# ДИСКУССИОННЫЕ MATEPИAЛЫ / DISCUSSION PAPERS

РОССИЙСКАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ТЕХНИКА: КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ, ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ /RUSSIAN AGRICULTURAL MACHINERY: COMPETITIVENESS, GLIMPSE INTO THEFUTURE

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.136-148 УДК 629.3.014



#### Кто решает, какие тракторы нужны сельхозпроизводителю?

 $\odot$  2021. В. Н. Зернов, С. Н. Петухов, А. Г. Пономарев

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, Российская Федерация

Совершенствование технологий производства сельскохозяйственных культур основано на развитии средств механизации, среди которых тракторная энергетика играет важную роль. В растениеводстве сельскохозяйственные культуры в процессе своей вегетации требуют дифференцированного внимания, а, следовательно, и разных затрат на производство. К наиболее затратным относятся пропашные культуры, которые в процессе развития требуют проведения множества междурядных обработок посадок и посевов. Выполнение таких обработок связано с борьбой с сорной растительностью, подкормками растений, проведением операций по химической защите растений от болезней и вредителей. Исходя из этого становится совершенно очевидно, что применяемая на производстве таких культур сельскохозяйственная техника должна быть приспособлена к использованию ее на посадках и посевах культур в разной стадии развития растений. При этом как надземные, так и находящиеся в почве части растения не должны травмироваться и угнетаться рабочими органами сельскохозяйственных машин и движителями энергосредств. Становится очевидным, что в парках тракторов сельскохозяйственных организаций необходимо иметь как мощные тракторы общего назначения, выполняющие в основном вспашку, сплошное дискование и культивацию, посев культур широкозахватными агрегатами, так и универсально-пропашные траквыполнения предназначенные междурядных обработок. Существуют для по разработке оптимального парка машин для сельскохозяйственных организаций разных по направленности производства и площадям земельных угодий. С учетом возможности применения современных средств цифровизации и искусственного интеллекта, позволяющих значительно повышать качество выполнения технологических процессов и контролировать их, появляется возможность дальнейшего развития технологий производства пропашных культур. Из приведенных в материале моделей тракторов по своим характеристикам лучшими агротехнологическими качествами, предъявляемыми к универсально-пропашному трактору, обладают модели Fastrac 2170 британской компании ЈСВ и трактор ЛТИ 162.5, производство которого планируется в г. Ижевске (Россия).

**Ключевые слова**: универсально-пропашной трактор, трактор общего назначения, технологии, комплексы машин, агротехнические требования, пропашные культуры

Благодарности: работа выполнена без финансового обеспечения в рамках инициативной тематики.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

*Конфликт интересов*: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Зернов В. Н., Петухов С. Н., Пономарев А. Г. Кто решает, какие тракторы нужны сельхозпроизводителю? Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(1):136-148. DOI: <a href="https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.136-148">https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.136-148</a>

Поступила: 18.11.2020 Принята к публикации: 28.01.2021 Опубликована онлайн: 22.02.2021

#### Who decides what tractors farmers need?

© 2021.Vitaly N. Zernov, Sergey N. Petukhov, Andrey G. Ponomarev<sup>⊠</sup>

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Improvement of crop production technologies is based on the development of agricultural machinery in which the tractor power plays an important role. In crop production, agricultural crops require variable attention during their growing season and consequently, different production costs. The most expensive are row crops which in the process of development require a lot of inter-row tillage of plantings and sowings. The implementation of such tillage involves the control of weeds, plant fertilization, operations for chemical protection of plants from diseases and pests. Therefore, it becomes evident that the agricultural machinery used in the production of such crops must be adapted to its use in planting and sowing crops at different stages of plant development. Thus, both the aboveground and the parts of the plant located in the soil should not be damaged and oppressed by the working bodies of agricultural machines and the engines of energy facilities. It becomes obvious that tractor fleet of agricultural organizations should have both powerful general-purpose tractors used mainly for plowing, continuous disking, cultivation and sowing using wide coverage units, and row-crop tractors designed for inter-row tillage. There are methods for

developing an optimal fleet of machinery for agricultural organizations which differ in production trends and in size of agriculturally used areas. Taking into account the possibility of using modern means of digitalization and artificial intelligence which can significantly improve the quality of technological processes and control them, it is possible to develop technologies for the production of row crops. Of all tractor models mentioned in the research, the following models have the best agrotechnological characteristics required of the general-purpose row-crop tractors: Fastrac 2170 produced by the British company JCB and LTI 162.5 tractor that is to be produced in Izhevsk, Russia.

**Keyword:** general purpose row-croptractor, general-purpose tractor, technologies, machine complexes, agrotechnical requirements, row crops

**Acknowledgement:** the work was performed without financial support within the framework of the initiative theme.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors stated that there was no conflict of interest.

For citation: Zernov V. N., Petukhov S. N., Ponomarev A. G. Who decides what tractors farmers need? Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22 (1):136-148. (In Russ.). DOI: <a href="https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.136-148">https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.136-148</a>

Received: 18.11.2020 Accepted for publication: 28.01.2021 Published online: 22.02.2021

В утвержденной в 2017 году Стратегии развития сельскохозяйственного машиностроения России на период до 2030 года наилучшим образом сформулирована роль отрасли в экономике Российской Федерации. Согласно этому документу, отечественному комплексу предприятий сельскохозяйственного машиностроения отводится одна из ключевых ролей в достижении показателей Доктрины продовольственной безопасности страны в части снижения зависимости И импорта техники технологий изготовления, а также обеспечения модернизации сельского хозяйства страны для увеличения выпуска базовой сельхозпродукции<sup>1</sup>.

В вопросе развития сельскохозяйственного машиностроения первостепенную роль играет производство тракторной энергетики. Связано это с тем, что трактор является образующим звеном в создании любой продукции сельскохозяйственного производства независимо от формы производственных отношений - будь это крупный агрохолдинг, объединяюнесколько коллективных хозяйств, крестьянское (фермерское) хозяйство или индивидуальный предприниматель: весь цикл производства базовой сельскохозяйственной продукции в организации основан на технологиях и комплексах машин, построенных на применяемой тракторной энергетике.

