

Видається з 1996 року
Засновник і видавець
Сумський
національний
аграрний університет

Реєстраційне свідоцтво
КВ № 23691-13531 Р від 21.11.2018 р.

Редакційна колегія серії

Тарельник В.Б., доктор технічних наук, професор, редактор, Сумський національний аграрний університет (Україна)

Соларьов О.О., кандидат технічних наук, доцент, заступник редактора, Сумський національний аграрний університет (Україна)

Антошевський Б., доктор технічних наук, професор, Келецький технічний університет (Польща);

Кундера Чеслав, доктор технічних наук, професор, Келецький технічний університет (Польща);

Кирик Г.В., доктор технічних наук, доцент, Сумський національний аграрний університет (Україна)

Лобода В.Б., кандидат фізико-математичних наук, професор, заступник редактора, Сумський національний аграрний університет (Україна)

Конопляченко Є.В., кандидат технічних наук, доцент, Сумський національний аграрний університет (Україна)

Довжик М.Я., кандидат технічних наук, доцент, Сумський національний аграрний університет (Україна)

Хінек Рубік, кандидат технічних наук, Чеський університет наук про життя (Чехія)

Девід Херак, кандидат технічних наук, Чеський університет наук про життя (Чехія)

Сабадаш С.М., кандидат технічних наук, доцент, Сумський національний аграрний університет (Україна)

Думанчук М.Ю., технічний редактор, Сумський національний аграрний університет (Україна)

Міністерство освіти і науки України

ВІСНИК СУМСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО АГРАРНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

Видається 4 рази на рік.

СЕРІЯ «Механізація та автоматизація виробничих процесів»

ВИПУСК 3 (37), 2019

Kundera C., Vochnia J. Tests of PTFE composite materials for sliding rings.....	3
Горовий С. О., Головченко Г. С. Гідравлічні енергетичні складові коефіцієнта корисної дії турбонасосного агрегата	9
Подригало М. А., Гецович Є. М., Артьомов М. П., Холодов М. П. Дослідження буксування ведучих коліс трактора при русі по деформованій опорній поверхні	13
Пастухов В. І., Зубко В. М. Визначення якості виконання технологічної операції відповідно до потреб рослин	19
Таценко О. В. Дослідження та моделювання залежності зміни твердості ґрунту в різних видах обробітку під цукрові буряки в умовах Сумщини	25
Барабаш Г. І., Мікуліна М. О. Залежність техніко-економічних показників використання зернозбиральних комбайнів від рівня врожайності озимої пшениці.....	31
Шандиба О. Б., Хурсенко С. М., Семерня О. В. Еколого-економічна оцінка попередженої шкоди від забруднення водою	34
Семірненко Ю. І., Семірненко С. Л. Дослідження процесу охолодження та сушки паливних брикетів	38
Ярошенко П. М. Про керованість і стійкість руху транспортного агрегату з гідрооб'ємним рульовим керуванням.....	45
Некислих К. М., Баталова А. Б. Використання підходу, базованому на вирішенні комунікативних завдань (task-based approach) для формування математичного мовного портфелю у іноземних студентів на довузівському етапі навчання	49

Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів» наукового журналу «Вісник Сумського національного аграрного університету» належить до фахових видань (наказ Міністерства освіти і науки України від 29.12.2014 р. № 1528)

Науковий журнал «Вісник Сумського національного аграрного університету» індексується в Міжнародних наукометричних базах Index Copernicus, PИHЦ

Матеріали журналу знаходяться у вільному доступі на сайті <https://snau.edu.ua>

Усі статті проходять процедуру таємного рецензування. До публікації в журналі не допускаються матеріали, якщо є достатньо підстав вважати, що вони є плагіатом.

Відповідальність за точність наведених даних і цитат покладається на авторів. Матеріали друкуються українською та англійською мовами.

У разі цитування посилання на «Вісник Сумського національного аграрного університету» обов'язкове

Друкується згідно з рішенням вченої ради Сумського національного аграрного університету (Протокол №2 від 30.09.2019 р.)

Адреса видавця та виготовлювача:
40021, м. Суми,
вул. Г. Кондратьєва, 160
Телефон: (0542)70-10-42
E-mail: visnyk.snau@gmail.com
<https://snau.edu.ua>

Тираж 300 пр.
Зам. №5

© Сумський національний аграрний університет, 2019

TESTS OF PTFE COMPOSITE MATERIALS FOR SLIDING RINGS

Czesław Kundera

Dr Sc, Professor
Kielce University of Technology, Poland
ORCID: 0000-0002-5496-5225
email kundera@tu.kielce.pl

Jerzy Bochnia

Dr Sc, Professor
Kielce University of Technology, Poland
ORCID: 0000-0001-7540-3822
email: jbochnia@tu.kielce.pl

The paper presents the conditions and the results of the research on the composite materials based on PTFE (polytetrafluorethylene) for sliding rings of the seal. The original tribological stand was applied in the experimental investigations. The test specimens in the form of rings were made of thirteen different PTFE composite materials which contained graphite, bronze and molybdenum disulfide. Frictional characteristics of changes in operating parameters of the tested sliding rings, i.e. friction moment and friction surface temperature - over time, unit pressures and liquid pressure - over time are presented.

Keywords: PTFE composites, sliding rings, face seal, boundary condition

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2019.3.1>

INTRODUCTION

Constructional elements of friction couples, for example, face seals, slide bearings, require usage of proper materials and proper selection of parameters of work, which assure appropriate lubrication condition between sliding rings. In the case of contact face seals, these conditions must ensure tightness contact between the mating surfaces and low frictional resistance at a given speed and pressure of the process liquid. These operating conditions of the seal in the papers [1, 2, 3, 4] are called the limit state or boundary state condition. Based on the well-known Stribeck curve, the state of friction between rotary and stationary rings in a face seal operating at the boundary state condition can be classified as boundary lubrication or mixed lubrication. Many researchers have investigated the frictional behaviour of face seals during previous decades, for example [3 - 10]. In experimental works [3, 5, 6, 7], the main parameter determining the working conditions of the face seal is the dimensionless duty parameter G , which is known in the theory of slide bearings. A very interesting approach to determining the operating conditions of the seal is described in papers [8, 9], where acoustic emission measurements were used to assess these conditions.

In this paper, the authors used the experimental procedure to determine the operating conditions of sealing rings described in previous works [10, 11]. Experiments are carried out with appropriate measurement equipment, which emulates working conditions of the face seal. The tests described in this paper has been carried out on the original stand [11], which is able to measure moments of friction, unit pressures between the rings, temperature of non-rotating sliding ring at the sealing surface, working pressure of the process liquid, and smoothly adjusted rotational speed of the shaft. Therefore, the stand allows to carry out research in the scope of selection of appropriate materials designed for sliding mechanical seals.

CONDITIONS OF THE TESTS

Experimental research was carried out on the testing stand that models real conditions of work of face seals. The testing enables:

- easy exchange of sealing rings (samples);
 - fluent regulation of rings load and rotational speeds;
 - measurement of temperature in crevice (at friction surface) and in sealed chamber;
 - measurement of force (moment) of friction.
- Furthermore, the stand has visible (accessible) working zone, which is essential to carry out tests and determine minimum unit pressures. The device for investigations of mechanical seals - SUM-1 is introduced on Fig. 1.

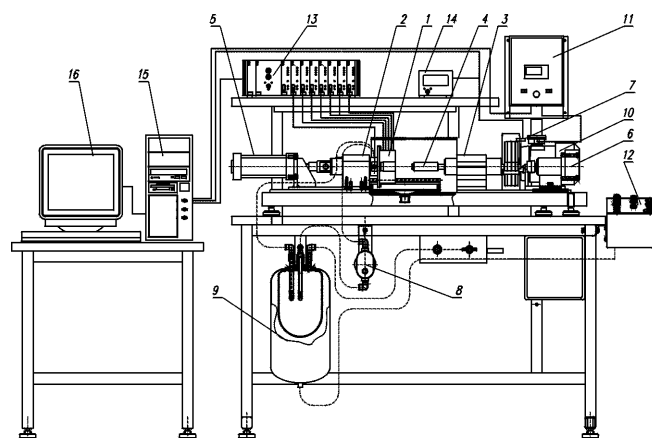


Fig. 1. The mechanical sealing device – SUM-1[11].

- 1 – measuring head, 2 – pressurizing head, 3 – driving spindle,
- 4 – shaft, 5 – hydraulic cylinder, 6 – buffer system, 7 – speed indicator,
- 8 – circulation pump, 9 – membrane wessel, 10 – electric motor,
- 11 – inverter, 12 – control desk, 13 – amplifier, 14 – tachometer,
- 15 – computer, 16 – monitor.

The device SUM-1 consists of the following main sub-assemblies and systems:

- testing head as sub-assembly that consist of pressurizing head and measuring head,
- spindle together with driving system,
- system of working liquid (system feeding seal in liquid),

- system loading the seal with axial force,
- block (system) of measuring,
- block (system) of regulation,
- pneumatic installation.

The part of testing device SUM-1 presented testing head is introduced on Fig. 2.

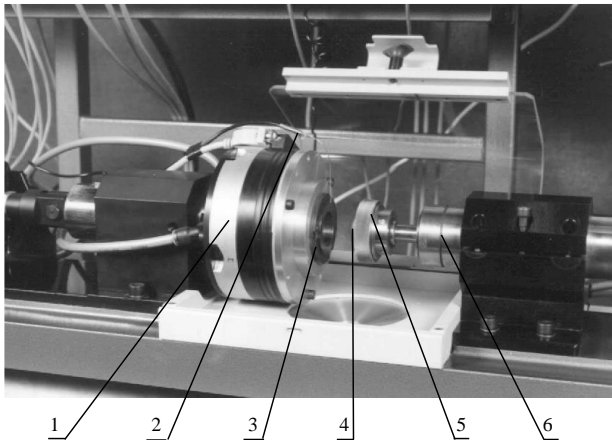


Fig.2. Side-head zone of testing device SUM-1:
 1 – measure side-head, 2 – temperature-sensitive element,
 3 – seat seal ring, 4 – rotational seal ring, 5 – casing rotational ring,
 6 – spindle.

The testing head assures:

- clamping the sealing face model,
- presetting work parameters (unit pressures – p_j , medium pressure – p_c),
- measurement of work conditions: values of sliding rings load – F , moment of friction – M_t , temperatures at surface of friction of solid ring – T .

Scheme of the face sealing and the parameters operating condition were presented in the Fig. 3.

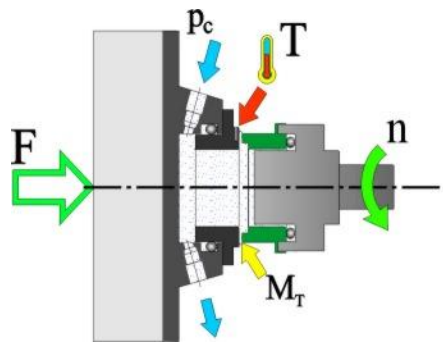


Fig. 3. Scheme of the measuring head and the model of the face seal.

Input parameters of work (input – factors) are preset through the pressurizing head. Pressurizing head can move along axis, so that one can install and uninstall sealing rings, and

assure maintenance of given values of load during the work. In the vicinity of disk of the pressurizing head - meaning in the vicinity of non-rotational ring there is installed a sensor of medium pressure. The measuring head is attached to the disc of pressurizing head. The non-rotational ring of the tested face seal is installed in the seat of the measuring head. The head enables measurements of the output factors. Moment of friction and the rings load are measured by the means of extensometer sensors. The rings load is a preset value and it is a variable in formulas for calculation of unit pressures. Measurement of the temperatures in the vicinity of sealed surface is done with a thermocouple sensor introduced in the hole in non-rotational ring.

MATCHING THE RANGE OF ADMISSIBLE UNIT PRESSURES

One of the basic characterizations of a given set of materials for sealing rings is the dependence of the admissible unit pressures (or sealing rings load) on sealed medium pressure and rotational speed of shaft (or relative sliding speed) $p_j = f(p, v)$. Values of the admissible unit pressures correspond to so-called boundary state condition of the face seal [1, 4]:

- the minimum unit pressure p_{jmin} corresponds to a zero leakage condition i.e. condition in which intensity of leaking is equal to rate of medium evaporation from the friction zone - so-called lower border-state;

- the maximum unit pressure p_{jmax} corresponds to the condition of maximum (critical) temperature for given set of materials, which exceeding ends up with "catastrophic" waste of sealing rings (in general the ring made of smaller hardness material) – so-called. upper border-state.

Exploitation of the sealing with minimum unit pressures may cause a sudden "opening" of the crevice and loss of tightness, while maximum pressures may cause quick waste and shortening the period of work i.e. lowering the persistence sealing. The minimum unit pressure, corresponding to maximum tightness is a state of equilibrium of powers, which one can call a state of "temporary" equilibrium. Even little external disturbances appearing during exploitation of the sealing may cause "knock:" the system out of that state and lead to leakage. Protection from this unprofitable (undesirable) state can be applying unit pressures that imperceptibly exceed the minimum values. Protection from the maximum (upper) values of the unit pressures is maintenance of work parameters at temperature smaller than the critical.

On the stand SUM-1 (Fig. 1) where carried out tests in boundary state condition of sliding rings of face sealing model made of the following materials: non-rotational ring (contra-specimen) – steel NC10 heat treated to hardness 60 HRC and rotational ring – PTFE composite materials. Water was used as the process liquid.

The tests were run on thirteen samples made of composite materials PTFE which contained bronze, graphite and molybdenum disulfide. The compositions of each composite is presented in table 1.

Table 1. Composition of the composite materials PTFE.

Sample number	Bronze %	Graphite %	MoS ₂ %	PTFE %
PTFE1	4,5	2,7	0,8	92
PTFE2	36,5	2,7	0,8	60
PTFE3	4,5	18	0,8	76,7
PTFE4	36,5	18	0,8	44,7
PTFE5	4,5	2,7	3,7	89,1
PTFE6	36,5	2,7	3,7	57,1
PTFE7	4,5	18	3,7	73,8
PTFE8	36,5	18	3,7	41,8
PTFE9	21	10,5	2,2	66,3
PTFE10	40	10,5	2,2	47,3
PTFE11	21	1	2,2	75,8
PTFE12	21	10,5	0,5	68
PTFE13	21	10,5	4	64,5

The sliding rings applied in the experiment were 43 mm in outer diameter and 37 mm in inner diameter. The stationary sliding ring was mounted in a clamping head. The surface of the stationary ring was polished in several stages - the last polish was finished with 1200 grain sanding paper to obtain a smooth (mirror) surface. The surfaces of the rotational sliding rings were polished in several stages as well. Additionally, after the last polish finished with 1200 grain sanding paper, the rings were grinded on a special cast-iron shield.

After fastening the rings in the measuring head and spindle, one gradually enlarged the load, rotational speed and pressure of the working liquid up to the values assumed in the experiment. The value of the load was regulated so that there was no leakage (too little load) so that there was no temperature increment at surface of friction and moment of friction (too large load). This way of regulation allowed to hold the conditions of bottom border-state of work of the sealing rings. After a certain time - from several to tens of minutes (depending on kind of preset parameters) conditions of work were becoming stable. A computer program registered whole process.

The tests were carried out for the following values of pre-set parameters:

- for rotational speed $n = 3000$ r.p.m. pressure of working liquid (sealed) was equal to $p_c = 1,5$ — 2 — 2,5 — 3 — 3,5 — 4 bar;

- for pressure of the working liquid $p_c = 3$ bar the rotational speed was equal to $n = 2000$ — 3000 — 4000 — 5000 — 6000 r.p.m.

Measured output parameters are: temperature at surface of friction T , moment of friction M_t , and rings load F_g (program after processing the data converts load into unit pressures p_j).

Each of tests lasted about one hour.

Exemplary results were introduced on graphs 4, 5, in coordinates - measured output parameter – time. The temperature of work at surface of friction was stable during the process attaining values of –at the beginning of test about 26°C, and at the latter part of test about 33°C. The biggest values of temperature of work – up to 39°C were recorded for rotational speeds 5000 and 6000 r.p.m.. On the basis of data from the experiment in a stable state (it was assumed, that final 15 minutes of test sufficiently characterizes stable parameters of work) average values of measured quantities were calculated.

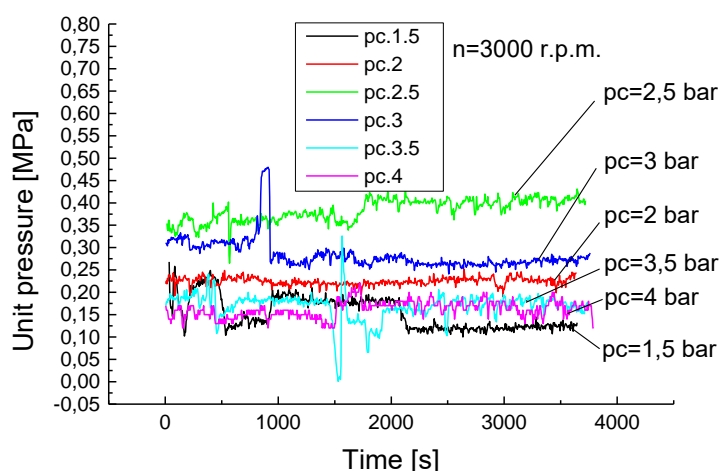


Fig. 4. Change of unit pressure at time for rotational speed $n=3000$ r.p.m. and different values of medium pressure (sealing rings: steel NC10 – composite PTFE3).

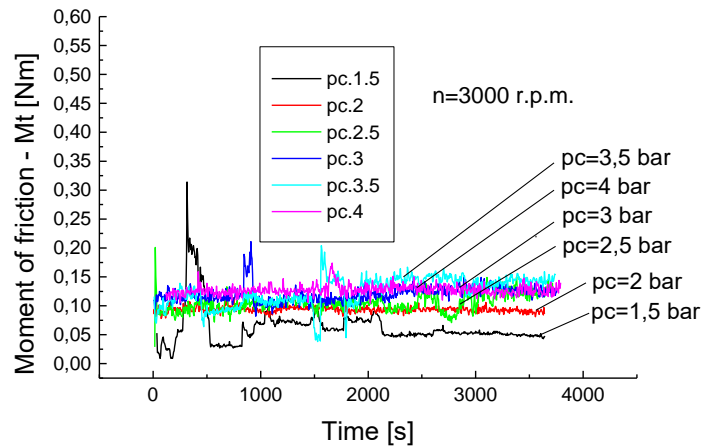


Fig. 5 Change of moment of friction at time for rotational speed $n=3000$ r.p.m. and different values of medium pressure (sealing rings: steel NC10 – composite PTFE3).

After observing the runs (Fig. 4, 5) it was found that stabilization of majority of running parameters follows after about half an hour i.e. more-less at half of assumed cycle. It was assumed that bottom border-state would be characterized by parameters obtained in steady-state conditions. For statistical analysis the experimental data was taken from the last 15 minutes of run.

FINDINGS OF THE RESEARCH ON COMPOSITE MATERIALS

This paper presents results of the tests of the sliding rings made of composites PTFE in the conditions of the lower border state. It was assumed:

- constant rotational speed of the shaft $n = 3000$ r/min
- constant liquid pressure $pc = 1,5$ bar.
- values measured involved the load – F_g , moment of friction M_t , and the temperature at the surface of friction of the stationary ring.

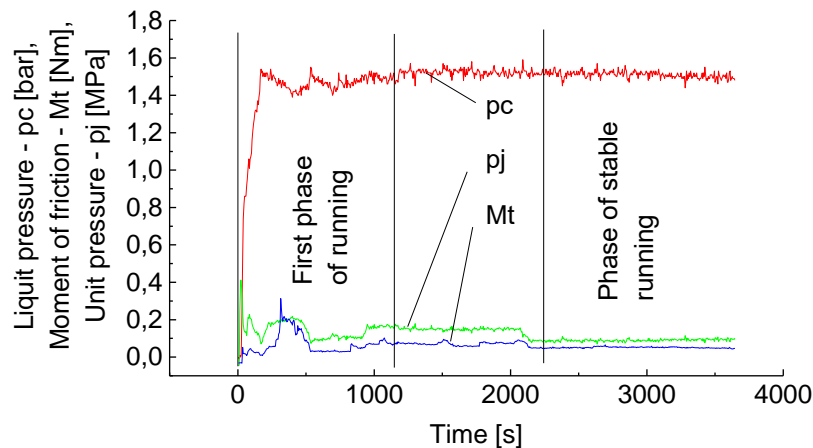


Fig. 6. Change of the operating parameters – pc , M_t , p_j for sliding rings NC10-PTFE 3 (B4,5G18SMS0,8)

Figure 6 presents exemplary charts of changes of the moment of friction – M_t , unit pressures – p_i , and pressure of the process liquid – pc , for sliding rings NC10 – PTFE 3 (composition according to the table 1.) It is possible to notice the initial phase of the process where there are fluctuations of the moment of friction and unit pressures. The fluctuations result from adjustment of the load – F_g , and the pressure of the process liquid, carried out to arrive at lower border state. After a certain time – usually

a few or few dozens of minutes (in the figure about 2200 s) – the parameters of work stabilize. The parameters measured in this phase of the process are used in further analysis.

The similar tests were run on thirteen samples made of PTFE composite materials presented in table 1. From the charts obtained for each composite material, values of the operating parameters (in the state of stable running) were read, and presented in the table 2.

Table 2. Operating parameters - working load F_g , moment of friction M_t , operating temperature T - of the sliding rings for stabilization low border condition for different composite materials PTFE.

PTFE	F_g [N]	M_t [Nm]	T [°C]
1	354	0,08	28
2	320	0,09	32
3	240	0,05	28
4	257	0,04	28
5	354	0,08	32
6	271	0,06	33
7	249	0,05	33
8	369	0,1	30
9	286	0,07	31
10	274	0,07	31
11	245	0,06	33
12	251	0,05	29
13	308	0,06	30

The chart of moments of friction in stable conditions for each composite was presented in the Fig. 7.

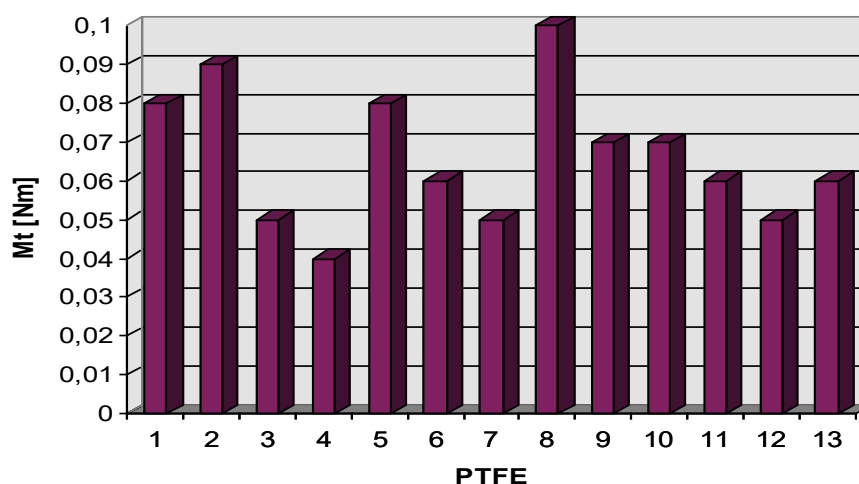


Fig. 7. Values of the moment of friction M_t of the sliding rings for stabilization low border condition for different composite materials PTFE.

Within the spec of the tests there are no great differences of the temperature, which varies in the range from 28 C to 33 C and is stable. The greatest loads on the sliding rings occurred with composites PTFE1, PTFE5 and PTFE8. The first two contain the smallest amount of components and obviously the greatest amount of clear PTFE i.e. 92% and 89,1%, and PTFE8 contain the greatest amount of components – thus the smallest amount of clear PTFE from the thirteen tested samples. This fact confirms the validity of the assumed border amounts of components. Greater amounts of components may negatively influence the operating parameters – particularly the load. The best effects were obtained with the materials containing 18% of graphite excluding previously mentioned PTFE8. Generally presence of graphite positively influenced on operating parameters of the sliding rings, particularly PTFE3, PTFE4 and PTFE7. Graphite particles, which are the products of wear, create a frictional film, which stabilizes the work of the sealing.

CONCLUSION

Introduced in this paper way of testing sliding rings along with testing stand can be useful to estimate materials for sliding elements of mechanical seals, and qualification of their running parameters, especially in bottom border-state.

From the carried out tests it turns out, that changing such parameters as pressure of sealed liquid or rotational speed demands – in order to assure tightness – suitable change of rings load, and what follows, also change of unit pressures

Tests of models of the face seals carried out on the stand SUM-1 allowed to identify operational parameters of respective sliding couplings in the conditions of the lower border state. From the findings presented above, it results that non-active components significantly influence on operating parameters of the sliding rings – particularly the load. This piece of information allows for selection of the materials accordingly to assumed criteria – for example unit pressures or minimal moment of friction.

It was found that non-active components applied for mod-

ification of the PTFE improve its properties in respect of usefulness in application for sliding rings. However, the composition of the composite should be properly matched for the given operational parameters.

REFERENCES

1. Kundera Cz., Rudol F., Boundary state of a sliding ring seal. Zagadnienia Eksploatacji Maszyn, Z. 1-2 (69-70), 1987, ss. 75-90. (in polish)
2. Matecki K., Bochnia J., Kundera Cz., Method of testing work parameters of sealing rings. 10-th International Conference HERVICON-2002, Tom 1, Sumy State 2002, pp 216-233.
3. Vizjak A., Vizintin J., Experimental study on the relationship between lubrication regime and performance of mechanical seals. Lubrication Engineering, No.1, pp.17-22, 2001.
4. Kundera Cz., Seals of rotating systems. Monograph M53, Kielce University of Technology, 2013, p. 285. (in polish)
5. Tarelnyk V., Konoplianchenko I., Martsynkovskyy V., Zhukov A., Kurp P. (2019) Comparative tribological tests for face impulse seals sliding surfaces formed by various methods. In: Ivanov V. et al. (eds) Advances in Design, Simulation and Manufacturing. DSMIE 2018, Springer.
6. Antoszewski B., Tarelnyk V., Laser texturing of sliding surfaces of bearings and pump seals, Applied Mechanics and Materials, Vol. 630, pp. 301-307, 2014.
7. Brunetiere N., The lubrication regimes of mechanical face seals. Applied Mechanics and Materials, Vol. 630, 2014, pp 255-266.
8. Towsyfyhan, Hossein, Wei, Nasha, Gu, Fengshou and Ball, Andrew, Identification of lubrication Regimes in Mechanical Seals using Acoustic Emission for Condition Monitoring. In: The 54th Annual Conference of The British Institute of NonDestructive Testing BINDT 2015.
9. Reddyhoff T, Dwyer-Joyce R, Harper P, 2006, Ultrasonic measurement of film thickness in mechanical seals, Technology, Vol: 2006.
10. Kundera Cz., Bochnia J. Tests of materials for sealing rings of mechanical seals. Proc. New Ways in Manufacturing Engineering, 17 – 18 June 2004, Prešov, Slovak Republic.
11. Bochnia J., Matecki K.: SUM-1 stand for testing mechanical face seals Problemy Eksploatacji, 4/1999, str. 275-283. (in polish)

Чеслав Кундера, Келецький технічний університет, Польща

Ежи Бохня, Келецький технічний університет, Польща

Випробування композитних матеріалів з ПТФЕ для запірних кілець

У статті представлені умови та результати досліджень композиційних матеріалів на основі ПТФЕ (політетрафторетилен) для запірних кілець ущільнення. В експериментальних дослідженнях було застосовано оригінальний трибологічний стенд. Зразки для випробувань у формі кілець були виготовлені з тринадцяти різних композиційних матеріалів з ПТФЕ, які містили графіт, бронзу і дисульфід молібдену. Представлені фрикційні характеристики змін робочих параметрів випробовуваних запірних кілець, тобто моменту тертя і температури поверхні тертя - в часі, питомих тисків і тиску рідини - в часі.

Ключові слова: композити ПТФЕ, запірні кільця, торцеве ущільнення, гранична умова.

Дата надходження до редакції: 19.06.2019

ГІДРАВЛІЧНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ СКЛАДОВІ КОЕФІЦІЄНТА КОРИСНОЇ ДІЇ ТУРБОНАСОСНОГО АГРЕГАТА

Горовий Сергій Олександрович

доцент

Сумський національний аграрний університет

ORCID: 0000-0003-4136-5965

email gorovyj64@gmail.com

Головченко Галина Степанівна

старший викладач

Сумський національний аграрний університет

ORCID: 0000-0003-3662-6163

email golgalstep@gmail.com

Турбонасосні агрегати (ТНА) пластової рідини проектується як енергетичні машини з внутрішнім гідроприводом у вигляді багатоступінчатої турбіни та насосної частини з потужною системою авторозвантаження вісьової сили. При цьому економічна доцільність їх використання потребує досягнення високого коефіцієнта корисної дії (к.к.д.), головна складова якого створюється максимально можливим зовнішнім об'ємним к.к.д. за рахунок проектування статично стійкої системи вісьового авторозвантаження з мінімально можливими витоками робочої рідини. Свій енергетичний внесок в значення загального к.к.д. дає як насосна, так і турбінна частини агрегата ТНА. Розрахунок загального к.к.д. ТНА доцільно вести методом послідовних наближень з виконанням необхідної умови балансу потужностей турбінної та насосної частин з урахуванням зовнішніх втрат енергії.

