

УДК 631.372:617-07

ДІАГНОСТУВАННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ ПРИВОДІВ – ШЛЯХ ДО ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНІЧНОЇ ГОТОВНОСТІ КОМБАЙНІВ ТА СКОРОЧЕННЯ ЗАТРАТ НА ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТ

В. В. Яременко, А. Г. Куценко, М. Г. Березовий, О. М. Черниш

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція авторів: yaremenko@nubip.edu.ua.

Історія статті: отримано – квітень 2021, акцептовано – серпень 2021, опубліковано – 30 вересня 2021 року.

Бібл. 11, рис. 2, табл. 0.

Анотація. Обґрунтовано важливість діагностування гідравлічних приводів для підвищення технічної готовності комбайнів та скороченні затрат на технічне обслуговування і ремонт. Приведено методичний підхід та результати дослідження по створенні системи технічного діагностування гідравлічного приводу рульового керування комбайнів. Встановлено перелік та нормативні значення діагностичних параметрів (номінальні, допустимі, граничні). Проведено аналіз фізичних процесів, які відбуваються при функціонуванні гідроприводу. Встановлено характер зміни структурних параметрів гідроагрегатів та їх вплив на експлуатаційні показники працездатності рульового керування комбайнів. Дана оцінка обґрунтованих діагностичних параметрів, які характеризують загальний технічний стан гідравлічного приводу рульового керування та окремо гідроагрегатів і їх елементів. Визначено доцільність застосування того чи іншого діагностичного параметра використовуючи такі критерії: достовірність технічного діагностування; трудомісткість (тривалість) діагностування; пристосованість об'єкта до діагностування; універсальність та вартість засобів технічного діагностування; повнота та глибина діагностування.

Ключові слова: діагностування, гідравлічний привод, структурні параметри, технічне діагностування, ремонт, технічне обслуговування.

вирощеного врожаю [2]. Роботи по заготівлі кормів та збиранню коренеплодів мають проводитись в оптимальні строки, щоб не допустити погіршення якості зібраної продукції та втрат [3]. Однією з причин збільшення тривалості збиральних робіт є недостатньо висока надійність комбайнів, що призводить до їх простоїв по причині усунення несправностей [4]. Тривалість простоїв комбайнів на проведення робіт по технічному обслуговуванню та усуненню несправностей досягає 0,5–0,6 годин на кожну годину чистої роботи комбайна [3, 5]. Значна частина тривалості простоїв пов'язана з усуненням несправностей гідравлічних приводів комбайнів. Близько 24% відмов, від загальної кількості відказів по комбайну, припадає на гідравлічні приводи [4, 6]. Надійність роботи комбайнів в значній мірі залежить від рівня технічного сервісу [5, 7-11].

Мета досліджень

Підвищити технічну готовність сільськогосподарських комбайнів та зменшити затрати на технічне обслуговування та ремонт. Провести аналіз фізичних процесів, які відбуваються при функціонуванні гідроприводу. Встановити характер зміни структурних параметрів гідроагрегатів та їх вплив на експлуатаційні показники працездатності рульового керування комбайнів.

Постановка проблеми

Оптимальна тривалість збирання зернових культур, при якій втрати зерна колосових культур не повинні перевищувати 2,5% від вирощеного врожаю, складає 7–10 днів [1].

Аналіз останніх досліджень

Збільшення тривалості збирання може призвести до значних втрат, які досягають 20–30% від

Результати досліджень

Підвищенню надійності роботи гідравлічних приводів комбайнів сприяє своєчасне виявлення на ранніх стадіях розвитку та усунення несправностей. Це досягається шляхом створення та реалізації системи технічного діагностування гідравлічних приводів, в якій забезпечується взаємодія об'єкта та засобів діагностування з вирішенням наступних питань: обґрунтуванням виду та призначення систем діагностування; аналізу фізичних процесів, які проходять в об'єкті діагностування з метою

встановлення механізмів виникнення та ознак проявлення пошкоджень і дефектів; встановлення переліку та нормативних значень діагностичних параметрів, які характеризують технічний стан гідроагрегатів; розробка засобів діагностування та алгоритмів пошуку несправностей.