21 января 2020 года Комитет по аграрнопродовольственной политике и природопользованию Совета Федерации провел совещание на тему «Актуальные вопросы развития отечественного тракторостроения». Первый заместитель председателя комитета С. Г. Митин отметил, что, несмотря на предпринимаемые Правительством и профильными министерствами меры по технической модернизации аграрного сектора экономики, парк сельскохозяйственной техники страны характеризуется критической недооснащенностью и высокой степенью морального износа. Так, парк тракторов и самоходных уборочных машин с начала 90-х годов сократился в 6 раз, тракторы с вышедшими сроками амортизации и эксплуатации (10 лет и старше) составляют более 70 % всего парка тракторов<sup>2</sup>.

Как положительную тенденцию в развитии отечественного тракторостроения можно рассматривать то, что с 2013 по 2019 год выпуск тракторов в Российской Федерации увеличился в 6 раз и составил 3 355 ед. В то же время при обозначенных в Стратегии развития задачах, согласно которым *«агросектор должен не только обеспечивать продовольственную безопасность страны, но и приносить прибыль от поставок на экспорт»*, такие масштабы производства тракторов явно недостаточны<sup>3</sup> [1].

Наш аграрный сектор катастрофически отстает по обеспеченности тракторами на единицу площади. На рисунке 1 приводятся данные по количеству тракторов, приходящихся на 1000 га пашни в различных странах с развитым аграрным сектором<sup>4</sup>. Однако представленная здесь информация не в полной мере отражает картину обеспеченности сельскохозяйственного производителя тракторной энергетикой.

 $<sup>^{1}</sup>$ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 07 июля 2017 № 1455-р. URL: <a href="http://government.ru/docs/all/112319/">http://government.ru/docs/all/112319/</a>  $^{2}$ Материалы совещания в Совете Федерации «Актуальные вопросы развития отечественного тракторостроения». Москва, 24.01.2020. URL: <a href="http://council.gov.ru/events/news/112544">http://council.gov.ru/events/news/112544</a>

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup>Методика использования условных коэффициентов перевода тракторов, зерноуборочных и кормоуборочных комбайнов в эталонные единицы при определении нормативов их потребности: методические указания. Под ред. А. Ю. Измайлова. М.: Росинформагротех, 2009. 56 с.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup>Лачуга Ю. Ф. Материалы совещания в Совете Федерации «Обеспечение обновления машинно-тракторного парка АПК». Москва. 30.10.2020. URL: <a href="http://vim.ru/center/newsmedia/news/954">http://vim.ru/center/newsmedia/news/954</a>

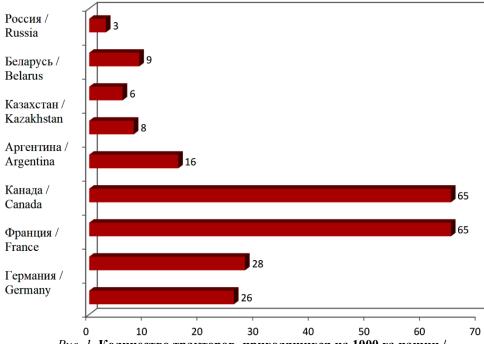


Рис. 1. Количество тракторов, приходящихся на 1000 га пашни /

Fig. 1. Number of tractors per 1000 ha of arable land

Конструкция трактора тесно переплетается с его технологическим совершенством, его потребительскими качествами.

Формирование парка тракторов и его перспективное развитие осуществляются на основе реализации и совершенствования научно обоснованного типажа, построенного по тяговому классификационному признаку [2, 3]. Указанный типаж соответствует требованиям сельскохозяйственного производства, но лишь при обязательном выполнении двух основных условий. Первое заключается в полном обеспечении потребности в различных типоразмерах тракторов применительно к условиям соответствующих зон России. Второе требование касается постоянного воспроизводства и развития тракторного парка как по количеству работоспособной техники, так и по его структуре. Однако ни то, ни другое требование В настоящее в Российской Федерации не выполняются [4].

На парламентских слушаниях по теме «Обеспечение обновления машинно-тракторного парка агропромышленного комплекса» президент Ассоциации «Росспецмаш» К. Бабкин заявил, что производство тракторов для сельского хозяйства в России в 2020 году

составит 4200 штук, что в 13 раз больше, чем в 2013 году. Экспорт по прогнозу составит 480 единиц тракторной техники, превысив в 20 раз показатель 2013 года. При этом возрастает роль современной российской мощной энергонасыщенной техники. В общем количестве тракторов, произведенных за 2020 год, доля отечественных марок составила 46 %, иномарок российской сборки – 54 %, из них 30,7 % собрано из тракторокомплектов МТЗ, 1,8 % — из комплектов XTЗ, 21,5 % — из комплектов иностранных марок («Versatile», «New-Holland», «Agrotron», «Axion», «John Deere», «Xerion»)<sup>5</sup>.

Посмотрим на приведенные статистические данные с позиции аграриев. Чтобы лучше понимать ситуацию о положении дел в отечественном тракторостроении, приведем данные по тракторной энергетике, выпускаемой на отечественных предприятиях для отечественного АПК и поставляемой на Российский рынок зарубежными тракторостроительными фирмами (табл.).

В таблице приведены данные по выпуску (производство или сборка) тракторов на отечественных предприятиях $^6$ .

