

ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Научная статья

УДК 62-69

DOI: 10.53914/issn2071-2243_2022_1_57

**Улучшение условий работы оператора трактора
с двигателем воздушного охлаждения**

Юрий Федорович Устинов¹, Владимир Алексеевич Жулай², Андрей Викторович Ворохобин^{3✉}

^{1, 2}Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия

³Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия

³dogruzka@rambler.ru✉

Аннотация. При разработке новых и модернизации серийных образцов с.-х. машин особую актуальность приобретает создание благоприятных условий для механизаторов, производительность труда которых в значительной степени зависит от условий окружающей среды и непосредственно от комфорта в рабочей зоне. До настоящего времени в кабинах тракторов и других с.-х. машин не полностью обеспечиваются параметры микроклимата в соответствии с существующими ГОСТами. Создание благоприятного температурного режима в кабинах тракторов в условиях зимней эксплуатации имеет немаловажное значение, так как направлено на снижение числа простудных заболеваний водителя и повышение его работоспособности. Анализ опубликованных научных работ показал, что наиболее распространены отопительные устройства, использующие тепловыделение двигателя, одним из недостатков которых является опасность отравления оператора отработавшими газами в случае нарушения из-за коррозии или прогара герметичности поверхности, разделяющей поток отработавших газов с воздушным потоком в кабине. Для устранения этого недостатка сотрудниками ВГТУ и ВГАУ разработаны и испытаны макеты отопительных устройств, использующих тепло отработавших газов двигателя непосредственно для подогрева воздуха, поступающего в кабину, или использующие тепло отработавших газов для подогрева промежуточного теплоносителя (воды, антифриза, масла гидросистемы) с последующей подачей в радиатор отопителя. По данным лабораторных стендовых испытаний теплопроизводительность предложенного отопителя находится в интервале от 1404 до 2296 Вт. Проведенные полевые испытания трактора с опытным двигателем воздушного охлаждения показали, что при температуре наружного воздуха от –16 до –18 °С температура воздуха в кабине составляла +15–20 °С, а теплопроизводительность – 1218–1334 Вт. Создаваемые таким образом условия в кабине оператора соответствуют единым требованиям, предъявляемым к конструкциям тракторов.

Ключевые слова: трактор, двигатель с воздушным охлаждением, обогрев кабины, теплообменник, отопитель, условия труда

Для цитирования: Устинов Ю.Ф., Жулай В.А., Ворохобин А.В. Улучшение условий работы оператора трактора с двигателем воздушного охлаждения // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 15, № 1(72). С. 57–62. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_1_57-62.

TECHNOLOGIES AND MECHANICAL MEANS
IN AGRICULTURE (ENGINEERING SCIENCES)

Original article

**Improvement of working conditions of the operator
of the tractor with an air-cooled engine**

Yuriy F. Ustinov¹, Vladimir A. Zhulai², Andrey V. Vorokhobin^{3✉}

^{1, 2}Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

³Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia

³dogruzka@rambler.ru✉

Abstract. During the development of new and modernization of serial samples of agricultural machines, the creation of favorable conditions for machine operators, whose labor productivity largely depends on environmental conditions and directly on comfort in the working area, is of particular relevance. Up until now, the microclimate parameters are not fully provided in the cabins of tractors and other agricultural machines in accordance with existing federal standards. The creation of a favorable temperature regime in tractor cabs in winter operation is of no small importance, as it is aimed at reducing the number of colds of the driver and increasing his performance capability. An analysis of published scientific papers has shown that the most common heating devices are those using engine heat release, one of the disadvantages of which is the danger of poisoning the operator with exhaust gases in the case of a violation of the tightness of the surface separating the exhaust gas flow with the air flow in the cabin due to corrosion or burnout. To eliminate this disadvantage, scientific researchers of Voronezh State Technical University and Voronezh State Agrarian University have developed and tested models of heating devices that use the heat of

the engine exhaust gases directly to heat the air entering the cabin, or use the heat of the exhaust gases to heat the intermediate coolant (water, antifreeze, hydraulic oil) with subsequent supply to the radiator of the heater. According to laboratory engine bench tests, the heating capacity of the proposed heater is in the range from 1 404 to 2 296 W. Conducted field tests of a tractor with an experimental air-cooled engine showed that at an outdoor temperature of $-16 \dots -18 \text{ }^{\circ}\text{C}$, the cabin air temperature was $+15 \dots 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, and the heating capacity was 1 218-1 334 W. The conditions created in the operator's cabin meet the uniform requirements for tractor designs.

