УДК 631.3

DOI: 10.31774/2222-1816-2020-2-179-195

А. Ю. Несмиян, А. П. Горбатюк, А. С. Каймакова

Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета, Зерноград, Российская Федерация

ЭТАПЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НАВЕСНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Цель: анализ процесса развития навесного агрегатирования сельскохозяйственных орудий и возможных перспектив дальнейшего развития этого направления сельскохозяйственного машиностроения. **Материалы и методы:** анализ возможности производства навесных широкозахватных орудий проводился на примере разработки культиватора к тракторам третьего класса методом аналогий, т. е. путем сравнения характеристик гипотетического навесного культиватора с характеристиками уже выпускаемых промышленно навесных технических средств к тракторам третьего класса. Исследование проводилось в несколько этапов. **Результаты.** Внедрение навесного агрегатирования сельскохозяйственной техники, инициированное в 20–30-е гг. XX в. Г. Фергюсоном, позволило в 1,05–1,30 раза повысить сменную производительность агрегатов и в 1,1–1,2 раза снизить удельный расход топливно-смазочных материалов. Тем не менее для орудий навесного типа характерен ряд недостатков, ограничивающих сферу их применения, из которых наиболее значимыми являются низкая устойчивость агрегата и возможность выхода из строя навесного устройства трактора. В результате исследований установлено, что ряд промышленно выпускаемых или выпускавшихся машин (орудий) к тракторам третьего класса обладают существенно большими значениями моментов сил, действующих на них как в продольно-, так и в поперечно-вертикальных плоскостях (в отдельных случаях до 40 %), чем гипотетический широкозахватный навесной культиватор. **Выводы:** проведенное исследование позволило сделать вывод о возможности внедрения в производство широкозахватных паровых культиваторов, как минимум к тракторам третьего класса. Гипотетически полученные результаты позволяют предположить перспективность разработки широкозахватных орудий и к тракторам больших тяговых классов.

Ключевые слова: навесное устройство; широкозахватные орудия; навесной культиватор; масса; рабочая ширина; продольный размер орудия; тракторы третьего класса; сравнительный анализ.

A. Yu. Nesmiyan, A. P. Gorbatyuk, A. S. Kaymakova

Azov-Black Sea Engineering Institute – a branch of the Don State Agrarian University, Zernograd, Russian Federation

STAGES AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF MOUNTED AGRICULTURAL MACHINERY

Purpose: the analysis of the development process of mounted equipment of agricultural implements and possible prospects for the further development of this direction of agricultural machinery industry. **Materials and methods:** the analysis of the possibility of producing mounted wide-cut implements was carried out in the example of the development of third class tractor-mounted cultivator by the analog method, i. e., by comparing the characteristics of a hypothetical tractor-mounted cultivator with the characteristics of already manufactured

industrially mounted implements for third class tractors. The study was carried out in several stages. **Results.** The introduction of mounted aggregation of agricultural machinery, initiated in the 20–30-s XX century by G. Ferguson allowed increasing the output for shift productivity of units by 1.05–1.30 times and reduce the specific fuel and lubricant consumption by 1.1–1.2 times. Nevertheless, mounted implements are characterized by a number of drawbacks that limit the scope of their application, of which the most important are the low stability of the unit and the possibility of failure of tractor attachment. As a result of research, it was found that a number of industrially produced machines (implements) for the third class tractors have significantly higher values of the moments of forces acting on them both in the longitudinal and transverse vertical planes (in some cases up to 40 %) than a hypothetical wide-cut mounted cultivator. **Conclusions:** the study concluded that it is possible to introduce wide-cut steam cultivators into production, at least to third-class tractors. The hypothetically obtained results suggest the promise of developing wide-cut implement for tractors of large traction classes.

Key words: mounted equipment; wide-cut implement; tractor-mounted cultivator; weight; working width; the longitudinal size of the implement, third class tractors; comparative analysis.

Введение. Общеизвестно, что одним из важнейших факторов, влияющих на эффективность сельскохозяйственного производства, является уровень его технической оснащённости [1–7]. При этом последнее столетие развитие сельскохозяйственной техники идет эволюционным путем, направленным на незначительное, но постоянное совершенствование отдельных узлов уже существующих конструкций машин и орудий. Однако периодически наблюдаются резкие прорывы, существенно влияющие на показатели работы техники, например, внедрение аксиально-роторных молотилок, свеклоуборочных комбайнов, пневматических пропашных сеялок и т. д.