Ключові слова. Турбонасосний агрегат, відцентровий насос, ротор насоса, шпаринне ущільнення, виток рідини, тиск рідини, напор рідини, гідродинамічні сили.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2019.3.2>

Постановка проблеми у загальному вигляді. Гідроприводні турбонасосні агрегати (ТНА) досить широко застосовуються в різних технологічних процесах, а саме там, де потрібні малі діаметральні габарити та можливість саморегулювання. При цьому в кожному випадку враховуються свої специфічні вимоги до конструктивних параметрів ТНА та на використання деяких матеріалів для робочих органів проточної частини агрегатів, незмінним залишається лише загальний фізичний підхід, коли обертальний момент, створюваний турбінним блоком ТНА, є приводним для насосної частини, яка виконує корисну роботу відповідну до місця застосування установки. Економічна доцільність використання ТНА потребує досягнення ним значного коефіцієнта корисної дії (к.к.д.).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. ТНА пластової рідини мають свої специфічні властивості, виходячи з умов експлуатації в гідравлічній мережі системи підтримання пластового тиску [1].

По перше, ці агрегати виконуються обмеженого зовнішнього діаметру, виходячи з внутрішніх розмірів обсадних труб водоївної скважини; по друге, вони повинні створювати значні гідравлічні напори для підняття рідини на поверхню та транспортування по мережі труб до накопичувального резервуара. Вказані особливості потребують створення багатоступінчатих ТНА з потужною системою гідравлічного авторозвантаження значної вісьової сили в середині агрегата.

Транспортування рідини до місця споживання супроводжується втратами енергії рідини, які зумовлені як внутрішніми, так і зовнішніми чинники цього процесу. Значну частину цих втрат складають зовнішні механічні втрати. Методи визначення цих втрат докладно викладені в роботах [2,3]. Слід лише зауважити, що ці втрати пропорційні третьому ступеню частоти обертання ротора ТНА, отже, врахову-

ючи вельми значні частоти обертання, а це п'ять – десять тисяч обертів на хвилину, можуть сягати десятків кіловат.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Гідроприводні турбонасосні агрегати (ТНА) пластової рідини внаслідок особливостей їх робочого процесу проектується як багатоступінчаті гідравлічні машини (до десяти насосних ступеней та до десяти – дванадцяти турбінних ступеней) з потужною системою авторозвантаження значної (до десятків тисяч ньютонів) вісьової сили всередині агрегата. При цьому економічна доцільність їх використання потребує досягнення високого к.к.д., головна складова якого створюється максимально можливим зовнішнім об'ємним к.к.д. за рахунок проектування статично стійкої системи вісьового авторозвантаження з мінімально можливими витоками робочої рідини. Розрахунок загального к.к.д. ТНА доцільно вести методом послідовних наближень з виконанням необхідної умови балансу потужностей турбінної та насосної частин з урахуванням зовнішніх втрат енергії.

Виклад основного матеріалу дослідження. Якщо умовно розділити всі витрати енергії в ТНА на внутрішні та зовнішні, то загальний к.к.д. можна отримати у вигляді формули:

$$\eta_{ТНА} = \eta_{ТНА}^{внутр.} \cdot \eta_{ТНА}^{зовн.} \quad (1)$$

До внутрішніх втрат енергії потрібно віднести всі гідравлічні витрати в окремій дільниці насоса чи турбіни, при цьому к.к.д. однієї дільниці при умові використання швидкісного напору в наступній.

Зовнішні витрати енергії поділяються на гідравлічні, об'ємні та механічні.

Зовнішні гідравлічні - це втрати енергії (тиску) в підводі та у відводі насосної частини ТНА, підводі та у відводі турбінної частини, а також так звані втрати з вихідною швид-

кістю з останньої ділянки турбіни. Ці види витрат дуже залежать від геометричної конфігурації проточної частини ТНА, тому їх обчислюють для конкретної конфігурації агрегату. При значних тисках багатоступінчатих ТНА відносна доля цих витрат незначна, тому можна ними нехтувати.

Зовнішні об'ємні витрати враховують витоки рідини в насосній та турбінній частинах ТНА в місця з меншим тиском. Для агрегатів пластової рідини в насосній частині ці втрати практично відсутні, а в турбінній частині вони дуже суттєві, бо це є виток рідини через пристрій вісьового розвантажування; цей виток може сягати 10...20 % від загального витoku крізь гідравлічний тракт турбіни.

Зовнішні механічні втрати - це втрати потужності на тертя в підшипникових опорах та втрати на дискове тертя всіх внутрішніх частин ТНА, які обертаються в рідині, окрім робочих колес.

Оскільки головний внесок в склад витрат енергії в ТНА вносять зовнішні об'ємні витрати, які зумовлені витокom крізь дроселі пристрою авторозвантаження, котрий, в свою чергу, є наслідком дії невірноваженої вісьової сили, потрібно більш детально розглянути процес визначення вісьової сили.

Для ТНА пластової рідини обмеження за діаметральними габаритами не дають можливості застосувати в якості автоматичного розвантажувального пристрою традиційну гідравлічну п'яту. В той же час величина вісьового зусилля, що діє на ротор ТНА в робочому діапазоні витоків-тисків, може сягати десятків тисяч ньютонів (тонн сили). Тому для ефективного розвантаження вісьової сили використовується „обернена” гідроп'ята, в якій циліндричний дросель виконаний на більшому діаметрі, ніж торцевий дросель пристрою авторозвантаження.

$$T_{T1} = \int_{r_k}^{r_n} P \cdot 2\pi r \cdot dr = \pi \cdot (r_n^2 - r_k^2) \cdot$$

де: r_k - радіус кореня лопатки турбоколеса;

r_n - радіус периферії турбоколеса.

Складова вісьової сили, яка діє на безлопатевої тильний бік турбоколеса, може бути визначена з припущення, що рідина після міжступінного ущільнення в зазорі між нерухомою частиною та ступицею колеса обертається за законом

твердого тіла з кутовою швидкістю $u_p = \frac{u}{2}$.

$$T_{T2} = \int_{r_{cm}}^{r_k} P_D \cdot 2\pi r \cdot dr = \pi \cdot (r_k^2 - r_{cm}^2) \cdot \left(P_k + \frac{\rho u^2}{8} \cdot \left(1 - \frac{r_k^2 - r_{cm}^2}{2r_k^2} \right) \right)$$

де: P_k - обчислюється за формулою (3).

Складова вісьової сили від дії тиску на ступицю турбоколеса обчислюється таким чином:

$$T_{T3} = P_{cm} \cdot \pi \cdot (r_{cm}^2 - r_{вала}^2), \quad (7)$$

де: P_{cm} - перепад тиску на турбоколесі;

В насосній частині ТНА ця сила може бути досить точно визначена за методикою роботи [4]. Спрямована вісьова сила (Тн) в бік входу рідини в насосний агрегат.

В турбінній частині вісьова сила за напрямом співпадає з насосною; величина її може бути обчислена виходячи з припущення, що рідина перед робочим колесом вісьової турбіни рухається за законом: $G_u \cdot r = const$, тобто зі сталим моментом тангенціальної складової швидкості, а також зі сталою складовою швидкості $G_z = const$, якою зумовлюється загальний виток робочої рідини крізь турбіну. Нехтуючи статичним розподілом тисків, маємо:

$$\frac{P}{\rho q} + \frac{g^2}{2q} = \frac{P_c}{\rho q} + \frac{g_0^2}{2q}, \quad (2)$$

де: P та G - тиск та швидкість на довільному радіусі;

P_c та G_c - тиск та швидкість на середньому радіусі турбінної ступені.

Враховуючи з трикутника швидкостей, що:

$$g^2 = g_z^2 + g_u^2 \text{ та}$$

$G_z = const$, отримуємо вираз для тиску:

$$P = P_c + \frac{\rho}{2} \cdot g_{uc}^2 \cdot \left(1 - \frac{r_c^2}{r^2} \right), \quad (3)$$

Складова вісьової сили, що діє на тильний бік лопатевої решітки турбоколеса обчислюється за формулою:

$$\left(P_c + \frac{\rho g_{uc}^2}{2} \cdot \left(1 - \frac{2r_c^2 \cdot \ln\left(\frac{r_n}{r_k}\right)}{r_n^2 - r_k^2} \right) \right), \quad (4)$$

В цьому випадку маємо параболічний закон розподілу тиску по радіусу [4].

$$P_D = P_k - \frac{\rho \cdot u^2}{8} \cdot \left[1 - \left(\frac{r}{r_k} \right)^2 \right], \quad (5)$$

де: „к” - індекс змінного радіуса..

Вісьова сила, зумовлена тиском P_D (дисковим тиском), обчислюється за формулою:

$$T_{T2} = \int_{r_{cm}}^{r_k} P_D \cdot 2\pi r \cdot dr = \pi \cdot (r_k^2 - r_{cm}^2) \cdot \left(P_k + \frac{\rho u^2}{8} \cdot \left(1 - \frac{r_k^2 - r_{cm}^2}{2r_k^2} \right) \right)$$

$r_{вала}$ - радіус вала турбіни.

Загальна вісьова сила турбінної частини ТНА дорівнює:

$$T_T = (T_{T1} + T_{T2} + T_{T3}) \cdot Z, \quad (8)$$

де: Z - кількість ступенів турбіни (турбоколес).

Загальна вісьова сила ТНА:

$$T = T_H + T_T \quad (9)$$

Ця вісьова сила врівноважується, як вже згадувалося вище, „оберненою” гідроп’яти за рахунок різниці тисків на торцеві кільцеві поверхні до- та після- циліндричного дроселя гідроп’яти, а також на кільцеву поверхню змінного торцевого дроселя та в заторцевому просторі. Оскільки величина витоку крізь торцевий дросель зумовлює зовнішні об’ємні витрати, потрібно провести статичний розрахунок системи вісьового розвантажування ротора ТНА.

Статичний розрахунок зводиться до визначення статичної характеристики „оберненої” гідроп’яти - залежності безрозмірного торцевого зазору u від величини вісьової сили T . Ця залежність знаходиться з умови вісьової врівноваженості ротора ТНА:

$$T = F, \quad (10)$$

$$F = F_1 \cdot P_1 - (0,5 \cdot F_3 + F_4) \cdot P_3 - (F_2 + 0,5 \cdot F_3) P_2, \quad (11)$$

де: F - сумарна сила, яка діє на торцеві кільцеві поверхні „оберненої” гідроп’яти;

F_1 - кільцева площа на вході в гідроп’яту (між валом ТНА та зовнішнім діаметром гідроп’яти);

F_2 - кільцева площа за циліндричним дроселем до торцевого дроселя;

F_3 - кільцева площа торцевого дроселя;

F_4 - кільцева площа за торцевим дроселем (між валом ТНА та нижнім діаметром гідроп’яти);

P_1, P_2, P_3 - тиски перед п’ятою, між дроселями п’яти та за п’ятою торцевого дроселя.

Методика побудови статичної характеристики прямої гідроп’яти докладно викладена в роботі [3]. Принципова різниця для „оберненої” гідроп’яти відсутня, лише потрібно враховувати, що напрям течії рідини в „оберненій” гідроп’яті відбувається в торцевому дроселі від периферії до центру.

Безрозмірний торцевий зазор $u = \frac{x}{x_\delta}$ (відношення робо-

чого зазору x до базової величини x_δ) може бути отриманий як складна функція декількох параметрів: вісьової сили, тисків до- та після п’яти, кільцевих площ п’яти та проводимостей дроселів п’яти.

Рівняння балансу витоків крізь дроселі п’яти має вигляд:

$$q_1 \cdot (P_1 - P_2)^{0,5} = q_2 \cdot (P_2 - P_3)^{0,5}, \quad (12)$$

$$\chi = \frac{\partial F}{\partial u} = 3 \cdot (P_1 - P_3) \cdot \alpha_{21} \cdot u^2 \cdot \frac{(F_1 - F_m)}{(1 + \alpha_{21} \cdot u^3)^2} > 0 \quad (21)$$

Додатність виразу (21) є свідомством статичної стійкості системи.

Різниця тисків ($P_1 - P_3$) для ТНА пластової рідини може бути обчислена як тиск, котрий спрацьовується на турбіні:

$$(P_1 - P_3) = \rho \cdot q \cdot H_m.$$

Зовнішній виток крізь „обернену” гідроп’яту пропорційний квадратному кореню з перепаду тисків на гідроп’яті:

$$g_m \sim \sqrt{(P_1 - P_3)}, \text{ або: } g_m \sim \sqrt{\rho q H_m} \quad (22)$$

де: q_1 та q_2 - проводимості циліндричного та торцевого дроселів п’яти, які є параметрами геометричних розмірів дроселів та безрозмірного торцевого зазору.

Звідси отримуємо вираз для тиску P_2 між дроселями:

$$P_2 = \frac{q_1^2 \cdot P_1 + q_2^2 \cdot P_3}{q_1^2 + q_2^2} \quad (13)$$

Маючи вираз для проводимості q_2 через базову проводимість $q_{2\delta}$, а саме:

$$q_2 = q_{2\delta} \cdot u^{3/2}, \quad (14)$$

та вводячи коефіцієнт проводимості:

$$\alpha_{21} = \frac{q_{2\delta}^2}{q_1^2}, \quad (15)$$

приводимо рівняння (13) до вигляду:

$$P_2 = \frac{P_1 + \alpha_{21} \cdot u^3 \cdot P_3}{1 + \alpha_{21} \cdot u^3} \quad (16)$$

Використовуючи останню формулу (16) для P_2 та співвідношення площ „оберненої” п’яти:

$$F_1 - F_2 - 0,5 \cdot F_3 = 0,5 \cdot F_3 + F_4 = F_m \quad (17)$$

З формули (13) отримуємо вираз:

$$F = (P_1 - P_3) \cdot \frac{(F_m + F_1 \cdot \alpha_{21} \cdot u^3)}{(1 + \alpha_{21} \cdot u^3)} \quad (18)$$

Після підстановки формули (18) в формулу (10) отримуємо вираз для безрозмірного зазору u як функції вісьової сили T :

$$u = \left[\frac{1}{\alpha_{12}} \cdot \frac{(T - F_m \cdot (P_1 - P_3))}{(F_1 \cdot (P_1 - P_3) - T)} \right]^{1/3} \quad (19)$$

Робочий діапазон системи авторозвантаження зумовлюється вимогою:

$$u > 0.$$

З формули (19) очевидно витікає висновок, що ця умова виконується, коли:

$$F_m \cdot (P_1 - P_3) < T < F_1 \cdot (P_1 - P_3) \quad (20)$$

Гідростатична жорсткість системи авторозвантаження знаходиться таким чином:

З урахуванням формули (16) маємо:

$$g_m = q_1 \cdot \left(\frac{\alpha_{21} \cdot u^3 \cdot \rho q H_m}{1 + \alpha_{21} \cdot u^3} \right) \quad (23)$$

Тоді зовнішній об’ємний к.к.д. дорівнює:

$$\eta_{ТНА}^{зovн.} = 1 - \frac{g_m}{Q_m}, \quad (24)$$

де: Q_m - загальний виток рідини крізь турбіну.

Висновки з даного дослідження. Таким чином, загальний коефіцієнт корисної дії ТНА може бути отриманий розрахунковим шляхом, як функція зовнішнього об'ємного коефіцієнта корисної дії. Розрахунок зовнішнього об'ємного коефіцієнта корисної дії базується на визначенні величини вісьової сили та зумовленим наявністю цієї сили виток

рідини в системі авторозвантаження. Система авторозвантаження вісьових сил відповідає конструктивній схемі „оберненої” гідравлічної п'яти. Розрахунок загального коефіцієнта корисної дії доцільно вести шляхом послідовних наближень з використанням відомих характеристик робочих ступеней насосної та турбінної частин ТНА.

Список використаної літератури:

1. Евтушенко А.А. Скважинная гидродинамическая установка для пластовых вод /М.И. Кравцов, И.Б. Твердохлеб - Труды 8-ой Международной научно-технической конференции. «Насосы - 96» - Т.1- Сумы: ИПП „Мрія” ЛТД, 1996. - с. 77 - 86.
2. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. / Г. Шлихтинг - М.: ИИЛ, 1969.- 744 с.
3. Марцинковский В.А. Насосы атомных электростанций. / В.А. Марцинковский, П.Н. Ворона - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 256 с.
4. Ломакин А.А. Центробежные и осевые насосы. / А.А. Ломакин - М.: Машиностроение, 1966.- 364 с.

Gorovoy S.A., Sumy National Agrarian University, Ukraine

Golovchenko G.S. Sumy National Agrarian University, Ukraine

Hydraulic energy components of the coefficient the useful action of the turbo pump

Turbo-pumping units (TNA) of reservoir fluid are designed as power machines with internal hydraulic drive in the form of a multistage turbine and pumping part with a powerful axial force unloading system. In this case, the economic feasibility of using them requires the achievement of a high efficiency (efficiency), the main component of which is created by the maximum possible external volumetric efficiency. due to the design of a static stable axial unloading system with the least possible leakage of the working fluid. Its energy contribution to the value of total efficiency gives both pumping and turbine parts of the TNA unit. Calculation of total efficiency is advisable to carry out the TNA method by successive approximations with the fulfillment of the necessary condition for balancing the capacities of the turbine and pump parts, taking into account the external energy losses.

Keywords. Turbopump aggregate, chempump, rotor of pump, gap seal, coil of liquid, pressure of liquid, hydrodynamic forces.

Дата надходження до редакції: 13.07.2019

ДОСЛІДЖЕННЯ БУКСУВАННЯ ВЕДУЧИХ КОЛІС ТРАКТОРА ПРИ РУСІ ПО ДЕФОРМУВАНІЙ ОПОРНІЙ ПОВЕРХНІ

Подригало Михайло Абович

доктор технічних наук, професор
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
ORCID: 0000-0002-1624-5219
email pmikhab@gmail.com

Гецович Євгеній Мойсейович

доктор технічних наук, професор
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0003-4853-0839
email getchovich-e@ukr.net

Артюмов Микола Прокопович

доктор технічних наук, професор
Харківський національний технічний університет ім. П. Василенка
ORCID: 0000-0002-2947-2947
email artimovprof@ukr.net

Холодов Михайло Павлович

кандидат технічних наук, доцент
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
ORCID: 0000-0002-5098-0022
email michaelkholodov@gmail.com

У статті запропоновані динамічна і математична модель руху колеса по деформованій опорній поверхні. Отримано аналітичні вирази з використанням результатів тягових випробувань самохідного шасі Т-16М. Ці аналітичні вирази можуть використовуватися при проведенні тягових розрахунків колісних тракторів і самохідних шасі на етапі їх попереднього проектування, а також здійснювати оцінку тягового ККД, продуктивності і енергоефективності.

Ключові слова. Трактор, самохідне шасі, буксування, тяговий ККД, деформована поверхня

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2019.3.3>

Вступ

Буксування ведучих коліс сільськогосподарського трактора при русі по деформованій поверхні робить істотний вплив на його тяговий ККД, продуктивність і енергоефективність.

Відомі дослідження, що дозволяють оцінити буксування ведучих коліс на асфальто-бетонній поверхні. Для вирішення зазначеного завдання при русі ведучих коліс по деформованій поверхні необхідно врахувати піддатливість ґрунту. У цій статті, з використанням результатів тягових випробувань самохідного шасі Т-16М, запропоновані динамічна і математична модель руху колеса по деформованій опорній поверхні. Отримані аналітичні вирази можуть використовуватися при проведенні тягових розрахунків колісних тракторів і самохідних шасі на етапі їх попереднього проектування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

При дослідженні процесу кочення деформованого колеса широко використовується так званий «феноменологічний підхід» [1]. Сутність феноменологічного підходу до будь-якого явища або предмету полягає в тому, що предмет вивчення представляється у вигляді якогось, «чорного ящика», поведінку і властивості якого визначаються його зовнішніми характеристиками [1]. Завдання дослідження за допомогою феноменологічного походу полягає в знаходженні виду зазначених характеристик, причому внутрішні зв'язки і структура «чорного ящика» залишаються поза розглядом. Якщо

групу змінних, які входять в зовнішні характеристики досліджуваного об'єкта можна розділити на вхідні і вихідні, тоді значення зводяться до встановлення зв'язку між «виходом» і «входом» [1].

В результаті використання феноменологічного підходу з'явилася відома залежність для визначення буксування

$$\delta = \frac{\omega_k r_d - V_0}{\omega_k r_d} = 1 - \frac{V_0}{\omega_k r_d} \quad (1)$$

де ω_k – кутова швидкість колеса ;

r_d – динамічний радіус колеса

V_0 – лінійна швидкість осі колеса у напрямку його руху.

Поступальний рух колеса стійкий до тих пір, поки в контакт його з дорогою існує хоча б одна нерухома точка. В іншому випадку лінійна швидкість V_0 починає зменшуватися від свого номінального руху до нуля [2]. Таким чином додаткова кутова швидкість колеса обумовлена кутовою деформацією шини і обмежена зчепленням колеса з дорогою. Тому б є псевдобуксуванням і визначається кутовою жорсткістю шини. На цю обставину неодноразово вказував у своїх роботах професор О.С. Федосов.

В роботі [3] для визначення додаткової кутової швидкості колеса, обумовленої кутовою деформацією шини використаний метод оберненого руху (рис.1).

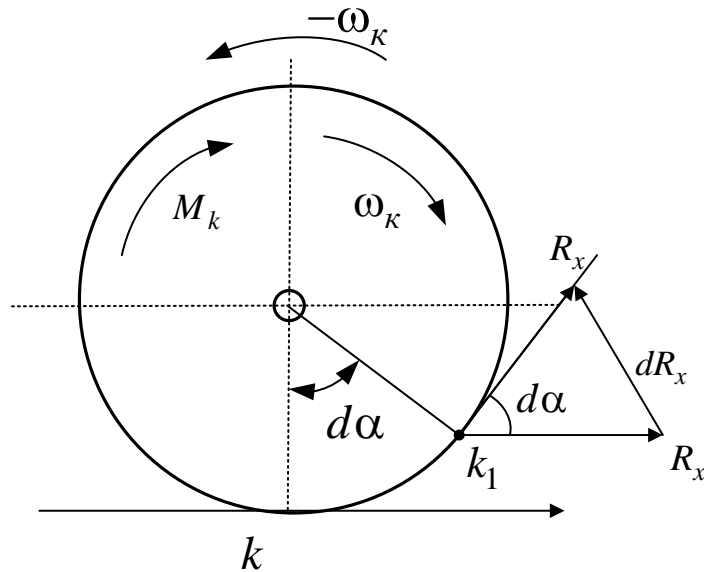


Рис. 1 Застосування методу оберненого руху для визначення додаткової кутової швидкості, обумовленої кутовою деформацією шини [3].

Автори робіт [3], використовуючи метод оберненого руху (рис.1) визначили кутову швидкість деформації шини

$$\dot{\varphi} = \frac{d\varphi}{dt} = \dot{R}_x \frac{r_{\partial}}{C_{кут}}, \quad (2)$$

де φ – кутова деформація шини;

t – час;

\dot{R}_x – швидкість зміни сили R_x

$C_{кут}$ – коефіцієнт крутильної жорсткості шини.

Швидкість \dot{R}_x зміни сили R_x [3],

$$\dot{R}_x = \frac{dR_x}{dt} = R_x \omega_k, \quad (3)$$

В результаті використання співвідношень (2) і (3) дозволило авторам роботи [3] визначити наступну залежність відносного буксування від крутного моменту M_k , моменту опору коченню M_f і коефіцієнту крутильної жорсткості $C_{кут}$..

$$\delta = \frac{M_k}{C_{кут}} \left(1 - \frac{M_f}{M_k} \right), \quad (4)$$

Однак в роботі [3] не визначена залежність відносного буксування δ від параметрів опорної поверхні при русі по деформованому ґрунтовому фоні.

Мета і постановка задач дослідження

Метою дослідження є визначення аналітичних залежностей, що дозволяють на етапі проектування розраховувати буксування і тяговий ККД тракторів і самохідних шасі.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз відомих результатів тягових випробувань самохідного шасі Т-16МГ
- отримати аналітичні вирази для розрахунку відносного буксування ведучих коліс при русі по деформованій поверхні.

Аналіз відомих результатів тягових випробувань самохідного шасі Т-16М

На рис. 2 приведені графіки залежності коефіцієнта відносного буксування від зусилля на гаку, отримання при проведенні випробувань самохідного шасі Т-16М [4]. У таблиці 1 наведені чисельні значення відносного буксування δ при різних значеннях $P_{кр}$ і ґрунтових фонах, отримані після обробки графіків, представлених на рис. 2.

Таблиця 1 – Значення коефіцієнта буксування δ при силі тяги на гаку з $P_{кр}$

Грунтовий фон	$\delta, \%$	Зусилля на гаку $P_{кр}, \text{кН}$						
		0	1,5	3,0	4,5	6,0	7,5	9,0
асфальт		0	0	0	0,75	1,50	4,00	11,00
оранка		5,00	6,25	11,25	16,25	21,875	36,25	–
стерня		0,94	1,84	5,25	8,62	12,5	17,5	43,75

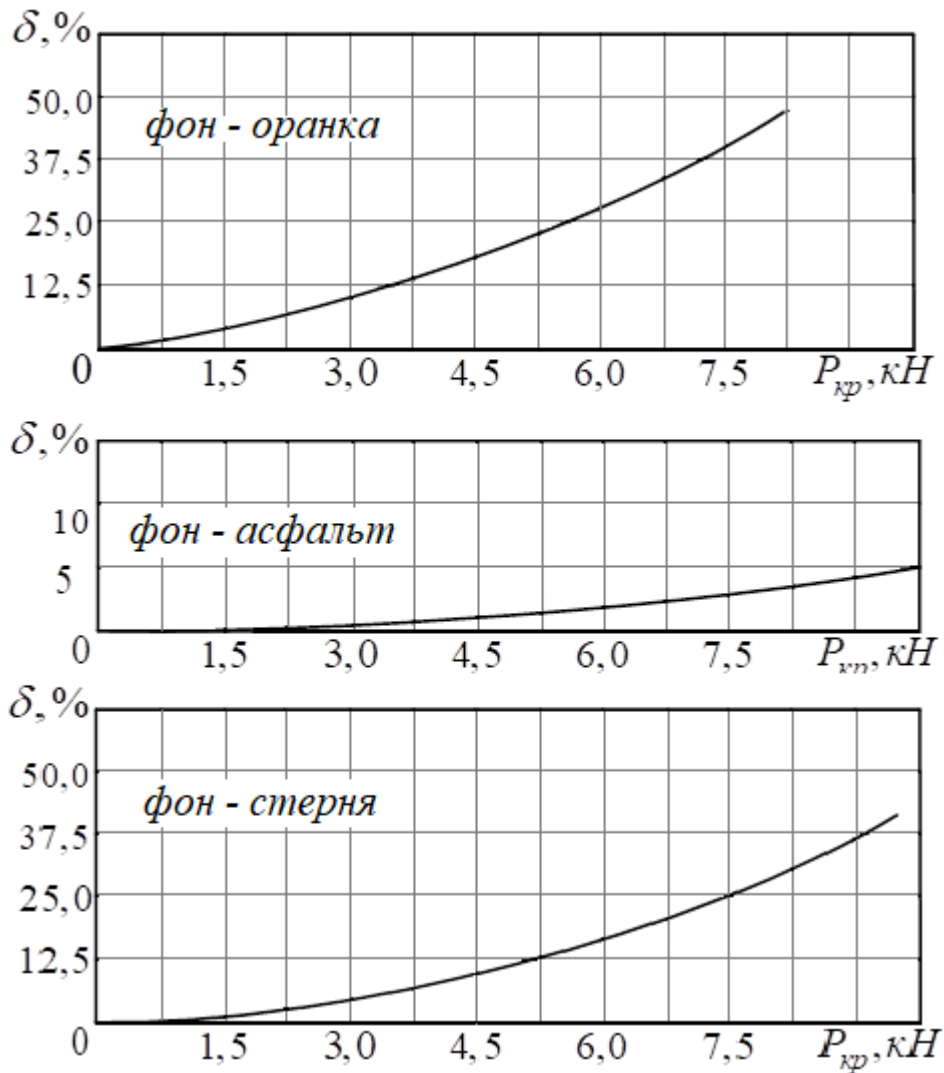


Рис. 2. Залежність коефіцієнту буксування від сили тяги на гаку

Враховуючи, що

$$M_k = \frac{1}{2} P_k r_{\delta} \quad (5)$$

і

$$M_f = P_z \cdot f \cdot r_{\delta}, \quad (6)$$

перетворимо вираз (4) до вигляду

$$\delta = (0,5P_k - P_z f) \frac{r_{\delta}}{C_{кут}}, \quad (7)$$

де P_k – тягова сила на ведучих колесах трактора;

P_z – нормальне навантаження на шину;

f – коефіцієнт опору кочення, який дорівнює: f

$= 0,02$ – на асфальті, $f = 0,1$ – на стерні і $f = 0,16$ – на полі, підготованому під посів (оранка).

