeystviye khodovykh sistem na pochvu (nauchnyye osnovy)* [Impact of ground running systems (scientific background)]. Moskva: Agropromizdat [in Russian].
2. Litvinov, A. S. & Farobin, Ya. E. (1989). *Avtomobil: Teoriya ekspluatatsionnykh svoystv* [Car: Theory of operational properties]. Moskva: Mashinostroenie [in Russian].
3. Ageykin, Ya. S. (1981). *Prokhodimost avtomobilya* [Passability of the car]. Moskva: Mashinostroenie [in Russian].
4. Grishkevich, A. I. (Ed.) (1991). *Avtomobili. Ispytaniya* [Cars. Tests]. Minsk [in Russian].
5. Tsimbalin, V. B. (1978). *Ispytaniya avtomobiley* [Car tests]. Moskva: Mashinostroenie [in Russian].
6. Petrushov, V. A., Shuklin, S. A. & Moskovkin, V. V. (1975). *Soprotivleniye kacheniyu avtomobiley i avtopoyezdov* [Rolling resistance of cars and trucks]. Moskva: Mashinostroenie [in Russian].
7. Knoroz, V. I. (1976). *Rabota avtomobilnoy shiny* [Car tire work]. Moskva: Transport [in Russian].
8. Shiny pnevmaticheskiye. *Opreddeniye soprotivleniya kacheniyu metodom vybega* (2003) [Pneumatic tires. Determination of rolling resistance by running out]. GOST RF 52102-2003. Gosudarstvennyy standart Rossiyskoy Federatsii. Moskva: Gosstandart Rossii [in Russian].
9. Saienko, A. V. (2016). *Universalnyi stend dlia vyznachennia koefitsiienta zcheplennia ta koefitsiienta oporu kochenniu traktora* [Universal bench for determining the coefficient of coupling and the coefficient of rolling resistance of the tractor]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Ser. Mekhanizatsiia ta avtomatyzatsiia vyrobnychyykh protsesiv*, 10 (2), 15–19 [in Ukrainian].
10. Russini, A., Schlosser, J. F. & Farias, M. S. (2018). Estimation of the traction power of agricultural tractors from dynamometric tests. *Cienc. Rural*, 48 (4), 16. doi: 10.1590/0103-8478cr20170532.
11. Henchoz, Y., Crivelli, G., Borrani, F. & Millet, G. (2010). A new method to measure rolling resistance in treadmill cycling. *Sports Sci.*, 28 (10), 1043-1046. doi: 10.1080/02640414.2010.498483.
12. Bonhomme, J., Mollon, V. & Bonhomme, J. (2015). A method to determine the rolling resistance coefficient by means of uniaxial testing machines. *Experimental Techniques*, 39 (3), 37–41.
13. Lasse, G. A., Jesper, K. L., Elsjø, S. F., Bjarne, S. & Jeppe, C. D. (2015). Rolling resistance measurement and model development. *Journal of transportation engineering*, 141 (2). doi:10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000673.
14. Bannikov, V. A. (2013). *K voprosu eksperimentalnogo opredeleniya vozdušnogo soprotivleniya dvizheniyu avtomobilya i soprotivleniya kacheniyu koleasa* [To the question of the experimental determination of air resistance to movement of the vehicle and rolling resistance of the wheel]. *Visnyk Donetskoi akademii avtomobilnoho transportu*, 4, 67–71 [in Russian].

15. Eritsyan, G. S. & Karapetyan, M. A. (2004). Eksperimentalno-raschetnaya metodika opredeleniya koeffitsienta soprotivleniya kacheniyu shin avtomobiley [Experimental and calculation method for determining the rolling resistance coefficient of a car tire]. *Sbornik nauchnykh trudov MGUP* (p. 277). Moskva [in Russian].

16. Petrushov, V. A. (2000). Patent Rossiyskoy Federatsii 2158910. Retrieved from <http://ru-patent.info/21/55-59/2158910.html> [in Russian].

17. Avtomobili. Kachenije kolesa. Terminy i opredeleniya (1972) [Cars. Wheel rolling. Terms and Definitions]. GOST 17697-72. Gosudarstvennyy standart SSSR. Moskva: Goskomstandart SSSR [in Russian].

18. Kutkov, G. M. (2004). Traktory i avtomobili. Teoriya i tekhnologicheskiye svoystva [Tractors and cars. Theory and Technological Properties]. Moskva: Kolos [in Russian].

19. Grebnev, V. P., Polivayev, O. I. & Vorokhobin, A. B. (2011). Traktory i avtomobili. Teoriya i ekspluatatsionnyye svoystva [Tractors and cars. Theory and operational properties]. Moskva: KNORUS [in Russian].

20. Bilyk, B. V. & Adamovskyi, M. H. (1998). Teoriia samokhidnykh lisovykh mashyn [The theory of self-propelled forest machines]. Kyiv: IZMN [in Ukrainian].

21. Vodianyuk, I. I. (1994). Ekspluatatsiini vlastyosti traktoriv i avtomobiliv [Operational properties of tractors and cars]. Kyiv: Urozhai [in Ukrainian].

22. Okhmat, P. K. & Melnychenko, V. I. (2009). Osnovy teorii ta rozrakhunky traktora i avtomobilia [Fundamentals of theory and calculation of tractor and car]. Dnipropetrovsk: DDAU, ENEM [in Ukrainian].

FACTORS THE INFLUENCE ON WHEEL ROLLING

O. Beshun, Y. Melanchenko

e-mail: beshun@ukr.net

National University of Life and environmental
sciences of Ukraine

Kyiv, Heroev Oborony str., 15, 03041, Ukraine

In the tractor and automobile theory conditional quantitative description of wheel rolling resistance, which is determined as a relation of rolling resistance wheel force to his normal loading and named of rolling resistance wheel coefficient, is used. It is offered by researchers a number of methods, receptions and construction of equipment which allows determining

this index experimentally for determination of this parameter.

In this article the analysis of existent methods of rolling resistance wheel force and coefficient determination is executed, and also factors which affect the value of these parameters under various conditions to exploitation of mobile power and transport facilities.

The executed analysis allowed to do a conclusion about that from a plenty of factors, and also enormous diversity of both types and types of tires, and states and types of supporting surfaces and other factors, that affect the size of rolling resistance wheel force and coefficient, and also taking into account complication of process of co-operation of wheel with a supporting surface, to this time there is no analytical model of computation of the last for the general case. Therefore afore-mentioned indexes are determined by experimental methods exceptionally. But taking into account, that constructions of pneumatics and technology of their making during the last decade changed substantially, that obviously affected their properties and descriptions (parameters), there is a necessity in clarification of rolling resistance wheels coefficients of different mobile machines (tractors, cars and other machines). Taking into account the present failing in existent methods and devices for experimental determination of rolling resistance of wheel force and coefficient, there are backlogs for their perfection that will allow promoting exactness of registration of necessary parameters.

Keywords: coefficient, force, resistance, rolling, wheel, tire, supporting surface, pressure, contact spot, loading, dynamometer, factor.

ФАКТОРЫ ВЛИЯНИЯ НА КАЧЕНИЕ КОЛЕСА

А. А. Бешун, Я. О. Меланченко

e-mail: beshun@ukr.net

Национальный университет биоресурсов и
природопользования Украины
г. Киев, ул. Героев Обороны, 15, 03041, Украина

В теории трактора и автомобиля используется условная количественная характеристика сопротивления качению колеса, которая определяется как отношение силы сопротивления качению колеса к его нормальной нагрузке и называется коэффициент сопротивления качению колеса. Для определения этого параметра исследователями предложен целый ряд методов, способов и приемов, а также конструкции оборудования, которое позволяет

определять этот показатель экспериментально. Выполнен анализ существующих методов определения силы и коэффициента сопротивления качению колеса, а также факторов, которые влияют на значение этих параметров в различных условиях эксплуатации мобильных энергетических и транспортных средств.

Выполненный анализ позволил сделать вывод о том, что из-за большого количества факторов, а также огромного разнообразия как типов и видов шин, так и видов и состояний опорных поверхностей и других факторов, что влияют на величину силы и коэффициента сопротивления качения колеса, а также учитывая сложность процесса взаимодействия колеса с опорной поверхностью, до настоящего времени не существует аналитической модели расчета последних для общего случая. Поэтому вышеупомянутые показатели определяются исключительно экспериментальными методами.

Но учитывая, что конструкции пневматических шин и технологии их изготовления в течение последнего десятилетия существенно изменились, что очевидно повлияло на их свойства и характеристики (параметры), существует необходимость в уточнении коэффициентов сопротивления качению колес разных мобильных машин (тракторов, автомобилей, сельскохозяйственных машин). С учетом имеющихся недостатков в существующих методах и устройствах для экспериментального определения силы и коэффициента сопротивления качению колеса, существуют резервы для их совершенствования, что позволит повысить точность регистрации необходимых параметров.

Ключевые слова: коэффициент, сила, сопротивление, качение, колесо, шина, опорная поверхность, давление, пятно контакта, нагрузка, динамометр, фактор.

УДК 636.084.76

**ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ РОБОТИ КОРМОРОЗДАВАЧА
ЗМІШУВАЧА-ПОДРІБНЮВАЧА МЕТОДОМ МОДЕЛЮВАННЯ****Г. П. Водяницький, І. П. Слюсаренко, В. В. Тимків**

e-mail: grig40@gmail.com, inna.slusarenko13@gmail.com, vvtymkiv@gmail.com

Житомирський національний агроекологічний університет

бульвар Старий, 7, м. Житомир, 10008, Україна

Моделювання технічної системи є одним з перших етапів пізнання її властивостей з метою подальшого удосконалення та грамотного використання. Змішування твердих компонентів з одночасним їх подрібненням вертикальним конічним шнековим робочим органом є складним робочим процесом, який автори аналітично описали через основні параметри робочого органу та режими протікання процесу. Отримані узагальнені фактори, завдяки чому кількість факторів з семи зменшилось до чотирьох. Це дає можливість скоротити обсяг експериментальної роботи у вісім разів та забезпечити ефективні результати, які оцінюють фактичну дію факторів, що діють на вибраний критерій ефективності, коефіцієнт нерівномірності комплексно, а не нарізно. Модель дає можливість зробити якісну та кількісну оцінку процесу роботи кормороздавача-змішувача-подрібнювача, оптимізувати його параметри робочих органів та режими процесу роботи.

Встановлено, що коефіцієнт нерівномірності суміші залежить пропорційно (залежність б) від частоти обертання шнека (ω) помноженням на коефіцієнт (с), який залежить, у свою чергу, від об'єму бункера (V), фізико-механічних властивостей суміші, її об'ємної маси (ρ) та дотичного зусилля зсуву компонентів суміші (T) та кроку шнека (e), зменшеного в значення коефіцієнта c_2 , який залежить від конструкції бункера змішувача. Окрім того, на значення коефіцієнта нерівномірності суміші (v) також впливає швидкість циркуляції компонентів пропорційно зменшеному в C_3 разів, який залежить від конструктивних параметрів машини та фізико-механічних властивостей суміші, площі бокової поверхні шнека, зменшену у C_4 разів, що чергує залежність від конструктивних параметрів кормороздавача-змішувача-подрібнювача.

Результати дослідження використовуються на кафедрі при вивченні студентами курсів «Машини та обладнання для тваринництва», «Експлуатація технологічного обладнання для тваринництва», та «Обґрунтування рішень», а також можуть бути основою подальшого дослідження, та в проектно-конструкторській практиці.

Ключові слова: змішувач-подрібнювач, модель, безрозмірний комплекс, аналіз розмірностей, вертикальний шнек змінного діаметра, критерії подібності.

Постановка проблеми

Змішування – це процес рівномірного перерозподілення компонентів по всьому об'єму змішування матеріалів до стану рівномірної суміші. Однорідність суміші залежить від фізико-механічних властивостей компонентів; конструктивних рішень та режимів роботи змішувачів.

Недостатня вивченість та складність процесу і його широка розповсюдженість [1] вимагають додаткових досліджень і формалізації здобутих емпіричних знань про процес змішування, зокрема змішування сипких твердих компонентів кормових сумішей для тварин кормороздавачами-змішувачами з вертикальними шнековими робочими органами дообладнаними ножами.

Науковими дослідженнями та практикою доведено, що згодовування кормів у вигляді збалансованої, за всіма компонентами суміші, є на 15...30% ефективнішою за згодовування тих же компонентів роздільно[4,...12].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Змішування супроводжує робочі процеси при задоволенні практично всіх потреб суспільства. Тому змішування досліджують як на емпіричному, так і теоретичному рівнях[1...4].

В основу досліджень покладено фізичне та математичне моделювання [1...12]. При моделюванні змішування сипких матеріалів використовують закони Фіката, математичну модель Нав'є-Стокса [1...12]. Для кожного окремого випадку потоку сипких матеріалів, на підставі положень [21], дослідники обирають типові математичні моделі[1]: ідеального

витіснення, ідеального змішування, дифузійну, коміркову чи комбіновану моделі. Кожна із цих моделей має певні позитивні властивості і достатньо забезпечує її адекватність процесу змішування сипких матеріалів. В загальному, використання моделей дає можливість описати явища змішування як трьохетапної системи типу “процес”. На першому етапі здійснюється, макропереміщення компонентів, так зване конвективне рознесення їх у внутрішньому об’ємі змішувача. При цьому, має місце висока швидкість зниження коефіцієнта неоднорідності суміші. Наприкінці етапу в робочому об’ємі змішувача немає макрооб’ємів, що складаються з частинок одного компонента. Конвективне змішування залежить від конструкції змішувача та режимів його роботи, які визначають характер руху потоку компонентів у змішувачі. Етап “макропереміщення” відбувається сумісно з етапом “мікропереміщення”, або дифузії, коли компоненти проникають через межі макрооб’ємів, подальше зменшуючи коефіцієнт неоднорідності суміші. Наростання дифузії визначається фізико-механічними властивостями компонентів суміші. Паралельно з конвекцією та дифузією з наростаючим темпом відбувається третій етап змішування, сегрегації [9, 10], який погіршує коефіцієнт нерівномірності розподілу компонентів суміші, тобто впливає на процес змішування. Як і дифузія, сегрегація залежить від фізико-механічних властивостей компонентів, а також, крім того, вона залежить від конструкції та режимів роботи змішувача.