Keywords: tractor, heater, air-cooled engine, cabin heating, heat exchange unit, cab heater, working conditions

For citation: Ustinov Yu.F., Zhulai V.A., Vorokhobin A.V. Improvement of working conditions of the operator of the tractor with an air-cooled engine. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2022;15(1):57-62. (In Russ.). https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_1_57-62.

Рост технической энерговооруженности сельскохозяйственного производства, внедрение прогрессивных технологий, появление большого количества современной сложной техники требуют более надежной защиты работающих операторов от воздействия вредных производственных факторов. Особую важность при разработке новых и модернизации серийных образцов сельскохозяйственных машин приобретает создание благоприятных условий труда механизаторов, производительность труда которых в значительной степени зависит от условий окружающей среды и непосредственно от комфорта рабочей зоны. Неблагоприятные условия труда операторов сельскохозяйственных машин (шум, вибрация, запыленность воздуха, повышенные/ пониженные температуры воздуха в кабине и др.), являются главной причиной снижения производительности труда, быстрой утомляемости, профессиональных заболеваний и текучести кадров механизаторов.

Условия труда операторов мобильных сельскохозяйственных агрегатов пока относятся к числу неблагоприятных. До настоящего времени в кабинах тракторов и других сельскохозяйственных машин не полностью обеспечиваются параметры микроклимата в соответствии с существующими ГОСТами и нормативными документами [1, 2].

В летнее время температура в кабинах превышает температуру наружного воздуха из-за солнечной радиации, притока тепла от двигателя и других факторов, а в зимнее – наоборот, находится ниже показателей комфорта, что приводит к повышенной утомляемости, ухудшению внимания и, как следствие, является фактором снижения производительности труда и увеличения вероятности ошибочных действий при выполнении технологических операций.

Создание благоприятного температурного режима в кабинах тракторов в условиях зимней эксплуатации имеет немаловажное значение, так как направлено на снижение вероятности простудных заболеваний (в результате переохлаждения организма водителя) и повышение его работоспособности.

В настоящее время известно большое количество разнообразных отопительных устройств, рекомендуемых для отопления кабин мобильных средств. Так, в работе [4] приводится обзор 470 описаний изобретений к авторским свидетельствам СССР и патентам США, ФРГ, Англии и Франции.

Все многообразие описанных в работе [9] отопительных устройств по принципу получения тепла может быть разделено на три группы:

- к первой группе, наиболее распространенной, относятся отопительные устройства с использованием тепловыделения двигателя;
- ко второй – устройства, преобразующие механическую энергию двигателя машины в тепловую;
- к третьей – автономные устройства, энергетические установки которых обособлены от двигателя машины.

По результатам анализа функционирования отопительных устройств различных групп можно сделать вывод, что наиболее экономичной, не требующей дополнительного расхода топлива при работе двигателя машины, является группа отопительных устройств, использующих тепловыделения двигателя. Отопительные устройства второй и третьей групп требуют дополнительного расхода дизельного топлива. Расход дизель-

ного топлива в установках, преобразующих механическую энергию двигателя в тепловую (дросселирование масла, электрокалориферы и др.), для получения теплового потока в 1 кВт при существующих удельных расходах топлива дизеля 175–185 г/л.с.·ч составляет 230–245 г/ч, в автономных бензиновых отопителях для получения того же теплового потока расход бензина составляет 175–190 г/ч [4, 7, 8].

На тракторах и самоходных машинах, оснащенных двигателями водяного охлаждения, принцип использования для отопления кабин тепловыделений собственного двигателя прочно вошел в практику. Наличие гидравлической связи между рубашкой охлаждения двигателя и радиатором отопителя позволяет успешно решать эту задачу. Однако создание отопительных устройств, использующих тепловыделения воздушного охлаждения для отопления кабин, сопряжено с определенными трудностями.