Відомо, що зусилля на гаку може бути визначено як

$$P_{кр} = P_k - m_{\text{э}} g \cdot f, \quad (8)$$

де $m_{\text{э}}$ – експлуатаційна маса трактора;

g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$
З рівняння (8) визначимо

$$P_k = P_{кр} + m_3 g \cdot f, \quad (9)$$

В роботі [5] отримано залежність, що зв'язує між собою крутильну жорсткість $C_{кут}$ і нормальне навантаження на шину

$$C_{кут} = 8,0 \cdot P_z^{0,97} \cdot \frac{H \cdot M}{\text{рад}}. \quad (10)$$

Після підстановки виразів (9) і (10) у рівняння (7) отримаємо

$$\delta = \frac{0,5P_{кр} + f(0,5m_3g - P_z)}{8,0 \cdot P_z^{0,97}} \cdot r_\delta, \quad (11)$$

Самохідне шасі Т-16М(СШ-24), що проходило тягові випробування [4] мало наступні параметри: $m_3 = 1810 \text{ кг}$; $P_z = 7233 \text{ Н}$; $r_\delta = 0,59 \text{ м}$. На

На рис. 3 наведено графіки залежностей $\delta(P_{кр})$, які отримано за формулою (11) і при експериментальних дослідженнях

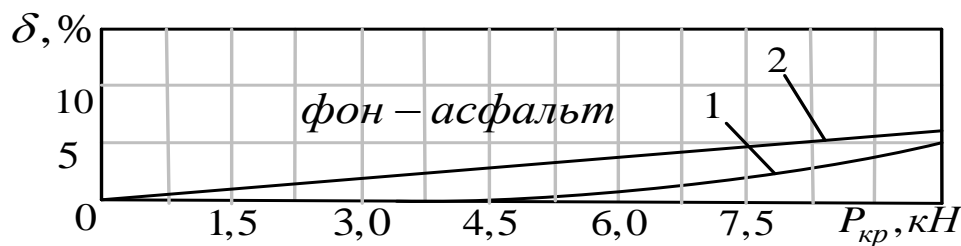


Рис. 3 Порівняння результатів теоретичного і експериментального визначення буксування ведучих коліс:
1 - експериментальна крива; 2 - теоретична крива.

Аналіз графіків, наведених на рис. 3 показує, що теоретична і експериментальна криві близькі, але має місце певна похибка. Зазначена похибка обумовлена похибкою визначення за емпіричною формулою (10). Крім того, крутильна жорсткість шини передбачалася постійною, тобто шина вважалася лінійною пружиною. Слід зазначити, що і експериментальні вимірювання проводилися з похибкою. З огляду на те, що при русі ведучого колеса по твердій опорній поверхні буксування не перевищує 6%, можна рекомендувати залежність (11) для попередніх розрахунків на стадії проектування тракторів і самохідних шасі.

Аналітичні вирази для розрахунку буксування ведучих коліс на деформованій опорній поверхні

При взаємодії деформованого колеса з опорною деформованою поверхнею динамічна модель процесу включає в себе дві послідовні пружини – пружну шину і пружний піддатливий ґрунт.

При послідовному з'єднанні двох пружин піддатливість системи дорівнює сумі піддатливості шини і ґрунту.

У цьому випадку рівняння (11) можна представити у вигляді

$$\delta = \left[0,5P_{кр} + f(0,5m_3g - P_z) \right] \cdot r_\delta \cdot \lambda_{см}, \quad (12)$$

де $\lambda_{см}$ – кутова піддатливість пружної системи,

$$\lambda_{см} = \lambda_{ш} + \lambda_{почвы}, \quad (13)$$

$\lambda_{ш}$ – кутова піддатливість шини, $\lambda_{ш} = 1 / C_{кут}$;

$\lambda_{грунту}$ – кутова піддатливість ґрунту.

Із рівняння (12) визначимо

$$\lambda_{см} = \frac{\delta}{\left[0,5P_{кр} + f(0,5m_3g - P_z) \right] \cdot r_\delta}, \quad (14)$$

або з урахуванням співвідношення (13) визначимо коефіцієнти кутової піддатливості ґрунту

$$\begin{aligned} \lambda_{грунту} &= \frac{\delta}{\left[0,5P_{кр} + f(0,5m_3g - P_z) \right] \cdot r_\delta} - \lambda_{ш} = \\ &= \frac{\delta}{\left[0,5P_{кр} + f(0,5m_3g - P_z) \right] \cdot r_\delta} - \frac{1}{C_{кут}} = \\ &= \frac{\delta}{\left[0,5P_{кр} + f(0,5m_3g - P_z) \right] \cdot r_\delta} - \frac{1}{8,0 \cdot P_z^{0,97} \cdot \frac{H \cdot M}{\text{рад}}}, \end{aligned} \quad (15)$$

У таблиці 2 наведені результати розрахунку коефіціє-

нта кутової піддатливості ґрунту $\lambda_{грунту}$ при русі ведучого колеса трактора по стерні і по ґрунту.

Таблиця 2 - Визначення коефіцієнту $\lambda_{грунту}$ піддатливості ґрунту

Ґрунтовий фон	Параметр	Зусилля на гаку $P_{кр}$, кН						
		0	1,5	3,0	4,5	6,0	7,5	9,0
Стерня	$\delta, \%$	0,94	1,87	5,25	8,62	12,5	17,5	43,75
	$\lambda_{грунту} \frac{рад}{Н \cdot м}$	-	$0,121 \cdot 10^{-4}$	$0,309 \cdot 10^{-4}$	$0,379 \cdot 10^{-4}$	$0,444 \cdot 10^{-4}$	$0,532 \cdot 10^{-4}$	$1,364 \cdot 10^{-4}$
	$\lambda_{грунту} \frac{рад}{Н \cdot м}$	$0,356 \cdot 10^{-4}$						
Оранка	$\delta, \%$	5,00	6,25	12,5	16,25	21,875	36,25	-
	$\lambda_{грунту} \frac{рад}{Н \cdot м}$	-	$0,820 \cdot 10^{-4}$	$0,856 \cdot 10^{-4}$	$0,870 \cdot 10^{-4}$	$0,911 \cdot 10^{-4}$	$1,305 \cdot 10^{-4}$	-
	$\lambda_{грунту} \frac{рад}{Н \cdot м}$	$0,952 \cdot 10^{-4}$						

Аналіз значень, $\lambda_{грунту}$ наведених у таблиці 2, показує, що їх величини при малих зусиллях на гаку ($P_{кр} = 0$) і великих ($P_{кр} = 9кН$) істотно відрізняються від величин, що знаходяться в середині інтервалу. Це пояснюється тим, що при малих $P_{кр}$ вище похибка вимірювань, а при великих

$P_{кр}$ з'являється схильність ведучих коліс до повного буксування. Тому, при усередненні результатів крайні значення $\lambda_{грунту}$ не враховувалися.

Таким чином, для оцінки відносного буксування ведучих коліс при русі по деформованій основі в разі виконання оціночних розрахунків на етапі попереднього проектування колісних тракторів і самохідних шасі може бути запропонована наступна напівемпірична формула:

$$\delta = \left[0,5P_{кр} + f(0,5m_0g - P_z) \right] \cdot r_\delta \cdot \left(\frac{1}{8,0 \cdot P_z^{0,97}} + \lambda_{грунту} \right), \quad (16)$$

На рис. 4 для оцінки точності формули (16) наведені

графіки $\delta(P_{кр})$, що отримані експериментальним і теоретичним шляхом.

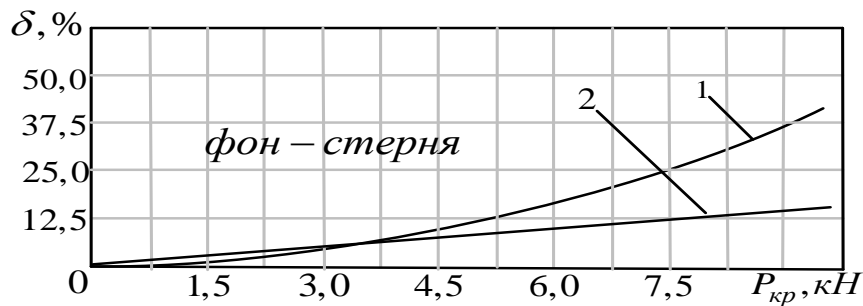




Рис. 4 Порівняння результатів теоретичної та експериментальної оцінки відносного буксування ведучих коліс на деформованій поверхні: 1 - експериментальні результати; 2 - результати за формулою (16).

За результатами аналізу рис.4 можливо зробити висновок, що в межах свого тягового класу для самохідних шасі результати експериментальних досліджень і теоретичних розрахунків майже співпадають.

Таким чином запропонована аналітична залежність (16) може використовуватися на етапі проектування тракторів і самохідних шасі для оцінки відносного буксування коліс і тягового ККД.

Висновки

1. В результаті проведеного дослідження запропонована аналітична залежність, що дозволяє на стадії проектування здійснювати оцінку відносного буксування ведучих коліс трактора при русі по деформованій опорній поверхні.

Це дозволяє на стадії проектування машини здійснювати оцінку тягового ККД, продуктивності і енергоефективності.

2. Для побудови кривих можуть використовуватися аналітично розраховані значення коефіцієнта кутової піддатливості ґрунту, які становлять:

$$- \lambda_{\text{ґрунту}} = 0,356 \cdot 10^{-4} \frac{\text{рад}}{\text{Н} \cdot \text{м}} \quad \text{— для сте-$$

рні;

$$- \lambda_{\text{ґрунту}} = 0,952 \cdot 10^{-4} \frac{\text{рад}}{\text{Н} \cdot \text{м}} \quad \text{— для ора-$$

нки.

Список використаної літератури:

1. Левин М.А., Фуфаев Н.А. Теория качения деформируемого колеса. –М.: Наука. Гл. ред. Физ.-мат. лиц., 1989. – 272с.
2. Назарько О.О. Удосконалення методів оцінки стійкості легкових автомобілів в тяговому режимі руху: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту / О.О. Назарько. – Харків, 2013. – 20с.
3. Подригало М.А., Артемов Н.П., Абдулгасис А.У. определение кинематического радиуса колеса автомобиля // Инженерия природокористування. Науковий журнал. – Харків, 2018. – №2(10). – с. 7-13.
4. Протокол №63-70 (ОП0108) испытаний опытного образца самоходного шасси Т-16М с мощностью двигателя 24л.с.(СШ24). – Харьков: ХЗТСШ, 1970.
5. Балакина Е.В. Улучшение устойчивости движения колесной машины в режиме торможения на основе пред проектного выбора параметров элементов шасси: автореф. дис. на соискание уч. степени докт. техн. наук: спец. 05.05.03. Колесные и гусеничные машины / Е.В. Балакина. – Волгоград, 2011. – 40с.

Podrigalo M.A., Kharkiv National Automobile and Highway University

Getsovich E.M., Sumy National Agrarian University

Artiomov N.P., Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture

Kholodov M.P., Kharkiv National Automobile and Highway University

Study of the tractor's driving wheels slipping during moving on a deformed surface

In the article a dynamic and mathematical models of wheel motion on a deformed surface are proposed. Analytical expressions were obtained using the results of traction tests of the T-16M self-propelled chassis. These analytical expressions can be used in traction calculations of wheeled tractors and self-propelled chassis at the stage of their preliminary design, as well as to evaluate traction efficiency, performance and energy efficiency.

Keywords. Tractor, self-propelled chassis, slipping, traction efficiency, deformed surface

Дата надходження до редакції: 08.08.2019

ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ВИКОНАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОПЕРАЦІЇ ВІДПОВІДНО ДО ПОТРЕБ РОСЛИН

Пастухов Валерій Іванович

доктор технічних наук, професор

Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка

ORCID: 0000-0002-5599-1548

email pastukhov.v@ukr.net

Зубко Владислав Миколайович

кандидат технічних наук, доцент

Сумський національний аграрний університет

ORCID: /0000-0002-2426-2772

email zubkovladislav@ukr.net

В даній статті розглянуті теоретичні особливості розрахунку якості виконання технологічних операцій. На якість виконання технологічного процесу впливає велика кількість факторів, які сьогодні не враховуються, тому введено поняття «коефіцієнт якості». За результатами наукових досліджень роботи машинних агрегатів у польових умовах встановлено, що при роботі машинного агрегату існує певний шлях, на якому забезпечення якості знаходиться на низькому рівні. Це шлях розгону та гальмування, що раніше не враховувалось. Поряд з цим дослідженнями встановлено, що істотний вплив на ефективність роботи агрегату має щільність ґрунту, автоматизовані системи контролю якості виконання технологічного процесу, регулювання машини, вологість та пористість ґрунту. Для розробки керованого процесу був розроблений алгоритм вирощування сільськогосподарської культури, який враховує основні періоди та об'єднані групи факторів, що впливають на ріст та розвиток рослин.

Ключові слова: якість, врожайність, сільськогосподарська культура.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2019.3.4>

Постановка проблеми.

Один із шляхів забезпечення реалізації біологічного потенціалу с.г. культур – це підвищення якості виконання механізованих робіт в рослинництві. Попередніми дослідженнями було встановлено, що якість виконання механізованих операцій складає 30% його реалізації біологічного потенціалу рослин, то б то максимально можливої врожайності культури.

Постулати якості полягають в тому, що якість кожної технологічної операції формує загальну якість технологічного процесу та впливає на кінцевий результат – на якість, кількість і собівартість продукції [1].

І, по-друге: неякісно виконану технологічну операцію неможливо ні переробити, ні компенсувати, надолужити високою якістю послідовних технологічних операцій [1].

Сучасні дослідження, проведені компанією Horsch, показують, що на сьогодні фактично вичерпаний потенціал землі і сортів (крім генномодифікованих, а вони заборонені на сьогодні у Європі) у зростанні врожаю і сьогодні ми повинні боротись за збільшення врожайності за рахунок забезпечення потреб рослин – якості виконання технологічних операцій. Це необхідно враховувати, узагальнювати при розробці агрономів та розроблювати стратегію розвитку сільськогосподарських машин.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Питання якості виконання технологічних операцій сьогодні стоїть як ніколи актуально.

Вагомий внесок у розвиток забезпечення якості виконання технологічної операції зробили Погорілий Л.В., Мельник І.І., Лінник М.К., Адамчук В.В., Сидорчук О.В., Ковтун Ю.І.

У сучасних умовах в Україні щороку фіксується недобір врожаю на рівні 25-35% [3]. Однією з основних причин є якість виконання технологічної операції, тобто забезпечення потреб рослини, та строки. Неefективне використання ґрунтів, яке є

наслідком забезпечення якості технологічних операцій, привело до втрати гумусу за 130 років в них на 30% і цей процес продовжується [2].

В своїх роботах Мироненко В.Г. [4], Пастухов В.І. [6] Зубко В.М. [7] займались питаннями відповідності роботи машинних агрегатів та потреб рослин; в постанові КМУ описана методика збитків від незабезпечення потреб рослини [5].

Формулювання мети статті. Метою даної статті є дослідження шляхів підвищення якості виконання механізованої технологічної операції на підставі обґрунтування вимог відповідно до потреб рослин.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Виходячи із забезпечення якості виконання технологічних операцій, розглянуті основні положення максимальної реалізації біологічного потенціалу сільськогосподарської культури. У загальному випадку вони зводяться до наступного.

Цільова функція системи цілісних математичних моделей, визначення якості виконання технологічного процесу у загальному вигляді записується таким чином:

$$F = f(A(p_i)) \rightarrow \underset{i}{\text{opt}} K_j, \quad (1)$$

де K_j – якість технологічного процесу;

$A(p_i)$ – динамічний стан системи (машинні агрегати – потреби рослини).

Необхідно чітко виокремити чотири основні етапи виробництва продукції рослинництва: створення умов для росту і розвитку рослин, розміщення насіння у ґрунті, накопичення вегетативної маси рослиною, збереження накопиченої маси.

Основою реалізації біологічного потенціалу рослини є забезпечення якісних (оптимальних) умов росту та розвитку рослин, які залежать від умов навколишнього середовища, виду культури, технічних засобів. Кожна умова являє собою

комплекс параметрів, забезпечення яких і характеризують якість.

На якість виконання технологічного процесу впливає велика кількість факторів, які сьогодні не враховуються, тому

введення поняття «коефіцієнт якості» — це вимога часу. Рівняння (2) показує складові частини коефіцієнта якості:

$$K = f(U(a, b, c), V(d, g, j, m, p, t, l, z), W(e, h, k, n, q, s)) \quad (2)$$

- де K — функція показника якості;
- U — функція умов росту і розвитку рослин,
- V — функція потреб рослин,
- W — функція можливостей забезпечення потреб рослин сільськогосподарською машиною,
- a — параметр рельєфу та розміру поля;
- b — параметр ґрунтових умов (вологість, щільність, пористість, P_n , хімічний склад, гумус, тип ґрунту);
- c — параметр стану поверхні поля (кількість та рівномірність розподілення рослинних рештків, засміченість бур'янами, грудкуватість, наявність та глибина розташування плужної підшви, попередня підготовка ґрунту під операцію (садіння бульб картоплі));
- d — параметр типу кореневої системи, глибини обробітку ґрунту (буряки, кукурудза);
- g — параметр виду основної продукції (буряк, кукурудза);
- j — параметр стійкості до хвороб;
- m — Параметр висіву (орієнтації) посівного матеріалу;
- p — параметр співвідношення основної продукції до побічної;
- t — параметр потреб рослини у волозі, площі живлення (оптимальний радіус живлення), кількості активних фаз (чим їх більше, тим збільшується кількість обробітків);
- l — параметр висоти рослин;
- z — параметр злипання посівного матеріалу;
- e — параметр виду, розміру, матеріалу, гостроти робочих органів, залежності чи незалежності стойки, комбінації робочих органів;
- h — параметр системи аналізу якості виконання технологічної операції та системи її корегування;
- k — параметр ефективності агрегування з трактором (вплив на буксування);
- n — параметр швидкості, напрямку руху, ширини захвату;
- q — параметр ваги машини;
- s — параметр властивості робочих органів до налипання ґрунту та забивання.

Вплив кожного фактору на якість індивідуальний і повинен бути врахований при аналізі технологічного процесу.

За результатами власних наукових досліджень роботи машинних агрегатів у польових умовах встановлено, що при роботі машинного агрегату існує певний шлях, на якому забезпечення якості знаходиться на низькому рівні. Це шлях розгону та гальмування. Проведені польові дослідження показали, що на нормальний режим машинний агрегат виходить через 30 м, а гальмування проходить на шляху 25 м (відповідні дослідження проводились в аграрних підприємствах України та дослідних господарствах Чеської Республіки. Робоча швидкість машинного агрегату визначається за формулою:

$$V = \frac{L}{1000 \cdot T_p}, \text{ км/год.}, \quad (3)$$

$$L = l \cdot n, \quad l = \sum_{i=1}^3 l_i$$

- де L — довжина гонів обробленої ділянки, м;
- T_p — чистий робочий час, год.;
- l — довжина гону, м;
- n — кількість проходів машинного агрегату.

$$l_i = V_i \cdot t_i, \quad i=1, 2, 3.$$

$$V_1 = V_0 + at_1;$$

$$V_2 = const;$$

$$V_3 = V_2 - at_3,$$

- де V_1 — швидкість руху машинного агрегату у кінці ділянки розгону, км/год.;
- V_2 — швидкість руху машинного агрегату під час виконання основної роботи, км/год.;
- V_3 — швидкість руху машинного агрегату у кінці ділянки гальмування, км/год.;
- a — прискорення на ділянках прискорення та гальмування машинного агрегату, м/с².

Поряд з цим дослідженнями встановлено, що істотний вплив на ефективність роботи агрегату має щільність ґрунту та автоматизовані системи контролю якості виконання технологічного процесу та регулювання машини. Значення показників, які враховують:

- k_d — щільність ґрунту;
 - k_{wd} — вплив автоматичної системи керування глибиною обробітку;
 - W_ϕ — вологість;
 - k_ϕ пористість ґрунту;
- під час польових досліджень сумісно з [Department of Agricultural Machines CZU](#) та [Bednar](#). В залежності від призначення машини-знаряддя робочий опір, створюваний при виконанні технологічної операції, можна визначити:

– для плугів і лемішних лущильників:

$$R = k_{ov} \cdot b \cdot a \cdot k_{wd} \cdot n_K + G_m \cdot g \cdot c \cdot \lambda \cdot \left(f \pm \frac{i}{100}\right) \cdot k_d, \text{ кН}; \quad (4)$$

– для звичайних тягових машин:

$$R = k_v \cdot B \cdot k_{wd} + G_m \cdot g \cdot c \cdot \lambda \cdot \left(f \pm \frac{i}{100}\right) \cdot k_d, \text{ кН}; \quad (5)$$

– для причіпних машин при відсутності тягового опору:

$$R = G_m \cdot g \cdot \left(f \pm \frac{i}{100}\right) \cdot k_d, \text{ кН}; \quad (6)$$

– для транспортних агрегатів:

$$R = \left(G_m + \frac{G_{ван}}{2}\right) \cdot g \cdot \left(f \pm \frac{i}{100}\right) \cdot k_d, \text{ кН}; \quad (7)$$

- де R – загальний опір машини, кН;
 k_{ov} – питомий опір плугів, кН/м²;
 k_v – питомий опір звичайних машин, кН/м;
 b – ширина захвату корпусу плуга, м;
 a – глибина оранки, м;
 B – конструктивна ширина захвату звичайних машин, м;
 G_m – маса машини, т;
 $G_{ван}$ – маса вантажу, що перевозиться, т;
 λ – коефіцієнт, що враховує довантаження енергетичного засобу;
 k_d – коефіцієнт, що враховує щільність ґрунту: при щільності 1,1-1,25 г/см³ $k=1$; >1,1-1,25 г/см³ $k=1,05$; < 1,1-1,25 г/см³ $k=0,93$;
 k_{wd} – коефіцієнт використовується при роботі агромашини з системою автоматичного регулювання глибини обробітку, $k_{wd} = 0,13$.

Питомий опір ґрунту залежить від складу, щільності, вологості та температури ґрунту. Він не є постійним, а змінюється протягом року під дією вмісту води і температури. Це підтверджено польовими дослідженнями сумісно з ЛКМЗ, Bednar та [Department of Agricultural Machines CZU](#).

Питомий опір робочих органів k_v при заданій швидкості V_p визначається за формулою:
 – для плугів і лемішних лущильників:

$$k_v = k_0 \cdot [1 + 0,006 \cdot (V_p^2 - V_0^2)] \cdot \left(1 - \frac{|W_{onm} - W_\phi|}{100}\right) \cdot \left(1 - \frac{|k_{onm} - k_\phi|}{100}\right), \text{ кН/м}^2; \quad (8)$$

– для інших машин:

$$k_v = k \cdot [1 + T \cdot (V_p - V_0)] \cdot \left(1 - \frac{|W_{onm} - W_\phi|}{100}\right) \cdot \left(1 - \frac{|k_{onm} - k_\phi|}{100}\right), \text{ кН/м}^2; \quad (9)$$

- де k_0 – питомий опір плугів при швидкості руху до 5 км/год., кН/м²;
 V_p – робоча швидкість агрегату, км/год.;
 V_0 – швидкість, при якій визначено питомий опір машин у виробничих умовах, км/год. (приймають $V_0 = 5$ км/год.);
 k – питомий опір звичайних машин при швидкості до 5 км/год., кН/м;
 T – темп приросту питомого опору для відповідної машини.
 W_{onm} – оптимальна вологість, %;
 W_ϕ – фактична вологість, %;
 k_{onm} – оптимальна пористість ґрунту, %;
 k_ϕ – фактична пористість ґрунту, %.

Подрібнення рослинних рештків та рівномірність розподілення їх по поверхні ґрунту істотно впливає на показник забезпечення агрономічного сільськогосподарською машиною. На основі проведених нами досліджень була апроксимована залежність для визначення тривалості розкладання рослинних рештків від розміру їх подрібнення $y = 0,043x^2 + 2,164x +$

68,85 (Сумський НАУ, Інститут сільського господарства Північного Сходу НААН України). Наявність рештків на полі на час сівби впливає на рівномірність розташування посівного матеріалу. Показник забезпечення агрономічного енергетичного забору та аграрної машини визначається за формулою:

$$k_m = \frac{1}{E} \sum_{i=1}^E \left(1 - \left(\frac{A_{mi} - A_{ei}}{G}\right)\right), \quad (10)$$

де E – кількість показників;

A_m – показник забезпечення агровиомог машиною;

A_e – показник агровиомог до технологічної операції;

G – основний показник технологічної операції (норма висіву, глибина обробітку тощо).

Результати теорії підтверджуються розбіжністю менше 5%.

За результатами проведених досліджень у тісній співпраці з професором Мельником І.І. була висунута гіпотеза

про те, що якщо ми знаємо, коли, як і чим можна впливати на покращення умов по кожному етапі росту і розвитку рослини, і, за умови якісного виконання механізованих технологічних операцій точно можна забезпечити всі умови для отримання максимальної врожайності. Це також дозволить визначити, підібрати або розробити відповідні робочі органи для якісного виконання механізованих технологічних операцій, підібрати машини і оптимізувати комплекс машин і машинний парк. Такий технологічний процес варто назвати керованим.

Для розробки керованого процесу необхідно побудувати логічну схему. На рис. 1 представлений основний алгоритм розробки схеми вирощування сільськогосподарської культури, який враховує основні періоди та об'єднані групи факторів, що впливають на рост та розвиток рослин.



Рис. 1. Основний алгоритм забезпечення умов росту та розвитку сільськогосподарської культури.

Кожна група факторів складається з конкретних факторів, які безпосередньо забезпечують ріст і розвиток рослин. На рис. 2 та 3 представлений алгоритм розробки показників якості, який враховує потреби рослин та реальних польових

умов. На схемах зеленим кольором позначається період розвитку рослини; жовтим – група факторів; синім – фактори впливу на розвиток рослин; помаранчевим – різні умови, з якими зустрічаються на виробництві; сірим – машини, які повинні забезпечити якість.