Слід зазначити, що результати досліджень [1...12] процесу змішування сипких неоднорідних матеріалів, сумісно з подрібненням вертикальними шнековими кінчними робочими органами, є досить обмеженими. Особливістю конструкції робочого органу є те, що шнек обертається в обмеженому стінками сипкої маси просторі [11]. Таким чином, робочий орган забезпечує осьове переміщення вгору компонентів за рахунок взаємодії компонентів з безперервно утворюючою обмежувальною стінкою з сипкої маси. Сучасний кормороздавач-змішувач забезпечений досконаліми робочими органами з високою стійкістю різальних органів та їх мінімальною енергомісткістю [17, 18].

Мета, завдання та методика досліджень

Метою цієї роботи є дослідження силової та кінематичної дії частинок потоку компонентів у

процесі змішування, з використанням математичного та фізичного моделювання.

Об’єктом нашого дослідження є технологічна система змішування кормів, в якій засобом виробництва є вертикальний змішувач-подрібнювач зі змінним діаметром шнека, а предметом дослідження є компоненти збалансованої суміші з різними фізико-механічними властивостями.

Для досягнення мети дослідження використаємо метод моделювання, який дасть можливість встановити закономірність процесу між визначальними та визначаючими критеріями. Дане завдання відноситься до фізичних, в яких відсутній фундаментальний фізичний закон, що регулює процес, в даному випадку змішування з подрібненням твердих матеріалів з різними фізико-механічними властивостями (завдання другого виду) [14]. Обираємо незалежні фактори та функцію – коефіцієнт нерівномірності розподілення компонентів. Визначаємо початкові умови та виражаємо всі фактори через час змішування, функцію та її похідну [13]. Складаємо диференціальне рівняння за процесом роботи системи. Знаходимо розв’язок загальних і окремих частин та аналізуємо отриманий результат. Таким чином, досліджуємо процес змішування і необхідні кінематичні показники змішувача-подрібнювача.

Для спрощення та розв’язування отриманих залежностей приводимо диференціальні рівняння до критеріального вигляду за правилом інтегральних аналогів [6, 15].

При цьому, зменшується кількість змінних, знижується складність та підвищується рівень загального опису фізичного процесу змішування.

Методика правила інтегральних аналогів полягає в наступному: вилучаємо символи зв’язку між членами рівняння (символи диференціювання, інтегрування та неоднорідні функції); замінюємо всі члени рівняння на їх інтегральні аналоги; розділяємо всі члени рівняння (за винятком вилучених неоднорідних функцій) на один із них та отримуємо $n-1$ критеріїв подібності; доповнюємо отриману систему критеріїв подібності додатковими критеріями, у вигляді аргументів неоднорідних функцій, що входять у рівняння, та перетворюємо отримані критерії подібності в іншу, більш зручну форму запису їх перемноженням, діленням, піднесенням до ступеня чи множенням на постійний коефіцієнт тощо [6, 15, 16].

Для оцінки впливу на процес змішування параметрів змішувача (геометричні і кінематичні) та фізико-механічних властивостей компонентів корму складаємо моделі методом аналізу розмірностей [6, 16, 19]. Така модель описує детально внутрішній механізм процесу змішування [6, 15, 16] та дозволяє оптимізувати параметри і режими процесу змішування кормороздавачем-подрібнювачем змішувачем.

Таким чином, правило інтегральних аналогів використовуємо при відомому формалізовано описуваному фізичному процесі. В разі відсутності опису процесу доцільно використовувати метод аналізу розмірностей [6, 15, 16, 19].

Методика використання методу аналізу розмірностей [6, 21] передбачає вибір незалежних змінних, які впливають на досліджуваний об'єкт. Для нашого об'єкту дослідження, це:

$$\frac{dv}{dt} = f(V, \rho, \omega, l, \tau, \vartheta, S), \quad (1);$$

де $\frac{dv}{dt}$ – швидкість вирівнювання

контрольного компонента в суміші, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

v – середнє квадратичне відхилення кількості контрольного компонента в суміші, кг;

t – час змішування, с;

V – об'єм бункера, м^3 ;

ρ – об'ємна маса компонентів суміші, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

ω – частота обертання шнека, с^{-1} ;

l – крок шнека, м;

τ – дотичне зусилля здвигу частинок корму,

Па;

ϑ – швидкість переміщення компонентів, суміші, $\frac{\text{м}}{\text{с}}$;

S – площа бокової поверхні витка шнека, м^2 .

При оцінці незалежних змінних враховуємо розмірні коефіцієнти та фізичні константи.

Обираємо систему основних розмірностей, через які можна виразити всі вибрані змінні, використовуючи систему основних розмірностей MLT.

Після цього записуємо розмірності незалежних найбільш суттєвих (вагомих) некорельованих змінних: $V, \rho, \omega, l, \tau, \vartheta, S$ та складаємо безрозмірні комбінації. За основні обираємо величини V, ρ, τ .

Перевіряємо правильність складених комбінацій, або ще їх називають [6] – узагальненими параметрами. Пам'ятаючи, що кожна комбінація є безрозмірною, кількість комбінацій має бути рівною $n-k$, тобто рівною різниці незалежних змінних (n) і обраної кількості основних величин (k). Кожна змінна має зустрічатися в комбінаціях хоча би один раз.

Результати досліджень

Процес змішування сипких компонентів відбувається паралельно з подрібненням вертикальним шнеком змінного діаметра, з розставленими дотично до його зовнішніх країв ножами, за рахунок дії гравітаційної ($G=mg$) та відцентрової ($F = \frac{mv^2}{R}$) сил і переміщенням компонентів суміші вздовж осі ($S = vt$) вверх та циркуляції їх в горизонтальній площині бункера-змішувача.

Фізична природа процесу змішування сипких матеріалів на підставі виконаних досліджень [1...12] та сучасної методики математичного моделювання [13,14] дають можливість описати даний процес диференціальним рівнянням першого порядку з відокремлюваними змінними:

$$\frac{dv}{dt} = -kv(t), \quad (2)$$

яке описує цілий клас подібних природних процесів. Розв'язок рівняння (2) виражає функція:

$$v = Ce^{-kt}, \quad (3)$$

а з врахуванням початкових і граничних умов, функція процесу даної технологічної системи матиме вигляд:

$$v = 0.998e^{-0.5t}, \quad (4)$$

При вірогідності $R^2 = 1.00$.

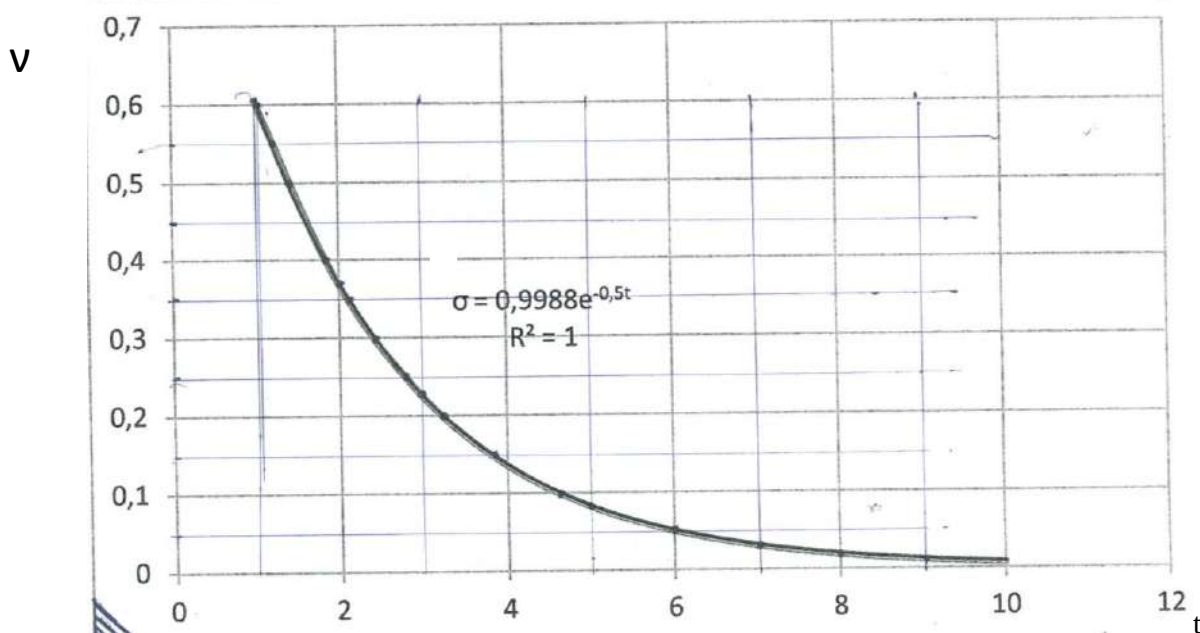


Рис. 1. Залежність коефіцієнта неоднорідності суміші в часі

Рівняння (2) адекватно описує процес роботи досліджуваної в даному випадку моделі ідеального змішування, оцінюючи якість перемішування коефіцієнтом нерівномірності на етапах конвективного диференційного змішування та на початку етапу сегрегації. Коефіцієнт поступово та плавно знижується і на $t=10$ хв складає $v = 0.07$.

Не всі відомі математичні моделі мають аналітичний розв'язок, а отже є можливість дослідити процес та оптимізувати його режими оптимального протікання та визначити параметри технічної системи, яка реалізує даний процес. Так, зокрема має місце з моделями [1 5, 7], які описують складний процес. Тому для даного випадку доцільним буде перетворення диференціального рівняння у критеріальне. Для цього використовуємо правило інтегральних аналогів [15]. Дане правило дозволяє наблизити похибку рівняння до похибки вихідних даних, а за складності чи неможливості визначити фізичну величину, яка входить у критеріальне рівняння, виконати її шляхом перемноження, ділення, піднесення у ступінь тощо. Отримаємо рівняння похідне від першого.

Так, математична модель ідеального витіснення [1, 5], близька до конвективного змішування:

$$\frac{dc}{dt} = -v \frac{dc}{dx}, \quad (5)$$

де c – концентрація ключового компонента, %;

t – час, с;

v – лінійна швидкість суміші, м/с;

x – координата, м;

Записавши $\frac{dc}{dt} + v \frac{dc}{dx} = 0$ та прийнявши

$$[15] \quad \varphi_1 = \frac{dc}{dt}, \text{ а } \varphi_2 = \frac{dc}{dx} \text{ і } \varphi_1' = \frac{c}{t}, \text{ а } \varphi_2' = \frac{c}{l} \text{ та розділивши перший член на другий,}$$

отримаємо $\pi = \frac{vt}{l}$. Після піднесення до ступеня

$a = -1$, отримаємо $\pi' = \frac{l}{vt}$ – критерій, який характеризує швидкість зміни концентрації контрольного компонента суміші. Дифузійна модель відповідає потоку суміші з поршневим рухом

$$\frac{dc}{dt} = -v \frac{dc}{dx} + D_L \frac{d^2c}{dx^2}, \quad (6)$$

де D_L – коефіцієнт повздовжнього перемішування.

Запишемо рівняння (6) у вигляді:

$$\frac{dc}{dt} + v \frac{dy}{dx} - D_L \frac{d^2c}{dt^2} = 0.$$

Приймаємо $\varphi_1 = \frac{dc}{dt}$; $\varphi_2 = v \frac{dc}{dx}$; [15] $\varphi'_1 = \frac{c}{t}$; $\varphi'_2 = v \frac{l}{t}$; $\varphi'_3 = D_L \frac{t}{l}$,
 $\varphi_3 = D_L \frac{d^2 c}{dt^2}$ та відповідно до методики отримаємо $\pi_1 = \frac{vt}{l}$ і $\pi_2 = \frac{D_L t}{l^2}$.

Аналогічно за двопараметричної дифузійної моделі:

$$\frac{dc}{dt} = -v \frac{dc}{dx} + D_2 \frac{d^2 c}{dt^2} + \frac{D_K}{R} \cdot \frac{d}{dR} \left(R \frac{dc}{dR} \right), \quad (7)$$

де D_K – коефіцієнт поперечного перемішування;

R і X – радіальна і осьова координати змішування подрібнювача, м.

Після аналітичних перетворень отримаємо $\pi_1 = \frac{vt}{l}$; $\pi_2 = \frac{D_L t}{l^2}$; $\pi_3 = \frac{D_K t}{l^2}$.

На підставі цілей дослідження та властивостей критеріїв подібності [6, 16, 21] оцінюємо визначальний (поле швидкостей потоку суміші) та визначаючі критерії і записуємо рівняння у вигляді степінного одночлена.

$$\pi_1 = A \cdot \pi \cdot \frac{a}{2} \cdot \pi_3^b,$$

де A – коефіцієнт пропорційності ступенів; a і b – показники ступенів. A , a і b оцінюємо за результатами реалізації плану повного факторного експерименту типу 2^2 [19].

Механізм дії, який забезпечує процес роботи змішувача, залежить від його конструкції [1]. Більшість залежностей, які наразі відомі [1, 5], не враховують конструктивні параметри і режими роботи змішувачів і, зокрема з вертикальним конічним шнеком, обладнаного ножами, який працює в обмеженому стінками сипкої маси просторі. Для складання співвідношень між параметрами і режимами роботи даної технологічної системи використовуємо метод аналізу розмірностей.