Данная статья посвящена изобретению, не только существенным образом повлиявшему на эффективность выполнения сельскохозяйственных операций, но и сформировавшему новый подход к проектированию и производству сельскохозяйственной техники. Речь идет о внедрении в конструкцию тракторов навесного устройства и параллельном развитии производства навесных машин и орудий [8, 9]. Этот шаг позволил добиться следующих преимуществ: существенно упростилась конструкция и снизилась масса, а следовательно, и стоимость навесных машин и орудий по сравнению с прицепными аналогами; повысилась маневренность машинно-тракторных агрегатов, сократились непроизводительные затраты времени на развороты,

повороты, переезды; увеличился коэффициент сцепления колес трактора с почвой (а следовательно, вырос КПД всего агрегата); облегчились условия для контроля работы машин и управления ею; упростилась сама процедура соединения орудия с трактором, отпала необходимость в привлечении к работе прицепщиков и т. д. Производственный опыт показал, что применение навесных машин и орудий позволило в 1,05–1,30 раза повысить сменную производительность агрегата и в 1,1–1,2 раза снизить удельный расход топлива-смазочных материалов [9, 10]. Тем не менее для орудий навесного типа характерен ряд недостатков, ограничивающих сферу их применения.

Целью представленного исследования является анализ процесса развития навесного агрегатирования сельскохозяйственных орудий и возможных перспектив дальнейшего развития этого направления сельхозмашиностроения.

Материалы и методы. Одной из задач представленного исследования является анализ возможности производства навесных широкозахватных орудий, который будет проводиться на примере разработки культиватора к тракторам третьего класса методом аналогий, т. е. путем сравнения характеристик гипотетического навесного культиватора с характеристиками уже выпускаемых промышленно навесных технических средств (не обязательно почвообрабатывающих орудий) к тракторам третьего класса. Исследование проводилось в несколько этапов.

Результаты и их обсуждение. Отцом-основателем, внедрившим в 20–30-е гг. XX в. навесные системы в широкое производство, считается Гарри Фергюсон, англичанин ирландского происхождения, имевший успешный опыт проектирования и производства не только тракторов, но и самолетов [8, 11, 12].

Фергюсон не был первым в деле разработки навесных систем тракторов, однако он на основе многочисленных экспериментов, методом проб и ошибок смог довести имеющиеся конструкции до промышленной реали-

зации. При этом его навесное устройство из двухрычажного (верхний и нижний рычаги) стало трехрычажным, а механический (пружинный) механизм подъема был заменен гидравлическим. Изобретатель получил патент на свою навесную систему для сельскохозяйственных тракторов в Британии в 1926 г. [8, 11].

Фергюсон начал экспериментировать с агрегатированием плугов, работая для Ирландского совета по сельскому хозяйству. Для ранних опытных работ с плугами он использовал модифицированный автомобиль Ford модели T (рисунок 1), а позже трактор Fordson модели F (рисунок 2) [8, 11].

Рисунок 1 – Демонстрация навесной системы Фергюсона [8]

Рисунок 2 – Гарри Фергюсон демонстрирует конструкцию трехрычажного навесного устройства [8]

В 1933 г. он вместе с Дэвидом Брауном начал производство тракторов Ferguson-Brown модели A со «своей» трехточечной навесной системой,

которые, впрочем, из-за ряда причин субъективного характера были сняты с производства в 1937 г. С 1938 г. Фергюсон начинает совместную работу с Фордом, в результате чего на свет появляется трактор Ford модели 9N – одна из наиболее коммерчески успешных фордовских моделей [8, 11].

В 1947 г. компанию возглавил Генри Форд II, который продолжил производство тракторов уж без участия Гарри Фергюсона, что привело к началу судебного разбирательства между Фордом и Фергюсоном. Этот момент можно считать отправным пунктом потери Фергюсоном исключительного контроля над своей разработкой. Сам же изобретатель начал выпуск тракторов в фирме Ferguson Tractor, которая после слияния с Massey-Harris в 1959 г. стала частью компании Massey Ferguson [8, 11].

Коммерческий успех трехточечной навески тракторов Ford N привел к ее широкому применению на тракторах других компаний. При этом разработчики, чтобы «обойти» патентное право Фергюсона, были вынуждены постоянно вносить в свои конструкции отдельные параметрические новшества. К 1960 г. сроки действия патентов Фергюсона на трехточечное навесное устройство истекли. Их действие не было продлено в судебном порядке, поскольку было отмечено, что разработка имеет большую ценность для сельского хозяйства в целом. Позже параметры трехточечного навесного устройства к различным тракторам были стандартизованы Американским обществом инженеров сельского хозяйства (ASAE S217), а затем и Международной организацией по стандартизации (ISO 730-1) [8].

В Советском Союзе навесное агрегатирование сельскохозяйственной техники начали внедрять с 1931 г. Изначально подъем и опускание навески проводились вручную, затем механическим подъемником, приводимым от ВОМ трактора. Однако широкое применение отечественные навесные устройства получили только в 50-х гг. XX в. Этому способствовала разработка специализированных навесных машин и создание компактного, удобного единогоагрегатного гидроподъемника [9].