Аграрная наука Евро-Северо-Востока / Agricultural Science Euro-North-East. 2021; 22(1):136-148

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup>Бабкин К. Материалы совещания в Совете Федерации «Обеспечение обновления машинно-тракторного парка АПК». Москва. 30.10.2020. URL: http://vim.ru/center/newsmedia/news/954

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup>Проспект фирмы JonhDeere [Электронный ресурс] URL: <a href="https://www.deere.ru/">https://www.deere.ru/</a>; Проспект фирмы Ростсельмаш [Электронный ресурс] URL: <a href="https://rostselmash.com/">https://rostselmash.com/</a>; Проспект фирмы Петербургский тракторный завод [Электронный ресурс] URL: <a href="https://kirovets-ptz.com/">https://kirovets-ptz.com/</a>; Проспект фирмы Минский тракторный завод [Электронный ресурс] URL: <a href="https://www.deutz-fahr.com/ru-ru/">https://www.deutz-fahr.com/ru-ru/</a>; Проспект фирмы JCB [Электронный ресурс] URL: <a href="https://www.deere.ru/">https://www.deere.ru/</a>; Проспект фирмы Лем [Электронный ресурс] URL: <a href="https://www.deere.ru/">https://www.deere.ru/</a>; Проспект фирмы JCB [Электронный ресурс] URL: <a href="https://www.deer

Taбnuya — Модели колесных тракторов, выпускаемых в Российской Федерации / Table — Models of wheeled tractors produced in the Russian Federation

	Jonh Deere 6195M / Jonh Deere 6195M	<i>BT3-246K / BTZ-246 K</i>	Axion 820 / Axion 820	Axion 900 / Axion 900	XERION 4000 / XERION 4000	Versatile 320 / Versatile 320	Versatile 2000	Deutz-Fahr Agrolux 4.80	Deutz-Fahr Agrotron 1130
Показатель /				9єпо Ц	Производитель / Manufacturer	turer			
Indicator	возможно будет производство в РФ / perhaps there will be production in Russia	Брянский mpaкmopный завод / Bryansk tractor plant	000	ООО CLAAS, г. Краснодар / CLAAS LLC, Krasnodar	аснодар / ısnodar	Ростсельмаш, г. Ростов-на-Дону / Rostselmash, Rostov-on-Don	ньмаш, на-Дону / ostov-on-Don	OOO HIIO «Мехинструмент» г. Павлово, Нижегород.обл. / NPO "Magistro-ment" Pavlovo Nizhny Novgorod region.	инструмент) vezopoð. обл. / nent" Pavlovo rod region.
Класс / Class	2-3	3	3	5	8	8	8	1,4	3,0
Компоновочная схема / Layout diagram	Классика / Classic	Сочлененные полурамы / Articulated half- frames	Классика / Classic	Классика / Classic	Рамная конструкция / Frame construction	Классика / Classic	Сочлененные полурамы / articulated half-frames	Классика / Classic	Classic
Номинальная мощность, кВт (л.с.) / Rated power, kW (HP)	143 (195)	132,2 (180)	139 (189)	235 (320)	295 (401)	235 (320)	279 (380)	59,8 (81)	99 (135)
Macca, kr / Weight, kg	7500	0868	9300	12840	17230	10861	006/1	3300	6525
Aгрогехнический просвет, мм / Agricultural clearance, mm	545	400	995	647	375	-	-	400	570
Механизм поворота / Slewing gear	Передние управляемые колеса / Front steerable wheels	Ломающаяся рама / Breaking frame	Передние у кол Front stee	Передние управляемые колеса / Front steerable wheels	Управляемые oбе ocи / Controlled both axes	Передние управляемые колеса / Front steerable wheels	Ломающаяся рама / Breaking frame	Передние управляемые колеса / Front steerable wheels	авляемые a / le wheels
Шины передних колес / Tires of the front wheels	600/65R28	21,3R24	420/85R28	620/75R30	900/60R42	420/90R30	520/85R42	12,4R20	16,9R28
ширина профиля, мм / width of profile, mm	9009	541	420	620	900	420	520	315	430
Шины задних колес / Rear wheel tires	710/70R38	21,3R24	520/85R38	710/85R38	900/60R42	480/80R46	520/85R42	16,9R30	20,8R38
ширина профиля, мм / width of profile, mm	710	541	520	710	006	480	520	430	528
Стоимость, руб. / Cost, RUB.	21 812 160	4 636 000	14 126 668				-	3 829 856	ı

Продолжение табл.

	Kuposeų K-424 / Kirovets K-424	ANT 4135F	XT3-17221 / HTZ-17221	VJTT3-150K-03 / ULTZ-150K-03	Terrion ATM 3180M / Terrion ATM 3180M	terrion amw 4200 / terrion amw 4200	MT3 1221 B.2-51.55 / MTZ 1221 V. 2-51.55	JCB Fastrac 3230 Xtra	ЛТИ-162.5 / LTI-162.5
Показатель / Indicator				$\Pi pouseo d$	Производитель / Manufacturer	turer			
	IIT3, г. Санкт- Петербург / PTZ, St. Petersburg	AO «Ковровский ЭМЗ» / JSC " Kovrov EMZ»	OOO IIO XT3 Белеород / LLC PO KhTZ Belgorod	OOO YIM3, 2. Yemb-Лабинск / ULMZ LLC, Ust-Labinsk	3AO «Aepomexmau» e. Tamбoв / CJSC "Agrotech-mash" Tambov	mexmaw» 60e / !ech-mash" 50v	OAO MT3 Беларусь / MTZ OJSC Belarus	Англия / England	OOO «VpanHжTpak» 2. Hжевск / OOO "Uraltrak" Izhevsk
Класс / Class	4	2	3	3	3	4	2-3	3	2-3
Компоновочная схема / Layout diagram	Сочлененные полурамы / Articulated Half- Frames	Классика / Classic	Сочлененнь Articulated	Сочлененные полурамы / Articulated half-frames	X	Классика / Classic	S	Интег	Интеграл / Integrated
Номинальная мощность, кВт (л.с.) / Rated power, kW (HP)	176,5 (240)	100,2 (136)	128,7 (175)	128,7 (175)	136 (182)	147 (197)	96 (136)	142 (190)	142 (190)
Macca, Kr / Weight, kg	9300	4500	0068			1	2080	7990	5200
Aгротехнический просвет, мм / Agricultural clearance, mm	200	508	450	450	500	900	620	410	480
Механизм поворота / Slewing gear	Ломающаяся рама / Breaking frame	Передние управляемые колеса / Front steerable wheels	Ломающ Вreaki	Ломающаяся рама / Breaking frame	Передни Frc	Передние управляемые колеса / Front steerable wheels	колеса / els	4 упран 4 ste	4 управляемых колеса / 4 steerable wheels
Шины передних колес / Tires of the front wheels	23,1R26	420/70R24	21,3R26	21,3R26	420/85R30	420/85R34	14,9R24	540/65R30	16,9R30
ширина профиля, мм / width of profile, mm	985	420	286	586	420	420	378	540	430
Шины задних колес / Rear wheel tires	23,1R26	520/70R38	21,3R26	21,3R26	520/85R38	520/85R42	18,4R38	540/65R30	16,9R30
ширина профиля, мм / width of profile, mm	586	520	586	586	520	520	467	540	430
Стоимость, руб. / Cost, RUB.	5 795 400	4 160 000	4 568 964	3 213 559	7 653 355	8 827 322	2 620 677	15 819 064	2 980 100