На підставі другої теореми подібності [6, 16, 19] визначаємо критерії подібності для критеріального рівняння на підставі рівняння (1).

Розрахунок матриці розмірностей, при $k=3$ обраних основних величин V, ρ, τ показує, що її визначник не рівний нулеві, $\Delta = -6$.

Кількість узагальнених параметрів, при $m = 7$ суттєвих незалежних факторів, які

вагомо визначають напрямок процесу, $k_\pi = m - k = 7 - 3 = 4$.

Запишемо коефіцієнт нерівномірності суміші через суттєві фактори:

$$\frac{dv}{dt} = f(V, \rho, w, \ell, \tau, v, S) \quad (9)$$

Визначимо всі фактори залежності (9) через основні величини V, ρ, τ :

$$\frac{dv}{dt} \cdot (v^{-a} \cdot \rho^{-b} \tau^{-c}) = \frac{f(w, \ell, v, S)}{v^a \cdot \rho^b \tau^c}, \quad (10)$$

За певних значень показників a, b, c , залежність (10) запишеться у вигляді безрозмірних комплексів. Для цього використовуємо метод нульових розмірностей і визначаємо значення a, b, c , спочатку для лівої частини залежності (10), за умови вираження її безрозмірним комплексом величин.

Для цього позначимо $\frac{dv}{dt} = v'$. Тоді

$$\frac{v'}{v^a \cdot \rho^b \cdot \tau^c} = \frac{T^{-1}}{L^{2a} \cdot (M \cdot L^{-3})^b \cdot (M \cdot L^{-1} \cdot T^{-2})^c}. \quad (11)$$

Записуємо показники за однакових розмірностей, дотримуючись умови їх однорідності [6]:

$$(M)^{-b-c} \cdot (L)^{-3a+3b+c} \cdot (T)^{-1+2c} = 1.$$

Дана рівність буде справедливою, наприклад, коли:

$$\begin{cases} -b - c = 0, \\ -3a + 3b + c = 0, \\ -1 + 2c = 0. \end{cases}$$

Розв'язавши систему трьох рівнянь з трьома невідомими a, b, c , знаходимо $a = -\frac{1}{3}$; $b = -\frac{1}{2}$; $c = \frac{1}{2}$.

Тоді ліва частина залежності (10) запишеться:

$$\frac{v'}{v^{-\frac{1}{3}} \cdot \rho^{-\frac{1}{2}} \cdot \tau^{\frac{1}{2}}} = 1, \text{ або після перетворення}$$

$$\frac{v \cdot \sqrt[3]{V}}{\sqrt{\rho}} = 1. \quad (12)$$

Аналогічно перетворюємо складові правої частини залежності (10):

$$\frac{w}{V^{a_1} \cdot \rho^{b_1} \cdot \tau^{c_1}} = \frac{T^{-1}}{L^{3a_1} \cdot (M \cdot L^{-3})^{b_1} \cdot (M \cdot L^{-1} \cdot T^{-2})^{c_1}} \quad (13)$$

Записуємо показники за однакових розмірностей:

$$M^{-b_1-c_1} L^{-3a_1+3b_1+c_1} T^{2c_1-1} = 1.$$

Дана рівність буде справедлива, коли, наприклад:

$$\frac{\omega}{V^{a_1} \rho^{b_1} \tau^{c_1}} = \frac{\omega}{V^{-\frac{1}{3}} \rho^{-\frac{1}{2}} \tau^{\frac{1}{2}}} = \frac{\omega \sqrt[3]{V}}{\sqrt{\tau}} = \omega \sqrt{\frac{V^2 \rho^3}{\tau^3}}.$$

Перетворюємо складову l правої частини залежності (10):

$$\frac{l}{V^{a_0} \rho^{b_2} \tau^{c_2}} = \frac{L}{L^{3a_2} (ML^{-3})^{b_2} (ML^{-1} T^{-2})^{c_2}}.$$

Записуємо показники за однакових розмірностей

$$M^{-b_2-c_2} L^{1-3a_2+3b_2+c_2} T^{2c_2} = 1,$$

При умові, що

$$\begin{cases} -b_2 - c_2 = 0 \\ 1 - 3a_2 + 3b_2 + c_2 = 0 \\ 2c_2 = 0 \end{cases}$$

$$c_2 = 0; -b_2 = c_2 = 0;$$

$$1 - 3a_2 + 0 + 0 = 0; a_2 = \frac{1}{3}.$$

Тоді маємо:

$$\frac{l}{V^{a_2} \rho^{b_2} \tau^{c_2}} = \frac{l}{V^{\frac{1}{3}}} = \frac{l}{\sqrt[3]{V}},$$

Перетворюємо складову ϑ правої частини залежності (10):

$$\frac{\vartheta}{V^{a_3} \rho^{b_3} \tau^{c_3}} = \frac{LT^{-1}}{L^{3a_3} (ML^{-3})^{b_3} (ML^{-1} T^{-2})^{c_3}}.$$

Записуємо показники за однакових розмірностей

$$M^{-b_3-c_3} L^{1-3a_3+3b_3+c_3} T^{-1+2c_3} = 1 \quad \text{з умовою, що}$$

$$\begin{cases} -b_1 - c_1 = 0, \\ -3a_1 + 3b_1 + c_1 = 0, \\ 2c_1 - 1 = 0 \end{cases}.$$

Розв'язуємо систему трьох рівнянь з трьома невідомими:

$$c_1 = \frac{1}{2}; -b_1 = c_1 = \frac{1}{2}; b_1 = -\frac{1}{2};$$

$$a_1 = \frac{3 \cdot (-\frac{1}{2}) + \frac{1}{2}}{3} = -\frac{1}{3};$$

$$c_1 = \frac{1}{2}; b_1 = -\frac{1}{2}; a_1 = -\frac{1}{3}.$$

Тоді

$$\begin{cases} -b_3 - c_3 = 0, \\ 1 - 3a_3 + 3b_3 + c_3 = 0, \\ -1 + 2c_3 = 0, \end{cases} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} -b_3 = c_3, b_3 = -\frac{1}{2}; 2c_3 = 1, c_3 = \frac{1}{2}; \\ 1 - 3a_3 + \frac{3}{2} - \frac{1}{2} = 0, a_3 = \frac{2}{3}. \end{aligned}$$

Тоді

$$\frac{\vartheta}{V^{a_3} \rho^{b_3} \tau^{c_3}} = \frac{\vartheta}{V^{\frac{2}{3}} \rho^{-\frac{1}{2}} \tau^{\frac{1}{2}}} = \frac{\vartheta}{\sqrt[3]{V^2} \sqrt{\tau}} = \frac{\vartheta}{\sqrt[6]{V^4 \tau^3}}, \quad (16)$$

Нарешті запишемо вираз:

$$\frac{S}{V^{a_4} \rho^{b_4} \tau^{c_4}} = \frac{L^2}{L^{3a_4} (ML^{-3})^{b_4} (ML^{-1} T^{-2})^{c_4}}.$$

Представимо показники при однакових розмірностях

$$M^{-b_4-c_4} L^{2-3a_4+3b_4+c_4} T^{2c_4} = 1$$

за умови, що

$$\begin{cases} -b_4 - c_4 = 0, \\ 2 - 3a_4 + 3b_4 + c_4 = 0, \\ 2c_4 = 0, \end{cases}$$

$$-b_4 = c_4, b_4 = 0; 2c_4 = 0, c_4 = 0;$$

$$2 - 3a_4 + 0 + 0 = 0, a_4 = \frac{2}{3}.$$

Тоді

$$\frac{S}{V^{a_4} \rho^{b_4} \tau^{c_4}} = \frac{S}{V^{\frac{2}{3}} \rho^0 \tau^0} = \frac{S}{\sqrt[3]{V^2}}, \quad (17)$$

В загальному вигляді вираз (9) запишеться через критерії подібності (узагальнені фактори):

$$v \cdot \sqrt[6]{\frac{V^2 \rho^3}{\tau^3}} = f \left(\omega \sqrt[6]{\frac{V^2 \rho^3}{\tau^3}}; \frac{l}{\sqrt[3]{V}}; \frac{\vartheta}{\sqrt[6]{\frac{V^4 \tau^3}{\rho^3}}}; \frac{S}{\sqrt[3]{V^2}} \right), \quad (18)$$

Таким чином, коефіцієнт нерівномірності суміші залежить пропорційно від частоти обертання шнека (ω) помноженим на

коефіцієнт $C_1 = \sqrt[6]{\frac{V^2 \rho^3}{\tau^3}}$ та кроку шнека (l),

зменшеному в $C_2 = \frac{1}{\sqrt[3]{V}}$; швидкості циркуляції

частинок компонентів суміші (v), зменшеному

в $C_3 = \frac{1}{\sqrt[6]{\frac{V^4 \tau^3}{\rho^3}}}$ та площі бокової поверхні шнека

(S) зменшеній в $C_4 = \frac{1}{\sqrt[3]{V^2}}$ разів.

При цьому, коефіцієнт залежить від чотирьох визначаючих факторів, які комплексно діють на функцію, а не окремо, залежність (9). Такий підхід скорочує обсяг експериментальної роботи, для меншого числа узагальнених факторів на функцію, відображає системний реальний процес.

$$4 \lg(v \cdot \sqrt[6]{\frac{V^2 \rho^3}{\tau^3}}) = \lg \cdot k_1 + \lg \cdot k_2 + \lg \cdot k_3 + \lg \cdot k_4 + x_1 \lg(\omega \cdot$$

$$\sqrt[6]{\frac{V^2 \rho^3}{\tau^3}}) + x_2 \lg\left(\frac{l}{\sqrt[3]{V}}\right) + x_3 \lg\left(\frac{v}{\sqrt[6]{\frac{V^4 \tau^3}{\rho^3}}}\right) +$$

$$\lg\left(\frac{S}{\sqrt[3]{V^2}}\right), \quad (20)$$

Виконаємо потенціювання та отримаємо:

$$v \cdot \sqrt[6]{\frac{V^2 \rho^3}{\tau^3}} = A \cdot \left(\omega \cdot \sqrt[6]{\frac{V^2 \rho^3}{\tau^3}} \right)^a \cdot \left(\frac{l}{\sqrt[3]{V}} \right)^b \cdot \left(\frac{v}{\sqrt[6]{\frac{V^4 \tau^3}{\rho^3}}} \right)^c \quad (21)$$

$$a = \frac{x_1}{6}, b = \frac{x_2}{6}, c = \frac{x_3}{6}, d = \frac{x_4}{6}.$$

де A — коефіцієнт, $A = \sqrt[4]{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4}$

Таким чином, ми маємо критеріальне рівняння (21), в якого невідомими є

показниками ступенів: a, b, c, d . Коефіцієнти визначаємо експериментальним способом [18], використавши залежність (18). Коефіцієнти k_1, k_2, k_3, k_4 і показники ступенів оцінюють вплив відповідних узагальнених факторів на коефіцієнт нерівномірності суміші.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Вперше виконано моделювання процесу змішування-подрібнення з різними фізико-механічними властивостями твердих кормових компонентів, вертикальним конічним шнеком із закріпленими дотично до його зовнішніх країв ножами. Використано метод аналізу розмірностей [6, 10] з отриманням моделі, яка описує внутрішній механізм процесу подрібнення та змішування, що дозволяє оптимізувати параметри і режими робочого процесу кормороздавача змішувача-подрібнювача. Доцільно для отримання моделі загального описування процесу змішуваннями компонентів описати процес диференціальними рівняннями, що дасть можливість оцінити адекватність отриманої моделі, порівнюючи її з існуючими моделями [1, 2, 3, 5, 7]. Окрім того, бажано оцінити техніко-економічний рівень кормороздавачів-змішувачів-подрібнювачів фірм світу, для визначення перспективного технічного рішення.

References

1. Makarov, Y. I. (1973). *Apparaty dlya smesheniya syipuchih materialov* [Apparatus for mixing bulk materials]. Moskva: Mashinostroenie [in Russian].
2. Strenk, F. (1985). *Peremeshivanie i apparaty s meshalkami* [Stirring and agitating machines]. Leningrad: Himiya [in Russian].
3. Kukta, G. M. (1971). *Optimalnaya prodolzhitel'nost smeshivaniya komponentov kombikormov* [The optimal duration of mixing the components of feed]. *Mehanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo hazyaystva*, 11, 74–79 [in Russian].
4. Melnikov, S. V. (1978). *Mehanizatsiya i avtomatizatsiya zhivotnovodcheskih ferm* [Mechanization and automation of livestock farms]. Leningrad: Kolos [in Russian].
5. Dereza, O. O. & Dereza, S. V. (2014). *Analiz metodiv modeliuvannya protsesu zmishuvannya kormiv* [Analysis of methods for modeling the process of mixing feed]. *Naukovi visnyk*

Tavriiskoho derzhavnoho ahrotekhnolohichnoho universytetu, 4 (1), 95–101 [in Ukrainian].

6. Guhman, A. A. (1973). *Vvedenie v teoriyu podobiya* [Introduction to the theory of similarity]. Moskva: Vysshaya shkola [in Russian].

7. Briukhovetskyi, A. M. & Boiarskyi, O. V. (1994). *Modeliuvannya protsesu zmishuvannya syipkykh komponentiv u lopatevomu zmichuvachi periodychnoi dii* [Simulation of the process of mixing friable components in a blade of periodic action]. Kyiv: Urozhai [in Ukrainian].