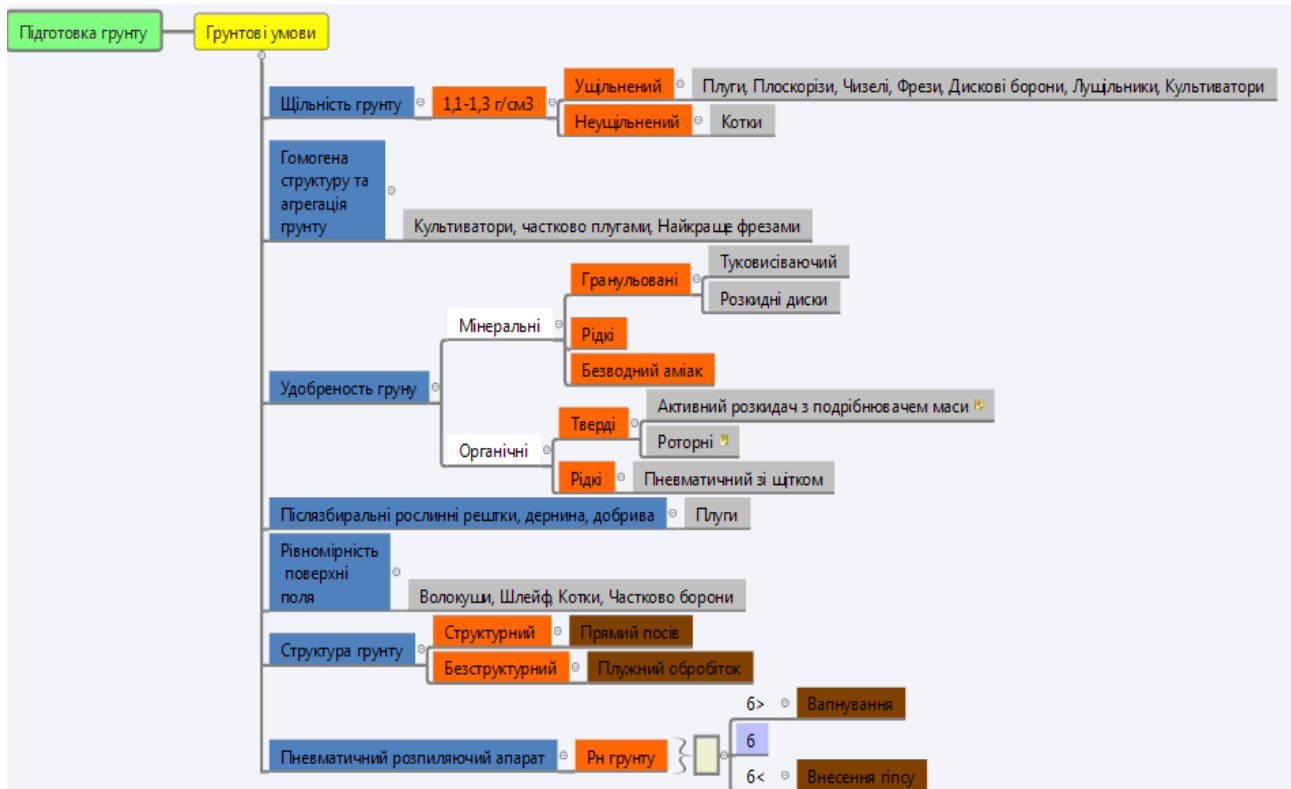


Рис. 2. Алгоритм оптимального стану ґрунту при підготовці ґрунту після попередника

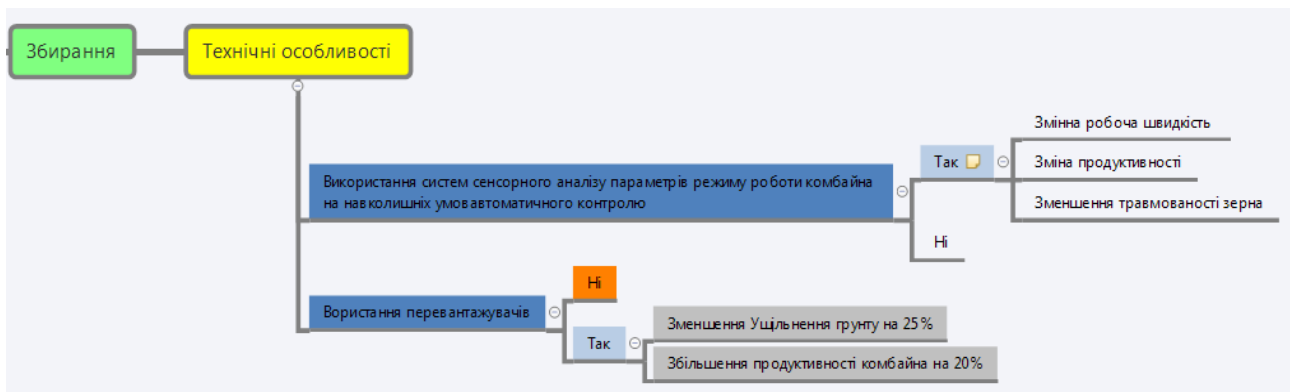


Рис. 3. Технічні особливості при збиранні сільськогосподарської культури

Ріст та розвиток рослин завжди мають супроводжуватись умовами, які необхідні для проростання насіння, росту культури, накопичення та збереження нею енергії.

Для ефективного вирощування сільськогосподарської культури першочергово визначають фази (етапи) розвитку рослини і встановлюють конкретні потреби, умови та терміни їх реалізації.

Забезпечення потреб сільськогосподарських рослин виконують проведенням відповідних технологічних операцій, які, у свою чергу, виконуються за допомогою машинних агрегатів різного призначення.

При виробництві продукції рослинництва основною метою є забезпечення необхідних умов для росту і розвитку рослин. Під якістю слід розуміти не тільки машинне забезпечення умов, але і терміни та тривалість виконання кожної ок-

ремої технологічної операції. При вирощуванні сільськогосподарських культур необхідно використовувати алгоритм планування техніки. Даний алгоритм заснований на принципах забезпечення потреб рослин на кожній окремій фазі росту і розвитку в оптимальний час. Сучасна система використання техніки в агроформуваннях змушує виробників використовувати найману техніку. Це стосується як дрібних агровиробників, так і великих агрохолдингів. Використання запропонованого алгоритму (рис. 5) забезпечує ефективне використання техніки. Знаючи потреби культури, сорту чи гібриду, який вирощується у господарстві, використовуючи програмне забезпечення *EOS Grop Monitoring Tool, Meteo.Farm, Farmwave, Agro Measure Map Pro, Sentinel Playground, EO Browser* складається робочий алгоритм, що враховує всі періоди розвитку рослин, в які необхідне втручання людини з метою забезпечення оптимальні умови для рослини.

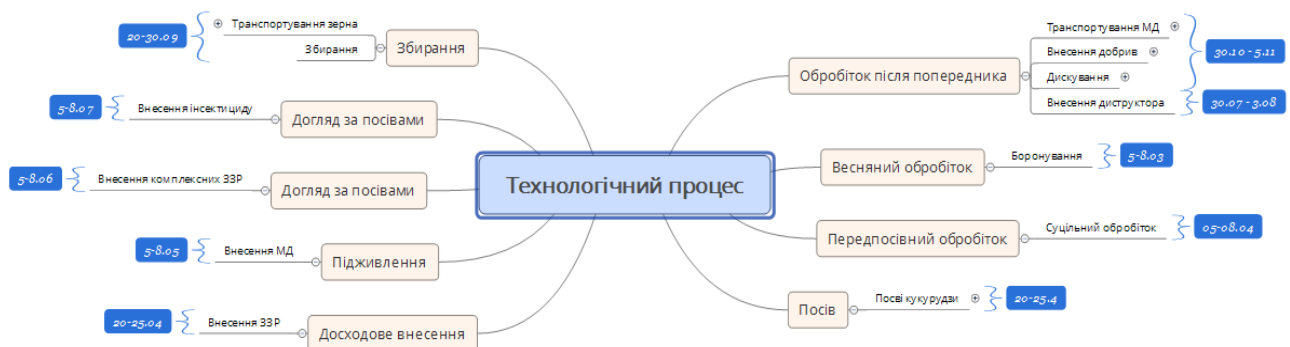


Рис. 5. Алгоритм технологічного процесу забезпечення оптимальних умов для росту та розвитку рослин.

Розробка алгоритму включає:

- аналіз потреб культури (посівного матеріалу-рослини);
- аналіз умов вирощування культури (розміщення поля над рівнем моря, відношення до сонця, кут нахилу, глибин западин, динаміку накопичення та використання вологи за 5 років, аналіз стану ґрунту, його пористість, існування плужних підшов та їх кількість, попередники за останні 5 років);
- аналіз машинного парку господарства (можливість забезпечення оптимальних потреб рослин відповідно до конкретних умов господарства);
- аналіз необхідності оренди техніки (орієнтовні терміни та тривалість).

Першочергово, зразу після збирання попередника,

необхідно внести деструктор: *основна операція* – обприскування; *допоміжна операція* – підвезення води.

Для заробки у ґрунт рослинних решток та забезпечення оптимальних ґрунтових умов, для росту і розвитку кореневої системи та забезпечення повітряно-рідинного режиму проводиться основний обробіток: *основна операція* – оранка.

Забезпечення живлення та знищення бур'янів. Проводиться операція смугової закладки мінеральних добрив: *основна операція* – смугове внесення мінеральних добрив; *суміжна операція* – боронування поля.

Проведення сівби: *основна операція* – сівба; *суміжна операція* – внесення мінеральних добрив; *допоміжна операція* – підвезення насіння та добрив.

Боротьба з бур'янами: *основна операція* – внесення

досходового гербіциду; *допоміжна операція* – підвезення води і препарату.

Аналіз стану поля на наявність хвороб. Аналіз проводиться двома шляхами: використання безпілотних летальних апаратів (БПЛА) та використання супутникових знімків для моніторингу on-line стану поля та аналіз його історії. Також вагомим аргументом є погодні умови на період внесення та дії ЗЗР. За необхідності проводиться захист рослин проти хвороб: основна операція – внесення робочого розчину; допоміжна – підвезення води і препарату.

Аналіз стану поля на забур'яненість. Проводиться за прописаною вище методикою. Знищення бур'янів: основна операція – внесення робочого розчину; допоміжна – підвезення води і препарату.

Збереження накопиченої енергії. Вчасне виконання відповідного агрозаходу операції забезпечує не тільки збереження врожаю, а і отримання якісної продукції, що в свою чергу сприяє вищій вартості врожаю. *Основна технологічна*

операція – збирання; допоміжна *операція* – транспортування.

Використання теоретичних основ побудови алгоритму, забезпечення якості створення оптимальних умов для росту і розвитку рослин сприяє оптимізації всіх техніко-технологічних процесів виробництва культур, зменшує хімічне навантаження на ґрунт та вплив ходових систем на структуру ґрунту на ґрунт.

Висновки.

За результатами проведених досліджень розроблено математичну модель обґрунтування якісних показників роботи машинних агрегатів, їх оптимальних режимів роботи, які забезпечують потреби рослин у процесі їх росту і накопиченню енергії.

Використання теоретичних основ для розробки алгоритму встановлення якості виконання механізованих операцій забезпечує створення умов для росту і розвитку рослини; зменшує навантаження мінеральних добрив на ґрунт, засобів захисту рослин та вплив ходових систем на структуру ґрунту.

Список використаної літератури.

1. Пастухов В.І Якість роботи сільгоспмашин і біопотенціал сільгоспкультур.// Науково-технічний журнал "Техніка АПК" № 5-6 (545-546) 2001 р., С. 19-25.
2. <https://superagronom.com/news/4054-ukrayina-strimko-vtrachaye-rodyuchi-zemli--ekspert> (Станом на 27.10.2019 рік).
3. <https://vn.20minut.ua/Podii/vinnitski-fermeri-mozhut-zbirati-na-2535-bilshi-vrozhayi-pres-sluzhba--10939659.html> (Станом на 25.10.2019 рік)
4. Мироненко В.Г. Науково-технічні основи розробки засобів механізації з керованою якістю виконання технологічних процесів у рослинництві: Автореф... дис. док. тех. наук. – Х.: 2006. – 26 с.
5. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Методики обчислення вартості машино-дня та збитків від простою машин» [Електронний ресурс] // № 885 від 12 липня 2004 р. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/885-2004-p>
6. Пастухов В.І. Обґрунтування оптимальних комплексів машинних агрегатів для механізації польових робіт: Автореф... дис. док. тех. наук. – Х.: 2006. – 26 с.
7. Зубко В.М. Підвищення ефективності механізованого технологічного процесу вирощування та збирання озимого ріпаку: Автореф... дис. кан. тех. наук. – Х.: 2009. – 22 с.

Pastukhov V., Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture, Ukraine

Zubko V., Sumy National Agrarian University, Ukraine

Determining the quality of the technological operation in accordance with the requirements of plants

This article discusses the theoretical features of calculating the quality of technological operations. The quality of the technological process is influenced by a large number of factors that are not taken into account today, therefore the concept of "quality factor" is introduced. According to the results of scientific studies of the operation of machine units in the field, it was found that when the machine unit is operating, there is a certain way in which the quality is at a low level. This is the path of acceleration and braking, it has not been previously taken into account. Along with these studies, it was found that the density of the soil, automated systems for controlling the quality of the technological process, regulating the machine, moisture and porosity of the soil have a significant impact on the efficiency of the unit. To develop a controlled process, an algorithm for growing crops was developed, which takes into account the main periods and combines groups of factors affecting the growth and development of plants.

Keywords: *quality, productivity, crop*

Дата надходження до редакції: 21.07.2019

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ЗМІНИ ТВЕРДОСТІ ҐРУНТУ В РІЗНИХ ВИДАХ ОБРОБІТКУ ПІД ЦУКРОВІ БУРЯКИ В УМОВАХ СУМЩИНИ

Таценко Олександр Володимирович

Сумський національний аграрний університет

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1762-8219>

Email OlexTatsenko@gmail.com

Проведено наукові дослідження та моделювання показників властивостей ґрунту в різних способах та видах обробітку ґрунту під цукрові буряки в умовах чорноземних ґрунтів Сумщини. Процес дослідження та моделювання показників властивостей ґрунту проводився на основі зміни типу технічних засобів, які реалізують технологічний процес обробітку ґрунту.

Ключові слова: технологічний процес, обробіток ґрунту, цукрові буряки, технічні засоби, твердість ґрунту, дослідження, моделювання.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2019.3.5>

Постановка проблеми у загальному вигляді. Система обробітку ґрунту визначає умови росту і розвитку сільськогосподарських культур. В теперішній час велику увагу приділяють удосконаленню способів і систем механічного обробітку ґрунту як важливій умові розширеного відновлення його родючості, подальшого росту урожайності, валових зборів сільськогосподарських культур [1].

Пошуки ефективних технологічних рішень та заходів в технологіях виробництва сільськогосподарської продукції ведуться через впровадження нових підходів і способів в технологічних процесах та підбір технічних засобів для якісного їх виконання. Адже багаторічними дослідженнями встановлено [1, 2], що вплив агротехнічних заходів на врожайність с/г культур такий: живлення рослин - до 35%; обробітку ґрунту - до 20%; сортів і гібридів - до 15%; захисту від шкідливих організмів (бур'янів, шкідників, хвороб) - до 20%; інших заходів - до 10%.

Одним з основних напрямів в дослідженнях технологічних процесів обробітку ґрунту є пошук і удосконалення ресурсозберезувальної системи землеробства, яка базується на обробітку ґрунту, як різновиді ефективних обробітків ґрунту для визначених виробничих умов. Метою досліджень обробітку ґрунту є вивчення сукупності агрономічних і технічних показників, оцінка ефективності мінімалізації обробітку ґрунту та її впливу на ріст і розвиток сільськогосподарських культур в тому числі і цукрових буряків.

В зв'язку з цим науковцями ведуться роботи з удосконалення систем обробітку ґрунту та технічних засобів для їх реалізації, підвищення їх ролі у боротьбі з ерозією, надмірним ущільненням ґрунту, і орієнтованих на скорочення витрат праці і енергії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Обробіток ґрунту – одна з найважливіших складових системи землеробства. Незважаючи на те, що серед факторів, які впливають на врожайність, йому, на думку деяких вчених, відводиться лише 7,5-17,4%, але це найбільш значуща й енергонасичена сукупність технологічних операцій.

В сучасних умовах отримувати високі й стабільні врожаї с.-г. культур без врахування їх вимог до фізичного стану ґрунту практично неможливо.

Одним з найважливіших завдань обробітку ґрунту є саме створення культурним рослинам такого фізичного стану ґрунту в зоні розміщення основної маси кореневої системи рослин, який забезпечив би їх нормальне функціонування.

Фізичними властивостями, крім того, визначається і

рівень ґрунтової родючості.

Ще в середині XIX століття було встановлено, що не можна підвищувати родючість ґрунту без забезпечення рослин відповідною кількістю води, повітря, тепла.

Структура ґрунту – один із основних факторів його родючості. У структурному ґрунті створюються оптимальні умови водного, повітряного й теплового режимів, які, в свою чергу, активізують розвиток мікробіологічної діяльності, інтенсивність засвоєння поживних речовин рослинами. Навпаки, в безструктурному ґрунті вода й повітря стають антагоністами. Безструктурний ґрунт погано поглинає воду, збільшуючи при цьому поверхневий стік на схилах. Покращувати структуру ґрунту можна різними методами: біологічними, хімічними, фізико-хімічними, фізичними та механічними. Серед останніх обробітку ґрунту належить провідне місце.

Заміна оранки безполіцевим обробітком у більшості випадків приводить до покращення структури ґрунту. Зменшення глибини обробітку та їх кількості також сприяє покращенню структурного складу ґрунту, зокрема вмісту водотривких агрегатів.

Вчені вважають, що при всіх способах обробітку відбувається руйнування агрономічно цінної структури ґрунту, але найбільше цей процес виражений при оранці.

Багаторічні дослідження вчених показали, що такі фізичні показники ґрунту, як щільність, твердість, шпаруватість та інших, можна в певних межах регулювати заходами та способами обробітку, причому не тільки в цілому по орному шару, а й в окремих ґрунтових прошарках.

При механічній дії на ґрунт, як відомо, змінюються його агрофізичні властивості, які, в свою чергу, впливають на водно-повітряний і тепловий режим ґрунту. Вплив механічного обробітку на якість підготовки ґрунту проявляється через зміну фізичного режиму ґрунту та поліпшення умов росту й розвитку рослин. В той же час потрібно зазначити, що створення заходами обробітку ще не гарантує оптимальних фізичних умов для життєдіяльності кореневої системи вирощуваних рослин.

Слід також відзначити, що, за даними численних експериментів, диференціація оброблюваного шару ґрунту, яка має місце при безполіцевому обробітку, не погіршує умов живлення вирощуваних рослин. Що стосується поживного режиму ґрунту при різних системах обробітку, то можна вказати на таку загальну тенденцію: застосування замість поліцевого менш інтенсивного безполіцевого обробітку, а також

його мінімізація спричиняють сповільнення процесів мінералізації органічних речовин ґрунту, а отже, і збільшення їх запасів у порівнянні з більш інтенсивним обробітком, що є за сучасних умов прогресивним явищем.

В сівозінах цукрові буряки розміщуються як після ранніх, так і пізніх попередників. Ця обставина сполучена з дещо різними завданнями, що ставляться до зяблевого обробітку ґрунту. В обох випадках він повинен забезпечити якісне кришіння, попереджувати утворення брил, створювати умови для максимального накопичення вологи в осінньо-зимовий період. Після ранніх попередників одним із основних завдань зяблевого обробітку ґрунту є покращення його стану, передусім очищення від бур'янів. Як відомо, після культур, які рано збираються, застосовують два види зяблевого обробітку ґрунту – напівпаровий та поліпшений.

Вибір знаряддя та глибина їх проведення залежать від ступеня та характеру забур'яненості, умов зволоження та щільності ґрунту, рельєфу місцевості. Результати багаторічних експериментів, виконаних рядом науково-дослідних установ, свідчать про високу ефективність застосування в системі обробітку ґрунту комплексу безполіцевих ґрунтообробних знарядь. Перевага їх використання для обробітку ґрунту полягає ще в тому, що на проведення цієї операції витрачається менше енергетичних зусиль (на 10-12%).

Технологічні процеси по обробітку ґрунту є основними складовими частинами зональних науково обґрунтованих систем землеробства. Особливо важливе значення вони набувають в сучасних умовах, коли істотно погіршилось ресурсне забезпечення аграрних підприємств [3].

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Розв'язання цих задач можливе за рахунок вибору раціональної системи операцій по обробітку ґрунту та чинних технічних засобів (робочих машин та інше) ставлячи в основу та використовуючи при цьому критерій ефективності затрат та якість обробітку.

Метою роботи є пошук напрямків підвищення ефективності обробітку ґрунту під цукрові буряки та використання те-

хнічних засобів для їх реалізації в умовах лівобережного Лісостепу України.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступну науково-практичну задачу, яка базується на визначенні твердості ґрунту в різних видах обробітку ґрунту та зміну її на протязі вегетаційного періоду цукрових буряків.

Теоретичні передумови наукового дослідження. Розв'язання задач по підбору раціонального і ефективного виду та способу обробітку під цукрові буряки для умов Сумщини можливе за рахунок вибору раціональної системи операцій по основному обробітку ґрунту та чинних технічних засобів (робочих машин та інше).

Метою роботи є пошук напрямків підвищення ефективності основного обробітку ґрунту під цукрові буряки та використання технічних засобів для їх реалізації в умовах Сумщини через зменшення витрат на проведення механізованих технологічних процесів обробітку ґрунту.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступну науково-практичну задачу, яка базується на визначенні твердості ґрунту в різні періоди у посівах цукрових буряків для різних видів основного обробітку ґрунту у виробничих умовах чорноземних ґрунтів Сумщини.

З метою дослідження впливу технологічних процесів обробітку ґрунту на базі Інституту сільського господарства Північного Сходу НААН в умовах стаціонарного дослідного поля проводилися дослідження різних варіантів обробітку ґрунту в технологіях вирощування цукрових буряків, які базуються на наступних способах основного обробітку ґрунту: оранка на глибину 25...27 см (варіант 1); плоскорізнний (чизельний обробіток) на 14...16 см (варіант 2); дискування на глибину 10...12 см (варіант 3); дискування на глибину 4...6 см (варіант 4). Варіанти обробітку ґрунту були закладені з використанням енергетичного засобу (трактора) МТЗ-82 та наступних ґрунтообробних знарядь: глибокий поліцевий (оранка на глибину 25-27 см) - агрегатом у складі з навісним плугом ПЛН-3-35; плоскорізнний (чизельний) - агрегатом КЛД-2,0; дискування на глибину 10-12 см – дисковим агрегатом АГ-2,4; дискування на глибину 4-6 см – дисковим агрегатом АГ-2,4.

Таблиця 1 - Схема дослідю

Варіант	Вид обробітку ґрунту	Глибина обробітку, см	Агрегат
1	Оранка	27	МТЗ-82+ПЛН-3-35
2	Плоскорізнний (чизельний)	16	МТЗ-82+КЛД-2,0
3	Дискування	12	МТЗ-82+АГ-2,4
4	Дискування	6	МТЗ-82+АГ-2,4

Результати дослідження. В дослідженнях вивчався такий механіко-технологічний показник, як твердість ґрунту. Твердість ґрунту визначалася згідно існуючих методик в п'ятикратній повторності на ділянках з визначенням показ-

ника в рядку і міжрядді посівів цукрових буряків. Зміна твердості в залежності від глибини обробітку представлені: при появі сходів (Рис. 1 – Рис. 4), в період росту (вегетації) (Рис. 5 – Рис. 8) та перед збиранням (Рис. 9 – Рис. 12).

- твердість ґрунту при появі сходів

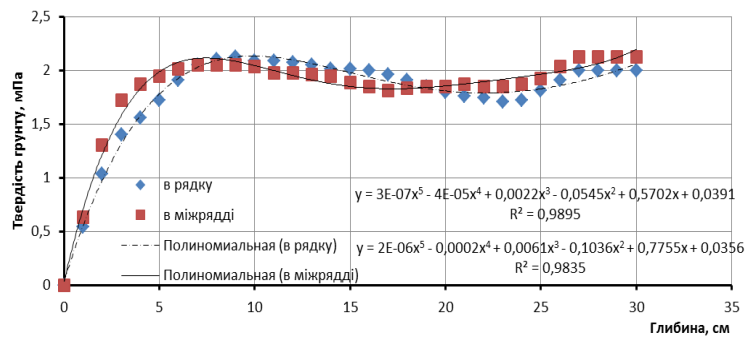


Рис. 1 Твердість ґрунту на оранці.

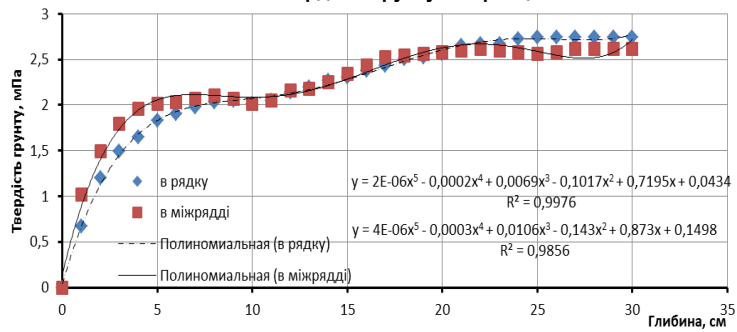


Рис. 2 Твердість ґрунту на на плоскорізнному обробітку.

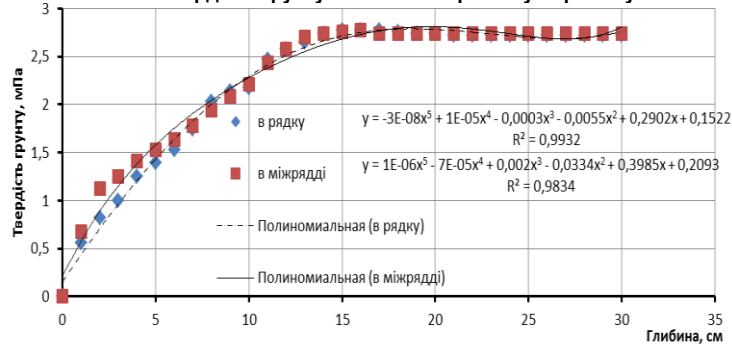


Рис. 3 Твердість ґрунту на дискуванні 12 см.

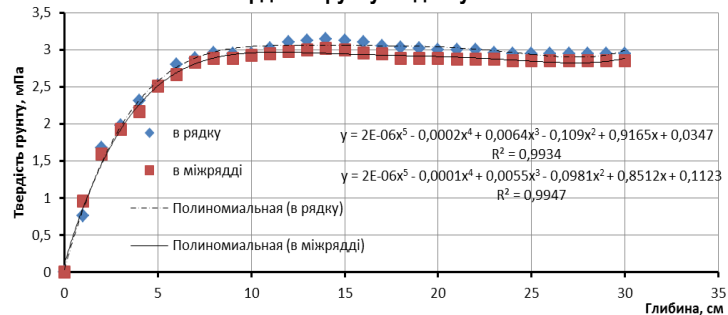


Рис. 4 Твердість ґрунту на дискуванні 6 см.

Аналізуючи отримані результати дослідження твердості ґрунту в залежності від глибини в різних схемах (оранка, плоскорізнний обробіток та дискування на глибину 6 см і 12 см) можна зробити висновок, що закон зміни контролююмого показника описується поліноміальною залежністю п'ятого порядку з коефіцієнтом достовірності, який змінюється від 0,9834 до 0,9976 при проведення замірів при появі сходів цукрових буряків.

- **твердість ґрунту в період росту (середина вегетації)**

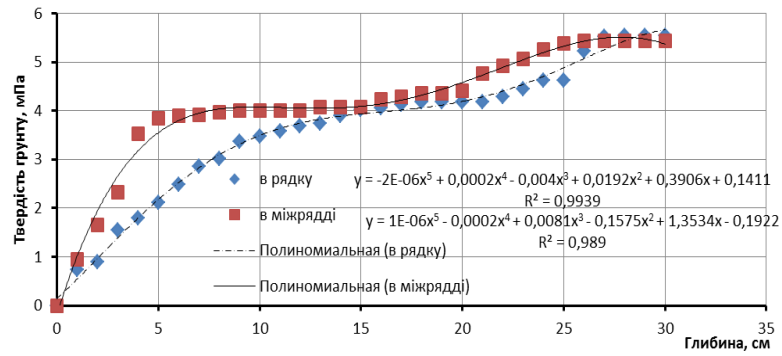


Рис. 5 Твердість ґрунту на оранці.

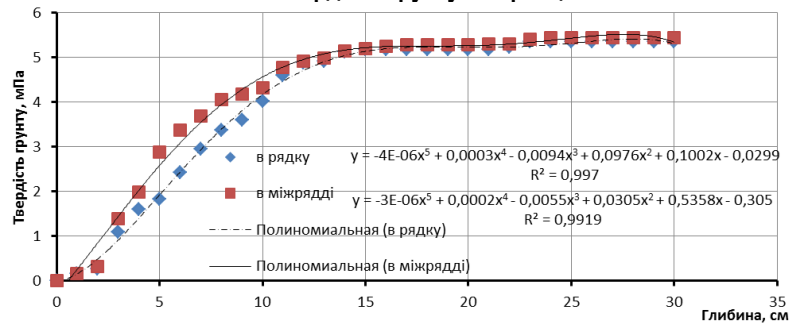


Рис. 6 Твердість ґрунту на на плоскорізнному обробітку.

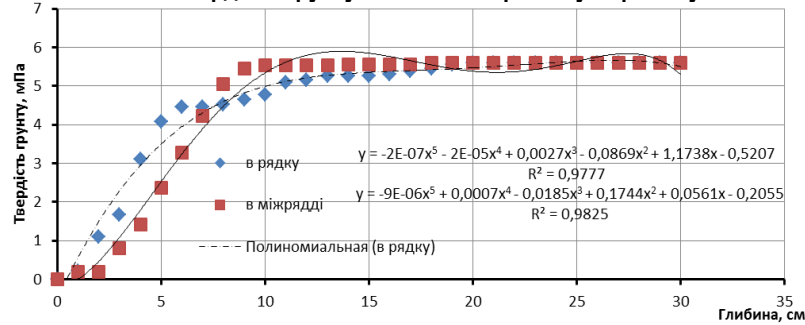


Рис. 7 Твердість ґрунту на дискуванні 12 см.