Последнее время насыщение парка тракторов отечественного АПК происходит в основном моделями, относящимися к тракторам общего назначения, которые по разным причинам не могут быть использованы для выполнения работ по уходу за пропашными культурами.

Новейшие тенденции мировых тракторостроительных фирм показывают, что в конструкции тракторов в ближайшее время производители пойдут по пути создания тракторов с ДВС, имеющих мощность, превышающую не менее чем в 2 раза требуемую для тяговых задач в базовой комплектации. Тракторы будут с бесступенчатой трансмиссией, позволяющей оптимизировать режим работы трактора и двигателя. Эти задачи уже сейчас решаются электронной системой управления, которая согласована с рабочим орудием и с навигационным оборудованием, способна использовать технологии точного земледелия и участвовать в системе «Интеллектуальное сельское хозяйство».

В таблице представлены только те характеристики и параметры, которые можно считать главными отличительными особенностями универсально-пропашных тракторов. Помимо приведенных данных, такие тракторы имеют возможность регулирования колеи как по передним, так и задним колесам, а также использовать различные модели шин, позволяющих работать в междурядьях. Обычно такие тракторы имеют до 6 пар гидравлических выводов и до 3 валов отбора мощности для привода сельскохозяйственных машин.

Востребованными останутся как тракторы с колесным, так и гусеничным движителем. Изменение гусеничного движителя для сельскохозяйственных тракторов пойдет в направлении создания резиноармированной гусеницы или ее аналога с целью снижения стоимости и повышения ресурса.

По мере развития разветвленной сети электростанций из возобновляемых энергоресурсов (солнечные, ветряные, гидравлические, тепловые и т. п.) станут востребованы электрические тракторы. На переходном этапе развития будут создаваться тракторы с гибридными энергетическими установками, имеющими преимущества по управляемости процессами в машине и орудии, способностью обеспечивать электроэнергией сельскохозяйственные орудия как для их рабочих процессов, так и с целью обеспечения их активного привода для создания тягового усилия [5].

В последние годы за рубежом наблюдается тенденция широкого внедрения прогрессивных индустриальных технологий возделывания сельскохозяйственных культур с применением комбинированных широкозахватных агрегатов, выполняющих за один проход несколько технологических операций, например, подготовку почвы под посев, посев зерновых культур с внесением удобрений, гербицидов и одновременной их заделкой в почву. Внедрение таких агрегатов позволяет за счет увеличения ширины захвата и совмещения операций существенно повысить производительность, снизить затраты труда, энергии и средств на единицу получаемой продукции.

Однако такие агрегаты наиболее эффективны при возделывании пропашных культур, в процессе вегетации которых требуются междурядные обработки агрегатами при условии, что движители энергетического средства при прохождении по междурядью не должны оказывать механического воздействия на растения.

Для работ на посевах и посадках пропашных культур требуется энергетика достаточной мощности и, в то же время обладающая возможностью проезда в различных по величине междурядьях. Последнее определяется такими показателями, как колея энергосредства, клиренс и параметры движителей. Это, собственно, и является первоочередными требованиями к универсально-пропашному трактору. Анализ с этой позиции представленных в таблице тракторов показывает, что основная масса моделей не может использоваться для работ в междурядьях пропашных культур.

Важное значение для универсально-пропашного трактора имеет и компоновочная схема. Универсально-пропашной трактор не может быть выполнен по схеме с ломающейся рамой (сочлененные полурамы). Применение такой схемы исключено по причине кинематики агрегата при управлении им во время движения в междурядьях растений.

Таким образом, из приведенных в таблице тракторов возможно использовать на междурядных обработках модели Deutz-Fahr Agrolux 4.80, Deutz-Fahr Agrotron 1130, Terrion ATM 3180M, Terrion ATM 4200, МТЗ 1221. В таблице приведены данные по трактору ЛТИ-162.5, серийное производство которого готовится на предприятии в г. Ижевске (Удмуртская Республика).

Проведенный анализ ситуации в области отечественного тракторостроения позволяет сделать вывод, что в Российской Федерации в настоящее время полностью отсутствует

производство универсально-пропашных тракторов. Главными причинами такого положения является отсутствие государственного заказчика на данную продукцию. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации в настоящее время не выполняет функцию заказчика. Нет механизма, по которому Минсельхоз мог бы требовать от Минпромторга производить ту продукцию, которая необходима аграрному сектору. С другой стороны, для Минпромторга Российской Федерации не имеет значения, кто будет покупать продукцию тракторных заводов — отечественный сельхозпроизводитель или зарубежный.

Сейчас сложилась такая ситуация, что при том диспаритете цен на продукцию машиностроения, энергоносители и продукцию сельского хозяйства основная масса работающих в аграрном секторе организаций не способна покупать сельхозтехнику (в том числе и тракторы) в достаточном объеме для расширения производства и, соответственно, продукция отечественного сельхозмашиностроения, при условии хорошего качества исполнения, будет ориентирована на внешний рынок.