8. Rud, A. V., Evstratova, N. N. & Belousov, K. Yu. (2013). *Razlichnyie podhody k modelirovaniyu protsesa dvizheniya materiala v vertikalnom vintovom konveyere* [Different approaches to modeling the process of movement of material in a vertical screw conveyor]. *Sbornik nauchnykh trudov SWorld*, 4, 68–74 [in Russian].

9. Isaienko, A. M., Kachan, Yu. H. & Ivanov, V. I. (2007). *Pro modeliuvannya sehrehatsii rudy pid chas rukhu pokhyloi poverkhnei* [On modeling of ore segregation during sloping motion]. *Matematychni modeliuvannya*, 1, 33–39 [in Ukrainian].

10. Nepchatov, D. M., Rusalev, A. M. & Boyko, I. G. (2011). *Svodoobrazovanie syipuchih kormov i metodika ego opredeleniya* [The formation of bulk feed and the method of its determination]. *Visnyk Harkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*, 108, 223–230 [in Russian].

11. Hevko, I. B., Kalatsina, Yu. B. & Levenets, V. D. (2002). *Zmishuvannya syipkykh materialiv hvyntovymy robochymy orhanamy* [Mixing of bulk materials with screw working organs]. *Mizhvuzivskyi zbirnyk Luganskoho derzhavnogo tekhnichnoho universytetu*, 11, 75–83 [in Ukrainian].

12. Chvartatskyi, R. I. (2017). *Obhruntuvannya parametriv mashyn dlia podribnennia i zmishuvannya kormiv* [Justification of parameters of machines for grinding and mixing of forages]. Ternopil [in Ukrainian].

13. Ponomarev, K. K. (1973). *Sostavlenie differentsialnykh uravneniy* [Compilation of differential equations]. Moskva: Vysshaya shkola [in Russian].

14. Polyuhovich, N. V. (2010). *Metodicheskie osnovy obucheniya studentov resheniyu prikladnykh zadach po teme: Differentsialnye uravneniya* [Methodical foundations of teaching students to solve applied problems on the topic: "Differential Equations"]. *Yaroslavskiy pedagogicheskii vestnik*, 2, 131–139 [in Russian].

15. Hlinenko, L. K. & Sukhonosov, O. H. (2003). *Osnovy modeliuvannya tekhnichnykh sistem*

[Fundamentals of technical systems modeling]. Lviv: Besket Bit [in Ukrainian].

16. Shenk, H. (1972). Teoriya ingenerenogo eksperimenta [Theory of Engineering Experiment]. Moskva: Mir [in Russian].

17. Khmelovskiy, V. (2013). Obhruntuvannia parametriv bunkera kormopryhotuvalnoho ahrehatu [Justification of the parameters of the hopper of the feed preparation unit]. *Tekhnika i tekhnologii APK*, 6, 13–15 [in Ukrainian].

18. Basarhin, V. A., Vodianytskyi, H. P. & Tymkiv, V. V. (2017). Vyznachennia tekhnichnoho rivnia kormorozdavachiv-zmishuvachiv firmy svitu [Determination of the technical level of fodder mixers of the firm of the world]. *Tvarynnystvo Ukrainy*, 3/4, 10–13 [in Ukrainian].

19. Hrabar, I. H. & Vodianytskyi, H. P. (2013). Teoriia ta tekhnologii naukovykh doslidzhen [Theory and technology of scientific research]. Zhytomyr: ZhNAEU [in Ukrainian].

20. Shterbachek, Z. & Tausk, P. (1963). Peremeshivanie v himicheskoy promyshlennosti [Mixing in the chemical industry]. Leningrad: GSHCh [in Russian].

21. Venikov, V. A. & Venikov, G. V. (1984). Teoriya podobiya i modelirovanie [Similarity Theory and Modeling]. Moskva: Vysshaya shkola [in Russian].

22. Grigorev, A. M. (1972). Vintovyye konveyery [Screw conveyors]. Moskva: Mashinostroenie [in Russian].

JUSTIFICATION OF THE PARAMETERS AND MODES OF OPERATION OF THE FEEDER MIXER SHREDDER METHOD OF MODELING

G. Vodyanitsky, I. Slyusarenko, V. Tymkiv

e-mail: grig40@gmail.com,

inna.slyusarenko13@gmail.com,

com, vvtymkiv@gmail.com

Zhytomyr National Agroecological University

Stary Boulevard, 7, Zhytomyr, 10002, Ukraine

The modeling of a technical system is one of the first stages of cognition of its properties with the aim of further improvement and proper use. Mixing of solid components with their simultaneous grinding by a vertical conical screw working body is a complex workflow, which the authors analytically described through the main parameters of the working body and the modes of the process. The obtained generalized factors, due to which the number of factors from seven decreased to four. This makes it possible to reduce the amount of experimental work by eight times and provide effective results that evaluate the actual action of the

factors acting on the selected performance criterion, the coefficient of unevenness in a complex, rather than separately. The resulting model allows you to make a qualitative and quantitative assessment of the process of operation of the feeder-mixer-grinder, to optimize its parameters of the working bodies and modes of operation.

It has been established that the coefficient of unevenness of the mixture depends proportionally (dependence 6) on the speed of the screw (ω) multiplied by the coefficient (c), which depends in turn on the volume of the bunker (V), the physicomachanical properties of the mixture, its bulk mass (ρ), and the tangential shear force of the components of the mixture (τ) and the step of the screw (e), reduced to the value of the coefficient c_2 , which depends on the design of the mixer hopper. In addition, the ratio of the coefficient of unevenness of the mixture (v') is also proportional to the speed of circulation of components reduced in c_3 times, which depends on the design parameters of the machine, and the physical and mechanical properties of the mixture, the area of the side surface of the screw is reduced to c_4 times, which is alternating from the design parameters of the feeder-mixer-shredder.

The results of the study are used when students study the courses "Machines and Equipment for Livestock", "Operation of Technological Equipment for Livestock" and "Justification of Solutions", and can also be the basis for further research, as well as in design practice.

Keywords: mixer grinder, model, dimensionless complex, dimension analysis, vertical screw of variable diameter, similarity criteria.

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ КОРМОРАЗДАТЧИКА-СМЕСИТЕЛЯ-ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ МЕТОДОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Г. П. Водяницький, И. П. Слюсаренко,

В. В. Тымків

e-mail: grig40@gmail.com,

inna.slyusarenko13@gmail.com

vvtymkiv@gmail.com

Житомирський національний
агроекологічний університет

бульвар Старий, 7, г. Житомир, 10002, Україна

Моделювання технічної системи є одним з перших етапів пізнання її властивостей з метою подальшого удосконалення та грамотного використання. Смішування твердих компонентів з одночасним їх измельченням вертикальним

коническим шнековым рабочим органом является сложным рабочим процессом, который авторы аналитически описали через основные параметры рабочего органа и режимы протекания процесса. Получены обобщенные факторы, благодаря чему количество факторов из семи уменьшилось до четырех. Это дает возможность сократить объем экспериментальной работы в восемь раз и обеспечить эффективные результаты, которые оценивают фактическое действие факторов, действующих на выбранный критерий эффективности, коэффициент неравномерности комплексно, а не врозь. Полученная модель позволяет сделать качественную и количественную оценки процесса работы кормораздатчика-смесителя-измельчителя, оптимизировать его параметры рабочих органов и режимы работы.

Установлено, что коэффициент неравномерности смеси зависит пропорционально (зависимость б) от частоты вращения шнека (ω) перемноженным на коэффициент (с), которые зависят, в свою очередь, от объема бункера (V), физико-механических свойств смеси, ее объемной массы

(ρ), касательного усилия сдвига компонентов смеси (τ) и шага шнека (e), уменьшенного в значение коэффициента c_2 , который зависит от конструкции бункера смесителя. Кроме того, на значение коэффициента неравномерности смеси (v') пропорционально также влияет скорость циркуляции компонентов, уменьшенная в c_3 раз, зависящая от конструктивных параметров машины и физико-механических свойств смеси, площади боковой поверхности шнека, уменьшенной в c_4 раз, что, в свою очередь, зависит от конструктивных параметров кормораздатчика-смесителя-измельчителя.

Результаты исследования используются при изучении студентами курсов «Машины и оборудование для животноводства», «Эксплуатация технологического оборудования для животноводства» и «Обоснование решений», могут быть основой дальнейшего исследования, а также в проектно-конструкторской практике.

Ключевые слова: смеситель-измельчитель, модель, безразмерный комплекс, анализ размерностей, вертикальный шнек переменного диаметра, критерии подобия.

УДК 677.11.021.151.2

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ОБРАБОТКИ ОТХОДОВ ТРЕПАНИЯ НА КУДЕЛЕПРИГОТОВИТЕЛЬНОМ АГРЕГАТЕ****В. К. Палейчук, В. Л. Куликовский, В. Н. Боровский***e-mail: paliychukln@gmail.com, kylikovskiyv@ukr.net, borovskiyvm@gmail.com*

Житомирский национальный агроэкологический университет

бульвар Старый, 7, г. Житомир, 10008, Украина

В процессе исследований изучено влияние, кратности обработки одинаковых партий отходов трепания на содержание костры, качество короткого волокна и определены оптимальные физико-механические параметры их обработки на отдельных секциях куделеприготовительного агрегата. С этой целью был проведен глубокий анализ работы отдельных узлов агрегата КПАЛ. Приведены физико-механические параметры различных вариантов обработки отходов трепания на агрегате. Выходные характеристики вариантов исследований задавались по максимальной и минимальной частоте вращения трепальных барабанов, которые возможно получить исходя из механических и конструктивных особенностей агрегата. Проведенный корреляционный анализ физико-механических параметров обработки отходов трепания на агрегате КПАЛ при различных вариантах обработки показал, что параметры обработки имеют незначительное влияние на прочность волокна и на процентное содержание костры в нем. Исследованы физико-механические показатели качества короткого волокна после многократных обработок на куделеприготовительном агрегате. Для более глубокого определения влияния обработки отходов трепания на прядильные свойства короткого волокна, опытные партии перерабатывались в пряжу. Анализ параметров обработки короткого льняного волокна на КПАЛ в сочетании с физико-механическими показателями пряжи показали, что существует количественная связь между обрывностью пряжи, полученной из волокна разных вариантов, и режимами работы агрегата. Определен диапазон параметров обработки, соответствующий количеству 95...105 механических воздействий, при которых получается волокно наиболее пригодное к прядению. Установлено, что повышение качества короткого волокна должно осуществляться не за счет дополнительных энергетических и материальных затрат, а путем разработки новой ресурсосберегающей технологии переработки низкосортного сырья на современном оборудовании перерабатывающих предприятий. Перспективой дальнейших исследований является разработка технологии получения высококачественного короткого волокна из отходов трепания и низкосортной тресты, которая обеспечит максимальное удаление костры, сохранение прочности, поскольку именно такие выходные характеристики короткого волокна обуславливают его пригодность к дальнейшему использованию.

Ключевые слова: куделеприготовительный агрегат, льняное волокно, обработка, отходы трепания, физико-механические параметры.

Постановка проблемы

Одной из основных задач первичной переработки льняного сырья в современных условиях является повышение качества короткого волокна, которое используется не только для получения текстильной продукции по традиционной технологии, но и для производства целлюлозы, ваты и котонина.

В условиях резкого роста стоимости энергоносителей и других материальных ресурсов, повышение качества короткого волокна должно осуществляться не за счет дополнительных энергетических и материальных затрат, а путем разработки новой ресурсосберегающей технологии переработки низкосортного сырья на современном оборудовании перерабатывающих предприятий.

Анализ научно-технической литературы [1, 2] по проблемам усовершенствования механической обработки льна свидетельствует, что разрабатываемая технология получения высококачественного короткого волокна из отходов трепания и низкосортной тресты должна обеспечивать максимальное удаление костры, сохранение прочности, поскольку именно такие выходные характеристики короткого волокна обуславливают его пригодность к дальнейшей переработке в прядении, целлюлозно-бумажной и медицинской промышленности.

Кроме того, при разработке приемов совершенствования существующих технологических процессов необходимо осуществлять количественную оценку влияния того или иного технологического фактора на показатели качества волокна. Только при этих

условиях новую технологию можно рекомендовать перерабатывающим предприятиям для широкого внедрения.

В связи с вышеизложенным, теоретические и практические исследования процесса механической обработки льняного сырья, направленные на получение короткого волокна повышенного качества, являются актуальными для отрасли первичной обработки волокнистых материалов.

Анализ последних исследований и публикаций

Куделеприготовительные агрегаты предназначены для получения короткого волокна из отходов трепания, а также из тресты низкого качества. Они включают в себя машины по формированию слоя, отделению присушистой и удалению несвязанной костры [1, 2]. В известных исследованиях и публикациях мало проанализированы тенденции совершенствования и оптимизации технологических процессов получения короткого льняного волокна.

Цель, задачи и методика исследований

Цель исследований – оптимизация процесса обработки отходов трепания на

куделеприготовительном агрегате с целью повышения качества короткого льноволокна.

Задача исследований – интенсифицировать процесс обработки отходов трепания на куделеприготовительном агрегате за счет увеличения количества пропусков материала и определить влияние этого приема на снижение содержания костры в волокне.

Обработка тресты осуществлялась по разработанной программе исследований на куделеприготовительном агрегате. Определение комплексного влияния показателей короткого льняного волокна на прядильные свойства проводилось с помощью методов регрессионного анализа и математической статистики.

Результаты исследований

В процессе исследований было изучено влияние кратности обработки одинаковых партий отходов трепания на заостренность и качество короткого волокна и определены оптимальные физико-механические параметры обработки их на отдельных секциях куделеприготовительного агрегата. С этой целью был проведен глубокий анализ работы отдельных узлов агрегата КПАЛ (рис. 1) и установлены граничные физико-механические параметры обработки отходов трепания.