В течение ряда лет проводились работы по изысканию возможности использования теплоизбытков двигателей воздушного охлаждения для обогрева кабины оператора транспортного средства.

Были изготовлены и испытаны следующие виды отопительных устройств:

а) использующих тепло отработавших газов двигателя непосредственно для подогрева воздуха, поступающего в кабину;

б) использующих тепло отработавших газов для подогрева промежуточного теплоносителя (воды, антифриза, масла гидросистемы) с последующей подачей в радиатор отопителя.

Преимущество отопительных устройств, использующих тепло отработавших газов непосредственно для подогрева воздуха, поступающего в кабину, перед устройствами, использующими тепло отработавших газов для подогрева промежуточного теплоносителя с последующей подачей его в радиатор отопителя, очевидно. Даже без анализа теплотехнических показателей этих отопительных устройств видны преимущества конструкций, напрямую использующих тепло отработавших газов двигателя, а именно: отсутствие насоса, емкости для теплоносителя, радиатора. Следовательно, отопительные устройства, выполненные по данной схеме, должны быть более надежными в эксплуатации и более компактными.

Основным недостатком отопительных устройств, работающих по схеме, в которой тепло отработавших газов используется непосредственно для подогрева воздуха кабины, является опасность отравления отработавшими газами в случае нарушения герметичности поверхности, разделяющей поток отработавших газов от потока воздуха, поступающего в рабочую зону. Нарушение герметичности возможно в результате коррозии или прогара разделяющей поверхности [11, 12]. Этот недостаток устраняется в опытной установке, представленной на рисунке.

Внутри переоборудованного выхлопного коллектора 1 вводится специальное теплообменное устройство (тепловая камера). Эта камера состоит из двух коаксиально расположенных труб 3 и 4 с радиальным зазором 1,5–3,0 мм, заглушенных с одного торца. С другого торца внешняя труба 3 по окружности приваривается к внутренней трубе 4. При выполнении сварочных работ важно обеспечить герметичность сварных соединений. Объем между трубками 3 и 4 через штуцер 10 на 1/4 заполняется легколетучей малотоксичной жидкостью (ацетон, этиловый спирт, перфтордибутиловый эфир и др.) и вакуумируется. К наружной поверхности трубы 3 приваривается фланец 8.

Переоборудование серийного коллектора в опытном образце заключается в следующем:

- со стороны, противоположной газоподводящим каналам, вырезается часть коллектора и вместо удаленной части приваривается труба 2 с внутренним диаметром 110–115 мм и фланцем 7;

- теплообменное устройство вставляется во внутреннюю полость коллектора и крепится посредством соединения фланцев 7 и 8. Во избежание потерь мощности дви-

гателя проходное сечение для отработавших газов в переоборудованном коллекторе должно быть не менее сечения стандартного коллектора;

- подвод воздуха внутрь теплообменного устройства осуществляется посредством воздухоподводящей трубы 5. Коаксиальность трубы 5 по отношению к внутренней трубе 4 обеспечивается воздухоотводящим патрубком 6 и специальными гофрированными пластинами 9, увеличивающими поверхность теплообмена.