Ограниченные с точки зрения дальнейшего развития отрасли возможности внутреннего рынка заставляют как регулятора, так и самих производителей сельхозтехники уделять повышенное внимание вопросу расширения экспортного канала сбыта. В 2017 году Правительством Российской Федерации была принята Стратегия развития экспорта в отрасли сельскохозяйственного машиностроения на период до 2025 года, которая предполагает, что поставки на внешние рынки станут основным драйвером развития российской отрасли сельхозмашиностроения В соответствии с целевыми индикаторами реализации Стратегии развития сельскохозяйственного машиностроения России период до 2030 года соотношение экспорта и отгрузок продукции сельскохозяйственного машиностроения на внутренний должно к 2025 году составить 1:1.

Пятьдесят лет назад, в процессе разработки конструкции трактора, конструкторские бюро любого завода, в первую очередь, взаимодействовали с технологическими институтами сельского хозяйства для понимания того, что требуется заказчику в лице сельскохозяйственных предприятий Минсельхоза. Только потом, на уровне промышленных предприятий решались инженерные задачи с целью удовлетворения требований заказчика. Сейчас никого не интересуют требования заказчика (его на государственном уровне нет), сейчас главное – продать как можно выгоднее (Минпромторг), а кому – вопрос не главный.

Вот наша беда. Мы в науке уже начинаем думать о применении искусственного интеллекта для повышения эффективности в аграрном секторе, а решение о том, что продавать аграрному сектору, принимает другой интеллект.

В свое время наша страна была лидером по тем техническим решениям, которые отечественные конструкторы заложили в схему универсально-пропашного трактора класса тяги 2 [6]. Это было время начала 70-х годов прошлого века. И вот сейчас, глядя на те модели тракторов, которые представлены в таблице, видишь, как эти решения воплощены в жизнь конструкторами других фирм и стран<sup>7</sup>.

Зададим все же вопрос, какой должен быть универсально-пропашной трактор с позиций разработчиков технологий производства различных сельскохозяйственных культур?

Универсально-пропашные тракторы, выполненные по «классической» схеме, получили широкое распространение во всем мире и широко используются в настоящее время. Однако у такой схемы трактора есть и серьезные недостатки, приведем некоторые из них:

- недостаточная продольная устойчивость трактора традиционной схемы при агрегатировании его с навесной сельскохозяйственной машиной, когда на развороте необходимо ее поднять в транспортное положение. Без балластирования переднего моста, при определенных условиях, трактор не может работать из-за потери управляемости (рис. 2, 3);
- отсутствие на тракторе свободного пространства для монтажа технологических емкостей большого объема. Установка таких емкостей слева и справа от двигателя на специальных кронштейнах трактора классической схемы приводит к значительному ухудшению обзорности, дополнительной нагрузке на управляемые колеса, возможной перегрузке передних шин, затруднению технического обслуживания агрегатов двигателя, нарушению техники безопасности и повышенной трудоемкости монтажа и демонтажа емкостей [7, 8, 9,];

 $<sup>^{7}</sup>$ Пономарев А. Г., Аксенов А. Г. Концепция создания семейства многоцелевых агрегатов к перспективным энергосредствам для зерновых, пропашных и кормовых культур. Отчет НИР ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. М., 2017. 177 с.

- теоретически возможно, а практически недопустимо агрегатирование на передней навесной системе трактора «классической» схемы сельскохозяйственных машин, в т. ч. и

с приводом от ВОМ, так как это значительно перегружает передние колеса, ведет к образованию глубокой колеи, затрат на перекатывание, переуплотнению почвы по колее [10, 11, 12, 13].



Puc. 2. Потеря продольной устойчивости и управляемости трактора «классической» компоновочной схемы МТЗ-80 при агрегатировании с навесной зерновой сеялкой фирмы Kverneland Accord / Fig. 2. Loss of longitudinal stability and controllability of the tractor of «classic» layout scheme MTZ-80 when aggregating with the Kverneland Accord mounted grain seeder



*Puc. 3.* Балластный груз массой 600 кг на тракторе MT3-142 / *Fig. 3.* 600 kg ballast load on MTZ-142 tractor

В настоящее время некоторыми тракторостроительными фирмами ведутся работы по созданию моделей тракторов новой компоновочной схемы – с колесами одинакового размера, с измененной развесовкой и смещением кабины в середину колесной базы энергосредства.

Особенно это просматривается в конструкциях универсально-пропашных тракторов мощностью свыше 100 л. с. и заключается в следующем:

- увеличиваются размеры передних колес;
- увеличивается доля массы трактора, приходящейся на передний мост с целью улучшения

продольной устойчивости и повышения степени участия переднего ведущего моста в создании касательной силы тяги трактора;

- смещается кабина вперед как с целью изменения развесовки, так и с целью освобождения пространства над задней осью для размещения технологических емкостей;
- в дополнительные опции включаются переднее навесное устройство и передний BOM.

Однако большинство универсально-пропашных тракторов продолжает выпускаться по схеме с передними колесами меньшего размера, что обусловлено налаженным производством, запатентованными техническими решениями и существующим спросом на продукцию. В то же время многие тракторостроительные фирмы идут по пути увеличения передних колес тракторов в сравнении с предшествующими моделями, приближаясь по размеру к задним колесам, имея одинаковую с ними ширину. На ряде моделей тракторов с распределением массы по мостам 50 % на передний и 50 % на задний кабина устанавливается по центру.

В настоящее время основным производителем колесных универсально-пропашных тракторов «интегральной» схемы на мировом рынке является британская компания ЈСВ, которая в своем модельном ряду имеет ряд тракторов Fastrac, выполненных по «интегральной» схеме, с мощностью двигателя от 119 до 165 кВт (рис. 4).