Такий методичний підхід реалізовано при створенні системи діагностування гідравлічного приводу рульового керування комбайнів.

Найбільш доцільним, на даному етапі, для гідравлічного приводу рульового керування є використання функціонального виду діагностування з визначенням як загального технічного стану так і локально окремих агрегатів, використовуючи переносний комплект механічних зовнішніх засобів діагностування.

Основним призначенням системи діагностування є пошук несправностей та визначення технічного стану гідроагрегатів і прогнозування терміну подальшої їх експлуатації.

Аналіз фізичних процесів, які відбуваються при функціонуванні гідроприводу проведено з використанням діагностичної моделі (рис. 1).

Для цього конкретний гідравлічний привод рульового керування умовно розбивається на структурні блоки, якими можуть бути: бак робочої рідини (Б); насос живлення (Н); насос-дозатор (НД); гідроциліндри (Ц); керовані колеса (КК).

Структурно-функціональна модель будується для таких режимів роботи рульового керування: рух комбайна прямолінійно або криволінійно з фіксованим радіусом повороту; поворот керованих коліс з різною швидкістю при рухомому і нерухомому комбайні; поворот комбайна при працюючому і непрацюючому насосі живлення.

Кожний блок структурно-функціональної моделі характеризується дією зовнішніх і внутрішніх входних та вихідних параметрів.

Кожний з представлених в діагностичній моделі параметрів для конкретного режиму функціонування гідроприводу відповідає кількісному значенню згідно з технічними вимогами на виготовлення гідроагрегатів та їх елементів. Зміна цих параметрів в процесі експлуатації гідроприводу призводить до порушення робочого процесу, що характеризується різними видами несправностей.

Для встановлення характеру зміни структурних параметрів гідроагрегатів та їх вплив на експлуатаційні показники працездатності рульового керування комбайнів проведено експериментальні дослідження.

Було відібрано комплекти гідроагрегатів рульового керування з різною ступеню спрацювання.

З комплектними гідроагрегатами проведено випробування по параметрах згідно з технічними вимогами на виготовлення.

Після випробувань гідроагрегати розбирались і проводилось визначення зміни структурних параметрів (розмірів) поверхонь деталей, які спрацьовувались в процесі експлуатації. Результати вимірювань (мікрометражу) оброблялись згідно з існуючими методиками.

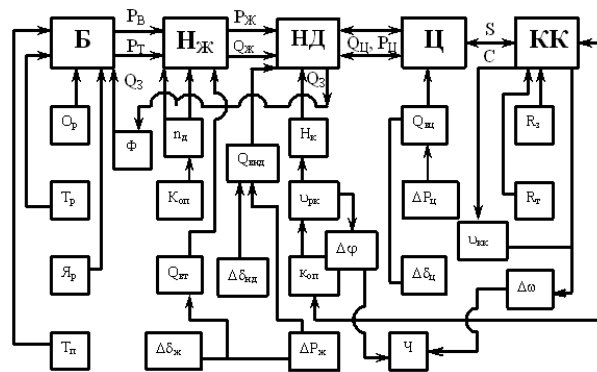


Рис. 1. Діагностична модель гідравлічного приводу рульового керування комбайна; Б – бак; НЖ – насос підживлення; НД – насос-дозатор; Ц – гідроциліндри; КК – керовані колеса; Т_п – температура повітря; Т_р – температура робочої рідини; О_р – рівень робочої рідини в баку; Я_р – якість робочої рідини; Ф – фільтр; Q_з – злив робочої рідини в бак; Р_в, Р_т – тиск або вакуум в усмоктувальній магістралі; Q_ж, Р_ж – подача і тиск робочої рідини на виході насоса живлення; n_д – частота обертання колінчастого вала двигуна; К_{оп} – команда оператора; Q_{вт}, Q_{нд}, Q_ц – втрата робочої рідини в насосі живлення, насос-дозаторі та гідроциліндрах; Δδ_{нд}, Δδ_ц, Δδ_ж – зазори в спраженнях деталей насоса живлення, насос-дозаторі та гідроциліндрах; ΔР_ж, ΔР_ц – перепад тиску робочої рідини в спраженнях насоса живлення та гідроциліндрах; Н_к – насос-мотор керування; ω_{рк} – швидкість повороту рульового колеса; Δφ – приріст кута повороту рульового колеса; Ч – чутливість рульового керування; Δψ – приріст кута повороту керованих коліс; Q_ц, Р_ц – подача та тиск робочої рідини в порожнинах гідроциліндрів; S, C – переміщення та зусилля штоків гідроциліндрів; ω_{кк} – швидкість повороту керованих коліс; Р_з – зовнішній опір повертання коліс; Р_т – опір тертя в механізмах