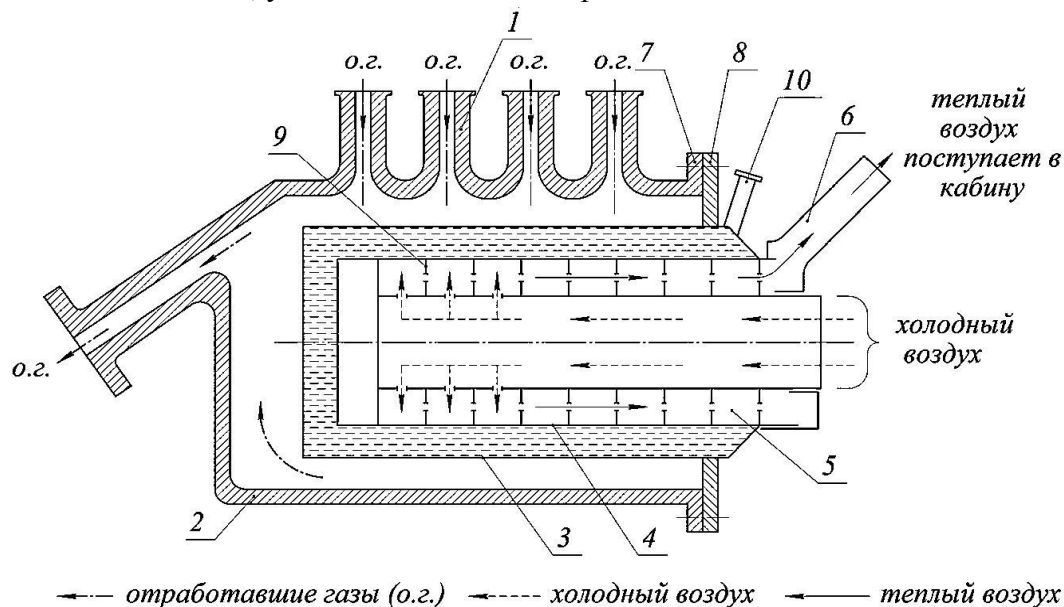


Рис. 1. Опытная установка отопительного устройства

Предложенное отопительное устройство работает следующим образом.

Отработавшие газы двигателя, проходя через коллектор, омывают наружную трубу 3 тепловой камеры. По мере нагревания стенок трубы начинается кипение легколетучей жидкости в кольцевом пространстве между трубами 3 и 4. Поскольку внутренней трубой 4 омывается холодным воздухом, нагнетаемым из кабины вентилятором по трубе 5, то температура стенок трубы 4 будет ниже температуры паров легколетучей жидкости. В результате разности температур пары жидкости конденсируются на поверхности трубы 4, отдавая тепло стенкам. От стенок трубы 4 тепло отбирается потоком воздуха, проходящим в кольцевом зазоре между трубами 4 и 5. Через воздухоотводящий патрубок 6 нагретый воздух поступает в кабину трактора. Процесс передачи тепла в данном теплообменнике аналогичен тому, что происходит в тепловых гравитационных трубах.

В случае разгерметизации по каким-либо причинам объема, ограниченного трубами 3 и 4, происходит выброс жидкости в полость коллектора или в пространство между трубами 4 и 5. При выбросе легколетучей жидкости из тепловой камеры нарушается механизм переноса тепла от стенок трубы 3 к стенкам корпуса трубы 4. Пространство между стенками трубы вследствие неплотности заполняется неподвижной газовой средой, имеющей низкий коэффициент теплопроводности, в результате чего стенки трубы 4 охлаждаются, и в кабину начинает поступать холодный воздух.

Условия значительно ухудшаются при разгерметизации трубы 4, так как в этом случае пары легколетучей жидкости, попадая в поток холодного воздуха, конденсируются и выносятся в кабину в виде капель. Насыщение объема кабины парами жидкости не представляет опасности для здоровья тракториста, поскольку для заправки тепловой вставки применяются малотоксичные вещества (предельно допустимая концентрация ацетона при работе в течение смены – 200 мг/м³, этилового спирта – 1000 мг/м³, перфтордибутилового эфира – 1000 мг/м³). Кроме того, эти жидкости обладают резким за-

пахом. Появление запаха и поступление холодного воздуха в кабину свидетельствуют о нарушении нормальной работы отопителя [3, 5, 6].

В таблице приведены результаты испытаний отопительного устройства, которое было смонтировано на опытном двигателе с воздушным охлаждением, установленном на тормозном стенде.