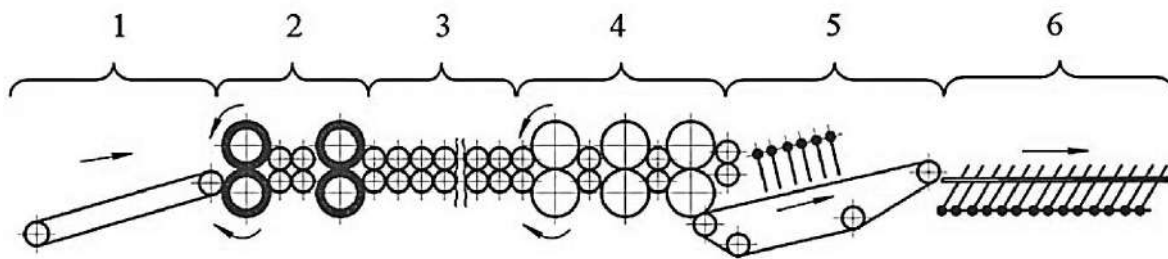


Рис. 1. Технологическая схема куделеприготовительного агрегата:

1 – питающий транспортер; 2 – колковый питатель; 3 – мяльная часть; 4 – трепальная часть; 5 – первая трясильная часть; 6 – вторая трясильная часть

Эксперимент осуществлялся по шести вариантам обработки. После каждого варианта обработки изучались свойства короткого волокна согласно ДСТУ 5015:2008 [3] и ДСТУ 4015:2001 [4]. В каждом варианте регулировалось количество механических воздействий на отходы трепания путем подбора различных частот

вращения выходного вала вариатора трепальных барабанов (в пределах $760 \dots 1010 \text{ мин}^{-1}$), а также изменялась линейная скорость движения отходов трепания по транспортеру ($33 \dots 40 \text{ м/мин}$).

В таблице 1 приведены физико-механические параметры различных вариантов обработки отходов трепания на КПАЛ.

Таблица 1. Физико-механические параметры вариантов исследования

Вариант	Частота вращения трепальных барабанов, мин ⁻¹	Скорость движения волокна, м/мин	Количество механических воздействий
1	760	33,2	93
2	880	33,2	109
3	1010	33,2	122
4	760	40,0	77
5	880	40,0	89
6	1010	40,0	102

Диапазон вращения трепальных барабанов регулировался изменением окружной скорости выходного вала вариатора и сменой шкивов разных размеров. Линейная скорость движения материала при обработке на КПАЛ изменялась путем замены червяка на ведущем валу подающего транспортера.

Выходные характеристики вариантов исследований задавались по максимальной и

минимальной частоте вращения трепальных барабанов, которые возможно получить исходя из механических и конструктивных особенностей агрегата КПАЛ. По каждому варианту проводилось 10 испытаний качества короткого волокна, для которых рассчитывались средние статистические физико-механические показатели качества, которые приведены в таблице 2, 3. Ошибка опыта составляла 5...7 %.

Таблица 2. Физико-механические показатели количества короткого волокна после разных вариантов обработки на КПАЛ

Вариант обработки	Прочность скрученной ленточки, кгс	Содержание костры, %
1	14,6	19,1
2	14,9	19,2
3	14,2	19,1
4	14,8	19,2
5	14,5	19,2
6	14,5	19,1

Таблица 3. Физико-механические показатели качества короткого льняного волокна после обработки по первому варианту

№ опыта	Прочность крученной ленточки, кгс			Содержание костры, %
	1	2	3	
1	16,0	14,0	12,0	19,0
2	13,0	17,0	14,0	19,2
3	14,0	16,0	14,6	19,0
4	15,0	17,0	13,0	19,3
5	15,0	15,0	12,5	19,0
6	12,0	14,0	12,5	19,0
7	13,0	14,0	12,5	19,1
8	14,0	13,0	16,0	19,1
9	14,0	16,0	15,5	19,0
Общие показатели	141	153	138	191
Средние показатели	14,6			19,1

Проведен корреляционный анализ физико-механических параметров обработки отходов трепания на агрегате КПАЛ в сочетании с

физико-механическими показателями качества короткого волокна при различных вариантах обработки. Установлено, что параметры

обработки имеют незначительное влияние на прочность волокна и на процентное содержание костры в нем. Различие в показателях качества по разным вариантам лежат в пределах ошибки опытов.

Как пример, в таблице 3 приведены показатели качества короткого волокна первого варианта, а в таблице 2 – средние значения по каждому из шести вариантов.

Количественный анализ таблиц 2, 3 свидетельствует о том, что изменение параметров обработки на куделеприготовительном агрегате незначительно

влияет на показатели качества короткого волокна.

Аналогичные испытания были проведены по изучению влияния кратности пропусков короткого льняного волокна на КПАЛ. Для этого партия отходов трепания при параметрах обработки, соответствующих варианту 1, обрабатывались поочередно один, два и три раза. По каждой обработке отбирались пробы волокна и анализировались согласно ДСТУ 5015:2008 и ДСТУ 4015:2001. В таблице 4 приведены физико-механические показатели качества короткого волокна после многократных обработок на куделеприготовительном агрегате.

Таблица 4. Физико-механические показатели качества короткого льняного волокна при многократных обработках на КПАЛ

№ опыта	Плотность скрученной ленточки, кгс			Содержание костры, %		
	1	2	3	1	2	3
1	15,5	15,0	15,0	19,1	19,0	19,2
2	13,5	14,0	14,0	19,0	19,2	19,3
3	18,0	15,0	13,5	19,2	19,1	19,1
4	16,5	15,0	15,0	19,2	19,0	19,2
5	14,0	13,5	16,5	19,0	19,1	19,3
6	17,5	14,5	15,0	19,0	19,3	19,0
7	14,0	14,5	14,5	19,1	19,0	19,1
8	16,0	14,5	16,0	19,0	19,1	19,3
9	15,5	16,0	14,0	19,3	19,2	19,0
10	14,5	17,5	15,5	19,2	19,0	19,1
Средний показатель	14,9			19,2		

Примечание: в таблице 4 кратность обработки 1, 2, 3.

Из данных таблицы 4 следует, что кратность обработки незначительно влияет на физико-механические показатели качества короткого льняного волокна (разница в показателях качества при обработке с различной кратностью находится в пределах ошибки опыта – 1...3 %). Следовательно, при помощи регулирования физико-механических параметров обработки достигается незначительное повышение качества короткого льняного волокна.

Для более глубокого определения влияния оптимизации обработки отходов трепания (на КПАЛ) на прядильные свойства короткого волокна, опытные партии последнего перерабатывались в пряжу.

Пряжа, полученная из волокна, обработанного по шести вариантам, анализировалась в соответствии с требованиями ДСТУ 3046-95 [5]. В таблице 5 представлены физико-механические показатели качества пряжи.

Таблица 5. Зависимость физико-механических показателей пряжи от вариантов обработки исходного короткого волокна

Показатели	Варианты обработки					
	1	2	3	4	5	6
Удельная разрывная нагрузка, гс/текст.	8,6	8,0	8,5	9,5	9,5	8,0
Коэффициент вариации, %	131	141	126	120	120	141
Обрывность, 1000 вер./час	96	118	150	114	112	135

Корреляционный анализ физико-механических параметров обработки короткого льняного волокна на КПАЛ в сочетании с физико-механическими показателями пряжи

показали, что существует количественная связь между обрывностью пряжи, полученной из волокна разных вариантов, и параметрами обработки, что наглядно представлено на рис. 2.

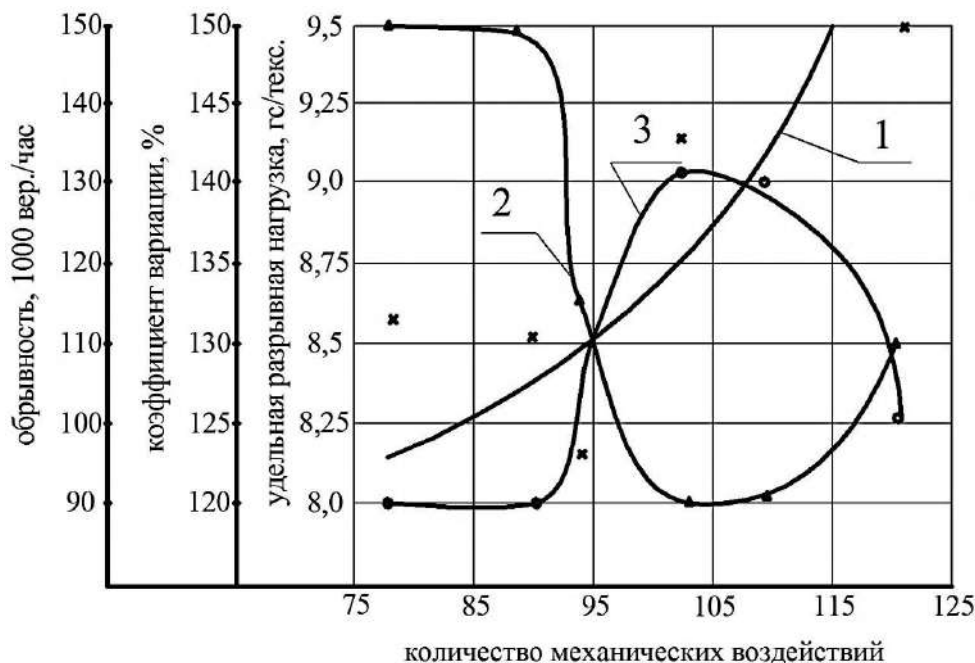


Рис. 2. Влияние количества механических воздействий на следующее:

1 – удельную разрывную нагрузку; 2 – обрывность; 3 – коэффициент вариации

Из представленных результатов (табл. 5, рис. 2) следует, что повышение количества механических воздействий на короткое волокно при обработке на куделеприготовительном агрегате повышает обрывность пряжи. Однако существует определенный диапазон параметров обработки, соответствующий количеству 95...105 воздействий, что отвечает вариантам – 2, 6, при которых получается волокно наиболее пригодное к прядению. Пряжа, полученная из волокна вариантов 2, 6 обладает самыми высокими физико-механическими показателями качества.

Выводы и перспективы дальнейших исследований

Повышение интенсивности обработки отходов трепания на куделеприготовительном агрегате в небольшой степени сказывается на показателях качества короткого льняного волокна, однако, в значительной мере влияет на свойства полученной пряжи, снижается обрывность, повышается однородность нити. Установлено, что повышение качества короткого волокна должно осуществляться не за счет

дополнительных энергетических и материальных затрат, а путем разработки новой ресурсосберегающей технологии переработки низкосортного сырья на современном оборудовании перерабатывающих предприятий.

Перспективой дальнейших исследований является разработка технологии получения высококачественного короткого волокна из отходов трепания и низкосортной тресты, которая обеспечит максимальное удаление костры, сохранение прочности, поскольку именно такие выходные характеристики короткого волокна обуславливают его пригодность к дальнейшему использованию.

References

1. Diachkov, V. A. (2009). *Teoretycheskiye osnovy tekhnologiyi proizvodstva lubianykh volokon* [Theoretical basis of the production technology of bast fibers]. Kostroma: KHTU [in Russian].
2. Chebotarev, V. P., Yzoytko, V. M. & Lukomskiy, A. E. (2014). *Obosnovaniye konstruktivno-tekhnologicheskoi skhemy lyny vyrobki korotkogo inovolokna* [The substantiation

of the constructive and technological scheme of the production line of short flax fiber]. *Nauchno-tehnicheskiiy progress v selskokhozyaystvennom proizvodstve*, 1, 205–209 [in Russian].

3. Volokno lliane korotke. Tekhnichni umovy [Short flax fibre. Specifications] (2009). DSTU 5015:2008. Natsionalnyi standart Ukrainy. Kyiv: Derzhstandart Ukraine [in Ukrainian].

4. Lon tipanyi. Tekhnichni umovy [Scutched flax. Specifications] (2002). DSTU 4015:2001. Natsionalnyi standart Ukrainy. Kyiv: Derzhstandart Ukraine [in Ukrainian].

5. Priazha. Klasyfikatsiia ta nomenklatura pokaznykiv yakosti [Yarn. Classification and nomenclature of quality indicators] (1996). DSTU 3046-95. Natsionalnyi standart Ukrainy. Kyiv: Derzhstandart Ukraine [in Ukrainian].

DETERMINATION OF THE OPTIMAL PHYSICAL AND MECHANICAL PARAMETERS OF THE TREATMENT OF SCRAPPING WASTES OF THE TOW SCUTCHER FLAX UNIT

V. Paliychuk, V. Kulykivskiy, V. Borovskiy

e-mail: paliychukln@gmail.com,

kylikovskiyv@ukr.net, borovskiyvm@gmail.com

Zhytomyr National Agroecological University,
Stary Boulevard, 7, Zhytomyr, 10002, Ukraine

In the course of the research, the influence and the multiplicity of treatment of the same batches of wastes on the content of scutch, the quality of short fiber was studied and the optimum physical and mechanical parameters of their processing were determined in separate sections of the curing machine. For this purpose, we carried out a deep analysis of the operation of individual units of the tow scutcher flax unit. The physical and mechanical parameters of various options for treating wastes on the unit are given. Output characteristics of research options were set by the maximum and minimum frequency of rotation of the scutching drums, which can be obtained on the basis of the mechanical and design features of the unit. The correlation analysis of the physical and mechanical parameters of the treatment of scraping waste on the tow scutcher flax unit carried out with various processing options showed that the processing parameters have a slight effect on the strength of the fiber and on the percentage of brome grass in it. The physical and mechanical parameters indicators of the quality of the short fiber after multiple treatments on the preparation unit were

investigated. For a more in-depth determination of the impact of scutching waste treatment on the spinning properties of short fibers, pilot batches were processed into yarn. Analysis of the processing parameters of short flax fiber for tow scutcher flax unit in combination with the physical and mechanical parameters of the yarn showed that there is a quantitative correlation between the breakage of yarn obtained from different fiber options and the operating modes of the unit. The range of processing parameters corresponding to the number of 95...105 mechanical effects at which the fiber is most suitable for spinning is determined. It has been established that improving the quality of short fiber should be carried out not at the expense of additional energy and material costs, but through the development of new resource-saving technology for processing low-grade raw materials on modern equipment of processing companies. The prospect of further research is the development of technology for producing high-quality short fiber from scrapping wastes and low-grade trusts, which will ensure maximum removal of brome grass and preserve strength, since it is these output characteristics of short fibers that determine its suitability for further use.