Fig. 1. Diagnostic model of the hydraulic drive of the steering of the combine; B – tank; NJ – feed pump; ND – dosing pump; C – hydraulic cylinders; QC – steered wheels; TP – air temperature; TR – temperature of the working fluid; PR – the level of working fluid in the tank; NR – the quality of the working fluid; F – filter; QC – drain the working fluid into the tank; RV, RT – pressure or vacuum in the suction line; QJ, RZ – supply and pressure of the working fluid at the outlet of the feed pump; nD – engine crankshaft speed; KOP – operator's command; QBT, BHD, BIC – loss of working liquid in the power supply pump, the dosing pump and hydraulic cylinders; DND, Ts, Zh – gaps in conjugations of details of the power pump, the pump batcher and hydraulic cylinders; PJ, PIC – pressure drop of working liquid in couplings of the power supply pump and hydraulic cylinders; NK – pump-control motor; RK – steering wheel rotation speed; F – increase in the angle of rotation of the steering wheel; H – sensitivity of the steering; FF – increase in the angle of rotation of the steered wheels; QTs, RC – supply and pressure of working liquid in cavities of hydraulic cylinders; S, C – displacement and force of the hydraulic cylinder rods; KK – speed of rotation of steered wheels; RH – external resistance to wheel rotation; RT – frictional resistance in mechanisms

На рисунку 2 представлено залежність об'ємного коефіцієнта корисної дії (η) насоса НШ10 від загального зазору (δ_3) в спраженнях корпус–головки зубців шестерень, підшипник-торці зубців шестерень, підшипник-вал шестерні, корпус-підшипник та наробітку комбайна.

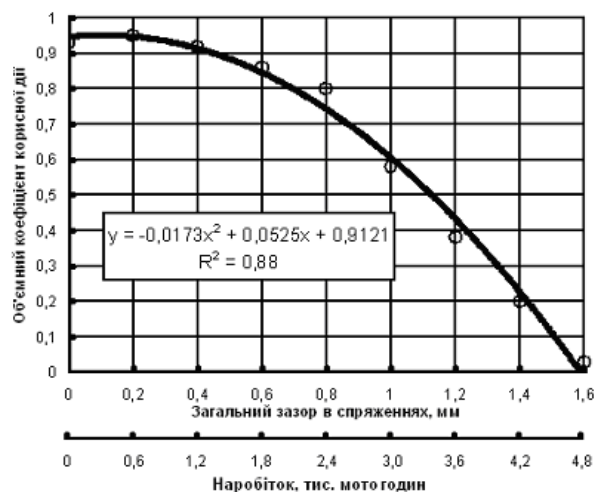


Рис. 2. Залежність об'ємного коефіцієнта корисної дії (η) насоса НШ10 від загального зазору (δ_3) в спраженнях корпус–головки зубців шестерень, підшипник-торці зубців шестерень, підшипник-вал шестерні, корпус–підшипник та наробітку комбайна: $y(x)$ – рівняння регресії; R^2 – імовірність апроксимації; $\Delta P = 10$ МПа – перепад тиску робочої рідини в спраженнях

Fig. 2. Dependence of the volumetric efficiency (η) of the pump NSh10 on the total clearance (δ_3) in the couplings of the housing-head of the gear teeth, the bearing-ends of the gear teeth, the bearing-shaft of the gear, the housing-bearing and the combine operating time: $y(x)$ – regression equation; R^2 is the probability of approximation; $\Delta P = 10$ MPa – the pressure drop of the working fluid in the couplings

Спрацювання поверхонь деталей призводить до збільшення зазорів в спраженнях, що спричиняє ріст втрат робочої рідини в насосі.