Однако, несмотря на достаточно активный «старт», внедрение и разработка навесных орудий остановились на определенном уровне. Навесная техника уверенно заняла отдельные ниши: орудия для основной (включая глубокую) обработки почвы [13–16], тяжелые и стерневые культиваторы [15, 16], пропашные сеялки и культиваторы [17, 18], косилки, бункерные разбрасыватели удобрений. При этом машины и орудия многих других групп: орудия с дисковыми рабочими органами, культиваторы, комбинированные орудия различных сочетаний и др. – в навесном исполнении практически не производятся. Очевидно, что ограничение производства сельскохозяйственной техники в навесном исполнении в той или иной степени связано с ее габаритами и массой. В специальной литературе мы не нашли количественной оценки этого факта, однако общелогический анализ позволяет выявить как минимум четыре очевидных причины, сдерживающих внедрение в производство навесных широкозахватных орудий:

- низкое качество копирования рельефа поля в продольном направлении;
- плохая интеграция в систему модульного подхода к комплектованию машинно-тракторных агрегатов;
- низкая продольная и поперечная устойчивость агрегата при кратковременных переездах и в положении транспорта;
- значительные крутящие изгибающие моменты, которые могут привести к деформации и выходу из строя узлов навески.

Анализ приведенных критических условий позволяет предположить следующее. Первый недостаток работы навесных агрегатов может быть устранен путем изменения конструкции соединения рамы орудия с его навесным устройством. Второй недостаток в настоящее время потерял свою актуальность в связи с отказом от принципиально модульного подхода к комплектованию машинно-тракторного парка предприятий и возрастающей популярностью широкозахватных орудий. Таким образом, к наиболее

значимым, критичным причинам, препятствующим внедрению в производство навесных широкозахватных орудий, можно отнести низкую устойчивость агрегата и возможность повреждения навесного устройства трактора. Однако эти причины носят гипотетический характер и практически не проверялись.

Определение потребительских характеристик паровых культиваторов к тракторам третьего тягового класса затруднено из-за их существенных различий по способу складывания рамы, типу применяемых рабочих органов и их подвесок, типу дополнительных рабочих органов и по другим признакам. Кроме того, разные культиваторные агрегаты выполняют работы на различных рабочих скоростях, на разную глубину и в разных почвенно-ландшафтных условиях. В таких условиях относительно достоверную информацию можно сформировать только статистическим путем [19], используя массив базы данных, полученных в производственных условиях. В исследовании в качестве такой базы использовались открытые (краткие) протоколы испытаний паровых культиваторов, представленных на машиноиспытательные станции Российской Федерации с 2000 по 2014 г. [20]. С учетом вариативности скоростей движения агрегатов и глубины обработки почвы общее количество наблюдений составило 25 шт. Полученные данные и результаты их статистической обработки представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики культиваторов к тракторам третьего класса

Марка культиватора и статистическая оценка признака	V_k , км/ч	B_k , м	$a_{ср}$, см	Кр, %	Гр, см	$W_{эч}$, га/ч	$q_{уд}$, кг/га	m_k , кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9
КПП-8А	8,6	8,0	6,7	86,1	0,6	4,34	–	1750
	9,1	8,0	9,2	97,5	1,8	4,58	–	1750
К-6	8,0	5,7	6,0	–	1,2	3,60		3880
КБМ-7,2	9,9	7,2	5,9	82,0	1,6	–	3,20	1600
	9,9	7,2	8,2	87,5	1,9	–	3,20	1600
КППШ-6	9,2	5,8	–	94,6	1,2	3,93	–	3685
	9,1	6,0	6,5	88,3	2,2	4,26	6,90	3650
КППШ-16М	9,5	5,8	5,8	–	1,9	4,18	5,50	3625
	8,7	5,8	7,7	–	2,1	3,93	6,20	3625