Keywords: tow scutcher flax unit, flax fiber, treatment, scrapping waste, physical and mechanical parameters.

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБРОБКИ ВІДХОДІВ ТРІПАННЯ НА КУДЕЛЕПРИГОТУВАЛЬНОМУ АГРЕГАТІ

В. К. Палійчук, В. Л. Куликівський,

В. М. Боровський

e-mail: paliychukln@gmail.com,

kylikovskiyv@ukr.net, borovskiyvm@gmail.com

Житомирський національний
агроекологічний університет

бульвар Старий, 7, м. Житомир, 10008, Україна

У процесі досліджень вивчено вплив, кратності обробки однакових партій відходів тріпання на вміст костриці, якість короткого волокна і визначені оптимальні фізико-механічні параметри обробки матеріалу на окремих секціях куделеприготувального агрегату. З цією метою було проведено глибокий аналіз роботи окремих вузлів агрегату КПАЛ. Наведено фізико-механічні параметри різних варіантів обробки відходів тріпання на агрегаті. Вихідні

характеристики варіантів досліджень задавалися за максимальною і мінімальною частотою обертання тіпальних барабанів, які можливо отримати виходячи з механічних та конструктивних особливостей агрегату. Проведений кореляційний аналіз фізико-механічних параметрів обробки відходів тіпання на агрегаті КПАЛ за різних варіантів обробки показав, що параметри обробки мають незначний вплив на міцність волокна і на процентний вміст костриці в ньому. Досліджено фізико-механічні показники якості короткого волокна після багаторазових обробок на куделеприготувальному агрегаті. Для більш глибокого визначення впливу обробки відходів тіпання на прядильні властивості короткого волокна, дослідні партії перероблялися в пряжу. Аналіз параметрів обробки короткого льняного волокна на КПАЛ у поєднанні з фізико-механічними показниками пряжі показали, що існує кількісний зв'язок між обривністю пряжі, отриманої з волокна різних варіантів і режимами роботи агрегату. Визначено діапазон параметрів обробки, що відповідає кількості

95...105 механічних впливів, за яких виходить волокно найбільш придатне для прядіння. Встановлено, що підвищення якості короткого волокна має здійснюватися не за рахунок додаткових енергетичних і матеріальних витрат, а шляхом розробки нової ресурсозберігаючої технології переробки низькосортної сировини на сучасному обладнанні переробних підприємств. Перспективою подальших досліджень є розробка технології отримання високоякісного короткого волокна з відходів тіпання та низькосортної трести, яка забезпечить максимальне видалення костриці, збереження міцності, оскільки саме такі вихідні характеристики короткого волокна обумовлюють його придатність до подальшого використання.

Ключові слова: куделеприготувальний агрегат, льняне волокно, обробка, відходи тіпання, фізико-механічні параметри.

УДК 629.113

ХОДОВІ СИСТЕМИ СУЧАСНОЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

В. І. Ачкевич*, С. В. Чуба**

e-mail: achkevychv@gmail.com, hotabuchua@gmail.com

*Національний університет біоресурсів і природокористування України

м. Київ, вул. Героїв оборони, 15, 03041, Україна

**Національний авіаційний університет

м. Київ, проспект Космонавта Комарова, 1, 03058, Україна

Економічна ефективність у сучасному сільському господарстві зумовлює використання великого, важкого обладнання, що, у свою чергу, може спричинити ущільнення не тільки поверхневих ґрунтів, але й глибших підповерхневих ґрунтів. Проблема поступово загострюється й набуває велетенських масштабів. Незалежно від типу ґрунтів — чорноземи чи пісчани — недосконалі агротехнології стають причиною переущільнення.

Внаслідок підвищення щільності, а відповідно і твердості ґрунту, знижується рівень життєдіяльності мікрофлори родючого шару ґрунту, що значною мірою позначається на втратах врожаю приблизно в 20–30%. Крім того, внаслідок переущільнення ґрунту, підвищується перевитрата пального на 10 – 15 %. Установлено, що після проходження важких колісних і гусеничних машин змінюється структура ґрунту: збільшується кількість грудок крупніших 10 мм на 15–20%. Така зміна структури відбувається до глибини 30–60 см (залежно від маси трактора, кратності проходів по одному сліду, типу та стану ґрунту). Крім того, різко збільшується число часток менше 0,25 мм, тобто відбувається розпилення ґрунту після проходження машин. Проходи коліс важких машинно-тракторних агрегатів по розпушеному та зволоженому ґрунту особливо несприятливі. Зруйнована структура ґрунту не відновлюється повністю навіть протягом року, внаслідок чого сильно ущільнений ґрунт із часом деградує.

Інтенсивне ведення сільського господарства призводить до підвищення кількості заходів, пов'язаних з роботою машинно-тракторних агрегатів у полі. Під час роботи машинно-тракторних агрегатів відбувається контактна взаємодія рушії з ґрунтом. При взаємодії спостерігається деформування та ущільнення ґрунту, що негативно впливає на зміну його структури. Для зменшення негативного впливу на ґрунт необхідно виконувати правильний вибір ходових систем та їх режимів роботи в залежності від відповідних ґрунтових умов та компонування машинно-тракторних агрегатів.

Виконано аналіз основних тенденцій розвитку рушіїв машинно-тракторних агрегатів, проаналізовано суть конструктивних напрямків розвитку сучасних ходових систем, визначено переваги та недоліки.

Ключові слова: ходові системи, колісні рушії, машинно-тракторний агрегат, ґрунт, маса трактора.

Постановка проблеми

Спосіб і глибина обробітку ґрунту залежать, передусім, від ґрунтово-кліматичних умов, біологічних особливостей сільськогосподарських культур і забур'яненості та носять зональний характер. За недостатнього природного зволоження в сухих степах України при вирощуванні багатьох культур ґрунт варто обробляти безполицевими знаряддями, а за достатнього, надмірного перевага віддається обробітку ґрунту з обертанням на повну глибину орного шару. Аналіз систем технологій і машин для обробітку ґрунту дозволяє ознайомитися й отримати орієнтацію у тенденціях розвитку техніки і напрямках доцільного використання орних земельних угідь для різних конкретно-господарських умов, специфічних для місцевості ґрунту та клімату. При цьому, першочерговим при виборі технології обробітку ґрунту є економічні показники, а не екологічні наслідки.

Не розуміння пагубного впливу на родючий шар ґрунту призводить до погіршення його фізико-механічної структури, і як наслідок зниження урожайності вирощуваних культур. Наслідки негативного впливу на ґрунт важко ігнорувати, адже вони досить суттєві:

- порушення структури ґрунту з руйнуванням ґрунтових пор, збільшенням твердості та щільності орного шару з наступним брилуванням, що значно підвищує затрати на проведення обробітку;

- порушення циркуляції води та повітря всередині ґрунтових шарів;

- порушення терморегуляції ґрунту, дослідним шляхом було встановлено, що переущільнений ґрунт швидше й сильніше прогрівається, а також швидше охолоджується; коливання температур протягом доби будуть більш значними та різкими, що негативно впливає на рослини;

- знижується вологозабезпечення рослин, аерація, погіршуються деякі важливі біологічні процеси; через порушення процесів аерації значно знижується доступність азоту та марганцю, які є життєво необхідними для рослини елементами;

- порушується процес випаровування води, рух води в нижні шари ґрунту обмежується, через що вона накопичується у верхньому шарі та спричиняє кисневе голодування коренів рослин, порушення водного обміну є причиною утворення на полях так званих «озер»;

- відбувається пригнічення та порушення росту коренів рослин, тому коренева система здебільшого формується неправильно та часто є недорозвиненою.

Як бачимо, наслідки переущільнення ґрунтів можуть стати фатальними як для вирощуваної культури, так, у майбутньому, і для самої ріллі.

Розвиток технічного забезпечення сільського господарства іде шляхом застосування широкозахватних агрегатів, застосування яких вимагає реалізації досить великої потужності колісними рушійми. Досить часто для реалізації необхідної потужності застосовують додаткові баластні маси, що призводить до збільшення питомих тисків у зоні контакту колеса з ґрунтом, як наслідок відбувається збільшення ущільнення ґрунту. Ущільнення ґрунту призводить до руйнування його структури та негативних наслідків у вигляді зниження врожайності сільськогосподарських культур [1, 2]. Механічний вплив рушіїв на ґрунт не можна розглядати тільки як ущільнювальний, бо водночас відбувається інтенсивне руйнування ґрунтової структури під впливом буксування. У гусеничних тракторів граничне буксування не перевищує 6–8%, тоді як за номінального тягового зусилля в колісних тракторів граничне буксування може досягати 25–30%, при цьому трактор із колісними рушійми витрачає на деформацію ґрунту і буксування понад 47% потужності двигуна [3, 4]. Ефективним способом підвищення тягово-зчіпних якостей, зменшення питомого тиску на ґрунт і поліпшення прохідності трактора є збільшення площі контакту рушіїв із ґрунтом шляхом застосування широкопрофільних шин напівгусеничного ходу та здвоєних коліс.

Зміна геометричних параметрів рушіїв, з метою збільшення плями контакту для

покращення зчеплення з опорною поверхнею, приводить до зменшенню буксування привідного колеса та негативної дії на ґрунт. Найбільш ефективним можна вважати комплексний підхід, що полягає у підборі необхідної маси трактора та сучасної шини, з точки зору мінімізації негативного впливу на ґрунт. Усі вказані способи спрямовані на збільшення площі контакту шини з ґрунтом, що напівпрямую впливає на зниження питомого тиску рушіїв на нього.

Мета, завдання та методика досліджень

Мета досліджень – виконати аналіз існуючих рушіїв сільськогосподарських агрегатів та визначити перспективні напрямки подальшого розвитку сучасних ходових систем. Основні завдання – проаналізувати переваги та недоліки сучасних рушіїв сільськогосподарської техніки, визначити тенденцію розвитку сучасних ходових систем. Дослідження виконані на основі аналізу літературних та технічних джерел інформації стосовно конструкцій ходових систем та їх впливу на показники родючого шару ґрунту.

Результати досліджень

Питання вибору трактора чи комбайна для будь-якого господарства залишається актуальним. Дія ходових систем тракторів на ґрунт залежить від типу рушія (гусеничний, колісний) і маси трактора. При роботі тракторів МТЗ-80, ДТ-75М, Т-70С ущільнювальна дія поширюється на глибину до 45 см, Т-150К і К-700 – на 50–70 см. Іноді ущільнення від дії ходових систем тракторів Т-150К і К-700 поширюється на глибину 1–1,2 м. При цьому, істотно збільшується об'ємна маса орного і підорного шарів, досягаючи 1,35–1,45 г/см³, зменшується загальна пористість на 23–25%. У багатьох ґрунтово-кліматичних зонах щільність будови ґрунту не самовідновлюється і в наступні роки [3].

Перед придбанням трактора рекомендується максимально точно визначити конкретні умови в залежності від професійного напрямку господарства, кліматичної зони та економічної складової, в яких техніка буде працювати протягом тривалого часу.

Ущільнення, в першу чергу, залежить від вологості ґрунту та від тиску рушія на ґрунт. При однаковому тиску в колесі, в залежності від вологості, ущільнення в сухому ґрунті буде меншим на 10–15 % у порівнянні із середньою

вологістю. В перезволоженому ґрунті ущільнення поширюється швидше і може бути на 15–20 % у порівнянні з ґрунтом середньої вологості. Тому ранній вихід тракторів в поле потребує досконалого аналізу.

Використання різних типорозмірів шин та тисків у шинах також має вирішальне значення на ущільнення при обробі ґрунту (рис. 1). Особливо в овочівництві, де використання широких шин досить обмежене.

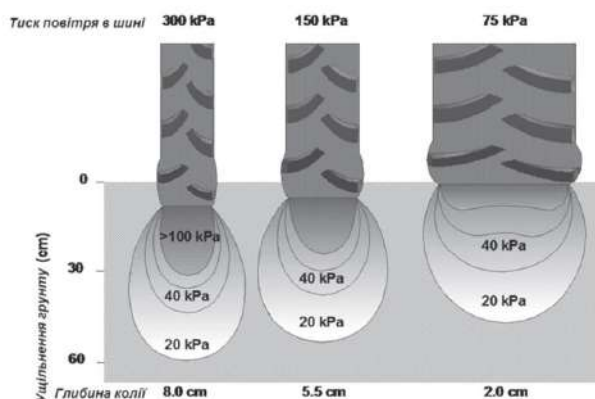


Рис 1. Деформація ґрунту під дією колісних ходових систем

На ринку сучасної сільськогосподарської техніки у виробника є досить широкий вибір та виникає складне питання вибору типу рушія при придбанні техніки. Одним із важливих критерієм вибору між колісним чи гусеничним рушієм є тягове зусилля, що може створити трактор. У сучасному аграрному комплексі України гусеничні трактори посідають поки що доволі скромне місце. На ділі такі трактори застосовуються переважно в Агрохолдингах чи великих господарствах, де береться до уваги фактор ущільнення ґрунту. Хоча об'єктивно використання гусеничних тракторів не є вирішенням проблеми протидії ущільненню ґрунту і дане питання залишається доволі дискусійним. Перевести ж парк техніки господарства цілковито на гусеничні траки – задоволення не найдешевше і не завжди доцільне, з економічної точки зору.