Об'ємний коефіцієнт корисної дії насоса НШ-10 визначався в результаті ділення фактичної подачі робочої рідини на теоретичну подачу при відповідній частоті обертання приводного вала, номінальних значеннях тиску та температури. Спрацювання поверхонь деталей призводить до збільшення зазорів в спраженнях, що і обумовлює зниження ОККД насоса.

За даними експериментальних досліджень втрати робочої рідини в спраженні “корпус – золотник” розподільника насоса-дозатора складають близько 90% від загальних втрат робочої рідини в насосі-дозаторі і можуть досягати 18 л/хв.

Втрати робочої рідини в спраженнях деталей підсилювача потоку, запобіжного та запірних клапанів, силових гідроциліндрів змінюються в процесі експлуатації в незначних межах (0,05–0,06 л/хв) і при проведенні технічного обслуговування можуть приводитись майже до номінальних значень

шляхом виконання регулювальних та очисних операцій, а також заміною ущільнення.

Для встановлення впливу зміни структурних параметрів на основні експлуатаційні показники працездатності рульового керування комбайнів, які регламентуються відповідними стандартами [6], проведено експериментальні дослідження. Повні комплекти гідроагрегатів рульового керування комбайна з різною ступінню спрацювання поверхонь деталей встановлювались на експериментальну установку, на якій створювались та контролювались такі параметри: частота обертання приводного вала шестеренного насоса живлення; подача насоса живлення та насоса-дозатора; тиск та температура робочої рідини; швидкість обертання рульового колеса; тривалість повного переміщення поршнів гідроциліндрів, яка відповідає повному повороту керованих коліс з одного крайнього положення в інше; швидкість скочвання рульового колеса; швидкість переміщення поршнів гідроциліндрів; навантаження на штоки гідроциліндрів; втрата робочої рідини в гідроагрегатах та їх спраженнях

Випробування проводились на робочій рідині, яка передбачена заводом-виробником для конкретного комбайна. Режими навантаження та температура робочої рідини створювались в межах передбачених нормативною документацією на гідроагрегати та комбайни. В процесі проведення експериментальних досліджень давалась оцінка обґрунтованих діагностичних параметрів, які характеризують загальний технічний стан гідралічного приводу рульового керування та окремо гідроагрегатів і їх елементів. При визначенні доцільності застосування того чи іншого діагностичного параметра використовувались такі критерії: достовірність технічного діагностування; трудомісткість (тривалість) діагностування; пристосованість об'єкта до діагностування; універсальність та вартість засобів технічного діагностування; повнота та глибина діагностування.

За результатами досліджень встановлено перелік та нормативні значення діагностичних параметрів (номінальні, допустимі, граничні).

Номінальні значення діагностичних параметрів відповідають номінальним значенням параметрів технічного стану нових гідроагрегатів згідно технічним вимогам заводів-виготовлювачів. Граничні значення діагностичних параметрів відповідають такому технічному стану гідроагрегатів, при якому подальша експлуатація комбайнів неможлива виходячи з вимог безпеки руху та економічної ефективності. Допустимі значення діагностичних параметрів визначалися за існуючими методиками [7] виходячи з того, що вони відповідають такому технічному стану гідроагрегата, при якому даний агрегат має можливість безвідмовно працювати встановлений термін часу до наступного діагностування:

$$P_d = P_0 - \frac{P_f - P_0}{\left(1 + \frac{T_2}{T_1}\right)^a},$$

де P_d – допустиме значення відхилення діагностичного параметра;

P_0 – максимальне (номінальне) значення діагностичного параметра для нового агрегату;

P_T – граничне значення діагностичного параметра;

T_2 – нормативне значення доремонтного ресурсу агрегату;

T_1 – нормативне значення періодичності діагностування;

α – показник динаміки спрацювання агрегату.

Для вимірювання обґрунтованих діагностичних параметрів розроблено комплекти засобів і технологія їх застосування.