Результаты стендовых испытаний двигателя с воздушным охлаждением, снабженного разработанным отопительным устройством

Номера опытов	Режим загрузки двигателя, кВт (л.с.)	Загрузка двигателя, %	Температура воздуха на входе в отопитель, °С	Температура воздуха на выходе из отопителя, °С	Количество воздуха, поступающего из отопителя, м ³ /ч	Теплопроизводительность отопителя, Вт
1	Холостой ход	0	+10	53	85	1120
2	6,1 (8,3)	16,6	+10	67	85	1404
3	12,1 (16,5)	33,0	+10	81	83	1624
4	18,4 (25,0)	50,0	+10	97	83	1910
5	24,5 (33,3)	66,5	+10	121	83	2296

Теплопроводность отопителя определялась в лабораторных условиях по методике НАТИ [7] и составляла:

- при режиме холостого хода – 1120 Вт;
- при нагрузке от 16,6 до 66,5% – 1404–2296 Вт.

Проведены также испытания отопительного устройства на тракторах в дорожно-полевых условиях без крюковой нагрузки [10]. Стены кабины были металлическими, однослойными, без теплоизоляционного материала. Площадь неплотностей составляла 280 см². Теплопроизводительность находилась в пределах 1218–1334 кВт. При температуре наружного воздуха от –16 до –18 °С, скорости движения трактора 15 км/ч и скорости ветра 4–5 м/с температура воздуха в кабине составляла +15–20 °С, что обеспечивает комфортные условия труда оператора и соответствует современным требованиям [1, 2].

Таким образом, проведенные исследования позволили выявить возможности создания безопасного и эффективного отопительного устройства, использующего тепло отработавших газов двигателя для непосредственного подогрева воздуха, поступающего в кабину трактора.

Список источников

1. ГОСТ 12.2.120-2005. Система стандартов безопасности труда. Кабины и рабочие места операторов тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин. Общие требования безопасности. Москва: Стандартинформ, 2010. 11 с.
2. ГОСТ 12.2.120-2015. Система стандартов безопасности труда. Кабины и рабочие места операторов тракторов и самоходных машин. Москва: Стандартинформ, 2018. 13 с.
3. Занько Н.Г., Малаян К.Р., Русак О.Н. Безопасность жизнедеятельности: учебник для вузов. Санкт-Петербург: Лань, 2012. 667 с.
4. Михайлов В.А., Валасик Е.В. Системы отопления кабин самоходных машин: обзор. Москва: [Б. и.], 1973. 45 с.
5. Михайлов В.Н. [сост.] и др. Охрана труда в сельском хозяйстве: справочник. 4-е изд., перераб. и доп. Москва: Агропромиздат, 1988. 542 с.
6. Михайлов Л.А., Соломин В.П., Михайлов А.Л. и др. Безопасность жизнедеятельности: учебник для вузов. Санкт-Петербург: Питер, 2006. 302 с.
7. Михайлов М.В., Гусева С.В. Микроклимат в кабинах мобильных машин. Москва: Машиностроение, 1977. 230 с.

8. Поливаев О.И., Ворохобин А.В. Теория тракторов и автомобилей: учебник. Санкт-Петербург: Лань, 2021. 232 с.
9. Поливаев О.И., Костиков О.М., Ворохобин А.В., Ведринский О.С. Конструкция тракторов и автомобилей: учебное пособие. Санкт-Петербург: Лань, 2020. 282 с.
10. Поливаев О.И., Костиков О.М. Испытание сельскохозяйственной техники и энергосиловых установок: учебное пособие. Санкт-Петербург: Лань, 2017. 280 с.
11. Синяков В.Г. Оценка условий труда операторов на тракторах // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1991. № 10. С. 23–25.
12. Халфин М.А., Халфин С.М. Условия труда на сельскохозяйственных тракторах // Техника и оборудование для села. 1990. № 10. С. 3–5.