Колісні трактора найбільш розповсюджені, та мають об'єктів ні переваги:

- оперативність, швидкість руху може досягати 50 км /год.;
- можливість пересуватися по дорогах загального призначення;
- менші витрати на поточний ремонт.

Основний недоліком є переущільнення ґрунту. Найперспективніший спосіб підвищення переваг колісних рушіїв без значної зміни конструкції трактора — використання здвоєних коліс. Завдяки збільшеній площі контакту шин підвищується сила зчеплення рушіїв із ґрунтом, поліпшуються тягові якості навіть за несприятливих погодних умов та під час виконання ранньовесняних польових робіт, у результаті чого зменшується ґрунтове ущільнення. Додаткові колеса дають змогу знизити тиск у шинах, а відповідно, — і питомий тиск на ґрунт. Багато відомих компаній намагаються вирішити ці проблеми шляхом збільшення кількості осей, шириною шини та технічним рішенням щодо шини.

Гусеничні трактори поділяються на напівгусеничні та гусеничні. До переваг гусеничних рушіїв слід віднести, що сумарна площа гусеничних тракторів у порівнянні з аналогічним показником колісного трактора є більшою у середньому на 40–60%. Відповідно, меншим є тиск на ґрунт багатотонної машини і, як результат, знижується показник ущільнення. Головними перевагами є здатність заходити раніше в поле на початку сезону та максимально довгий час залишатися в полі в кінці сезону. У поєднанні широкозахватним посівним агрегатом, спроможним проводити посів зернових чи технічних культур у перезволожений ґрунт, трактор із гусеничним або напівгусеничним рушієм здатен виконати більше корисної роботи.

Відповідно, переваги гусеничних машин коротко окреслюються таким чином: зростання продуктивності роботи, зниження ущільнень ґрунту, певна економія пального та можливість працювати на вологому ґрунті.

Втім, є у них і серйозні недоліки, які витікають із конструктивних особливостей усіх видів сільськогосподарської техніки на гусеничному ході.

Перший – це висока вартість гусеничних траків, яка помітно перевищує аналогічний показник придбання якісних гумових коліс. За різними даними різниця в вартості складає 10 – 20 %. Додаймо до цього ще й той фактор, що гумові гусениці внаслідок тих чи інших причин можуть бути схильними до швидкого зношування, а отже, і до незапланованих витрат. Другий — неможливість швидко виконувати переїзди поміж полями, розташованими далі, ніж

декілька кілометрів, власним ходом. Це також стосується швидкого зношування гусеничних траків, а тому такий трактор слід використовувати в господарстві з великою площею земель де немає великих переїздів поміж полями, або ж тримати спеціальний транспорт для перевезення. Третій незначний недолік – це незадовільна маневреність окремих моделей гусеничних тракторів, яка створює проблеми під час агрегування. На розворотах машина може нагортати цілі гребені, що зведуть нанівець усю виконану роботу на краях поля. Ця проблема в принципі, вирішується переходом тракторів з двома траками на чотири тракові.

Аналіз тракторного парку показує, що середній трактор, який використовується в сільському господарстві при вазі трактора 5–6 тонн, тисне на ґрунт у межах 3–5 т/м², в залежності від типу шин та структури ґрунту.

При збільшенні кількості коліс на осях трактора, тиск на ґрунт зменшується, але при цьому збільшуються габарити трактора, що ускладнює пересування по дорогах. Збільшення кількості осей до 3 чи 4 дає такий самих ефект зниження тиску на ґрунт при збереженні ширини трактора.

Використання різних моделей шин також зменшує тиск на ґрунт, так, наприклад, колісні трактори, обладнані радіальними шинами, забезпечують менший (на 20–25%) [1], у порівнянні з діагональними, тиск на ґрунт і мають вищу прохідність під час роботи на м'яких ґрунтах, але мають м'яку бічну поверхню шини, що є недоліком. А зниження тиску повітря від 0,18 до 0,08 мПа в шинах 16,9R30 засвідчило, що максимальний тиск на ґрунт знижується на 33% [1]. У зв'язку з тим, що нормальні навантаження на колеса трактора змінюються в широких межах, а трактори працюють на ґрунтах із різною структурою та різних кліматичних зонах, рівень тиску повітря в шинах рекомендується заводом-виробником із деяким запасом, що унеможливує перевищення деформацій понад допустимі межі.

Відома компанія Goodyear пропонують на вибір широкі шини з низьким тиском на ґрунт. Так при ширині шини 1000 мм площа опору шини становить 4980 см², а при ширині шини 1400 мм площа опору становить 7260 см².

Модернізація та покращення якості сільськогосподарських шин призводить до появи

цікавих рішень, що поєднують переваги гусеничних та колісних тракторів.

Чеська компанія Mitas [5, 6] та ізраїльська Galileo wheel розробили різні моделі шин, які поєднують в собі основні переваги гусеничного та колісного рушія.

Цікавим рішенням є розробка двокамерної шини Mitas AirCell, що дозволяє регулювати тиск в шинах у залежності від виду робіт чи режиму руху трактора (рис. 2). Повітряна камера розташована на ободі всередині шини і займає близько 30% загального обсягу шини. Компанія стверджує, що повітряна камера не стикається з самою шиною, і тому не створює додаткового тертя або нагрівання. Принцип роботи та керування: оператор із кабіни трактора на панелі управління 1 вибирає необхідний тиск у шинах в залежності від наступного:

- структури ґрунту: легкий, середній та важкий ґрунт;
- вологості ґрунту: низька вологість, середня та висока вологість;
- розміру шин;
- наявність та вага баласту;
- операції обробки: культивация, оранка, глибоке рихлення.

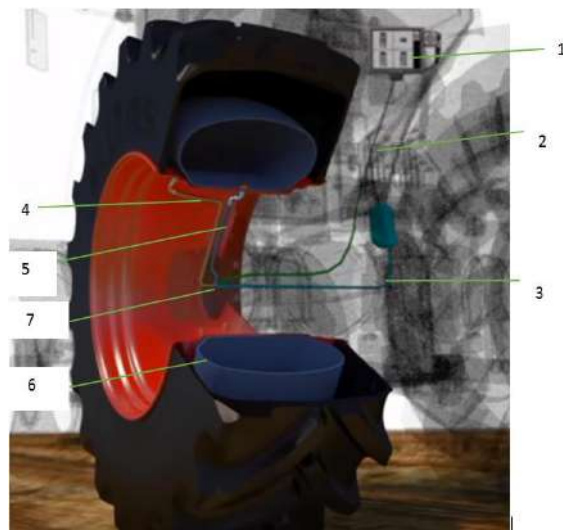


Рис 2. Загальна конструкція сучасної агротехнологічної шини Mitas AirCell

1 – панель управління оператором;
2 – кабель; 3 – лінія підкачки коліс з компресором; 4 – лінія підкачки в зовнішню шину; 5 – лінія підкачки у внутрішню камеру; 6 – внутрішня камера; 7 – чотирьохходовий кран з клапаном випуску повітря.

В залежності від встановлених даних сигнал передається через кабель 2 до чотирьохходового крана 7, далі за необхідності через лінію підкачки 3 повітря нагнітається по лініях підкачки 4 та 5 в зовнішню шину чи у внутрішню камеру. За необхідності зменшення тиску повітря стравлюється через клапан. Тиск в шинах може варіюватися в межах від 0,8 атм при роботі в полі до 2 атм на дорозі. За рахунок наявності незалежних компресорів на кожному колесі час накачки коліс становить 30–35 сек [4]. В аналогічних системах підкачки з одним компресором в системі час підкачки становить в межах 10 хв, що різко збільшує час простою транспортного засобу. Такий метод регулювання тиску у шинах дозволяє створювати більшу

площу по поверхні шини на ґрунт та збільшити тягове зусилля трактора.

Іншим цікавим рішенням є розробка безповітряної шини Ω (омега) – подібного дизайну *Pneutrac* (рис. 3). Шина ребристого профілю всередині, що дозволяє збільшити площу опору шини на 53% у порівнянні із стандартною такого ж розміру [5], забезпечує кращу ефективність тягового зчеплення з меншим просіданням, що призводить до зниження експлуатаційних витрат у порівнянні із стандартними шинами; забезпечує стабільну їзду, забезпечуючи тим самим комфорт та безпеку, без необхідності регулювати тиск у шинах.

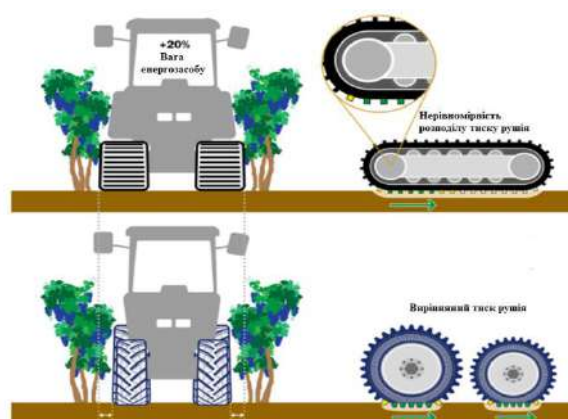


Рис. 3. Загальний вигляд та розподіл навантаження при використанні безкамерної шини *Pneutrac*

Використання рушія *Pneutrac* дає можливість зменшити вагу на 20 %, тим самим зменшивши тиск на ґрунт. При цьому також зменшується і ширина трактора у порівнянні із звичайним гусеничним. Також наводяться дані про зменшення ущільнення ґрунту на 20 %, за рахунок кращого розподілення ваги трактора. Краще зчеплення рушіїв *Pneutrac* з ґрунтом збільшує тягове зусилля на 6 %.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Проведений огляд ходових систем сільськогосподарської техніки та транспортних засобів вказує на необхідність детального вивчення їх режимів роботи та вплив на показники родючого шару ґрунту.

Виконаний аналіз гусеничних та колісних рушіїв на основі впливу на ґрунт, наразі умовно можна скласти таку класифікацію рушіїв:

- ущільнення ґрунту тракторами з двома колесами на осі, приведена маса може сягати від 8 до 10 т/м²;
- трактори з спареними колесами на осі, наведена маса може сягати від 6 до 7 т/м².
- трактори із можливістю регулювати тиск в шинах, приведена маса може сягати від 5 до 6 т/м².
- гусеничні трактори, наведена маса може сягати від 4 до 5 т/м².

Подальші наукові дослідження будуть направлені на вивчення впливу сучасних ходових систем на показники родючого шару ґрунту, показники розвитку рослин, пошуки шляхів підвищення ефективності рушіїв та мінімізації шкідливого впливу на ґрунту.

References

1. Makharoblidze, R. M., Lagvilava, I. M., Basilashvili, B. B. & Khazhomia, R. M. (2017). Theory of turn bodies of mountain tandem wheeled self-propelled chassis. *Annals of Agrarian Science*, 15 (3), 339–343.
2. Usowicz, B. & Lipiec, J. (2017). Spatial variability of soil properties and cereal yield in a cultivated field on sandy soil. *Soil and Tillage Research*, 174, 241–250.
3. Tkachenko, D. & Kolesnyk, I. (2013). *Ekspluatatsiia tekhniki z kolisnymi rushiiamy* [Exploitation of equipment with wheeled motors]. *Propozytsiia*, 10, 130–133 [in Ukrainian].
4. Fawcett, T. (2016, August 21). Understanding tyres is as important as knowing your tractor. *The Weekly Times*.
5. Innovation award for Mitas PneuTrac at EIMA fair (2014). Retrieved from <https://www.agronaplo.hu/nagyvilag/innovation-award-mitas-pneutracs-eima-fair>.
6. PneuTrac trelleborg A new generation of farm tires (2017). Retrieved from <https://www.google.com.ua/search?q=pneutracs+trellborg+A+new+generation+of+farm+tires>.

RUNNING SYSTEMS OF MODERN AGRICULTURAL MACHINERY

V. Achkevych*, S. Chuba**

e-mail: achkevychv@gmail.com,
hotabuchua@gmail.com

* National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,

Heroyiv Oborony st., 15, Kyiv - 03041, Ukraine

** National Aviation University
 Kosmonavta Komarova 1, Kyiv, Ukraine 03058

Economic efficiency in modern agriculture predetermines the use of large, heavy equipment, which, in turn, can cause compaction not only of surface soil, but also of deeper subsurface soils. The problem is gradually becoming more acute and acquiring gigantic proportions. Regardless of the type of soil – black or sandy – imperfect agrotechnologies become the cause of over-compaction.

Due to the increase in density and, consequently, the hardness of the soil, the level of vital activity of the microflora of the fertile soil layer decreases, significantly affecting crop losses by about 20–30%. In addition, because of soil re-compaction, fuel over-consumption increases by 10–

15%. It has been established that after the passage of heavy wheeled and tracked vehicles, the structure of the soil changes: the number of lumps larger than 10 mm increases by 15–20%. Such a change in structure occurs at a depth of 30–60 cm (depending on the weight of the tractor, the multiplicity of passes along one track, the type and condition of the soil). In addition, the number of particles less than 0.25 mm increases dramatically, that is, the soil is sprayed after the passage of machinery. Wheel passes of heavy machine-tractor units on the loosened and moist soil are especially unfavorable. Destroyed soil structure is not fully restored even during the year, because of which highly compacted soil degrades over time.