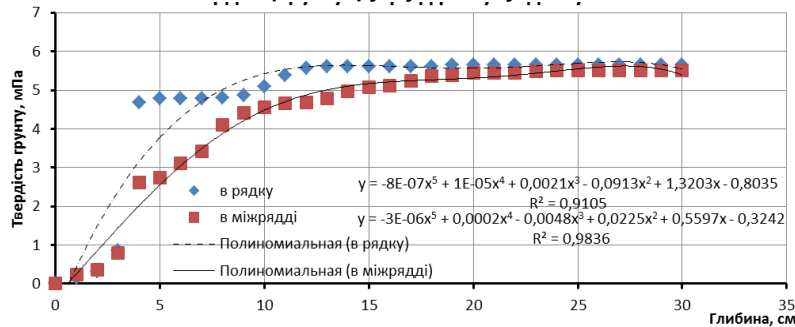


Рис. 8 Твердість ґрунту на дискуванні 6 см.

Аналізуючи отримані результати дослідження твердості ґрунту в залежності від глибини в різних схемах (оранка, плоскорізнний обробіток та дискування на глибину 6 см і 12 см) можна зробити висновок, що закон зміни контролююмого по-

казника описується поліноміальною залежністю п'ятого порядку з коефіцієнтом достовірності, який змінюється від 0,9105 до 0,997 при проведення замірів в період росту цукрових буряків.

- твердість ґрунту перед збиранням

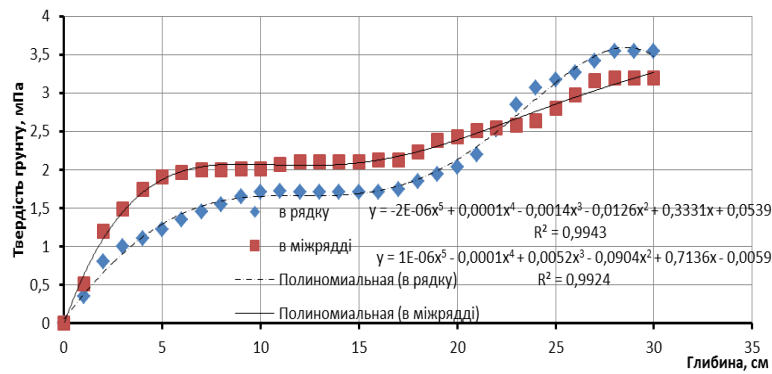


Рис. 9 Твердість ґрунту на оранці.

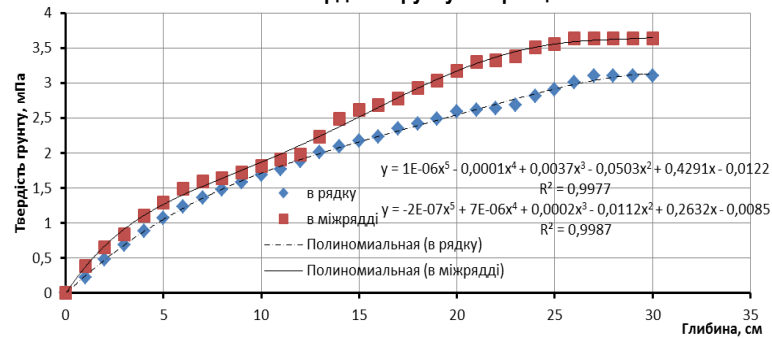


Рис. 10 Твердість ґрунту на плоскорізнному обробітку.

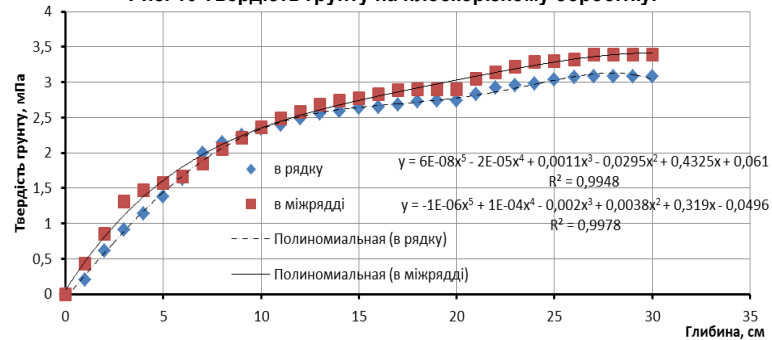


Рис. 11 Твердість ґрунту на дискуванні 12 см.

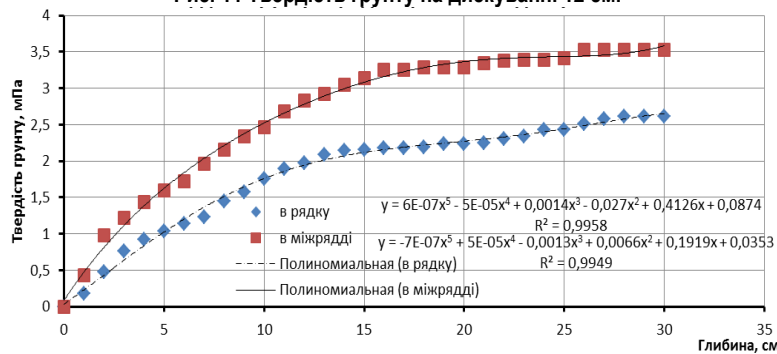


Рис. 12 Твердість ґрунту на дискуванні 6 см.

Аналізуючи отримані результати дослідження твердості ґрунту в залежності від глибини в різних схемах (оранка, плоскорізнний обробіток та дискування на глибину 6 см і 12 см) можна зробити висновок, що закон зміни контролююмого показника описується поліноміальною залежністю п'ятого порядку з коефіцієнтом достовірності, який змінюється від 0,9924 до 0,9987 при проведенні замірів в період перед збиранням цукрових буряків.

Відображення результатів дослідження і моделювання математичних залежностей зміни твердості ґрунту в

залежності від глибини для реалізації різних варіантів технологічного процесу обробітку ґрунту під цукрові буряки проводилось в програмному пакеті Microsoft Office (Excel) на основі загальних рекомендацій по математичному моделюванні [4].

Аналізуючи отримані результати, можна стверджувати, що параметр, який досліджується в даному випадку описується рівнянням поліноміальної залежності порядку виду:

$$y = ax^5 + bx^4 + cx^3 + dx^2 + ex + i \quad (1)$$

де: y – функція (твердість ґрунту, мПа);

a, b, c, d, e — коефіцієнти регресії; i — вільний член регресії, x — аргумент (глибина обробітку, см).

Висновки.

Вибір способів обробітку ґрунту і його мінімізація під цукрові буряки дає можливість скорочення матеріальних і витрат енергетичних ресурсів. Але вибір способу обробітку ґрунту повинен спиратися на систему якісних показників властивостей ґрунту, які обумовлюються вимогами рослин до умов росту і розвитку в системі технологій виробництва цукрових буряків. Моделювання математичних залежностей

зміни показників властивостей ґрунту повинно базуватися на виробничих умовах, вимогах до технологічних операцій, які відтворюють взаємопов'язані фактори технологій вирощування цукрових буряків.

Так виходячи з проведених досліджень і отриманих результатів можна сказати, що зміна твердості ґрунту в залежності від глибини при різних видах обробітку під цукрові буряки і описується поліноміальною залежністю п'ятого порядку з коефіцієнтом достовірності, який змінюється в межах 0,9105...0,9987 в залежності від періоду проведення замірів.

Список використаної літератури:

1. Танчик С. Плуг не відмінюється. *Пропозиція*. 2010. №12. С. 76-77.
2. Сайко В. Ф., Малієнко А. М. Системи обробітку ґрунту в Україні: Київ: ТОВ ВД "ЕКМО", 2007. - 44 с.
3. Марченко В. В., Котко І. Г., Опалко В. І. Технології та технічні засоби сівби при мінімальному і нульовому обробітку. *Аграрна техніка*. 2009. № 1. С. 20.
4. Бахрушин В. Є. Математичне моделювання: навчальний посібник / Бахрушин В.Є. - Запоріжжя: ГУ "ЗІДМУ", 2004. - 140с.

Tatsenko O.V., Sumy National Agrarian University, Ukraine

The research and modeling the dependence of changes soil hardness in different types of tillage under sugar beet in the conditions of Sumy region.

The offered article contains methodical approaches to determination of physical and mechanical soil parameters in different types of tillage. This method makes it possible to perform analytical studies to determine the impact of technical means on the conditions of growth and development of sugar beet.

Research and modeling of soil physical and mechanical properties for the tillage of the soil under sugar beet in the conditions of Sumy region.

The review of features and types of tillage technologies. Ways to minimize the costs of soil. A study of physical and mechanical expenditure for tillage under sugar beet. A mathematical model of change of physical and mechanical costs (soil hardness) for tillage, depending on the conditions of its implementation.

Agricultural production. Areas of agricultural production. Cost of agricultural produce. Economical use of resources. Conservation of resources. Reducing energy consumption. The efficiency of agricultural production. Technology of growing and harvesting of agricultural products. Production of sugar beet.

The basic premise of choice and the type of soil under sugar beet. Minimize physical and mechanical expenditure conditions of the economy.

The aims and objectives of the study. Terms and schemes of tillage soil. Soil hardness of soil under sugar beet.

Scientific research and modeling. Plan your experiment. Experimental data unit physical and mechanical costs by machine aggregate.

Mathematical treatment of the results of the study. Simulation results of research and modeling on a PC (Personal electronic decoupling machine). Mathematical model of change physical and mechanical (soil hardness) indicators is a polynomial of order 3, which describes the change in response to changes in parameter values of impact factors. Predicting changes in soil hardness consumption during tillage sugar beet.

Keywords: technological process, tillage soil, sugar beet, technical means, soil hardness, research, modeling.

Дата надходження до редакції: 28.06.2019

Барабаш Григорій Іванович

кандидат технічних наук, доцент
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0003-1075-479X
email kaf_et@i.ua

Мікуліна Марина Олександрівна

кандидат економічних наук
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0002-6918-5192
email marinamikulina1@ukr.net

В запропонованій статті наведені методичні підходи стосовно визначення основних техніко-економічних показників зернозбирального комбайна в залежності від рівня врожайності пшениці, що дає можливість встановити вплив цього чинника на собівартість одиниці зібраної площі та одиниці маси намолоченого зерна.

Ключові слова: комбайн, збирання, балансова вартість, паливо, затрати праці, експлуатаційні витрати, собівартість.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2019.3.6>

Постановка проблеми. Проблема полягає в тому щоб встановити залежності показників використання зернозбирального комбайна від рівня врожайності зерна пшениці шляхом математичного моделювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Загально відомо, як визначаються показники використання зернозбиральних комбайнів при відомих технічних характеристиках та величини врожайності різних зернових культур. Однак аналітичних досліджень стосовно того, як впливає рівень врожайності озимої пшениці на показники ефективності роботи конкретної марки комбайна нами виявлено не було.

Формування цілей статті та мета досліджень.

Надати методичні підходи по визначенню основних техніко-економічних показників використання зернозбиральних комбайнів, які суттєво впливають на собівартість 1га зібраної площі та на 1т намолоченого зерна і порівняти їх при різних рівнях врожайності зерна пшениці.

Теоретичні передумови та результати досліджень

Вихідні дані:

Зернозбиральний комбайн ПАЛЕССЕ GS 12.

Площа поля $F=150$ га

Варіанти

1	11	111	1У
---	----	-----	----

Рівень врожайності зерна, $У_з$, ц/га

35	50	75	90
----	----	----	----

Техніко-експлуатаційні показники :

Продуктивність комбайна

за 1 год. змінного часу, $\omega_{зм}$, га/год.

5,21	3,68	2,50	2,09
------	------	------	------

Витрата палива, $G_{за}$, кг/га,

7,1	8,4	10,3	11,5
-----	-----	------	------

Послідовність розрахунків [1.2.3]

1.Тривалість роботи комбайнів, t , год.:

$$t = F / \omega_{зм} \quad (1)$$

де F – площа поля, га; $F=150$ га;

$\omega_{зм}$ – продуктивність комбайна за 1 год. змінного часу, га/год. (Варіанти вихідних даних). Цей показник визначається аналітичним шляхом за відомими методиками [2,3]

або береться із типових норм виробітку для конкретної зони.

2. Доля роботи в річному завантаженні комбайна, δ :

$$\delta = \frac{t}{T} \quad (2)$$

де T – річне завантаження, год.

Для умов Лісостепу Сумської області зернозбиральний комбайн повинен мати річне завантаження для типових господарств не менше 550 год.[1]

3. Ціна комбайна, C_k , грн.

Ціна комбайна ПАЛЕССЕ GS 12 становить 3278198 грн.

4. Балансова вартість комбайна, B_k , грн.:

$$B_k = 1,1 * C_k \quad (3)$$

$B_k = 3606018$ грн.

5. Відрахування на реновацію, S_p , грн.:

$$S_p = 0,01 * B_k * a_p * \delta, \quad (4)$$

де a_p – норма відрахувань на реновацію, %. $a_p = 11\%$.

6. Відрахування на поточний ремонт (ПР) та технічне обслуговування (ТО), $S_{то}$, грн.:

$$S_{то} = 0,01 * B_k * a_{то} * \delta, \quad (5)$$

де $a_{то}$ – норма відрахувань на технічне обслуговування і поточні ремонти, %. $a_{то} = 6,8\%$.

7. Витрати на паливо, S_n , грн.:

$$S_n = G_{за} * F * C_n = 1,3 * G_{за} * F * C_{дп}, \quad (6)$$

де $G_{за}$ – погектарна витрата палива, кг/га; (Варіанти вихідних даних).

C_n – комплексна ціна палива, грн./кг;

$C_{дп}$ – оптова ціна дизельного палива, грн./кг. $C_{дп} =$

22,0 грн./кг.

8. Кількість робітників на обслуговуванні комбайна, n_m , люд. $n_m = 2$.

9. Розряд працівників.(V1)

10.Тарифна ставка, S_m , грн/год. $S_m = 31,41$ грн./год.

11. Основна оплата праці, S_0 , грн.:

$$S_0 = S_m * n_p * t \quad (7)$$

12. Додаткова оплата праці, ΔS_g , грн.:

$$\Delta S_0 = 0,50 * S_0 \quad (8)$$

13. Загальна оплата праці з нарахуваннями, S_3 , грн.:

$$S_3 = (S_0 + \Delta S_0) k_{cs}, \quad (9)$$

де k_{cs} – коефіцієнт відрахувань на соціальні заходи (пенсійний фонд, фонд соціального страхування, фонд зайнятості). Відрахування на соціальні потреби складають 22% від заробітної плати. Тоді $k_{cs} = 1,22$.

14. Загальні експлуатаційні витрати, S , грн.:

$$S = S_a + S_{mo} + S_n + S_3 \quad (10)$$

15. Експлуатаційні затрати на одиницю роботи, $\&$, грн./га:

$$\& = \frac{S}{F} \quad (11)$$

16. Приведені витрати, Π , грн.:

$$\Pi = S + E * B_K / \omega_{zm} * t, \quad (12)$$

де E - норма ефективності капітальних вкладень, $E=0,15$.

17. Приведені витрати на одиницю роботи, n , грн./га:

$$n = \frac{\Pi}{F} \quad (13)$$

18. Затрати праці, z_n , люд.-год./га:

$$z_n = \frac{n_M}{\omega_{zm}} \quad (14)$$

Визначені показники наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Умови та показники використання комбайна

№ п/п	Показники	Одиниці виміру	Значення показників по варіантах			
			1	11	111	1У
1	Тривалість збирання	год. змін	28,8	40,8	60,0	71,8
			4,1	5,8	8,6	10,3
2	Доля роботи в річному завантаженні	-	0,052	0,074	0,109	0,131
3	Відрахування на реновацію	грн.	20626	28163	43236	51962
4	Відрахування на ПР та ТО	грн.	12751	17410	26728	32122
5	Витрати на паливо	грн.	30459	36036	44187	49335
6	Основна оплата праці	грн.	1809	2562	3769	4510
7	Додаткова оплата праці	грн.	905	1282	1885	2255
8	Загальна оплата праці з нарахуваннями	грн.	3311	4690	6898	8253
9	Загальні експлуатаційні витрати	грн.	67147	86299	122000	141672
10	Питомі експлуатаційні витрати	грн./га	448	575	813	944
		грн./т	128	115	108	105
11	Загальні приведені витрати	грн.	70752	89902	125606	145277
12	Питомі приведені витрати	грн./га	472	599	837	969
		грн./т	135	120	112	107
13	Затрати праці	люд.*год./га	0,384	0,543	0,800	0,957
		люд.*год./т	0,110	0,109	0,107	0,106

Висновки.

1. Аналіз впливу рівня урожайності зерна на економічну ефективність роботи зернозбирального комбайну можна здійснити по затратах на 1 т намолоченого зерна, оскільки зрозуміло, що чим більша врожайність зерна тим більше витрачається коштів на 1 га зібраної площі.

2. Розрахунки показали, що із збільшенням врожайності зерна загальні витрати на 1т намолоченого зерна зменшуються. Це відбувається за рахунок зменшення витрат на паливо та заробітну плату безпосередніх виконавців. Якщо при врожайності зерна 35 ц/га собівартість 1т намолоченого зерна становила 135 грн., то при врожайності 90 ц/га – 107 грн., тобто на 28 грн. менше.

3. В загальному балансі витрат найвище місце посідають витрати на паливо : від 34,8 % (при врожайності зерна 90 ц/га) до 45,4% (при врожайності зерна 35 ц/га). Пояснити це можна тим, що при збиранні малоурожайних площ комбайну потрібно затратити більше енергії на самопересування, а значить і більше витратити палива на 1т намолоченого зерна.

4. Затрати праці на 1т намолоченого зерна зменшуються із збільшенням врожайності зерна. Якщо при врожайності зерна 35 ц/га на кожну тону зерна затрачалося 0,110 люд.*год., то при 90 ц/га – 1,106 люд.*год. Пояснюється це тим, що продуктивність комбайна по намолоту зерна в першому випадку менша – на 0,6 т/год.

Список використаної літератури:

1. Барабаш Г.І. Методичні підходи до обґрунтування нормативу річного завантаження зернозбиральних комбайнів / Г.І. Барабаш, Таценко О.В. // Вісник Сумського Національного Аграрного Університету, серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів». вип. 10/2(30) – 2016, с.32.
2. Методика розробки операційної технології механізованих польових робіт / Г. І.Барабаш, В. М. Зубко, О. Г. Барабаш, Т. В. Хворост. – Суми: ТОВ "Друкарський дім "Папірус", 2016. – 130 с.
3. Оптимізація комплексів машин і структури машинного парку та планування технічного сервісу / [Мельник І.І., Гречко-сій В.Д., Марченко В.В., Михайлович Я.М., Мельник В.І., Надточій О.В.]; за ред. І. І. Мельника. – Київ: Видавничий центр НАУ, 2004. – 85 с.

Barabash G.I., Sumy National Agrarian University, Ukraine

Mikulina M.A., Sumy National Agrarian University, Ukraine

The dependence of technical and economic indicators of the use of grain training on the level of the crop of winter wheat

The proposed article provides methodological approaches for determining the main technical and economic performance of a combine harvester depending on the level of wheat grain yield, which makes it possible to establish the influence of this factor on the cost of one hectare of harvested area and one ton of threshed grain.

An analysis of the effect of grain yield on the economic efficiency of the grain harvesting combine can be carried out at the cost of 1 ton of milled grain, since it is clear that the greater the yield of grain, the more spent on 1 hectare of collected area.

Calculations have shown that with an increase in grain yield, the total cost per 1 ton of milled grain is reduced. This is due to a reduction in fuel costs and wages of direct performers. If for a grain yield of 35 centners per hectare, the cost of 1 ton of milled grain was 135 UAH, then at a yield of 90 centners / ha - 107 UAH, that is, 28 UAH. Less.

In the general balance of expenses, the highest place is the cost of fuel: from 34,8% (with a grain yield of 90 c / ha) to 45,4% (with a grain yield of 35 c / ha). This can be explained by the fact that when harvesting low-yielding areas of a combine it is necessary to spend more energy on self-movement, and therefore to spend more fuel on 1 t of milled grain.

Labor costs per 1 ton of milled grain decrease with increasing grain yield. If at the yield of grain 35 p / ha per ton of grain was spent 0.110 people * h, then at 90 p / ha - 1,106 people. * H. This is due to the fact that the productivity of the harvester on the milled grain in the first case is less - by 0,6 t / year.

Key words: combine, cleaning, book value, fuel, renovation of labor costs, operating costs, reduced costs.

Дата надходження до редакції: 12.08.2019

ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПОПЕРЕДЖЕНОЇ ШКОДИ ВІД ЗАБРУДНЕННЯ ВОДОЙМ

Шандиба Олександр Борисович

кандидат технічних наук, доцент
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0003-3003-7173
email Alexandrshandyba@gmail.com

Хурсенко Світлана Миколаївна

ORCID: 0000-0001-6307-2042
email khursenkosvetlana@gmail.com

Семерня Олена Володимирівна

ORCID: 0000-0002-0201-1294
email semernya.olena@gmail.com

Внаслідок захворюваності людей при забрудненні довкілля суспільство зазнає суттєвих економічних втрат. У процедурі оцінюванні завданих збитків та плануванні заходів безпеки зазвичай виділяють два основних етапи, що полягають в прямому підрахунку різноманітної фінансової та інших видів шкоди та маркетинговому аналізі з мінімізацією співвідношення „витрати – попереджена шкода”. В останньому випадку необхідно мати не лише репрезентативну статистичну базу даних моніторингу забруднення та захворюваності, але й прийнятну оптимізаційну модель з визначеними ризиками прояву небезпечних факторів забруднення. У запропонованому підході процедура оцінювання шкоди та оптимізації витрат обмежується лише грануляційним складом мінеральних добрив та водоохоронним ефектом пролонгованої (уповільненої) дії більш крупних гранул.

Ключові слова: довкілля, водойма, забруднення води, міграція, концентраційний фон, еколого-економічна оцінка, мінеральні добрива, шкідливі компоненти.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2019.3.7>

1. Вступ

Порівняльну еколого-економічну ефективність капітальних витрат на водоохоронну діяльність слід розраховувати вже на стадії планування агрохімічних заходів в рослинництві, впровадження нових видів сільськогосподарської техніки, будівництва нових чи реконструкції існуючих систем зрошення.

Величину попередженої економічної шкоди від забруднення поверхневих водойм визначаємо згідно типової широко розповсюдженої методики, схваленої керівними господарчими та науково-дослідними установами:

$$Ш_n = k\Phi M, \quad (1)$$

де k – чисельна константа шкоди, прийнята з еколого-економічних обґрунтувань, що оцінюється приблизно 400 грн на умовну тону забруднюючої речовини;

Φ – тарифна константа самоочисної потужності водойми залежно від антропогенного навантаження на неї та кліматичного поясу;

M – приведена маса забруднення, попередженого від потрапляння до водойми.

У свою чергу приведена маса попередженого забруднення M визначається через обсяг та токсичність забруднень різної природи, що потрапляють до водойми внаслідок міграції:

$$M = W \sum_{i=1}^N A_i m_i \quad (2)$$

де W – загальна кількість опадів, що спричинили міграцію забруднень обсягом M ;

N – загальна кількість забруднень, що мігрують до водойми;

i – номер контрольованого забруднення;

m_i – попереджена маса річного скиду i -го забруднення внаслідок його міграції;

A_i – показник відносно токсичності скидання i -го забруднення до водойми.

При цьому $A_i = \frac{1}{ГДК_i}$ визначається як відношення

деякого умовного токсичного забруднення з одиничною гранично допустимою концентрацією $ГДК$ до $ГДК_i$ фактичного контрольованого забруднення.

Розрахункова кількість мігруючих забруднень у ґрунтово-водній системі сільськогосподарських угідь узгоджується з перевищенням фактичної концентрації забруднення над допустимим його рівнем для контрольних ділянок. Наприклад, розрахунок приведеної маси по забрудненню «азот» слід вести за показником «азот загальний» та за величиною відносно небезпеки мігруючого забруднення.

2. Огляд проведених досліджень в галузі забруднення водойм мігруючими розчинними токсичними компонентами. Постановка мети та задач роботи.

Одним з цільових елементів екологічної безпеки є система оцінювання та аналізу реального концентраційного фону забруднень та прогнозування його змін з часом. На основі сукупності таких даних стає можливим розрахунок еколого-економічних ризиків і підтримка оптимальних управлінських рішень [1-3].

Процедури моніторингу якості води в природних водоймах передбачає:

- створення геогідродинамічних та геохімічних карт прибережних зон;

- визначення характеру господарської діяльності в цих зонах;
 - ідентифікацію існуючих та потенційних джерел забруднення, особливо неорганізованих;
 - розробку методики збирання та оброблення лабораторних даних контрольних ділянок, в першу чергу, найбільш інформаційних, індикативних;
 - менеджмент моніторингових даних, що включає статистичний аналіз, інтерпретацію, презентацію та розповсюдження в інформаційних мережах, включаючи широкий суспільний загал [12,13,14].

В зв'язку з підвищенням рівня радіаційної небезпеки та розповсюдженням полігонів для складування токсичних відходів акцент досліджень в галузі міграції рухомих компонентів стосувався переважно ідентифікації та аналізу зон забруднення [4-5]. Фізико-хімічні механізми розчинення та вимивання рухомих компонентів в ґрунтах розглядались стосовно гранульованих мінеральних та органо-мінеральних добрив [6-8]. Лабораторну процедуру дослідження кінетики процесу розчинення гранульованого продукту представлено в роботі [9]. Ідентифікації небезпек, оцінюванню та попередженню ризиків з точки зору безпеки життєдіяльності присвячені роботи [10,11].

Слід зауважити, що результати еколого-економічного оцінювання шкоди від забруднення доквілля розраховувались на основі різних методик і часто не давали ґрунтовних об'єктивних підстав для прийняття управлінських рішень [6,11].

Таким чином, в представленому дослідженні поставлена мета розробити інженерний підхід до мінімізації шкоди

довкіллю, зокрема, ґрунтовим та поверхневим водам внаслідок міграції розчинних компонентів гранульованих мінеральних добрив.

3. Вплив гранулометричного складу мінеральних добрив

Для оцінювання впливу гранулометричного складу та розчинності мінеральних добрив наведемо розрахунки розподілу маси вимитих та мігруючих компонентів. Пікова висота S_{max} кривих вимивання теоретично ілюструється порівняльною таблицею 1, де наведені відносні міграційні характеристики гранул різного діаметру d (пропорційно його кубу d^3) та коефіцієнта масовіддачі (обернено пропорційного діаметру) за однакової агротехнічної норми внесення та тривалості опадів.

Ідентичність норми внесення мінеральних добрив до ґрунту $idem$ гранулами різного розміру обґрунтована рівнянням матеріального балансу:

$$H = \rho n \frac{\pi d^3}{6} = idem, \quad (3)$$

де H – маса (норма) внесених гранул на одиницю площі;

ρ – густина гранул мінеральних добрив;

n – кількість гранул діаметром d , що припадає на одиницю площі;

d – діаметр гранул міндобрив.

Приймаючи $\rho = const$, отримаємо ідентичність норми внесення мінеральних добрив до ґрунту:
 $idem = nd^3$.

Таблиця 1

Вплив гранулометричного складу міндобрив на відносну кількість вимитої речовини %, що приймає участь у міграційному процесі

Діаметр d гранул, мм	10	8	6	4	2
Відносна маса гранули, %	100	51,2	21,6	6,4	0,8
Кількість n гранул відносно базового діаметра $d = 10$ мм	1	1,95	4,63	15,6	125
Відносна площа поверхні гранули	1	0,64	0,36	0,16	0,04
Відносна кількість вимитої речовини	1	1,25	1,67	2,5	5

Слід зауважити, що за однакової норми внесення добрив на базовий діаметр гранули $d = 10$ мм припадає 1,95 гранул діаметром 8 мм, 4,63 гранул діаметром 6 мм, 15,6 гранул діаметром 4 мм та 125 гранул діаметром 2 мм. Враховуючи, що масовіддача гранул збільшується пропорційно квадрату їх діаметра, загальна кількість вимитої активної речовини, що приймає участь в міграції по рельєфу контрольної ділянки до водойми, буде визначатись добутком відносної кількості гранул на відносну площу поверхні гранули. Тобто останній рядок таблиці 1 є добутком другого та третього рядка цієї таблиці. Очевидно, що для гранул діаметром 2 мм за однакової норми внесення та ідентичної інтенсивності опадів

в аналогічних геогідродинамічних умовах відносна кількість вимитої речовини у 5 разів перевищує аналогічний показник для базового розміру 10 мм.

4. Оцінювання характеру міграції та шкоди доквіллю

Аналіз міграційних кривих показав кореляцію пікових концентрацій з грануляційним складом внесених добрив (рис. 1). Розглянуті характеристики міграції розчинних компонентів мінеральних добрив в ґрунтово-водних системах дає підстави для агрохімічної оптимізації та еколого-економічного розрахунку попередженої шкоди доквіллю.