References

1. GOST 12.2.120-2005 Kabiny i rabochie mesta operatorov traktorov i samohodnykh sel'skokhozyajstvennykh mashin. Obshchie trebovaniya bezopasnosti [Occupational safety standards system. Cabs and operator's workplaces of tractors and powered agricultural machines. General safety requirements]. Moscow: Standartinform Press; 2010. 11 p. (In Russ.).
2. GOST 12.2.120-2015. Kabiny i rabochie mesta operatorov traktorov i samohodnykh sel'skokhozyajstvennykh mashin. Obshchie trebovaniya bezopasnosti [Occupational safety standards system. Cabs and operator's workplaces of tractors and powered agricultural machines. General safety requirements]. Moscow: Standartinform Press; 2018. 13 p. (In Russ.).
3. Zan'ko N.G., Malayan K.R., Rusak O.N. Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti: uchebnik dlya vuzov [Life safety: textbook for higher education]. Saint Petersburg: Lan' Press; 2012. 667 p. (In Russ.).
4. Mikhailov V.A., Valasik E.V. Sistemy otopeniya kabin samohodnykh mashin: obzor [Heating systems of cabins of self-propelled machines: an overview]. Moscow: [No place]; 1973. 45 p. (In Russ.).
5. Mikhailov V.N. [contributing editor], et al. Okhrana truda v sel'skom khozyajstve: spravochnik. 4-e izd., pererab. i dop. [Labor protection in agriculture: handbook. 4th ed., revised and enlarged]. Moscow: Agropromizdat Press; 1988. 542 p. (In Russ.).
6. Mikhailov L.A., Solomin V.P., Mikhailov A.L., et al. Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti: uchebnik dlya vuzov [Life safety: textbook for higher education]. Saint Petersburg: Peter Press; 2006. 302 p. (In Russ.).
7. Mikhailov M.V., Guseva S.V. Mikroklimat v kabinakh mobil'nykh mashin [Microclimate in the cabins of mobile machines]. Moscow: Mashinostroenie Press; 1977. 230 p. (In Russ.).
8. Polivaev O.I., Vorokhobin A.V. Teoriya traktorov i avtomobilej: uchebnik [Theory of tractors and automobiles: textbook]. Saint Petersburg: Lan' Press; 2021. 232 p. (In Russ.).
9. Polivaev O.I., Kostikov O.M., Vorokhobin A.V., Vedrinsky O.S. Konstruktsiya traktorov i avtomobilej: uchebnoe posobie [Construction of tractors and cars: study guide]. Saint Petersburg: Lan' Press; 2020. 282 p. (In Russ.).
10. Polivaev O.I., Kostikov O.M. Ispytanie sel'skokhozyajstvennoj tekhniki i energo-silovykh ustanovok. Uchebnoe posobie [Testing of agricultural machinery and energy power plants. Study guide]. Saint Petersburg: Lan' Press; 2017. 280 p. (In Russ.).
11. Sinyakov V.G. Otsenka uslovij truda operatorov na traktorakh [Assessment of the working conditions of operators of tractors]. *Traktory i sel'khoz mashiny = Tractors and Agricultural Machinery*. 1991;10:23-25. (In Russ.).
12. Khalfin M.A., Khalfin S.M. Usloviya truda na sel'skokhozyajstvennykh traktorakh [Working conditions of agricultural tractors]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela = Machinery and Equipment for Rural Area*. 1990;10:3-5. (In Russ.).

Информация об авторах

Ю.Ф. Устинов – доктор технических наук, профессор кафедры строительной техники и инженерной механики им. профессора Н.А. Ульянова ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», ustinov@vgasu.vrn.ru.

В.А. Жулай – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой строительной техники и инженерной механики им. профессора Н.А. Ульянова ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», zhulai@vgasu.vrn.ru.

А.В. Ворохобин – кандидат технических наук, доцент кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», dogruzka@rambler.ru.

Information about the authors

Yu.F. Ustinov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Construction Equipment and Engineering Mechanics named after Professor N.A. Ulyanov, Voronezh State Technical University, ustinov@vgasu.vrn.ru.

V.A. Zhulai, Doctor of Engineering Sciences, Head of the Dept. of Construction Equipment and Engineering Mechanics named after Professor N.A. Ulyanov, Voronezh State Technical University, zhulai@vgasu.vrn.ru

A.V. Vorokhobin, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, dogruzka@rambler.ru.

Статья поступила в редакцию 16.02.2022; одобрена после рецензирования 21.03.2022; принята к публикации 26.03.2022.

The article was submitted 16.02.2022; approved after revision 21.03.2022; accepted for publication 26.03.2022.

© Устинов Ю.Ф., Жулай В.А., Ворохобин А.В., 2022