Intensive farming leads to an increase in the number of passes associated with the operation of machine-tractor units in the field. During the operation of the machine-tractor units, the contact interaction of the propeller with the ground occurs. During the interaction, deformation and compaction of the soil is observed, which negatively affects the change in its structure. To reduce the negative impact on the soil, it is necessary to make the right choice of undercarriage systems and their operating modes, depending on the relevant soil conditions and the layout of the machine and tractor units.

The analysis of the main trends in the development of engines of machine-tractor units, analyzed the constructive directions of development of modern suspension systems, identified the advantages and disadvantages.

Keywords: running systems, wheel systems, thrusters, machine-tractor unit, soil, tractor weight.

ХОДОВЫЕ СИСТЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

В. И. Ачкёвич*, С. В. Чуба**

e-mail: achkevychv@gmail.com,
hotabuchua@gmail.com

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

м. Киев, ул. Героев обороны, 15, 03041, Украина

**Национальный авиационный университет

м. Киев, проспект Космонавта Комарова, 1, 03058, Украина

Экономическая эффективность в современном сельском хозяйстве предопределяет использование большого, тяжелого оборудования, что, в свою очередь, может вызвать уплотнение не только поверхностных грунтов, но и более глубоких

подповерхностных почв. Проблема постепенно обостряется и приобретает гигантских масштабов. Независимо от типа почв – черноземы или песчаные – несовершенные агротехнологии становятся причиной переуплотнения.

Вследствие повышения плотности, а соответственно и твердости почвы, снижается уровень жизнедеятельности микрофлоры плодородного слоя почвы, что в значительной мере сказывается на потерях урожая примерно на 20–30%. Кроме того, в результате переуплотнения почвы, повышается перерасход горючего на 10–15%. Установлено, что после прохода тяжелых колесных и гусеничных машин меняется структура почвы: увеличивается количество комков крупнее 10 мм на 15–20%. Такое изменение структуры происходит на глубине 30–60 см (в зависимости от массы трактора, кратности проходов по одному следу, типа и состояния почвы). Кроме того, резко увеличивается число частиц менее 0,25 мм, то есть происходит распыление почвы после прохода машин. Проходы колес тяжелых машинно-тракторных агрегатов по разрыхленной и увлажненной почве особенно неблагоприятны. Разрушенная структура почвы

не восстанавливается полностью даже в течение года, в результате чего сильно уплотненный грунт со временем деградирует.

Интенсивное ведение сельского хозяйства приводит к увеличению количества проходов, связанных с работой машинно-тракторных агрегатов в поле. Во время работы машинно-тракторных агрегатов происходит контактное взаимодействие движителя с грунтом. При взаимодействии наблюдается деформирования и уплотнения почвы, что отрицательно влияет на изменение его структуры. Для уменьшения негативного воздействия на почву необходимо выполнять правильный выбор ходовых систем и их режимов работы в зависимости от соответствующих грунтовых условий и компоновки машинно-тракторных агрегатов.

Выполнен анализ основных тенденций развития двигателей машинно-тракторных агрегатов, проанализированы конструктивные направления развития современных ходовых систем, определены преимущества и недостатки.

Ключевые слова: ходовые системы, колесные системы, движители, машинно-тракторный агрегат, почва, масса трактора.

ВИМОГИ

до матеріалів, що подаються до наукового журналу
НАУКОВІ ГОРИЗОНТИ. SCIENTIFIC HORIZONS

«Наукові горизонти» є науковим фаховим виданням, що видається 12 разів на рік, в якому друкуються статті зі сільськогосподарських, ветеринарних, технічних і економічних галузей науки.

Редакційна колегія збірника приймає до друку наукові статті українською, англійською та російською мовами, що відповідають вимогам п. 3 Постанови Президії ВАК України від 15.01.2003 р. № 7-05/1 «Про підвищення вимог до фахових видань, внесених до переліків ВАК України» та Наказу МОНУ України № 32 від 15.01.2018 р. «Про затвердження Порядку формування Переліку наукових фахових видань України».

Структура статті:

1. Індекс УДК (виключка по лівому краю).
2. Назва статті повинна відповідати її змісту (не більше 12 слів), (виключка по центру, прописними літерами, напівжирним шрифтом).
3. Ініціали та прізвища авторів (виключка по центру).
4. Електронна адреса авторів (виключка по центру).
5. Повна офіційна назва та юридична адреса установи авторів (виключка по центру).
6. Анотація мовою статті (не менше 1800 знаків, включаючи ключові слова).
7. Ключові слова: 4–10 слів (словосполучень), (курсив, виключка по ширині).
8. Текст статті (вирівнювання по ширині).

Виклад основного матеріалу здійснюється у такому порядку:

- постановка проблеми;
- аналіз останніх досліджень і публікацій;
- мета, завдання та методика досліджень;
- результати досліджень;
- висновки та перспективи подальших досліджень.

9. Література (виключка по ширині).

Список використаної літератури оформляється відповідно до існуючих стандартів бібліографічного опису (ДСТУ 8302:2015). Посилання на джерела слід позначати в тексті у квадратних дужках за порядковим номером. У списку літератури мають переважати посилання на джерела останніх років. Слід уникати

посилань на власні наукові праці (не більше одного автопосилання). Не бажано використовувати інтернет-публікації, окрім наукових (джерела мають бути доступними), тези доповідей, звіти, автореферати та дисертації.

10. References (виключка по ширині).

Окремий транслітерований список використаної літератури подавати латиницею (бажано в стилі APA – American Psychological Association, (<http://www.apastyle.org/>) згідно з вимогами світових реферативних баз даних, з індексами DOI, наведеними на сайті <https://www.crossref.org>. Транслітерувати український (російський) алфавіт латиницею потрібно відповідно до постанови КМУ від 27.01.2010 № 55. Іншомовні літературні джерела наводять мовою оригіналу. Для автоматичної транслітерації можна також скористатися сайтом <http://ukrlit.org/transliteratsiia>. Приклади оформлення літературних джерел додаються.

11. Анотація англійською та російською мовами (не менше 1800 знаків, включаючи ключові слова), із зазначенням ініціалів та прізвищ авторів, назви статті, повної офіційної назви та юридичної адреси установи. Якщо стаття англійською мовою, то резюме подаються, відповідно, українською та російською мовами.

Англійський варіант статті приймається лише за умови її фахового перекладу. У разі надсилання англійського варіанту, перекладеного за допомогою інтернет-перекладачів (наприклад, Google), матеріали будуть відхилені.

Рукопис наукової фахової статті слід подавати разом з його електронною версією у форматі doc., виконаною у редакторі Microsoft Word (будь-яка версія). Обсяг статті до 12 сторінок тексту формату А4 (210x297 мм), включаючи таблиці, ілюстративний матеріал і бібліографічний список.

Параметри сторінки: орієнтація книжкова; поля – 20 мм з усіх боків. Параметри абзацу: відступ першого рядка (абзац) – 1,0 см, шрифт – гарнітура Times New Roman, розмір шрифту – 14 pt, інтервал – 1,0, вирівнювання – по ширині сторінки.

Таблиці, рисунки, графіки, формули подаються після посилання на них у тексті і мають бути пронумеровані арабськими літерами (орієнтація книжкова). Всі аббревіатури слід розшифровувати. У таблицях слова повинні бути написані повністю та вірно розставлені переноси.

Формули мають бути написані у редакторі *Equation Editor*, змінні математичні величини у тексті відповідно до формул набираються курсивом.

Рисунки та фото мають бути розташовані по центру, без обтікання текстом, спосіб заливки «Узор» у чорно-білих тонах.

Всі розмірності фізичних величин повинні подаватися відповідно до Міжнародної системи одиниць (СИ). Між одиницями виміру та символами і цифрами, до яких вони належать, ставиться пробіл.

Статті направляються до редколегії тільки в електронному вигляді. Відповідальність за достовірність змісту і наявність плагіату поданих матеріалів несуть автори. Для зручності авторів рекомендуємо у якості зразка використовувати статті, опубліковані в останньому номері збірника.

До статті додаються відомості про авторів, оформлені окремим файлом, де вказуються: прізвище, ім'я, по батькові автора; науковий ступінь, вчене звання; місце роботи, посада; адреса для листування; телефон, адреса електронної пошти (обов'язково). Назва файлів повинна відповідати прізвищу автора. Наприклад: Іванчук_Стаття, Іванчук_Відомості.

Наукові статті, що надійшли до редколегії, обов'язково проходять незалежне рецензування

провідними спеціалістами у відповідній галузі науки. У разі повернення статті на доопрацювання, автор має врахувати всі зауваження редколегії. Статті, повернуті після доопрацювання пізніше, ніж через місяць, розглядаються як нові надходження. Редколегія зберігає за собою право виправляти та редагувати текст. Рукописи, відхилені редакційною колегією, авторам не повертаються. Стаття, не рекомендована рецензентом до публікації, до повторного розгляду не приймається.

Остаточне рішення про опублікування статті приймає редколегія збірника.

Адреса редколегії:

Т. М. Тимошук

тел.: (096) 493–30–24,

e-mail: visnyk_znau@ukr.net

(сільськогосподарські,
ветеринарні і технічні науки);

Н. О. Куровська

тел.: (096) 680–02–95,

e-mail: kurovska@gmail.com

(економічні науки)

Житомирський національний
агроєкологічний університет,

бульвар Старий, 7, м. Житомир, 10008, Україна

ЗМІСТ

Е. Б. Алієв, О. С. Гаврильченко СПОСІБ ОЦІНКИ СТАНУ ОПОРНО-РУХОВОГО АПАРАТУ ВЕЛИКОЇ РОГАТОЇ ХУДОБИ.....	3
Г. А. Голуб, О. А. Марус УЗАГАЛЬНЕННЯ ВИМОГ ДО ВИРОБНИЦТВА ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ ТВАРИННИЦТВА.....	8
П. М. Забродський, С. М. Кухарець, Б. А. Шелудченко, А. А. Пінкін РОЗРОБКА РЕОЛОГІЧНОЇ МОДЕЛІ ДЕРНОВО-ПІДЗОЛИСТОГО ҐРУНТУ.....	16
Г. А. Голуб, О. А. Марус, Й. Чесна ВПЛИВ ОПОРУ ПОВІТРЯ НА РУХ ЧАСТИНКИ ПО РАДІАЛЬНІЙ ЛОПАТЦІ ОБЕРТОВОГО БАРАБАНА.....	23
Я. Д. Ярош, М. М. Кухарець, В. М. Овдіюк, В. В. Кухарець ДОСЛІДЖЕННЯ ШВИДКОСТІ ПОТОКУ ЕМУЛЬСІЇ В ЦИРКУЛЯЦІЙНИХ РЕАКТОРАХ.....	30
Г. А. Голуб, А. В. Дворник ОБҐРУНТУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ТА АГРОНОМІЧНИХ ВИМОГ ДО СМУГОВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ.....	37
О. А. Бешун, Я. О. Меланченко ФАКТОРИ ВПЛИВУ НА КОЧЕННЯ КОЛЕСА.....	45
Г. П. Водяницький, І. П. Слюсаренко, В. В. Тимків ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ РОБОТИ КОРМОРОЗДАВАЧА ЗМІШУВАЧА-ПОДРІБНЮВАЧА МЕТОДОМ МОДЕЛЮВАННЯ.....	57
В. К. Палейчук, В. Л. Куликовский, В. Н. Боровский ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБРАБОТКИ ОТХОДОВ ТРЕПАНИЯ НА КУДЕЛЕПРИГОТОВИТЕЛЬНОМ АГРЕГАТЕ.....	67
В. І. Ачкевич, С. В. Чуба АНАЛІЗ НАПРЯМКІВ РОЗВИТКУ РУШІЇВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ.....	74
Вимоги	81

CONTENT

E. Aliiev, O. Gavrilchenko METHOD FOR ESTIMATING THE STATE OF THE SUPPORT AND MOTOR APPARATUS OF CATTLE.....	3
G. Golub, O. Marus GENERALIZATION OF THE REQUIREMENT FOR PRODUCTION OF ENVIRONMENTALLY SAFE PRODUCTION OF ANIMALS.....	8
P. Zabrodskyi, S. Kukharets, B. Sheludchenko, A. Pinkin DEVELOPMENT OF A RHEOLOGICAL MODEL OF <i>SOD PODZOLIC SOIL</i>	16
G. Golub, O. Marus, J. Cesna INFLUENCE OF AIR SUPPLY ON THE ROPE OF PARTS ON THE RADIAL LOADS OF REDBURG.....	23
Y. Yarosh, M. Kukharets, V. Ovdiuk, V. Kukharets THE INVESTIGATION OF THE SPEED OF EMULSION FLOW IN CIRCULATING REACTORS.....	30
G. Golub, A. Dvornyk REFERENCE OF QUALITY AND HORNOMIC REQUIREMENTS FOR GROUNDWATER PROTECTION INDICATORS.....	37
O. Beshun, Y. Melanchenko FACTORS THE INFLUENCE ON WHEEL ROLLING	45
G. Vodyanitsky, I. Slyusarenko, V. Tymkiv JUSTIFICATION OF THE PARAMETERS AND MODES OF OPERATION OF THE FEEDER MIXER SHREDDER METHOD OF MODELING.....	57
V. Paliychuk, V. Kulykivskyi, V. Borovskyi DETERMINATION OF THE OPTIMAL PHYSICAL AND MECHANICAL PARAMETERS OF THE TREATMENT OF SCRAPPING WASTES OF THE TOW SCUTCHER FLAX UNIT.....	67
V. Achkevych, S. Chuba RUNNING SYSTEMS OF MODERN AGRICULTURAL MACHINERY.....	74
Requirements	81