Пошук несправностей здійснюється за розробленими алгоритмами.

Висновки

1. Застосування розробленої системи технічного діагностування гідравлічних приводів рульового керування комбайнів забезпечує доведення коефіцієнта готовності гідроагрегатів до 0,85–0,90, а також на 20–25 % збільшення використання їх ресурсу.

2. Тривалість експрес-діагностування гідравлічного приводу рульового керування складає в середньому біля 5 хвилин, а повне діагностування з використанням зовнішніх засобів технічного діагностування складає близько 30 хвилин.

3. Достовірність технічного діагностування гідравлічного приводу рульового керування при заданій глибині пошуку місця несправності знаходиться в межах 90–95 %.

Список літератури

1. Dubbini M., Pezzuolo A., De Giglio M., Gattelli M., Curzio L., Covi D., Yezekyan T., Marinello F. Last generation instrument for agriculture multispectral data collection. *CIGR Journal*. 2017. Vol. 19. P. 158-163.

2. Rogovskii I. L. Models of formation of engineering management alternatives in methods of increasing grain production in agricultural enterprises. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2021. Vol. 12. No 1. P. 137-146. <http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.01.137>.

3. Rogovskii I., Titova L., Ohienko M., Snezhko O., Nadtochiy O., Raiss F., Berezova L. Methodology of engineering management of agrotechnics of grain production by agricultural enterprises. Monograph. Opole. The Academy of Management and Administration in Opole. 2021. ISBN 978-83-66567-37-5. 214 p.

4. Nazarenko I., Mishchuk Y., Mishchuk D., Ruchynskiy M., Rogovskii I., Mikhailova L., Titova L., Berezovyi M., Shatrov R. Determination of energy characteristics of material destruction in the crushing chamber of the vibration crusher. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 4. Issue 7(112). P. 41-49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239292>.

5. Rogovskii I., Titova L., Novitskii A., Rebenko V. Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of

engines of combine harvesters. *Engineering for Rural Development*. 2019. Vol. 18. P. 291-298.

6. ГОСТ 28174-89 (СТ СЭВ 6266-88). Тракторы и сельскохозяйственные машины. Объемный гидропривод рулевого управления. Общие технические требования.

7. Nazarenko I., Dedov O., Bernyk I., Rogovskii I., Bondarenko A., Zapryvoda A., Titova L. Study of stability of modes and parameters of motion of vibrating machines for technological purpose. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 6 (7-108). P. 71-79. doi: 10.15587/1729-4061.2020.217747.

8. СОУ 29.3-37-438: 2006. Техніка сільськогосподарська. Діагностичне забезпечення гідравлічних приводів. Загальні технічні вимоги.

9. Luo A.C.J., Guo Y. *Vibro-impact Dynamics*. Berlin: Springer-Verlag, 2013. 213 p.

10. Rogovskii I. L. Systemic approach to justification of standards of restoration of agricultural machinery. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2019. Vol. 10. No 3. P. 181-187.

11. John Deere Harvester Works. ТМ 2702. Тестирование и диагностика комбайнов 9400, 9500, 9600. Техническое руководство. Напечатано в США, язык русский. 1997. 2219 p.

References

1. Dubbini M., Pezzuolo A., De Giglio M., Gattelli M., Curzio L., Covi D., Yezekyan T., Marinello F. (2017). Last generation instrument for agriculture multispectral data collection. *CIGR Journal*. 19. 158-163.

2. Rogovskii I. L. (2021). Models of formation of engineering management alternatives in methods of increasing grain production in agricultural enterprises. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 12(1). 137-146. <http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.01.137>.

3. Rogovskii I., Titova L., Ohienko M., Snezhko O., Nadtochiy O., Raiss F., Berezova L. (2021). Methodology of engineering management of agrotechnics of grain production by agricultural enterprises. Monograph. Opole. The Academy of Management and Administration in Opole. ISBN 978-83-66567-37-5. 214.