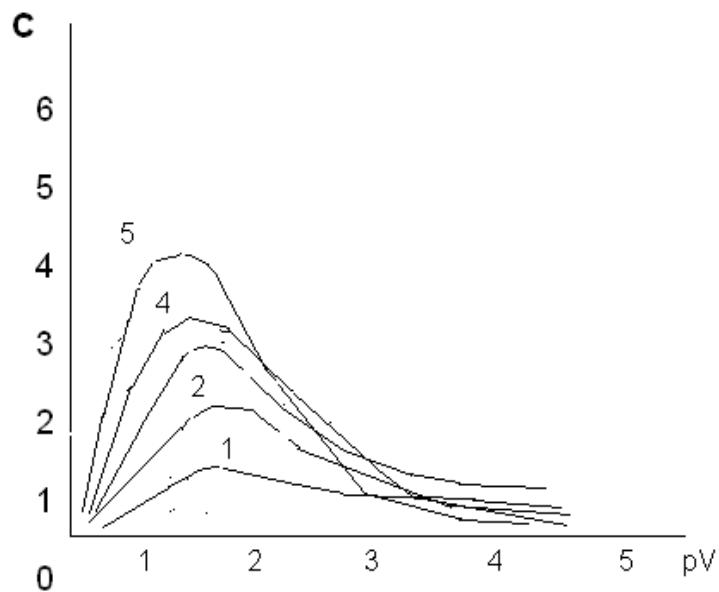


Рис. 1. Характер міграційних кривих рухомих компонентів залежно від гранулометричного складу внесених мінеральних добрив: 1 – 10 мм, 2 – 8 мм, 3 – 6 мм, 4 – 4 мм, 5 – 2 мм.

В якості прикладу проведемо оцінювання еколого-економічних наслідків застосування вказаного спектру мінеральних добрив. Для цього скористаємося базовою формулою шкоди довкіллю (1), де в якості M , відносної маси забруднення (розчинних компонентів гранульованого добрива), що ймовірно потрапить у водойму внаслідок міграції, візьмемо

розрахункові дані таблиці 1.

Трансформуємо індикативний графік еколого-економічного аналізу (рис. 1) до конкретних умов застосування гранульованих добрив на контрольних ділянках сільськогосподарських угідь. Результати аналізу наведено на рис. 2.

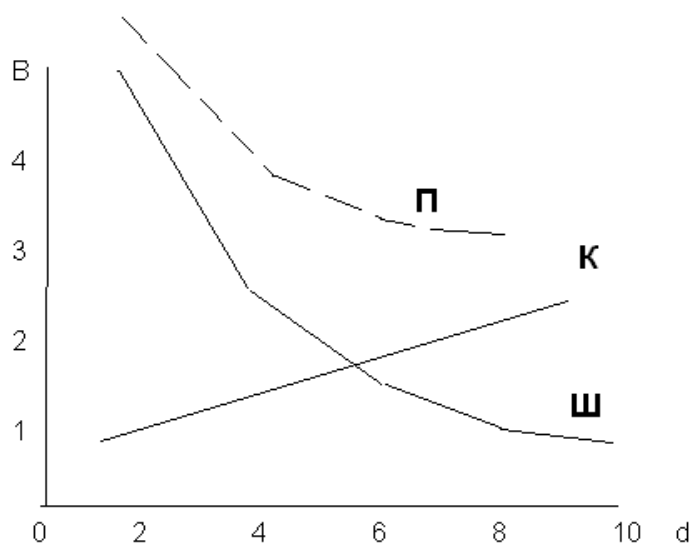


Рис. 2. Співвідношення приведеної вартості природоохоронних заходів Π , капітальних витрат K та шкоди від забруднення Ш мігруючими компонентами внесених гранульованих добрив різного діаметру

Спадаюча крива кількості мігруючих компонентів і відповідна еколого-економічна шкода водоймам залежно від гранулометричного складу має переважно експоненціальний характер відповідно до значень відносної кількості вимитої

речовини (останній рядок таблиці 1). Зростаюча вартість виробництва гранульованих добрив у першому наближенні апроксимується лінійною функцією. Таким чином, в результаті

взаємодії двох протилежних тенденцій є підстави знайти оптимум гранулометричного складу добрив пролонгованої дії і пов'язаних з їх виробництвом витрат (рис. 2).

Висновки

Екологічно небезпечним наслідком міграції токсичних компонентів мінеральних добрив, інтенсивного забруднення територій та земель сільськогосподарського призначення внаслідок хибного застосування мінеральних добрив мож-

ливо запобігти ефективною агротехнічною практикою, моніторингом довкілля та безпечним застосуванням мінеральних добрив та пестицидів.

Для обмеження і мінімізації руху будь-яких компонентів до ґрунтових або поверхневих вод слід проводити довгостроковий ґрунтово-екологічний прогноз, що включає геохімічне картографування на базі комп'ютерного моделювання разом з еколого-економічним оцінюванням попередженої шкоди.

Список використаної літератури:

1. Надточій П.П. Екологія ґрунту та його забруднення / Надточій П.П., Германенко В.Г., Вольвач Ф.В. – К. : Аграрна наука, 1998. – 286 с.
2. Добрива та їх використання: Довідник. – К. : Арістей, 2010. – 254 с. за фін. підтримки ДП «АГРОЦЕНТР ЄВРОХІМ-УКРАЇНА».
3. Измайлов Р.Р., Голованова О.А. Биорезорбируемость гранулированного композита на основе карбонатгидроксилапатита и желатина в средах с различными значениями pH // Вест. Ом. ун-та. 2015. № 2. С. 61–65.
4. Шандиба О.Б. Застосування методів Ейлера та Лагранжа в прикладних задачах гідродинаміки // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – № 2 (55). – 2016. – С. 181-185.
5. Шандиба О.Б., Шпетний Д.М. Моделювання динаміки концентраційного фону рухомих забруднень засобами EXCEL // Збірник наукових статей ІХ Міжнародної науково-практичної конференції «Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення» (9-13 вересня 2013) – Алушта, 2013. – Т. 2. – С. 156-159.
6. Шандиба О.Б., Шандиба І.О., Курило А.О., Шпетний Д.М. Економічна ефективність впровадження заходів охорони праці та довкілля // Технічний сервіс агропромислового та транспортного комплексів. – № 5. – 2016. – С. 188-192.
7. Холин Б.Г., Шандыба А.Б., Хохлов Л.Г. и др. Расчет перфорированных оболочек центробежных и вибрационных грануляторов // Химическая промышленность. – № 4. – 1991. – С. 40-42.
8. Шандиба О.Б., Вакал С.В., Толбатов А.В., Смоляров Г.А. Еколого-технологічні аспекти виробництва та застосування гранульованих мінеральних добрив // Монографія «Научное окружение современного человека». – 2018. – С. 147-155.
9. Данилов Д.Г. Экспериментальное исследование процесса растворения гранулированного коагулянта // Вестник ИГЭУ, вып. 2, 2008, С.1-4.
10. Шандиба І.О., Кузема О.С., Шандиба О.Б. Оцінювання впливу виробничих факторів на рівень техногенної безпеки // Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції «Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення»: – Т.2. – 2010. – С. 147-150.
11. Идентификация опасностей, оценка рисков и управление рисками [Электронный ресурс] // Услуги по охране труда и безопасности в Беларуси и Минске – Режим доступа: <http://helper.by/identifikaciya-opasnosteie-i-ocenka-riskov-upravleni.html>.
12. A.B.Shandyba, D.M.Shpetny. Pollution migration forecast for soil geochemistry mapping // Geomatics, Landmanagement and Landscape. – № 3. – Poland, Krakow. – december 2015. – P. 101-112.
13. D.Han, X.Tong, M.G.Kurrel, G.Cao, M.Jin, C.Tong. Evaluation of the impact on uncontrolled landfill on surrounded ground-water quality- Journal f Geochemical Exploration (2013), Elsevier-com.
14. D.Russo, A.Laufer, A.Silber, S.Assouline. Water up take, active root volume and solute leaching drip irrigation: A numerical study. – Water resources research, vol.45., W12413, 2009.

Shandyba A.B., Sumy National Agrarian University, Ukraine

Khursenko S.N., Sumy National Agrarian University, Ukraine

Semernya E.V., Sumy National Agrarian University, Ukraine

Ecology-economical damage assessment under water pollution

Due to human morbidity due to environmental pollution, society suffers significant economic losses. In the procedure for assessing damage and planning security measures, two main stages are usually distinguished, consisting of a direct calculation of various financial and other types of damage and a marketing analysis with minimization of the "cost - prevented damage" ratio. In the latter case, it is necessary to have not only a representative statistical monitoring database pollution and morbidity, but also acceptable optimization models with certain risks of manifestation of hazardous pollution factors. The hurra of damage assessment and cost optimization is limited only by the granulation composition of mineral fertilizers and the water-protective effect of the prolonged (delayed) action of larger granules.

Keywords: environment, water resources, pollution, migration, pollution concentration distribution, ecology-economical damage assessment, fertilizers, dangerous chemicals.

Дата надходження до редакції: 03.07.2019

Семірненко Юрій Іванович.

кандидат технічних наук, доцент
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0002-4230-4614
email usemirnenko@gmail.com

Семірненко Світлана Леонідівна

кандидат технічних наук, доцент
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0002-9304-3637
email semirnenkosv@gmail.com

Запропоновано удосконалення процесу сушки паливних брикетів із соломи з метою подальшого використання їх в якості місцевого палива, що розглядається як вирішення екологічних, енергетичних та економічних проблем. Приведено розрахунок процесу сушки паливних брикетів із застосуванням їх власного тепла, яке утворилося під час виготовлення, що дає можливість знизити витрати на технологічний процес виробництва паливних брикетів, знизити їх собівартість, збільшити ККД установок для спалювання брикетів та зменшити шкідливі викиди.

Ключові слова: солома, брикети, біомаса, сушка, спалювання, ущільнення, баланс, теплота, волога, ентальпія, теплосмістність, повітря.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2019.3.8>

Постановка проблеми. Солома, яка використовується для виготовлення паливних брикетів може мати вологість від 6 до 60%. Це, перш за все, залежить від умов її зберігання, вологості повітря та ін. факторів. Тому обов'язковою умовою використання соломи в енергетичних цілях є процес її сушки. Тобто, доведення вологості до значення, яке забезпечує найбільш повне згорання як самої соломи, так і виготовлених із неї брикетів.

Використовувати солому як паливо досить доцільно – з відносно дешевої сировини, яка залишається після збирання зернових, отримуємо екологічно чисте паливо. Однак, слід зазначити, що солома, як і кожен вид палива, має ряд недоліків, серед яких досить висока вологість і різний фракційний склад. Спалювання біомаси з високою вологістю суперечить ідеї використання біомаси як екологічно дружнього палива взамін шкідливого для навколишнього середовища вихлопного палива і більш схоже на утилізацію палива як відходів, ніж на ефективне використання палива для отримання теплової енергії. Шкідливі викиди при неповному спалюванні біомаси великі і згубно впливають на навколишнє середовище, людей, рослинний і тваринний світ. З економічної точки зору мають місце низький ККД і великі витрати палива. Отже, спалювання соломи підвищеної вологості є недопустимим з точки зору техногенного впливу на довкілля і тому обов'язковою умовою використання біомаси в енергетичних цілях є доведення її вологості до значення, яке забезпечує найбільш повне згорання [1].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Незважаючи на накопичені наукові здобутки та значний практичний досвід у сфері технології утилізації біомаси, які знайшли відображення в працях вітчизняних та зарубіжних дослідників, серед яких В. Мальтри, А. Долінський, Г. Гелетуха, Т. Железна, Г. Голуб та ін. [1, 2, 3, 4], перспективним напрямком досліджень для України є використання соломи в якості місцевого палива, що розглядається як вирішення екологічних, енергетичних та економічних проблем.

Аналіз зарубіжних та вітчизняних джерел дозволяє стверджувати, що найенергоємнішим етапом технологічного

процесу виробництва брикетів із рослинної біомаси є попередня сушка сировини, яка займає 34,2% загальних енерговитрат. Крім того, сушка подрібненої біомаси є пожежонебезпечною ділянкою технологічного процесу [5, 6].

Типова технологія виготовлення брикетів, що застосовується в нашій країні, передбачає сушку солом'яної біомаси після її подрібнення і подальше брикетування. При охолодженні брикетів йде процес безповоротної утилізації відібраного від брикетів тепла [4].

Запропонована в працях В. Войтова, І. Вороновського, В. Бунецького [6, 7] технологія виготовлення паливних брикетів без сушки солом'яної біомаси за рахунок застосування тонкого її помелу до 100 – 50 мкм призводить до збільшення витрат енергії на подрібнення.

Виділення невирішеної раніше частини загальної проблеми. Із аналізу наукових досліджень і огляду технічних засобів, які існують для охолодження і сушки брикетів встановлено, що на теперішній час не розроблені в достатній мірі способи і режими охолодження і сушки паливних брикетів із біомаси, які дозволили б створити установку, котра виконує не тільки інтенсивне охолодження, але й їх інтенсивну сушку за рахунок власного тепла брикетів.

Формування цілей статті. Метою досліджень є підвищення ефективності процесу виготовлення паливних брикетів із солом'яної біомаси за рахунок максимального використання їх власного тепла, яке утворюється при виготовленні брикетів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Нами досліджувалися брикети типу **Nestro**, які виготовлялися на ударно-механічному пресі.

При технологічному процесі брикетування соломи, як правило, використовується сировина із вологістю до 14%. Проте, у більшості випадків дану вологість соломи отримують при виконанні додаткової операції сушки. Для забезпечення технологічного процесу сушки використовують штучну сушку, тобто для сушки використовується тепловий агент із певними параметрами (температура, вологість та ін.). Для забезпе-

чення заданих параметрів теплового агента необхідне спалювання одного із видів палива, у переважній більшості традиційного (непоновлювального), спалювання якого завдає значної шкоди навколишньому середовищу, а також здорожує технологічний процес виготовлення паливних брикетів із соломи.

При виготовленні брикетів їх температура може сягати більше 100 °С, що вище температури розм'якшення лігніну. Для запобігання злипанню брикетів їх необхідно охолоджувати, що потребує додаткових витрат.

Більш широке використання сільгоспвиробниками такого поновлювального місцевого палива як солома призведе до використання її у різних модифікаціях, в тому числі і з підвищеною вологістю з метою скорочення витрат на сушку.

На основі проведених попередніх розрахунків була розроблена методика експериментальних досліджень з метою підтвердження можливості виготовлення паливних брикетів з підвищеною вологістю соломи та охолодження і сушки брикетів за рахунок використання тепла, що утворилося під час їх виготовлення. В результаті забезпечується висушування брикетів до необхідної вологості, що й зменшить витрати на їх виготовлення, а головне – скоротить кількість шкідливих викидів при спалюванні соломи брикетів.

З метою детальнішого аналізу процесу ущільнення важливе значення має розгляд балансів вологи і теплоти при брикетуванні соломи [8]. Загальний баланс вологи при брикетуванні запишеться у вигляді рівняння

$$V_c = V_b + V_n + V_{ox}, \quad (1)$$

де V_c – кількість вологи у соломі, що потрапляє на пресування, кг;

V_b – кількість вологи у кінцевому продукті (брикеті), кг;

V_n – втрати вологи від нагріву в процесі пресування, кг;

V_{ox} – втрати вологи при охолодженні брикетів, кг.

Ліва частина рівняння представляє кількість вологи в сировині, що потрапляє на пресування, а права – розподіл вологи після пресування (в брикеті).

Із загального балансу вологи кількість, яка буде в утвореному брикеті

$$V_b = V_c - V_n - V_{ox}. \quad (2)$$

Загальний баланс теплоти при брикетуванні соломи запишеться у вигляді

$$Q_t - Q_n = Q_b + Q_{ox}, \quad (3)$$

де Q_t – кількість теплоти, що виділяється при пресуванні, Дж;

Q_n – втрати теплоти в процесі пресування, Дж;

Q_b – кількість теплоти, що виноситься утвореними брикетами, Дж;

Q_{ox} – кількість тепла, що втрачається при переміщенні брикетів з песу на сушильну установку, Дж.

Різниця в лівій частині рівняння $Q_t - Q_n$ представляє кількість теплоти, яка йде на нагрів соломи в процесі пресування, а права частина рівняння представляє розподіл тепла після пресування. Співвідношення, що складають баланс вологи і тепла повинні бути оптимальними, оскільки вони дають суттєвий вплив на якісні, енергетичні та економічні показники процесів брикетування соломи.

Дослідження процесів тепло- та масообміну вологих матеріалів з зовнішнім середовищем являє собою складну теплофізичну задачу.

На основі аналізу літературних джерел по тепломасообміну [9, 10], сушці [11, 12, 13] та попередньо проведених експериментальних досліджень були зроблені наступні розрахунки і узагальнення.

Процес охолодження та сушки можна розділити на декілька етапів.

Гарячі брикети з преса потрапляють на апарат для охолодження та сушки, який розділений на дві ступені.

На першій ступені брикети сушаться за рахунок отриманого в результаті пресування тепла при обдуванні їх повітряним потоком, який створює вентилятор. Для підвищення ефективності сушки брикетів, забір повітря вентилятором виконується через шар гарячих брикетів із вузла завантаження паливних брикетів. На першій ступені крім сушки йде інтенсивне охолодження брикетів.

На другій ступені брикети сушаться за рахунок залишкового тепла брикетів та повітряного потоку, який направляє з першої ступені. При високій вологості брикетів підвищення температури повітряного потоку для забезпечення висушування до оптимальної вологості в другій зоні забезпечується електрокалорифером (при потребі). Висушені брикети поступають в вузол завантаження паливних брикетів, де йде їх інтенсивне охолодження за рахунок проходження потоку атмосферного повітря.

Нами були попередньо розраховані характеристики типового сирого брикету: відносна вологість W ; вологовміст u ; щільність брикетів $\beta_{сбр}$; маса типового сирого брикету $M_{сбр}$; об'єм займаний скелетом сухої соломи $V_{сс}$; вільна вода $V_{вод}$, повітря $V_{взд}$ в брикеті; маса сухої соломи $m_{сс}$, вільної води $m_{вод}$ та повітря $m_{взд}$ в сирому брикеті.

Приймаємо, що вихідне повітря відповідає характеристикам атмосферного повітря: середня температура $t_0 = 20,3^\circ\text{C}$, відносна вологість $\varphi = 65\%$.

Знаходимо питому ентальпію вхідного вологого повітря при прийнятих умовах, кДж/кг

$$h_{взд0} = (C_{взд} + X \cdot C_{пв}) \cdot t_0 + r_0 \cdot X, \quad (4)$$

де $C_{взд}$ – теплоємність повітря, приймаємо 1,01 кДж/кг·К;

$C_{пв}$ – теплоємність парів води, приймаємо 1,97 кДж/кг·К;

r_0 – питома теплота пароутворення при 20,3°С, приймаємо 2448,2 кДж/кг;

X – вологовміст вихідного атмосферного повітря 0,00954 кг/кг

$$X = 0,622 \cdot \varphi \cdot P_{нвл} / (P_{атм} - \varphi \cdot P_{нвл}), \quad (5)$$

де $P_{атм}$ – атмосферний тиск, Па;

$P_{нвл}$ – тиск насичених парів води при 20,3°С, Па.

Попередніми експериментальними дослідженнями встановлено, що температура брикетів, які виходять із пресу становить 95°С.

Визначаємо ентальпію свіжоприготованого брикету при 95°С, кДж

$$H_{брк0} = H_{ссн} + H_{воджн} + H_{вздн}, \quad (6)$$

де $H_{ссн}$, $H_{воджн}$, $H_{вздн}$ – відповідно ентальпія сухої соломи, вільної води, вологого повітря в сирому брикеті, кДж.

Так як атмосферне повітря перед подачею в апарат охолоджує брикети, які кулачковим транспортером направляються після сушки та охолодження в накопичувач, (тару) то воно підігрівається до 35°С, але зберігає вологовміст атмосферного повітря.

Питома ентальпія підігрітого до 35°C вхідного атмосферного повітря, кДж/кг

$$h_{вздп} = (C_{взд} + X \cdot C_{пв}) \cdot t_n + r_n \cdot X, \quad (7)$$

де r_n – питома теплота пароутворення при 35°C, приймаємо 2414,3 кДж/кг.

Оцінюємо відносну вологість повітря ϕ_n підігрітого до 35°C через вологовміст вхідного атмосферного повітря X . Відносна вологість повітря ϕ_n знаходиться в межах $0,272 < \phi_n < 0,273$.

Таким чином, підігрів атмосферного повітря до 35°C істотно знижує відносну вологість повітря, що підвищує рушійну силу перенесення парів води з поверхні брикету в повітря.

Розрахунок характеристик висушеного брикету. При проведенні розрахунків масою повітря в брикеті нехтуємо.

У висушеному брикеті після 2 ступені апарату міститься вільної води, кг

$$m_{вод2} = u_k \cdot m_{сс}, \quad (8)$$

де u_k – вологовміст, або абсолютна вологість висушеного брикету;

$m_{сс}$ – маса сухої соломи в сирому брикеті, кг.

Необхідно при сушці видалити з брикету води, кг

$$\Delta M_{вод} = m_{вод} - m_{вод2}, \quad (9)$$

де $m_{вод}$ – маса вільної води в сирому брикеті, кг.

Експериментально визначено, що після сушіння в двох ступенях апарату брикет має середню температуру $t_{к2} = 55^\circ\text{C}$.

Розраховуємо ентальпію кінцевого брикету.

Ентальпія сухої соломи $H_{сс}$ в брикеті з кінцевою вологістю, кДж

$$H_{сс0} = m_{сс} \cdot C_{сс} \cdot t_{к2}, \quad (10)$$

де $m_{сс}$ – маса сухої соломи в брикеті, кг;

$C_{сс}$ – теплоємність сухої соломи, кДж/кг·К;

$t_{к2}$ – уточнена кінцева температура готового брикету після 2 ступені апарату, °C

Ентальпія вільної води $H_{водж2}$ у висушеному брикеті, кДж

$$H_{водж2} = M_{водж2} \cdot C_{вж} \cdot t_{к2}, \quad (11)$$

де $M_{водж2}$ – маса вільної води у висушеному брикеті, кг;

$C_{вж}$ – теплоємність рідкої води, кДж/кг·К.

Питома ентальпія вологого повітря, що знаходиться в порах висушеного брикету, кДж/кг

$$h_{вздк2} = (C_{взд} + X_{вздк2} \cdot C_{пв}) \cdot t_{к2} + r_{к2} \cdot X_{вздк2}, \quad (12)$$

де $C_{взд}$ – теплоємність повітря, кДж/кг·К;

$C_{пв}$ – теплоємність пари води, кДж/кг·К;

$X_{вздк2}$ – вологовміст повітря в порах висушеного брикету, кг/кг

$$X_{вздк2} = 0,622 \cdot \phi_{вздк2} \cdot P_{вздк2} / (P_{атм} - \phi_{вздк2} \cdot P_{вздк2}), \quad (13)$$

де $P_{вздк2}$ – тиск насиченої водяної пари в повітрі пор висушеного брикету при 55°C, Па;

$r_{к2}$ – питома теплота пароутворення при 55°C, (2361,4) кДж/кг;

$\phi_{вздк2}$ – відносна вологість повітря в порах висушеного брикету після другої ступені апарату, дол. од.

Нехтуємо незначним збільшенням маси повітря в порах за рахунок видалення води і вважаємо, що маса повітря в порах ідентична як перед сушінням так і після сушіння.

Ентальпія вологого повітря у висушеному брикеті, кДж

$$H_{вздк2} = m_{взд} \cdot h_{вздк2}, \quad (14)$$

де $m_{взд}$ – маса сухого повітря в порах висушеного брикету, кг;

$h_{взд0}$ – питома ентальпія вологого повітря у висушеному брикеті при 55°C, кДж/кг.

Повна ентальпія висушеного брикету, кДж

$$H_{брк2} = H_{сск2} + H_{водж2} + H_{вздк2}. \quad (15)$$

Зміна ентальпії брикету в тепломасообмінному апараті, кДж

$$\Delta H_{бр} = H_{брк0} - H_{брк2}. \quad (16)$$

Для оцінки інтенсивності теплообміну приймемо, що умови теплообміну відповідають теплообміну при зовнішньому обтіканні одиночного циліндричного тіла.

Конструктивно тепломасообмінний апарат складається з двох ступенів однакових по довжині. На першій ступені свіжоприготовані брикети обдуваються вихідним повітрям з температурою 35°C. На другій ступені апарату частково підсушені брикети обдуваються відпрацьованим повітрям з першої ступені після підвищення його температури за рахунок зовнішнього підведення тепла.

Визначаємо вільний перетин прохідних щілин на першій ступені апарату.

Розрахункова кількість прохідних щілин $N_{щ}$ на першій ступені визначається як

$$N_{щ} = L_a / (d_{бр} + b_{щ}), \quad (17)$$

де L_a – довжина каналу підводу повітря при врахуванні повороту потоку повітря, м;

$d_{бр}$ – діаметр брикету, м;

$b_{щ}$ – середня ширина щілини між брикетами, приймаємо $b_{щ} = r/4$, м.

Повний прохідний перетин повітряного каналу S на першій ступені апарату

$$S = N_{щ} \cdot B_a \cdot b_{щ}, \quad (18)$$

де B_a – ширина каналу підведення повітря при врахуванні повороту потоку повітря.

Число брикетів, які укладаються в 1 ряд на першій ступені (2 м) транспортера

$$N_{бр} = N_{щ}. \quad (19)$$

Розрахункова кількість брикетів, що проходять через машину за годину (по продуктивності апарату)

$$N_r = P_a / M_{сбр}, \quad (20)$$

де P_a – продуктивність установки по сирим брикетам, кг/год;

$M_{сбр}$ – маса одного типового сирого брикету, кг.

Розрахункова кількість брикетів, що проходять через машину за годину (по часу перебування в апараті)

$$N_r = 3600 / t_{уст} \cdot 2 \cdot N_{бр}, \quad (21)$$

де $t_{уст}$ – час перебування брикету в апараті.

З метою коректного спрощення розрахунків на першій ступені апарату процес сушіння розглядається як поєднання двох практично незалежних процесів:

- на поверхні брикету, де підтримується температура стінки близько 55°C йде нагрівання потоку повітря конвективним шляхом з відбором частини тепла від брикету;

- усередині гарячого брикету йде випаровування води і дифузія парів води до поверхні теплообміну, так як тиск парів води в теплоносії істотно нижче тиску парів всередині гарячого брикету. На поверхні стінки брикету пари води, що виходять з товщі брикету, змішуються з підігрітим повітрям і виводяться.

Розрахунок конвективного теплообміну між поверхнею брикету і потоком повітря здійснювали, використовуючи прийоми теорії подібності. Враховуючи мале число рядів брикетів на конвеєрі, для визначення середнього по поверхні брикетів коефіцієнта тепловіддачі, використовуємо критеріальне рівняння Жукаускаса, запропоноване для розрахунку теплообміну при омиванні потоком теплоносія одиночного циліндра

$$Nu_{жд} = 0,25 Re_{жд}^{0,6} \cdot Pr_{ж}^{0,38} (Pr_{ж} / Pr_{с})^{0,25}, \quad (22)$$

де $Nu_{жд}$ – число Нуссельта,

$Re_{жд}$ – число Рейнольдса,

$Pr_{ж}$ – число Прандтля.

При розрахунках визначальною швидкістю рекомендовано брати швидкість в самому вузькому перетині потоку, визначальною температурою для вибору фізичних характеристик теплоносія рекомендовано брати температуру потоку.

На першій ступені тепломасообмінного апарату середня температура поверхні брикетів прийнята 55°C , що близько до експериментальних даних.

Виконаний поліваріантний розрахунок умов теплообміну в першому ряду брикетів. При розрахунках варіювали швидкістю потоку повітря, приймаючи її дискретні значення 2, 1, 0,5 і 0,25 м/с. Зазначені швидкості, як показали розрахунки, забезпечували турбулентний режим течії повітря і придатність рівняння Жукаускаса.

Розрахунок числа Рейнольдса виконується за формулою

$$Re_{жд} = w \cdot d_{бр} / \nu_{ж}, \quad (23)$$

де w – швидкість лінійна потоку повітря при температурі, м/с;

$\nu_{ж}$ – кінематична в'язкість повітря при температурі, $\text{м}^2/\text{с}$.