*Puc. 4.* Трактор JCB Fastrac 2170 (127 кВт) / *Fig. 4.* JCB Fastrac 2170 tractor (127 kW)

Что понимается под определением универсально-пропашной трактор «интегральной» схемы? Сумма принципиально новых отличительных качеств (принципов), расширяющих технологические возможности его применения в различных сферах деятельности [14]:

- развесовка трактора в статике распределяется в пропорции:  $60\,\%$  на передний и  $40\,\%$  на задний мост энергосредства;
- трактор оборудован передней и задней гидравлическими навесными системами;
- колеса трактора имеют одинаковый размер;
- валы отбора мощности для привода различного технологического оборудования располагаются спереди, сзади и сбоку;
- кабина трактора располагается по центру, между мостами, и обеспечивает возможность быстрого перевода энергосредства на реверс;
- за кабиной располагается технологическая площадка для монтажа различного оборудования, в т. ч. гидроманипуляторов, седельного транспортного устройства, емкостей для сельхозматериалов и жидкостей;
- трактор имеет достаточное количество гидровыводов для обеспечения приводов агрегатируемого с ним оборудования;
- для рациональной, экономически выгодной эксплуатации трактора должен быть предусмотрен большой диапазон скоростей, в том числе «ползучих» через ходоуменьшитель; необходимость в таких скоростях требуется в овощеводстве;
- переключение передач должно осуществляться без разрыва потока мощности при движении трактора под нагрузкой;

- энергосредство должно иметь минимальную эксплуатационную массу с целью обеспечения удельного давления на почву в пределах 0.8...1.1 кг/см<sup>2</sup>, не более.

Кроме того, должны быть предусмотрены возможности:

- сдваивания передних и задних колес, в т. ч. с пропуском рядка культурных растений между узкими колесами каждого борта с целью обеспечения требуемого удельного давления на почву;
- конструкции ходовой системы должны иметь различные схемы поворота (управление только передними колесами, передними и задними в разные стороны, передними и задними в одну сторону «краб»), что обеспечивало бы движение колес «след в след» на поворотах и в четыре следа при прямолинейном движении;
- агрегатирования сельскохозяйственных машин из шлейфов тракторов класса 1,4 и 3;
- передачи через BOM трактора до 90 % мощности двигателя;
- создания различных модификаций (высококлиренсной, лесной, промышленной), в том числе и на гусеничном ходу.

Совершенно очевиден большой потенциал, появляющийся при разработках новых технологий возделывания и уборки сельскохозяйственных культур, связанный с применением нового трактора. Агрегатирование сельскохозяйственных машин на передней навесной системе при выполнении междурядных обработок существенно снижает величину защитных зон культурных растений, что уменьшает экологическую нагрузку на окружающую среду за счет снижения применения гербицидов. Совмещение операций в одном проходе агрегата позволяет заменить при посеве сплошное внесение химических препаратов на полосное (рис. 5).

На междурядных обработках пропашных культур для снижения удельного давления на почву со стороны движителей и для уменьшения их воздействия на культурные растения трактор оборудуется сдвоенными колесами с возможностью пропуска рядка между ними (рис. 6).

При разработке конструкций уборочных машин возможен вариант их агрегатирования на задней навесной системе трактора при его переводе на полный реверс (рис. 7). Много интересных предложений может быть и по оборудованию, монтируемому на технологической площадке трактора (рис. 8).



*Puc. 5.* Комбинированный 18-рядный агрегат на предпосевной обработке почвы, полосном внесении гербицида и посеве сахарной свеклы на базе трактора «интегральной схемы» /

Fig. 5. Combined 18-row unit for pre-sowing tillage, strip application of herbicide and sugar beet sowing based on the «integrated circuit» tractor



Междурядная обработка посадок картофеля (междурядья 75 см) / Inter-row tillage of potato plantings (row spacing 75 cm)

Междурядная обработка посевов сахарной свеклы (междурядья 45 см) / Inter-row tillage of sugar beet sowings (row spacing 45 cm)

Puc.~6. Сдваивание колес трактора на проведении междурядных обработок / Fig.~6. Doubling the wheels of the tractor during inter-row tillage





 $Puc.\ 7.\$ Варианты кормоуборочных комбайнов на базе трактора «интегральной схемы» (трактор на реверсе) /

Fig. 7. Variants of forage harvesters based on the «integrated circuit» tractor (reverse tractor)





Погрузчик на базе трактора
«интегральной схемы» /
Loader based on the «integrated circuit» tractor

Установка емкостей подкормщика-опрыскивателя на технологическую площадку трактора «интегральной схемы» / Installation of feeder-sprayer tanks on the technological platform of the «integrated circuit» tractor

Puc.~8. Примеры оборудования для использования на технологической площадке трактора / Fig.~8. Examples of equipment for use on the tractor's production site

Заключение. В настоящее время в Российской Федерации налажено производство колесных тракторов общего назначения. В первую очередь, это производство машин на Петербургском тракторном заводе и заводе «Ростсельмаш». В то же время в Российской Федерации полностью отсутствует производство колесных универсально-пропашных тракторов классов 1,4 и 2, необходимых при производстве пропашных и овощных культур.

Ниша производства универсально-пропашных колесных тракторов класса 2 может составить только для внутреннего рынка порядка 60 тысяч тракторов в год.

Российскому сельхозпроизводителю нужны современные тракторы, максимально отвечающие технологическим, экологическим и экономическим требованиям. В парке тракторов сельскохозяйственного предприя-

тия особое значение отводится универсально-пропашным моделям, способным работать на различных междурядьях сельскохозяйственных культур в процессе вегетации растений. При этом они должны обладать необходимыми техническими характеристиками, которые обеспечат выполнение агротехнических требований.

Из приведенных в материале моделей тракторов по своим характеристикам лучшими агротехнологическими качествами, предъявляемыми к универсально-пропашному трактору, обладают модели Fastrac 2170 британской компании ЈСВ и трактор ЛТИ 162.5, выпуск которого готовится на новом производстве в г. Ижевске. Однако у последней модели есть серьезное преимущество на внутреннем рынке — цена.