4. Nazarenko I., Mishchuk Y., Mishchuk D., Ruchynskiy M., Rogovskii I., Mikhailova L., Titova L., Berezovyi M., Shatrov R. (2021). Determination of energy characteristics of material destruction in the crushing chamber of the vibration crusher. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 4(7(112)). 41-49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239292>.

5. Rogovskii I., Titova L., Novitskii A., Rebenko V. (2019). Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. *Engineering for Rural Development*. 18. 291-298.

6. GOST 28174-89 (ST CMEA 6266-88). Tractors and agricultural machinery. Volumetric hydraulic steering. General technical requirements.

7. Nazarenko I., Dedov O., Bernyk I., Rogovskii I., Bondarenko A., Zapryvoda A., Titova L. (2020). Study of stability of modes and parameters of motion of vibrating

machines for technological purpose. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 6 (7-108). 71-79. doi: 10.15587/1729-4061.2020.217747.

9. Luo A.C.J., Guo Y. (2013). Vibro-impact Dynamics. Berlin: Springer-Verlag. 213.

10. Rogovskii I. L. (2019). Systemic approach to justification of standards of restoration of agricultural machinery. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 10(3). 181-187.

11. John Deere Harvester Works. TM 2702. Testing and diagnostics of combines 9400, 9500, 9600. Technical manual. Printed in the USA, Russian, 1997. 2219.

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ – ПУТЬ К ПОВЫШЕНИЮ ТЕХНИЧЕСКОЙ ГОТОВНОСТИ КОМБАЙНОВ И СОКРАЩЕНИИ ЗАТРАТ НА ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ

В. В. Яременко, А. Г. Куценко, Н. Г. Березовый, О. Н. Черныш

Аннотация. Обосновано важность диагностирования гидравлических приводов для повышения технической готовности комбайнов и сокращения затрат на техническое обслуживание и ремонт. Приведен методический подход и результаты исследований по созданию системы диагностирования гидравлического привода рулевого управления комбайнов. Установлен перечень и нормативные значения диагностических параметров (номинальные, допустимые, предельные). Проведен анализ физических процессов, происходящих при функционировании гидропривода. Установлен характер изменения структурных параметров гидроагрегатов и их влияние на эксплуатационные показатели работоспособности рулевого управления и отдельных элементов. Определено важность использования того или иного диагностического параметра используя следующие критерии: достоверность технического диагностирования; трудоёмкость диагностирования; приспособленность объекта к диагностированию; универсальность и стоимость средств технического диагностирования; полнота и глубина диагностирования.

Ключевые слова: диагностирование, гидравлический привод, структурные параметры, техническая диагностика, ремонт, техническое обслуживание.

DIAGNOSING OF HYDRAULIC DRIVES – ON WAY TO INCREASE OF TECHNICAL READINESS OF COMBINES AND REDUCTION OF EXPENSES ON TECHNICAL SERVICE

V. V. Yaremenko, A. H. Kutsenko, M. H. Berezovyi, O. M. Chernysh

The RESUME. The importance of diagnosing hydraulic drives to increase the technical readiness of combines and reduce maintenance and repair costs is substantiated. The methodical approach and results of research on creation of system of technical diagnostics of a hydraulic drive of a steering of combines are resulted. The list and normative values of diagnostic parameters

(nominal, admissible, limit) are established. The analysis of physical processes that occur during the operation of the hydraulic drive is carried out. The character of change of structural parameters of hydraulic units and their influence on operational indicators of working capacity of steering of combines is established. The estimation of the proved diagnostic parameters which characterize the general technical condition of the hydraulic drive of a steering and separately hydraulic units and their elements is given. The expediency of application of this or that diagnostic parameter is determined using the following criteria: reliability of technical diagnosis; complexity (duration) of diagnosis; suitability of the object for diagnosis; universality and cost of technical diagnostics; completeness and depth of diagnosis.

Key words: diagnostics, hydraulic drive, structural parameters, technical diagnostics, repair, maintenance.

В. В. Яременко ORCID 0000-0002-3271-6287.

А. Г. Куценко ORCID 0000-0003-1808-6773.

М. Г. Березовый ORCID 0000-0001-9221-9787.

О. М. Черныш ORCID 0000-0001-6173-0259.