Значення чисел Рейнольдса для прийнятого інтервалу швидкостей задовольняють вимозі по використанню рівняння Жукаускаса

$$1 \cdot 10^3 < Re_{жд} < 2 \cdot 10^5.$$

Розрахунок числа Нуссельта виконується по рівнянню

$$Nu_{жд} = 0,25 \cdot Re_{жд}^{0,6} \cdot Pr_{ж}^{0,38} \cdot (Pr_{ж} / Pr_{с})^{0,25} \quad (24)$$

Розрахунок розмірного коефіцієнта тепловіддачі α вели, виходячи з формули

$$Nu_{жд} = \alpha \cdot d_{бр} / \lambda, \quad (25)$$

при швидкості потоку повітря w , м/с коефіцієнт тепловіддачі α знаходимо як

$$\alpha = Nu_{жд} \cdot \lambda / d_{бр}. \quad (26)$$

Розрахунок першої ступені апарату. Об'єктом поетапних розрахунків є визначення середньої температури теплоносія на виході з першого ряду брикетів і маси води, що упарюється. При розрахунках приймається, що енергія брикетів, яка виділяється в ході зниження їх температури, витрачається на підігрів повітря, яке його омиває і на випаровування вологи брикету.

Поверхня тепловіддачі одиночного брикету F , м^2 визначається як

$$F = \pi \cdot d_{бр} \cdot L_{бр} + \pi \cdot d_{бр}^2 / 2, \quad (27)$$

де $L_{бр}$ – довжина брикету, м.

Сушка ведеться на рухомому кулачковому транспорті. Охолодження брикетів від 95 до 60°C .

Рівняння передачі тепла Q , кДж одиночним брикетом потоку повітря

$$Q = F \cdot \alpha \cdot \Delta t_{ср} \cdot \tau, \quad (28)$$

де τ – експериментальний час перебування брикету в зоні первинної сушки, 750 с;

$\Delta t_{ср}$ – середня різниця температур між потоком повітря і стінкою брикету, К

$$\Delta t_{ср} = [(t_{с1} - t_0) + (t_{с1} - t_{к1})] / 2, \quad (29)$$

де $t_{с1}$ – середня температура поверхні брикетів на 1 ступені апарату, $^{\circ}\text{C}$;

t_0 – температура повітря на вході в першу ступень апарату, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{к1}$ – температура повітря, що підлягає визначенню на виході з 1 ступені апарату, $^{\circ}\text{C}$.

Рівняння розрахунку кількості тепла отриманого потоком повітря за час τ від одного брикету на першій ступені апарату має вигляд, кДж

$$Q = M_{взд} \cdot C_{взд} (t_{к1} - t_0). \quad (30)$$

Маса повітря, що підігривається омиваючи один брикет на першій ступені апарату за час τ , кг

$$M_{взд} = s \cdot w \cdot \rho_{взд} \cdot \tau = 1,935 \cdot w, \quad (31)$$

де s – площа перетину потоку повітря при обтіканні брикету в вузькому місці, м^2 ;

$\rho_{взд}$ – щільність повітря при 35°C , $\text{кг}/\text{м}^3$;

w – швидкість потоку повітря в вузькому місці між брикетами, м/с.

Можна записати

$$Q = Q_{пвзд}, \quad (32)$$

де $Q_{пвзд}$ – кількість тепла, що витрачається на підігрів конвекцією зовнішнього потоку повітря за час проходження брикету через першу сходику апарату, кДж;

$$Q_{пвзд} = \Delta H_{бр} - H_{пвод} \quad (33)$$

де $\Delta H_{бр}$ – загальна кількість тепла, віддана брикетом на випаровування внутрішньої води і на підігрів конвекцією зовнішнього повітряного потоку за час перебування брикету на першій ступені апарату, кДж

$$\Delta H_{бр} = H_{брк0} - H_{брк1}. \quad (34)$$

Знаходимо ентальпію підсушеного брикету при 60°C на виході з першої ступені апарату, кДж

$$H_{брк1} = [m_{сц} \cdot C_{сц} + m_{вод1} \cdot C_{вж} + m_{взд1} \cdot C_{взд}] \cdot t_{брк1}, \quad (35)$$

де $t_{брк1}$ – середня температура брикету після першої ступені апарату.

Ентальпія парів води, що дифундують з брикету в повітряний потік, кДж

$$H_{пвод} = h_{тс} \cdot d_{мв1} = 2598,7 \cdot d_{мв1}, \quad (36)$$

де $h_{тс} = 2598,7$ – питома ентальпія водяної пари, що дифундує з підсушеного брикету при температурі стінки (55°C), кДж/кг;

$d_{мв1}$ – маса води, що видаляється з брикету на першій ступені апарату за рахунок теплової енергії, що вноситься гарячим брикетом, кг.

При швидкості потоку повітря $w = 2$ м/с і $\alpha = 20,08 \cdot 10^{-3}$ температура повітря, що підлягала визначенню на виході з 1 ступені апарату $t_{к1} = 39,31^{\circ}\text{C}$.

Поряд з випаровуванням води за рахунок тепла, внесенного брикетом, певне випаровування здійснюється за рахунок потенційної енергії, що вноситься повітрям, яке стискається у вентиляторі. У шарі брикетів потік повітря здійснює роботу тертя в результаті чого виділяється певна кількість тепла, яке витрачається на випаровування вологи. Проявляється дія додаткового джерела тепла. Загальну потужність додаткового джерела енергії, що вноситься повітрям в апа-

рат, рекомендується розраховувати по установочній потужності електродвигуна з поправкою на ККД двигуна і втратою теплової енергії через корпус вентилятора в навколишнє середовище.

Теплова потужність вентилятора $Q_{ед}$, кВт, передана потоку повітря визначається як

$$Q_{ед} = 0,8 \cdot W_{ед}, \quad (37)$$

де $W_{ед}$ – установочна потужність електродвигуна вентилятора, кВт;

0,8 – коефіцієнт, що враховує ефективність роботи електродвигуна і втрати тепла через корпус вентилятора в атмосферу.

Перетворення потенційної енергії потоку в теплоту залежить від зміни швидкості потоку повітря в квадраті, тому приймаємо, що на першій ступені апарату виділяється у формі тепла тільки 70% загальної енергії потоку.

Теплова потужність $Q_{пв1}$, кДж/с, яка впливає на процес випаровування додаткового джерела тепла, що діє в брикеті за рахунок зміни параметрів потоку повітря

$$Q_{пв1} = 0,7 \cdot Q_{ед}. \quad (38)$$

Додаткова кількість енергії $q_{пвбр}$, кДж, що підводиться кожному брикету за рахунок зміни параметрів потоку повітря

$$q_{пвбр} = Q_{пв1} \cdot t/120. \quad (39)$$

Оцінка кількості вологи $d_{мпв1}$, кг, що видаляється з брикету за рахунок дії додаткового джерела теплоти проводиться за співвідношенням

$$d_{мпв1} = q_{пвбр} / 2347,48, \quad (40)$$

де 2347,48 – питома ентальпія водяної пари, що відводиться з поверхні брикету потоком повітря при 55°C, кДж/кг.

Загальна кількість вологи, що видаляється з брикету на 1 ступені апарату, кг

$$d_{тобщ1} = d_{мпв1} + d_{мпв1}. \quad (41)$$

Підвищення вологовмісту повітря Δx_1 на виході з першої ступені апарату, кг/кг сухого повітря

$$\Delta x_1 = d_{тобщ1} / M_{взд}. \quad (42)$$

Вологовміст повітря $X_{вздк1}$ на виході з першої ступені апарату

$$X_{вздк1} = X + \Delta x_1. \quad (43)$$

Питома ентальпія вологого повітря на виході з 1 ступені апарату, кДж/кг

$$h_{вздк1} = (C_{взд} + X_{вздк1} \cdot C_{пв}) \cdot t_{к1} + r_{к1} \cdot X_{вздк1}, \quad (44)$$

де $r_{к1}$ – теплота пароутворення при 39,31 °C.

Розрахунок другої ступені апарату. Середній вміст води в брикетах $m_{вод1}$ на вході в другу ступень апарату, кг

$$m_{вод1} = m_{вод} - d_{тобщ1}. \quad (45)$$

Кількість води $\Delta m_{вод2}$, яку необхідно видалити з кожного брикету на другій ступені апарату

$$\Delta m_{вод2} = m_{вод1} - m_{водк2}. \quad (46)$$

Так як підсушка на другій ступені апарату, де брикети охолоджуються, малозначима, то нею можна знехтувати.

Підвищення вологовмісту повітря, яке виходить з другої ступені при русі брикетів в один шар

$$\Delta x_2 = \Delta m_{вод2} / M_{взд}. \quad (47)$$

Кінцевий вологовміст повітря на виході з другої ступені апарату

$$X_{вздк2} = X_{вздк1} + \Delta x_2. \quad (48)$$

На вході в другу ступень середня температура брикетів 60°C, а температура потоку повітря 39,31 °C.

Попередні розрахунки показали, що при максимальній вологості брикетів 20% в системі недостатньо власної теплової енергії для висушування брикетів до проектної величини 14%. Тому перед подачею повітря з першої ступені апарату на другу вводять додатковий його підігрів від зовнішнього джерела, наприклад в електрокалорифері.

Таким чином, для процесу досушування брикетів витрачається тепло від трьох джерел. Перше джерело тепла функціонує за рахунок охолодження брикетів від 60 (від залишкового тепла брикетів після 1 ступені) до 55°C. Друге джерело тепла проявляється за рахунок підведення тепла брикетам від підігрітого повітря. Третє джерело тепла є наслідком деградації механічної енергії потоком повітря, яка через роботу тертя перетворюється в теплову енергію. Це додаткове джерело тепла порівняно малопотужне.

Щоб забезпечити на другій ступені апарату спрямованість вектора потоку тепла від повітря до брикетів, прийнято, що кінцева температура відпрацьованого повітря буде 58°C, що вище кінцевої температури брикетів (55°C) на 3 градуси.

Після прийняття зазначених припущень проводимо розрахунки, які дозволять визначити температуру, до якої необхідно підігрівати повітря після 1 ступені перед подачею на 2 ступень апарату.

Питома ентальпія вологого повітря на виході з другої ступені апарату

$$h_{вздк2} = (C_{взд} + X_{вздк2} \cdot C_{пв}) \cdot t_{к2} + r_{к2} \cdot X_{вздк2}, \quad (49)$$

де $t_{к2}$ – температура відпрацьованого повітря на виході з 2 ступені апарату (58°C),

$r_{к2}$ – питома теплота пароутворення при 55°C, кДж/кг.

Ентальпія висушеного брикету при 55°C на виході з 2 ступені апарату

$$H_{брк2} = [m_{сс} \cdot C_{сс} + m_{вод2} \cdot C_{вж} + m_{взд2} \cdot C_{взд}] \cdot t_{брк2}, \quad (50)$$

Складаємо тепловий баланс для процесу сушки одного брикету на 2 ступені апарату.

Прихід тепла

$$Q_{прих} = Q_{вздк1} + Q_{брк1} + Q_{пвм2} + Q_{подог}, \quad (51)$$

де $Q_{вздк1}$ – теплота, яка надходить з повітрям, що омиває брикет на виході з 1 ступені апарату, кДж

$$Q_{вздк1} = M_{взд} \cdot h_{вздк1}; \quad (52)$$

$Q_{брк1}$ – теплота, що надходить з брикетом з 1 ступені при 60 °C, кДж

$$Q_{брк1} = H_{брк1}; \quad (53)$$

$Q_{пвм2}$ – теплота перетворення механічної енергії потоку повітря в теплову енергію на 2 ступені апарату

$$Q_{пвм2} = Q_{пв2} \cdot t/120; \quad (54)$$

$Q_{подог}$ – теплота, яку необхідно підвести від зовнішніх підігрівачів повітря перед подачею його на 2 ступень апарату для реалізації процесу досушки одиночного брикету, кДж.

Витрати тепла

$$Q_{расх} = Q_{вздк2} + Q_{брк2}, \quad (55)$$

де $Q_{вздк2}$ – тепло, що виводиться з 2 ступені апарату з відпрацьованим повітрям, кДж

$$Q_{вздк2} = M_{взд} \cdot h_{вздк2}; \quad (56)$$

$Q_{брк2}$ – тепло виведене сухими брикетами з 2 ступені апарату при 55°C

$$Q_{брк2} = H_{брк2}. \quad (57)$$

Визначаємо питому ентальпію підігрітого повітря на виході в 2 ступень апарату

$$h_{вздк2} = Q_{вздк2} / M_{взд} \quad (58)$$

Оцінюємо температуру підігрітого повітря перед подачею його на 2 ступень апарату, °С.

Розрахунок питомої ентальпії повітря після підігрівача

$$h_{\text{вздн2}} = (C_{\text{взд}} + X_{\text{вздк1}} \cdot C_{\text{пв}}) \cdot t_{\text{н2}} + r_{\text{н2}} \cdot X_{\text{вздк1}}, \quad (59)$$

де $t_{\text{н2}}$ – температура підігрітого повітря на вході в другу ступень апарату;

$r_{\text{н2}}$ – теплота пароутворення при $t_{\text{н2}}$.

З достатньою точністю можна вважати, що повітря перед подачею на 2 ступінь потрібно підігріти до 66°С.

Визначення загальної потужності додаткового нагрівача

$$W_{\text{под}} = Q_{\text{подог}} \cdot n / 3600, \quad (60)$$

де n – число брикетів, що висушуються за 1 годину.

З другої ступені апарату брикети виходять з температурою 55°С і кінцевою вологістю 14% [14].

Дані розрахунків сушильного агента на різних стадіях сушки брикетів відповідають значенням, отриманим графо-аналітичним методом з використанням I – d діаграми (рис. 1).

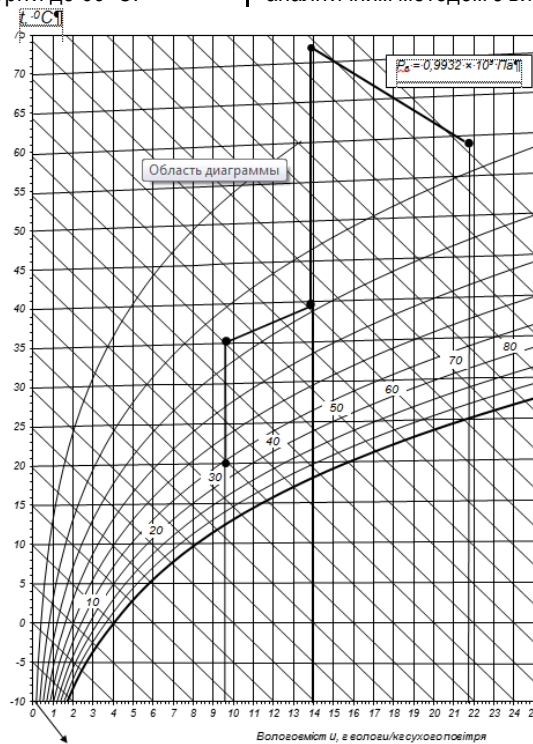


Рисунок 1 – Розрахунок сушильного агента на різних стадіях сушки брикетів графо-аналітичним методом

Висновки. Наведений баланс теплоти та вологи при виготовленні паливних брикетів вказує на можливість використання тепла від нагріву при пресуванні брикетів для їх сушки. Визначена ентальпія свіжеприготованого брикету вказує на співмірність ентальпії брикету з необхідною кількістю тепла для видалення частини вологи при сушці. Визначено коефіцієнт тепловіддачі для різних швидкостей повітря. Прове-

дені розрахунки першої та другої ступені апарату дали можливість установити ентальпію, вологовміст повітря та брикетів, їх температуру на виході із кожної ступені та загальну потужність додаткового підігрівача повітря другої ступені. Дані розрахунки сушильного агента на різних стадіях сушки брикетів підтвердились при їх визначенні графо-аналітичним методом з використанням I – d діаграми.

Список використаної літератури:

1. Семірненко С. Л., Семірненко Ю. І. Визначення властивостей соломи, призначеної для виготовлення паливних брикетів / Ю.І. Семірненко, С.Л. Семірненко // Вісник СНАУ, серія Механізація та автоматизація виробничих процесів, вип. 3(28), 2016, - С. 148-152.
2. Голуб Г. А. Теплота згоряння та умови спалювання соломи / Г. А. Голуб, В. О. Лук'янець, С. В. Субота // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2009. – Вип. 134, ч. 2. – С. 275-278.
3. Долінський А.А. Енергозбереження та екологічні проблеми енергетики / А.А. Долінський // Вісник НАН України. – 2006. – № 2. – С. 24-32.
4. Гелетуха Г. Г. Комплексний аналіз технологій виробництва енергії з твердої біомаси в Україні. Частина 1. Солома / Г. Г. Гелетуха, Т. А. Железна, О. І. Дроздова // Промышленная теплотехника. – 2013. – № 3. – С.56-63.
5. Мальтри В. Сушильные установки сельскохозяйственного назначения / В. Мальтри, Э. Пётке, Б. Шнайдер; пер. с нем. В.М. Комиссаров, Ю.Л. Фрегер; под ред. В.Г. Евдокимова. – М.: Машиностроение, 1979. – 525 с.
6. Войтов В.А., Вороновский И.Б. Пути снижения энергозатрат при производстве твердого топлива в виде брикетов или пеллет / В.А. Войтов, И.Б. Вороновский // Науковий вісник ТДАТУ. – 2012. – Вип. 2, Том 5. – С. 77-83.
7. Бунецкий В. О. Аналіз технологічних процесів отримання твердого палива у вигляді пелет або брикетів / В. О. Бунецкий // Вісник ЦНЗ АПВ Харківської області. – 2011. – Вип. 10. – С. 328-340.

8. Равн Э. Биомасса как топливо [Электронный ресурс] / Эрик Равн // Новости ДСЦТ / Датский совет по централизованному теплоснабжению. – Электрон. дані.– 1999. – Режим доступа: <http://www.dbdh.dk/images/uploads/pdf-russian/biomass-as-fuel.pdf>. – Назва з екрану.

9. Калетнік Г.М. Науково обґрунтовані та практичні підходи використання соломи та рослинних решток у сільському господарстві / Г.М. Калетнік, В.М. Булгаков, І.В. Гриник // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – 2011. – № 9. – С. 62-68.

10. Лыков А.В. Тепломассообмен: справочник / А.В. Лыков. – 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергия, 1978. - 480 с.

11. Мальтри В. Сушильные установки сельскохозяйственного назначения / В. Мальтри, Э. Пётке, Б. Шнайдер; пер. с нем. В.М. Комиссаров, Ю.Л. Фрегер; под ред. В.Г. Евдокимова. - М.: Машиностроение, 1979. - 525 с.

12. Месель-Веселяк В.Я. Ефективність енергетичного самозабезпечення сільського господарства / В.Я. Месель-Веселяк // Економіка АПК. – 2009. – №2. – С.10–14.

13. Сажин Б.С. Основы техники сушки / Б.С. Сажин. – М.: Химия, 1984. – 320 с.

14. Семірненко С.Л. Розробка процесу сушки паливних брикетів потоком атмосферного повітря з одночасним охолодженням / Журнал інженерних наук. – 2015. – Том 2, № 1. – Е9–Е14.

Semirnenko Y.I., Sumy National Agrarian University, Ukraine

Semirnenko S.L., Sumy National Agrarian University, Ukraine

Research of the cooling and drying of fuel briquettes

Despite the accumulated scientific achievements and practical experience in the field of biomass utilization technologies, promising research direction for Ukraine is to use straw as local fuel, which is seen as the solution of environmental, energy and economic issues. Further intensification of research need to reduce the costs of manufacturing fuel briquettes from straw biomass and to reduce environmental impact by improving their production technology.

The purpose of research is to improve the process of manufacturing fuel pellets from straw biomass by maximizing the use of their own heat.

The paper proposed a new scheme of drying straw fuel pellets from biomass using their own heat. Determine the average temperature of the coolant supply and water evaporated at the exit of each level briquette process of drying and humidity of fuel pellets.

As a result of settlements with the maximum input moisture briquettes from straw biomass to achieve initial moisture which provides combustion efficiency and long-term storage of briquettes, not the system's own heat to dry the pellets to the original (14%) humidity. Therefore, before the supply of air from the first stage to the second device it introduced additional heating from an external source, such as electric heaters. When moisture briquettes defined below maximum required power electric heater, and if necessary, it can even be disabled. Control is by the value of the finished product moisture (dried bricks). The scheme and the calculation of the drying process of fuel briquettes from maximum use of their own heat makes it possible to reduce the cost of production process of fuel briquettes from straw biomass, reduce their costs, briquettes burn with optimum moisture content, which will help increase the efficiency of combustion plants briquettes and, consequently, reduce harmful emissions.

These calculations of the drying agent at different stages of drying the briquettes were confirmed in their determination by graph-analytical method using the I - d diagram.

Keywords: *straw, briquettes, biomass, drying, burning, compaction, balance, heat, moisture, enthalpy, heat, air.*

Дата надходження до редакції: 09.08.2019

ПРО КЕРОВАНІСТЬ І СТІЙКІСТЬ РУХУ ТРАНСПОРТНОГО АГРЕГАТУ З ГІДРООБ'ЄМНИМ РУЛЬОВИМ КЕРУВАННЯМ

Ярошенко Павло Миколайович

кандидат технічних наук, доцент
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0003-0112-0963
email pashajarosh@i.ua

В статті розглянуто питання керованості і стійкості руху колісного трактора з гідрооб'ємним рульовим керуванням типу ХТЗ-121 при проведенні транспортних робіт. Отримані результати досліджень представлені в графічній формі.

Ключові слова – гідрооб'ємне рульове керування, транспортний агрегат, зусилля, витоки рідини, стійкість та керованість руху.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2019.3.9>

Постановка проблеми. Одним із засобів досягнення високих техніко-економічних показників рухомих сільськогосподарських агрегатів є підвищення їх робочих швидкостей. В зв'язку з підвищенням швидкості руху одним із найактуальніших є таке важливе питання, як керованість і стійкість руху сільськогосподарського агрегату. Сучасні енергонасичені трактори класу 30кН все більше використовуються для виконання різних транспортних робіт з причепами великої місткості на швидкостях до 30-40 км/год, обладнуються гідрооб'ємним рульовим керуванням. Характерною особливістю даного рульового керування є здійснення зворотного зв'язку між рульовим колесом і керованими колесами трактора не механічним, а гідравлічним шляхом. Це знижує вагу, дає переваги компоновального плану, дозволяє розміщувати пост керування машиною в будь-якому зручному місці, виключає необхідність використання механічних передач, які вимагають регулювань в процесі експлуатації. В більшості випадків зберігається можливість керування при неробочому двигуні.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Проведення транспортних робіт тракторами будь-якого класу тяги і будь-якого типу рушія, що мають гідрооб'ємне рульове керування, неминує веде до покращення не тільки керованості, а і стійкості їх руху в цілому

[2, 4]. Це обумовлено зміною силової дії на рульове керування трактора і зручності розміщення самого керма в кабіні машини. Однак гідрооб'ємних рульових керуваннях є проблеми, пов'язані з внутрішніми витоками рідини, які не зразу можна визначити що в подальшому впливає на стійкість та керованість руху агрегатів. Проблемам рульових керувань приділяли багато уваги такі видатні вчені, як Чудakov Д.А. [1], Поспелов Ю.А. [2], Гуськов В.В. [3] та інші.

Мета досліджень. При дослідженні питань, пов'язаних із стійкістю руху транспортних агрегатів, виникає необхідність в точному визначенні параметрів його руху.

Основна мета даної роботи – оцінити стійкість руху транспортного агрегату при проведенні транспортних робіт по траєкторії руху його центру мас.

Результати досліджень. Керованість і стійкість руху – важливі критерії, які слід враховувати поряд з іншими показниками при встановленні оптимальної робочої або транспортної швидкості руху агрегатів.

Під стійкістю руху необхідно розуміти вміння агрегату зберігати заданий напрямок руху, зокрема прямолінійного. Якщо ж агрегат рухається прямолінійно і втрачає заданий на-

прямок руху, то відповідним відхиленням рульового керування механізатор може повернути його до попереднього режиму: але достатньо невеликої зовнішньої причини, щоб знову вивести агрегат із цього режиму руху. Це значить, що на нестійкому агрегаті механізатор повинен безперервно втручатися в керування.

Керованість – це властивість трактора підкорюватись діям водія по збереженню заданого напрямку руху або змінювати його в відповідності з дією на рульове керування. Таким чином, стійкість є засіб збереження заданого режиму руху, а керованість – змінювати напрямок руху в відповідності з вимогами експлуатації.

В цій статті наведені результати проведених нами експериментальних дослідів по оцінюванню керованості і стійкості руху трактора ХТЗ-121 з причепом 2 ПТС-6 при проведенні транспортних робіт. За основні оцінюючі показники були прийняті: 1) середній кут відхилення керованих коліс трактора кругом цапфи $\alpha_{\text{ср}}$, град.; 2) середнє зусилля, що прикладалося механізатором до рульового колеса $P_{\text{ср}}$, кг; 3) кількість відхилень рульового і K направляючих коліс K_1 на визначеному відрізьку шляху (в нашому випадку 100 м).

Для записування кута відхилення на шкворень поворотної цапфи одного з передніх керованих коліс трактора встановлювали поворотний потенціометр. Для фіксації зусиль, що прикладались механізатором до рульового колеса, застосували тензOMETричне колесо, яке закріплювали за допомогою хомутів до кожуха рульового колеса. Записування сигналів проводилось через аналого-цифровий перетворювач (АЦП) переносним комп'ютером типу «ноутбук» марки «Тошиба-сателліт-3100». Досліди проводились влітку на дорозі, що вела до учбового поля Сумського національного аграрного університету.

На основі даних, опрацьованих комп'ютером по відповідній програмі, були побудовані графіки представлені на рис. 1. Аналіз графіків показує, що кількості (K_1K) поворотів керуючих і рульових коліс із збільшенням швидкості руху агрегату спочатку ростуть (приблизно до швидкості 9,5-10 км/год.), а потім спадають.

Із графіків також видно, що кількість відхилень рульового колеса трохи більша, ніж кількість відхилень направляючих коліс при одній і тій же швидкості руху. Це можна пояснити наявністю деякого вільного ходу, тобто люфту системи; рульове колесо – гідроруль – гідроциліндр – цапфа керованого колеса.

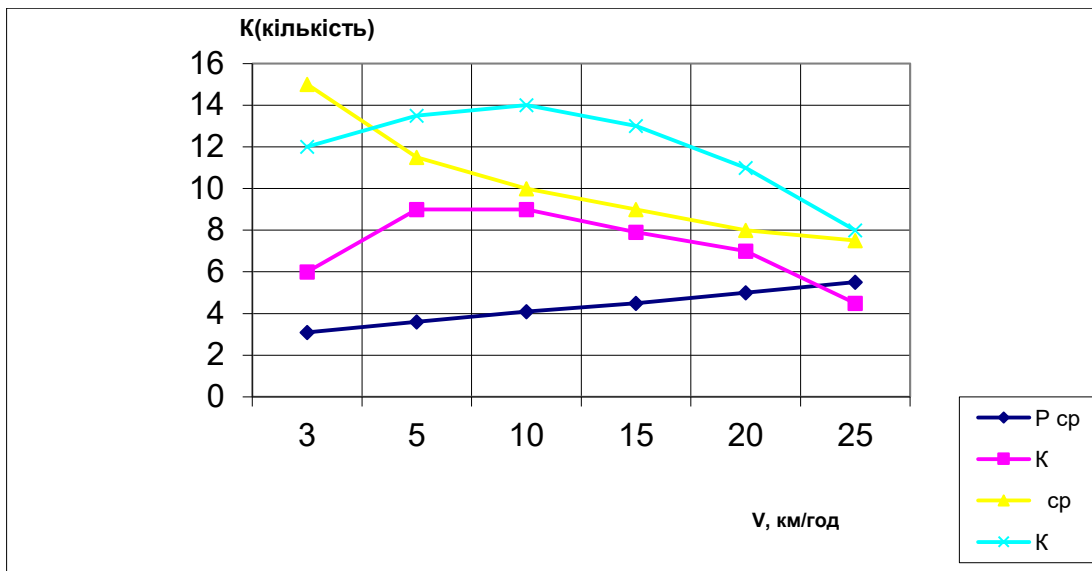


Рис.1. Графіки зміни показників керованості направляючих коліс в залежності від швидкості руху агрегату.

Зусилля P_{cp} , що прикладалось до рульового колеса по всіх діапазонах швидкостей, рівномірно зростає приблизно на 1 кг.

Для більш повної оцінки керованості агрегату можна визначити силу, що витрачається трактористом на керування безпосередньо поворотом рульового колеса.

Силу можна визначити по формулі:

$$N = P_{cp} \cdot V_{cp}, \quad (1)$$

де V_{cp} – лінійна швидкість на ободі рульового колеса, м/сек.

$$V_{cp} = \omega \cdot r \quad (2)$$

де ω – кутова швидкість повороту рульового колеса, рад/сек.;

r – радіус рульового колеса, м.