#### Список литературы

- 1. Измайлов А. Ю., Кряжков В. М., Антышев Н. М., Елизаров В. П., Келлер Н. Д., Лобачевский Я. П., Сорокин Н. Т., Гурылев Г. С., Савельев Г. С., Сизов О. А., Шевцов В. Г. Концепция модернизации сельскохозяйственных тракторов и тракторного парка России на период до 2020 года. М.: ВИМ, 2013.  $86\ c$ .
- 2. Шевцов В. Г., Годжаев Т. 3., Ерилина Е. В. Перспективы развития сельскохозяйственных мобильных энергосредств. Тракторы и сельхозмашины. 2018;(3):25-31. Режим доступа: <a href="https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35196985">https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35196985</a>
- 3. Лавров А. В., Зубина В. А., Шевцов В. Г. Критерии оптимизации состава тракторного парка в зависимости от типа воспроизводственного процесса. Инновации в сельском хозяйстве. 2018;(4):255-261. Режим доступа: <a href="https://elibrary.ru/item.asp?id=36605479">https://elibrary.ru/item.asp?id=36605479</a>
- 4. Годжаев З. А., Лавров А. В., Шевцов В. Г., Зубина В. А. О выборе технологического направления развития системы сельскохозяйственных мобильных энергосредств. Известия МГТУ «МАМИ». 2020;(1 (43)):35-41. Режим доступа: <a href="https://elibrary.ru/item.asp?id=42745803">https://elibrary.ru/item.asp?id=42745803</a>
- 5. Дидманидзе О. Н., Девянин С. Н., Парлюк Е. П. Трактор сельскохозяйственный: вчера, сегодня, завтра. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020; 21(1):74-85. DOI: <a href="https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.74-85">https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.74-85</a>

- 6. Дурманов А. С. Далекое прошлое и недавнее будущее...из истории создания тракторов интегральной схемы в России. Липецк: ООО «Липецкая Печатная Компания», 2014. 319 с.
- 7. Трубицын Н. В., Таркивский В. Е., Подольская Е. Е. Критерии оценки эффективности сельскохозяйственных тракторов и нормативные документы на методы их получения. Техника и оборудование для села. 2018;(5):10-13. Режим доступа: <a href="https://www.elibrary.ru/item.asp?id=34996132">https://www.elibrary.ru/item.asp?id=34996132</a>
- 8. Белый И. Ф. Проблемные вопросы создания и испытаний новых тракторов. Техника и оборудование для села. 2018;(3):10-12. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32689311
- 9. Хафизов К. А., Хафизов Р. Н. Энергетический метод оптимизации основных параметров трактора. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2015;10(1(35)):75-81. Режим доступа: <a href="http://www.vestnik-kazgau.com/images/archive/2015/1/15">http://www.vestnik-kazgau.com/images/archive/2015/1/15</a> hafizov hafizov.pdf
- 10. Шило И. Н., Романюк Н. Н., Орда А. Н., Нукешев С. О., Кушнир В. Г. Влияние многоосной ходовой системы машинно-тракторных агрегатов на плотность почвы. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018;12(1):31-36. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32607593
- 11. Ахметов А. А., Ахмедов Ш. А. У. Давление переднего колеса на почву тракторов с различной колесной формулой. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2019;13(1):27-33. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36956543
- 12. Панасюк А. Н., Липкань А. В. Расчет экологических порогов нормального давления колесных движителей машин на полевых работах на глинистых почвах. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020;14(4):43-48. Режим доступа: <a href="https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44391268">https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44391268</a>
- 13. Хафизов К. А., Хафизов Р. Н. Результаты многофакторного эксперимента по определению зависимости максимального давления колес трактора на почву от параметров трактора и физико-механических свойств почвы. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2016;11(4(42)):84-96. Режим доступа: http://www.vestnik-kazgau.com/images/archive/2016/4/16 khafizov.pdf
- 14. Зазуля А. Н., Пономарев А. Г., Дорохов А. С. Третье рождение интегрального трактора. Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции новые технологии и техника нового поколения для АПК: мат-лы XX Международ. научн.-прак. конф. Тамбов, 26-27 сентября 2019 г. Тамбов: изд-во: типография «Студия печати Галины Золотовой», 2019. С. 119-126.

#### References

- 1. Izmaylov A. Yu., Kryazhkov V. M., Antyshev N. M., Elizarov V. P., Keller N. D., Lobachevskiy Ya. P., Sorokin N. T., Gurylev G. S., Savel'ev G. S., Sizov O. A., Shevtsov V. G. *Kontseptsiya modernizatsii sel'skokhozyaystvennykh traktorov i traktornogo parka Rossii na period do 2020 goda*. [The concept of modernization of agricultural tractors and the tractor fleet of Russia for the period up to 2020]. Moscow: *VIM*, 2013. 86 p.
- 2. Shevtsov V. G., Godzhaev T. Z., Erilina E. V. *Perspektivy razvitiya sel'skokhozyaystvennykh mobil'nykh energosredstv*. [Perspective for the development of agricultural mobile energy]. *Traktory i sel'khozmashiny*. 2018;(3):25-31. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35196985
- 3. Lavrov A. V., Zubina V. A., Shevtsov V. G. *Kriterii optimizatsii sostava traktornogo parka v zavisimosti ot tipa vosproizvodstvennogo protsessa*. [Criteria for optimizing the composition of the tractor fleet depending on the type of the reproductive process]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2018;(4):255-261. (In Russ.). URL: <a href="https://elibrary.ru/item.asp?id=36605479">https://elibrary.ru/item.asp?id=36605479</a>
- 4. Godzhaev Z. A., Lavrov A. V., Shevtsov V. G., Zubina V. A. *O vybore tekhnologicheskogo napravleniya razvitiya sistemy sel'skokhozyaystvennykh mobil'nykh energosredstv*. [The selection of the technological direction of the development of the agricultural mobile energy facilities]. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2020;(1 (43)):35-41. (In Russ.). URL: <a href="https://elibrary.ru/item.asp?id=42745803">https://elibrary.ru/item.asp?id=42745803</a>
- 5. Didmanidze O. N., Devyanin S. N., Parlyuk E. P. *Traktor sel'skokhozyaystvennyy: vchera, segodnya, zavtra*. [Past, present, future of agricultural tractors]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020; 21(1):74-85. (In Russ.). DOI: <a href="https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.74-85">https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.74-85</a>
- 6. Durmanov A. S. *Dalekoe proshloe i nedavnee budushchee ... iz istorii sozdaniya traktorov integral'noy skhemy v Rossii.* [Distant past and recent future ... from the history of creating integrated circuit tractors in Russia]. Lipetsk: *OOO «Lipetskaya Pechatnaya Kompaniya»*, 2014. 319 p.
- 7. Trubitsyn N. V., Tarkivskiy V. E., Podol'skaya E. E. Kriterii otsenki effektivnosti sel'skokhozyaystvennykh traktorov i normativnye dokumenty na metody ikh polucheniya. [Criteria for assessing the effectiveness of agricultural tractors and regulatory documents on methods of obtaining them]. Tekhnika i oborudovanie dlya sela = Machinery and Equipment for Rural Area. 2018;(5):10-13. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=34996132
- 8. Belyy I. F. *Problemnye voprosy sozdaniya i ispytaniy novykh traktorov*. [Problematic issues of developing and testing new tractors]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela* = Machinery and Equipment for Rural Area. 2018;(3):10-12. (In Russ.). URL: <a href="https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32689311">https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32689311</a>