Зношення насоса об'єднаної гідравлічної системи

трактора практично не впливає на якість керування транспортним агрегатом. Різне погіршення якості водіння агрегату настає при коефіцієнті витоків $k_b = 40\%$, що відповідає коефіцієнту об'ємної подачі рідини гідравлічним насосом рівному $Q = 0,6$. Це пов'язано з тим, що пріоритетний клапан підтримує подачу робочої рідини до гідравлічного контуру рульового керування в межах 10 МПа, але при цьому інші споживачі (гідроциліндри підйому начіпних) відчують гостру нестачу тиску рідини і не виконують в повному обсязі своїх функцій. При номінальних оборотах двигуна реальна подача рідини гідравлічним насосом складає 85,6 л/хв., а тиск в об'єднаній гідросистемі трактора становить 18,4 МПа. Зниження об'ємної подачі рідини до 51,4 л/хв і тиску до 11 МПа не призведе до втрати керованості агрегатом, але управління іншими складовими (підйомом причепа) буде неможливим. Збільшуватиметься також зусилля на рульовому колесі (рис. 2).

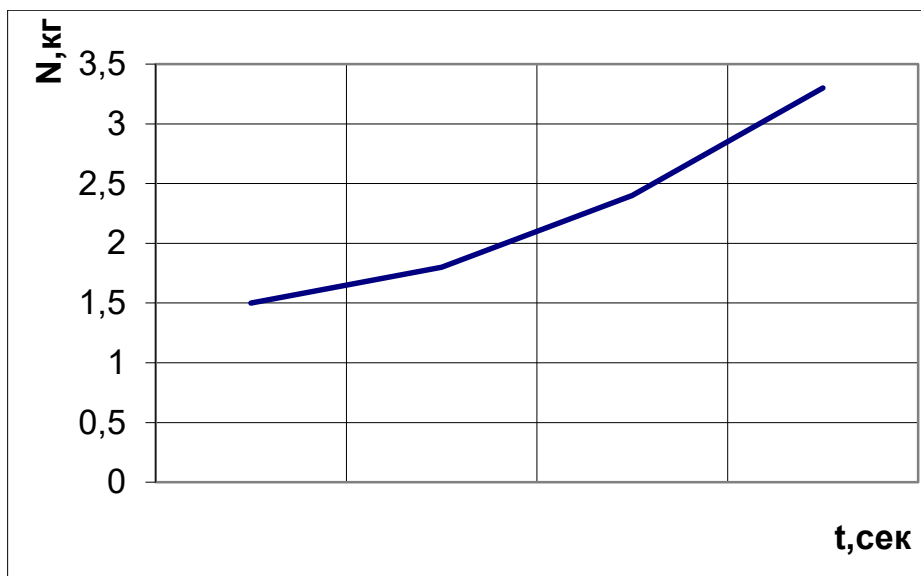


Рис. 2. Графік зміни зусиль на рульовому колесі від часу, необхідного для корекції напрямних коліс трактора.

Зношення складових гідрооб'ємного рульового керування призводить до поступового погіршення всіх параметрів руху агрегату, а при збільшенні витоків до 40 % різко зростає інтенсивність впливу механізатора на рульове колесо

(до 42 %).

Із рис. 3 видно, що витокі в середині контуру гідрооб'ємного рульового керування аналогічним чином впливають на стійкість руху транспортного агрегату.

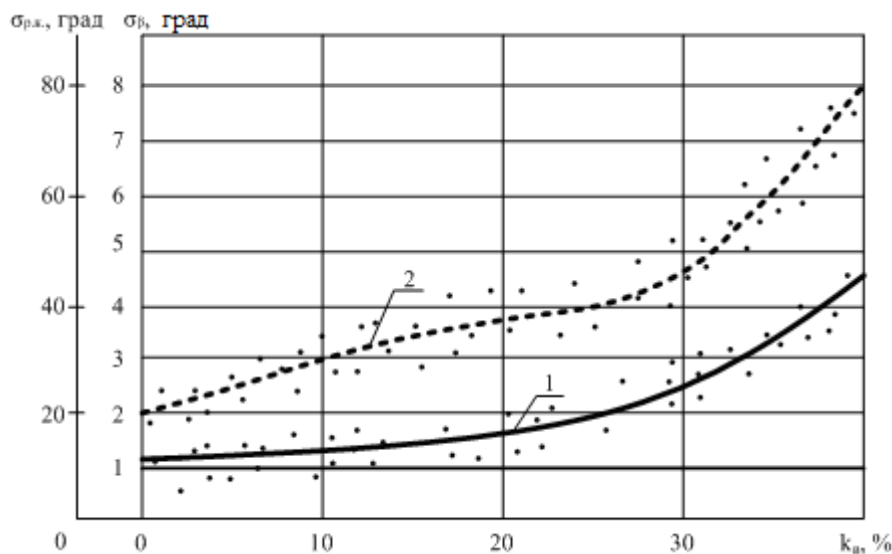


Рис. 3. Вплив витоків в середині контуру гідрооб'ємного рульового керування на кути відхилення агрегату від прямолінійної траєкторії:

1 - σ_{β} – середньоквадратичне відхилення остова трактора, град;

2 - $\sigma_{р.к.}$ – середньоквадратичне відхилення кута повороту рульового колеса, град.

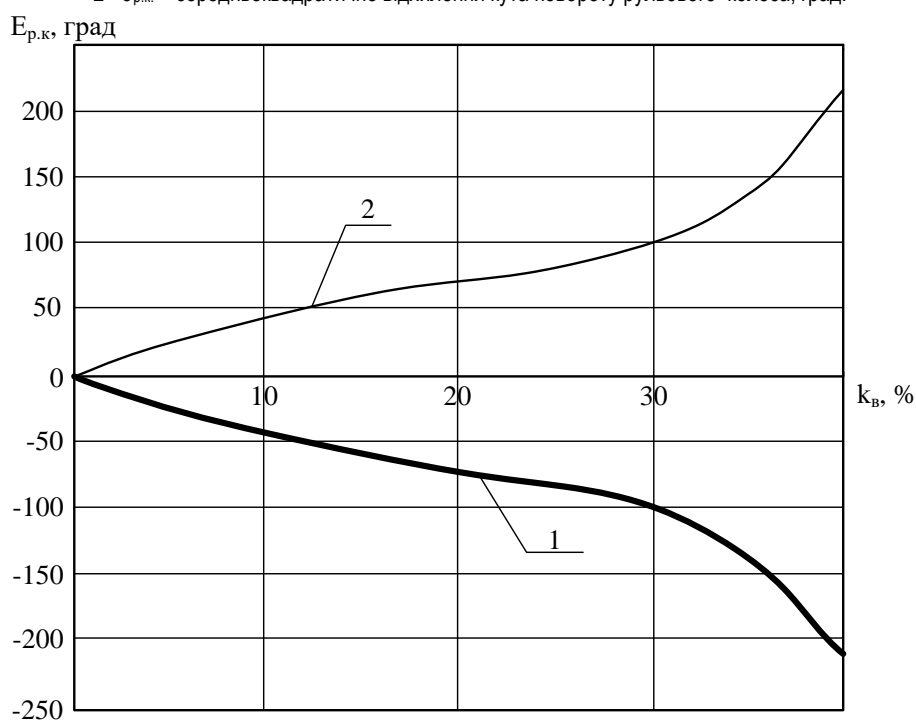


Рис. 4. Математичне очікування кута повороту рульового колеса в залежності від технічного стану гідроруля:

1 - $E_{р.к.}$ вліво, град; 2 - $E_{р.к.}$ вправо, град.

Вказане твердження про значну втрату стійкості руху агрегату підтверджується зміною математичного очікування в залежності від витоків в гідросистемі рульового керування (рис. 4).

Однак в системах гідрооб'ємного рульового керування тракторів класу 30 кН є ще один важливий елемент -

зворотній зв'язок, який відслідковує кут повороту керуючих коліс (або напіврами) згідно кута повороту рульового колеса. Цей зворотній зв'язок у тракторах типу Т-150 К, ХТЗ -17021 та їх модифікаціях здійснюється за рахунок тяги зворотного зв'язку яка з'єднує рульову сошку з поворотним важелем рами. У тракторах типу ХТЗ -120/121, ХТЗ -160/161 та їх модифікаціях

зворотній зв'язок в системі гідрооб'ємного рульового керування здійснюється за рахунок гідромотора, який вмонтовано в гідроруль. Основним вузлом гідромотора є планетарний редуктор з передаточним відношенням $i_p = 12,887$.

Головна задача систем зворотного зв'язку - заперти рідину в системі гідрооб'ємного рульового керування при здійсненні необхідного маневру трактором.

При виникненні аварійних ситуацій, коли необхідно буксирувати трактор, насос гідросистеми приводиться в рух від коліс. При цьому тиск рідини в системі гідрооб'ємного рульового керування нижчий на 60-70 % від номінального. Рульове керування трактора Т-150 К працює в таких умовах надійно, а гідроруль трактора ХТЗ-120/121 - часто відмовляє. Причиною відмови є планетарний редуктор, який має зубчасту пару з малим модулем. Коли при буксируванні трактора необхідно здійснити поворот, а тиск рідини в середині гідрооб'ємного рульового керування падає нижче 3 МПа, то зусилля на рульовому колесі може сягати до 600 Н. При такому зусиллі механізатор може зім'яти зубці малого модуля в планетарному редукторі, чим виведе з ладу гідроруль назавжди.

Особливо часто такі поломки відбуваються при буксируванні трактора марки ХТЗ -120/121 заднім ходом.

Для буксирування тракторів з такими системами гідрооб'ємного рульового керування необхідно використовувати два трактори одночасно. Один із них буде здійснювати буксирування, а іншого необхідно використовувати в якості насосної станції, яка буде подавати рідину в гідроруль з необхідним тиском і рухатись поряд.

Висновки:

1. По мірі збільшення швидкості руху агрегату частота відхилень його від прямолінійного руху спочатку росте, а потім зменшується.

2. Із збільшенням швидкості руху амплітуда відхилень траєкторії агрегату від прямолінійного руху спочатку зменшується, а потім росте, маючи мінімальне значення в інтервалі 9-11 км/год.

3. При збільшенні швидкості руху сила, що витрачається механізатором на керування агрегатом, виростає майже вдвічі.

Список використаної літератури.

1. Чудаков Д.А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: «Колос», 1972. – 384с.
2. Поспелов Ю.А. Устойчивость трактора. – М.: «Машиностроение», 1966. – 248с.
3. Тракторы: Теория / Гуськов В.В. и др. Под общ. ред. В.В. Гуськова. – М.: «Машиностроение», 1988. – 376с.: ил.
4. Руководство по эксплуатации тракторов ХТЗ-120, ХТЗ-121. – Харьков, 1994. – 257 с.: ил.

Yaroshenko P., Sumy National Agrarian University, Ukraine

About dirigibility and stability of motion a transport aggregate with hydrovolumetric steering management

In the article the question dirigibility and stability of motion the wheeled tractor is considered with the hydrovolumetric steering management of type of КТЗ-121 during realization of transport works.

In connection with the rev-up of motion one of most actual there is such important question, as dirigibility and firmness of motion of agricultural aggregate. The modern energysaturated tractors of class of 30кН are anymore used for implementation of different transport works with the trailers of large capacity on speeds to 30-40 km/h, equipped by a hydrovolumetric steering management. The characteristic feature of this steering management is realization of feed-back between steering to the wheels and by the guided wheels of tractor by a not mechanical, but hydraulic way. It reduces weight, gives advantages of layout plan, allows to place the post of management a machine in any comfortable place, eliminates a necessity the uses of mechanical transmissions, that require adjusting in the process of exploitation. In most cases management possibility is kept at a non-working engine.

In the real article the brought results over of the experimental experiments conducted by us on the evaluation of dirigibility and firmness of motion of tractor of ХТЗ-121 with a trailer 2 ПТС-6 during realization of transport works. For basic estimating indexes were accepted: 1) middle corner of rejection of the guided wheels of tractor by the turn of pin; 2) AV effort that was put by a mechanization expert to the steering wheel; 3) amount of rejections steering and K' of directing wheels of K₁ on the certain segment of way (in our case of 100 м).

The got results of researches are presented in a graphic form.

Keywords: hydrovolumetric steering management, transport aggregate, effort, losses of liquid, firmness and dirigibility of motion.

Дата надходження до редакції: 25.06.2019

**ВИКОРИСТАННЯ ПІДХОДУ, БАЗОВАНОМУ НА ВИРІШЕННІ КОМУНІКАТИВНИХ ЗАВДАНЬ
(TASK-BASED APPROACH) ДЛЯ ФОРМУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОВНОГО ПОРТФЕЛЮ
У ІНОЗЕМНИХ СТУДЕНТІВ НА ДОВУЗІВСЬКОМУ ЕТАПІ НАВЧАННЯ**

Некислих Катерина Михайлівна

Сумський національний аграрний університет

ORCID: 0000-0001-7629-7427

email Katrin_Sumy@i.ua

Баталова Ала Борисівна

Сумський національний аграрний університет

ORCID: 0000-0003-2059-9594

email allabatalova@ukr.net

У даній статті проаналізовано як підхід, базований на вирішенні комунікативних завдань (task-based approach) впливає на розуміння та засвоєння математики й на формування математичного мовного портфелю у іноземних студентів на довузівському етапі навчання. З'ясовано, що такий підхід формування математичного мовного портфелю у іноземних студентів на довузівському етапі навчання забезпечує не лише розвиток певних видів математичного мислення, підвищення мотивації до вивчення цієї дисципліни, формування самостійності і відповідальності студента за результати своєї діяльності через збільшення частки його автономії у навчальній діяльності творчого та дослідницького характеру, але й розвиває як термінологічний словниковий запас студентів, так і загальні комунікативні вміння. Проаналізовано як може виглядати курс математики для іноземних студентів на довузівському етапі навчання з використанням підходу, базованому на вирішенні комунікативних завдань (task-based approach).

Ключові слова: іноземні студенти, довузівський етап навчання, навчання математики, підхід, базований на вирішенні комунікативних завдань (task-based approach), формування мовного математичного портфелю.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2019.3.10>

Постановка проблеми у загальному вигляді.

Останнім часом спостерігається тенденція зростання кількості іноземних студентів, які вирішили здобувати професійну освіту в українських закладах вищої освіти, що актуалізувало вивчення та вирішення педагогами-науковцями проблеми навчання студентів-іноземців в Україні, зокрема й на довузівському етапі навчання. Підготовка з математики входить у перелік головних навчальних дисциплін у системі довузівської підготовки зазначених студентів, проте викладачі математики зустрічаються з такими складнощами як-от: брак адаптованої навчально-методичної літератури з математики; невідповідність між попередньою математичною підготовкою студентів та національними вимогами до сформованості набору певних математичних компетенцій; обмежений як загальний словниковий запас української мови, так і математичний мовний портфель у тому ж числі; мовний бар'єр та складнощі у вимові деяких математичних термінів. Окрім цього, викладання математики базується на методиці викладання української мови як іноземної, що означає, що викладач математики стикається з дилемою: на чому зосереджуватися у першу чергу: на вивченні термінології (мови), чи математики, і що, в свою чергу, має негативний вплив на якість підготовки іноземних студентів на довузівському етапі навчання. Отже, пошук альтернативних підходів, які б забезпечили викладача математики інструментарієм комплексного вирішення окресленої проблеми є нагальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Різні аспекти проблеми навчання іноземних студентів, й на довузівському етапі зокрема, висвітлюються у працях українських і зарубіжних науковців-педагогів та психологів, а саме: О. Білоус, Н. Булгакової, О. Віхрова, Т. Грицик, Н. Зінонос, В. Коломієць, В. Кравець, О. Кравець, Ю. Максименко, В. Ніколаєнко, О. Палки, О. Резван, Н. Сосницької та інших [1; 2; 3; 4; 5]. Попри наявність значної кількості досліджень, вважаємо за

необхідне більш поглиблено розглянути особливості формування математичного мовного портфелю у іноземних студентів на довузівському етапі навчання з використанням підходу, базованому на вирішенні комунікативних завдань (task-based approach).

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Проаналізувати як підхід, базований на вирішенні комунікативних завдань (task-based approach) впливає на розуміння та засвоєння математики й на формування математичного мовного портфелю у іноземних студентів на довузівському етапі навчання.

Виклад основного матеріалу. В основі підходу, базованому на вирішенні комунікативних завдань (task-based approach) покладено ідею створення потреби у студента в навчанні та використанні мови через спрямування його діяльності на вирішення двоєдиного завдання, а саме: досягнути конкретного практичного результату й використання мови як інструменту для реалізації попереднього. Наприклад, групі студентів для вирішення математичної задачі чи прикладу може надаватися викладачем список слів для використання. Такий підхід до навчання студентам опанувати як навчальні дії і способи діяльності, що вони реалізують через проектування й організацію спеціальних видів навчальної діяльності, так і мову [4]. Значною перевагою цього підходу є те, що він зміщує акценти з накопичення нормативних знань, умінь та навичок у бік формування і розвитку в студентів практичних здатностей.

Даний підхід базується на нижчеперелічених принципах, а саме:

Діяльності – студент отримує знання не пасивно, а в процесі активної відповідальної умотивованої навчальної праці, добуваючи їх сам, усвідомлюючи, розуміючи і приймаючи систему навчання.

Безперервності – відображає послідовність й наступність між всіма ступенями і етапами навчання на рівні технології, змісту і методики.

Цілісності – студент формує цілісне й системне уявлення про світ.

Посильності – студент навчається з урахування його власних можливостей.

Психологічної комфортності – навчальне середовище є природнім, а атмосфера – доброзичливою, спрямованою на налагодження співробітництва й базується на діалогових формах взаємодії.

Варіативності – забезпечує формування здібностей до селекції варіантів та прийняття адекватних рішень відповідно до ситуації.

Творчості – орієнтований на творче начало в освітньому процесі.

Основні положення підходу, базованому на вирішенні комунікативних завдань (*task-based approach*) (також має назву діяльнісний підхід) висвітлені у наукових працях таких психологів, як-от: Б. Бадмаєва, Л. Виготського, П. Гальперіна, Г. Костюка, О. Леонтєва, С. Максименкота ін. Зазначений підхід склав теоретико-методологічну основу розвивального (С. Семенець, З. Слєпкань) й евристичного (О.І. Скафа) навчання математики, семіотичного підходу до математичної підготовки (Н. Тарасенкова), концепції інтенсифікації навчання математики студентів закладів вищої технічної освіти (К. Власенко), й мобільних математичних середовищ (С. Семеріков). Таким чином, ключовим елементом цього підходу є завдання, процес виконання якого організований за певним алгоритмом.

Зобразимо комунікативне завдання у вигляді діаграми (див. Рис. 1)



Рис. 1 Компоненти завдання (модифіковано від Нунана, 2004) [6].

Як представлено на діаграмі, компоненти завдання включають цілепокладання, як з боку студента, так і з боку викладача, які мають бути реалізовані у певному навчальному середовищі за певних умов, що змінює роль викладача з керівника процесу на фасилітатора чи ментора. Тобто, завдання виглядає як послідовність певним чином організованих видів діяльності, виконання яких має привести студента (групу студентів до певного очікуваного результату).

Ефективне завдання повинне відповідати певним вимогам, а саме таким як: сфокусованість на намірах, на зацікавленості студентів й значущості матеріалу для них особисто, на їх успішному досягненні запланованого результату, відповідність реаліям життя. Цілі й очікувані результати навчання мають значною мірою узгоджуватися труднощами завдання. Типами таких завдань можуть бути: скласти список

(мозковий штурм та/або виявлення фактів (наприклад, речі, якості, люди, місця, особливості, речі, які потрібно зробити, причина); розмістити у певному порядку, впорядкувати чи сортувати: послідовність, ранжування, класифікація (наприклад, послідовне зображення зображень, ранжирування предметів за вартістю, популярністю, негативом чи позитивом); співвідношення/співставлення (наприклад, встановити відповідність описам до зображень, інструкціям до карти); порівняння: пошук подібностей чи відмінностей (наприклад, гра в «Знайди різницю»); вирішення проблеми: логічні головоломки, проблеми з реального життя, тематичні дослідження, неповні тексти (наприклад, логічні проблеми, пропонування та оцінка рішень, прогнозування); проекти та творчі завдання (наприклад, проведення та звітування про опитування, розробка брошури); обмін особистим досвідом: думки, реакції.



Рис. 2 Алгоритм реалізації завдання (модифіковано від Нунана (2004), адаптовано до математичного контексту дослідження)

На думку Девіда Нунана [6], реалізація діяльнісного підходу (й у навчанні математики також) виглядає як цикл пізнавальних дій, а саме: сприйняття, усвідомлення й запам'ятовування навчального матеріалу, з його наступним застосування на практиці (див. Рис. 2).

Розглянемо реалізацію такого алгоритму на прикладі виконання іноземними студентами наступного завдання:

Приклад 1. Під час вивчення властивостей функцій, пояснюючи функцію $f(x) = (110 \cdot (\ln x - 2)) / 2$, студентам-іноземцям можна запропонувати визначити залежність ємності легенів людини від віку.

Педагогічні завдання: ознайомитися з властивостями функції, зрозуміти як вони втілюються у практику життя, сформулювати й відпрацювати термінологічний вокабулярій.

Повторення і активізація: повторення попередніх тем з акцентом на їх зв'язок. Виконання тренувальних вправ самостійно чи у групах по 2-3 особи.

Перевірка роботи однокласника з коментарями.

Застосування до реалій життя: визначити залежність ємності легенів людини від віку (обговорення в групах з 3-4 осіб; обґрунтування рішення для загальної групи).

Навчальне середовище: група 3-4 особи.

Така ж схема може мати застосування і у нижче поданих завданнях.

Приклад 2. Розрахуйте вартість жалюзі на одне вікно, якщо розмір віконного отвору складає 2100×2000 мм, ціна однієї планки розміром $1,5 \text{ см} \times 1 \text{ м} = 24 \text{ грн}$, робота по збору виробу коштує 120 грн .

Приклад 3. Вирахуйте кількість листів заліза розміром $120 \text{ см} \times 105 \text{ см}$, які потрібно купити, щоб виготовити 19 металевих ящиків без верхньої частини розміром $40 \text{ см} \times 25 \text{ см} \times 10 \text{ см}$.

Ілюстративним прикладом використання підходу, базованому на вирішенні комунікативних завдань (*task-based approach*) для розвитку грамотного, логічно вірного математичного мовного портфелю у іноземних студентів на довузівському етапі може слугувати використання завдання по створенню математичних казок, фантастичних історій, оповідань

на задані теми.

Заняття, які використовують підхід, базований на вирішенні комунікативних завдань (*task-based approach*) можливо поділити на чотири групи (за їх цілями): 1) евристичні (когнітивно-пошукові); 2) повторення й закріплення; 3) загально-навчального спрямування; 4) розвиваючого контролю (регулятивно-оціночні).

Проаналізуємо як може виглядати курс математики для іноземних студентів на довузівському етапі навчання з використанням підходу, базованому на вирішенні комунікативних завдань (*task-based approach*). Наше бачення такого курсу базується на особливостях психології та поведінки іноземних студентів у період адаптації. Принагідно, такий курс може доповнюватися елементами технології особистісно орієнтованого навчання, проектні технології, технології розвитку критичного мислення, технології інтерактивного навчання, евристичного навчання, ІКТ технології.

Найголовніше, це не має бути онлайн-курс, хоча звичайно ж певні завдання можуть виконуватися застосовуючи Інтернет, оскільки, по-перше, навчальні цілі вищезазначеного курсу цілковито відрізняються від цілей в онлайн-курсу і роблять значний акцент на персональну взаємодію через комунікацію, а по-друге, дистанційний курс часто програмується на рахування невдалих спроб, що стає певним психологічним тягарем для студента з негативними наслідками у сенсі небажання вивчати дисципліну.

Друга головна вимога – це структура курсу: завдання, додаткові ресурси, сегментація курсу, система оцінювання й заохочення й управління навчанням й комунікацією. Головною стратегією має бути перехід до більш ефективних методів навчання і таких, які підвищують очікування від студентів. Наприклад, студенти можуть залучатися до вибору чи компіляції ресурсів, які максимально відповідають їх індивідуальним стилям навчання, отримувати допомогу в режимі реального часу.

Така програма може підвищити очікування та покращити результати навчання без врахування невдалих спроб.

Студенти матимуть змогу навчатися у власному темпі враховуючи власні можливості.

Отже, такий підхід формування математичного мовного портфелю у іноземних студентів на довузівському етапі навчання забезпечує не лише розвиток певних видів математичного мислення, підвищення мотивації до вивчення цієї дисципліни, формування самостійності і відповідальності студента за результати своєї діяльності через збільшення частки його автономії у навчальній діяльності творчого та дослідницького характеру, але й розвиває як термінологічний словниковий запас студентів, так і загальні комунікативні вміння.

Висновки. Аналіз загально-теоретичних та прикладних аспектів підходу, базованому на вирішенні комунікативних завдань (task-based approach) для формування матема-

тичного мовного портфелю у іноземних студентів на довузівському етапі навчання дозволив нам зробити декілька узагальнень: **а)** даний підхід спрямований на вирішення двоєдиного завдання, а саме: подолання фонетичних труднощів, з якими зустрічаються іноземні студенти під час вивчення математики і опанування математичною термінологією; **б)** дозволить відійти від практики фокусування на невдалих спробах, а змістити акценти у бік результату; **в)** змінить роль викладача з керівника процесу на фасилітатора чи ментора; **г)** стимулюватиме інтерес студента до вивчення математики.

Перспективи подальших досліджень вбачаємо у вивченні математичної підготовки іноземних студентів з метою виявлення прогалини і розробки програм диференційованого навчання математики з урахуванням невідповідностей.

Список використаної літератури:

1. Білоус О. А. Особливості математичної підготовки студентів-іноземців / О. А. Білоус, Ю. М. Максименко // Актуальні проблеми навчання іноземних студентів на сучасному етапі : міжнар. наук-практ. семінар, 28–29 лют. 2012 р. : матеріали доп. – Суми, 2012. – С. 148–151.
2. Булгакова Н. Б. Система пропедевтичної підготовки іноземних громадян з природничих дисциплін у технічному університеті : дис. ... д-ра пед. наук : 13.00.04 / Наталія Борисівна Булгакова. – К., 2002. – 446 с.
3. Віхрова О. В. Методичні особливості навчання математики іншомовних студентів на підготовчих факультетах вітчизняних вузів / О. В. Віхрова, Н. О. Зінонос // Актуальні питання природничо-математичної освіти : зб. наук. праць. – Суми : ВВП «Мрія», 2013. – С. 5–8.
4. Про деякі особливості викладання математичних дисциплін іноземним студентам за кредитно-модульною системою / О. В. Карупу, Т. А. Олешко, В. В. Пахненко // Вісник Черкаського університету. Серія : педагогічні науки. – 2013. – Вип. 8 (261). – С. 52–57.
5. Резван О. О. Педагогічні умови розвитку пізнавальних потреб у іноземних студентів у процесі навчання : автореф. дис. ... канд. пед. наук : 13.00.04 / О. О. Резван. – 2008. – 17 с.
6. Nunan D. Designing Tasks for the Communicative Classroom / David Nunan. – Cambridge: Cambridge University Press, 2004. – 224 p.

Nekislykh K. M., Sumy National Agrarian University, Ukraine

Batalova A.B., Sumy National Agrarian University, Ukraine

The use of the task-based approach to develop a mathematical language portfolio in foreign students at the pre-enrollment stage.

This article analyzes how a task-based approach affects the understanding and mastery of mathematics and the formation of a mathematical language portfolio in foreign students at the pre-university stage of study. It was found that this approach to the formation of a mathematical language portfolio in foreign students at the pre-university stage of education provides not only the development of certain types of mathematical thinking, increased motivation to study this discipline, the formation of student independence and responsibility for the results of his/her activity for increasing the share of their autonomy in the educational activities of a creative or a research nature, but also develops both the terminological vocabulary of students and overall communicative skills. It analyzes how a mathematics course for foreign students at the pre-university stage of education can look like when using the task-based approach. The author's vision of an article of such a course is based on the psychological characteristics and the behavior of foreign students during the adaptation period. Additionally, such a course can be supplemented by the use of project technology, technology for the development of critical thinking, technology of interactive learning, heuristic learning, ICT technology. The analysis of general theoretical and applied aspects of the use of the task-based approach to form a mathematical language portfolio in foreign students at the pre-university stage of study allowed us to make several generalizations: a) this approach is aimed at solving a two-pronged problem, namely: overcoming the phonetic difficulties encountered by foreign students in the study of mathematics and the development of mathematical terminology; b) it will allow you to move away from the practice of focusing on unsuccessful attempts, and shift the focus to the side of the result; c) it will change the role of the teacher from the head of the process to the facilitator or mentor; g) it will stimulate students' interest in the study of mathematics. It could be a prospect to further study the mathematical background of foreign students in order to identify gaps and develop programs for differentiated teaching of mathematics, taking into account those inconsistencies.

Keywords: foreign students, pre-university stage of study, teaching mathematics, task-based approach, the development of a language mathematical portfolio.

Дата надходження до редакції: 29.07.2019