- 9. Khafizov K. A., Khafizov R. N. *Energeticheskiy metod optimizatsii osnovnykh parametrov traktora*. [Energy optimization method of main parameters of tractors]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2015;10(1(35)):75-81. (In Russ.). URL: <a href="http://www.vestnik-kazgau.com/images/archive/2015/1/15">http://www.vestnik-kazgau.com/images/archive/2015/1/15</a> hafizov hafizov.pdf
- 10. Shilo I. N., Romanyuk N. N., Orda A. N., Nukeshev S. O., Kushnir V. G. *Vliyanie mnogoosnoy khodovoy sistemy mashinno-traktornykh agregatov na plotnost' pochvy*. [Impact of multiaxial propulsion system of machine-and-tractor units on soil density]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2018;12(1):31-36. (In Russ.). URL: <a href="https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32607593">https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32607593</a>
- 11. Akhmetov A. A., Akhmedov Sh. A. U. *Davlenie perednego kolesa na pochvu traktorov s razlichnoy kolesnoy formuloy*. [Study of front wheel pressure on the soil of tractors with a different wheel configuration]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2019;13(1):27-33. (In Russ.). URL: <a href="https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36956543">https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36956543</a>
- 12. Panasyuk A. N., Lipkan A. V. *Raschet ekologicheskikh porogov normal'nogo davleniya kolesnykh dvizhite-ley mashin na polevykh rabotakh na glinistykh pochvakh*. [Alculation of the ecological thresholds of normal pressure of machine propulsion drive in working on clay soils]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2020;14(4):43-48. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44391268
- 13. Khafizov K. A., Khafizov R. N. Rezul'taty mnogofaktornogo eksperimenta po opredeleniyu zavisimosti maksimal'nogo davleniya koles traktora na pochvu ot parametrov traktora i fiziko-mekhanicheskikh svoystv pochvy. [Results of multivariate experiment to determine dependence of the maximum pressure of tractor wheels on the soil from tractor's parameters and physical and mechanical properties of soil. statistical analysis]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2016;11(4(42)): 84-96. (In Russ.). URL: <a href="http://www.vestnik-kazgau.com/images/archive/2016/4/16">http://www.vestnik-kazgau.com/images/archive/2016/4/16</a> khafizov.pdf
- 14. Zazulya A. N., Ponomarev A. G., Dorokhov A. S. *Tret'e rozhdenie integral'nogo traktora*. [The third birth of the integral tractor]. *Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya resursov pri proizvodstve sel'skokhozyaystvennoy produktsii novye tekhnologii i tekhnika novogo pokoleniya dlya APK: mat-ly XX Mezhdunarod. nauchn.-prak. konf. Tambov, 26-27 sentyabrya 2019 g. [Improving the efficiency of resource use in the production of agricultural products-new technologies and equipment of a new generation for the agro-industrial complex: Proceedings of the XXth International scientific and practical conf. Tambov, September 26-27, 2019]. Tambov: <i>izd-vo: tipografiya «Studiya pechati Galiny Zolotovoy»*, 2019. pp. 119-126.

#### Сведения об авторах

**Зернов Виталий Николаевич,** кандидат техн. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: <a href="mailto:vim@vim.ru">vim@vim.ru</a>, **ORCID:** <a href="https://orcid.org/0000-0002-1443-9407">https://orcid.org/0000-0002-1443-9407</a>

**Петухов Сергей Николаевич,** кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, **ORCID:** https://orcid.org/0000-0003-2212-8569

**Пономарев Андрей Григорьевич**, кандидат техн. наук, заведующий лабораторией, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: <a href="mailto:vim@vim.ru">vim@vim.ru</a>, **ORCID:** <a href="https://orcid.org/0000-0001-8871-4419">https://orcid.org/0000-0001-8871-4419</a>, e-mail: <a href="mailto:agrodisel@mail.ru">agrodisel@mail.ru</a>

#### Information about the authors

Vitaly N. Zernov, PhD in Engineering, leading researcher, the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5, 1st Institutsky proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru,

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1443-9407

**Sergey N. Petukhov**, PhD in Engineering, leading researcher, the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5, 1st Institutsky proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: <a href="mailto:vim@vim.ru">vim@vim.ru</a>,

ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2212-8569

Andrey G. Ponomarev, PhD in Engineering, Head of the Laboratory, the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5, 1st Institutsky proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru,

ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8871-4419, e-mail: agrodisel@mail.ru

⊠ – Для контактов / Corresponding author