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
КППУ-8	6,8	7,9	7,2	88,7	1,2	3,80	3,70	3150
	11,3	7,9	11	94,0	3,8	6,20	6,40	3150
КПК-8Б	7,4	8,0	12,2	78,8	1,2	4,20	4,20	2550
	10,4	8,0	14,5	85,7	1,9	6,00	4,90	2550
КПК-8 + БЗСС	7,9	7,8	12,8	96,2	6,1	4,15	2,90	1945
КПК-8 + катки	8,9	7,8	8,6	94,6	1,6	4,70	2,71	2120
КПК-8 + пружинная борона	8,3	7,8	7,1	–	3,1	4,40	2,80	1905
КПК-8А	8,5	7,9	12,0	–	–	4,42	2,58	1800
	9,8	7,9	12,0	–	–	4,57	3,38	2070
КПК-8Б	6,0	7,8	10,2	71,6	3,7	3,14	3,72	2030
	8,0	7,8	7,1	74,2	2,6	3,50	3,23	2500
КПС-5	10,8	5,0	10,0	94,6	2,1	3,94	4,39	1167
КУК-8П	7,8	8,0	6,0	88,8	1,9	–	3,30	2780
	12,0	8,0	12,0	99,4	4,1	–	4,20	2915
КПШ-9	7,8	9,4	8,0	95,6	2,7	5,60	3,00	2800
	10,4	9,4	8,0	97,6	3,8	7,40	3,90	2800
$d_{\text{ср}}$	9,0	7,5	9,0	89,3	2,4	4,52	4,01	2536
σ_{di}	1,1	0,9	2,2	6,4	1,0	0,71	1,01	655,5
d_{max}	12,0	9,4	14,5	99,4	6,1	7,40	6,90	3880,0
d_{min}	6,0	5,0	5,8	71,6	0,6	3,14	2,58	1167,0
V_k – средняя скорость культивации при испытаниях, км/ч; B_k – рабочая ширина культиватора, м; $a_{\text{ср}}$ – средняя глубина культивации, см; K_p – показатель степени крошения почвы, %; G_p – средняя высота гребней после культивации, см; $W_{\text{эч}}$ – производительность культиваторного агрегата за час эксплуатационного времени, га/ч; $q_{\text{уд}}$ – расход топлива на культивацию 1 га, кг/га; m_k – масса культиватора, кг; $d_{\text{ср}}$ – среднее значение i -го параметра; σ_{di} – среднеквадратическое отклонение значений i -го параметра [19]; d_{max} – максимальное значение i -го параметра; d_{min} – минимальное значение i -го параметра.								

Из данных представленной таблицы 1 видно, что при сплошной культивации на глубину около 9,0 см удельный расход топлива составляет около 4,0 кг/га. В зависимости от режимов и условий работы агрегата этот показатель может изменяться от 2,6 до 6,9 кг/га. Большинство исследованных культиваторов обеспечивают выровненную поверхность поля (гребнистость менее 4 см), при этом средняя скорость движения агрегатов составила около 9,0 км/ч, что не соответствует рекомендованным 10–12 км/ч.

При испытаниях с тракторами третьего класса использовались культиваторы с шириной захвата от 5,0 до 9,4 м (среднее значение – 7,5 м). При этом их масса варьировалась от 1170 до 3880 кг (среднее значение –

около 2540 кг). Все испытанные орудия выпускались в прицепной комплектации.

Таким образом, культиватор-аналог должен обладать массой не менее 2500 кг при рабочей ширине не менее 7,5 м. Для моделирования более сложных, чем усредненные, показателей расчетов примем в качестве прототипа культиватор КППУ-8 (производитель ЗАО «РТП «Зерноградское») [21] рабочей шириной 7,9 м и массой 3150 кг.

Далее следует рассмотреть вопрос определения примерных размерно-массовых характеристик проектируемого навесного культиватора. Так, на рисунке 3 представлены схемы в плане культиватора-аналога КППУ-8 и гипотетического навесного культиватора, условно обозначенного КПН-8А (культиватор паровой навесной с шириной захвата 8 м, серия А).

а – культиватор КППУ-8 (ЗАО «РТП «Зерноградское»); *б* – культиватор КПН-8А (проект); 1 – центральная секция рамы; 2, 3 – боковая секция рамы; 4 – подвеска рабочих органов; 5 – опорное колесо; 6 – планчатый каток; 7 – гидросистема; 8 – прицепное устройство; 9 – механизм подката колес; 10 – навесное устройство; 11 – пружинная борона

Рисунок 3 – Паровые культиваторы к тракторам третьего класса

В таблице 2 представлены массовые характеристики узлов рассматриваемых культиваторов. При этом исключение из конструкции орудия механизма подката колес позволило оптимизировать компоновку рабочих органов и уменьшить продольный размер рамы примерно на 10 %. Дополнительно этот параметр может быть уменьшен за счет сокращения продольного расстояния между рядами рабочих органов с 800 до 650 мм (согласно «Справочнику конструктора сельскохозяйственных машин» [22] минимально допустимое расстояние – 450–500 мм). Упрощенно прием снижение массы рамной конструкции на 15 %. Кроме того, замена планчатых катков в шлейфе орудия пружинными боронами позволит уменьшить приведенную массу шлейфа примерно в 2 раза.

Таблица 2 – Массовые характеристики культиваторов КППУ-8 и КПН-8А

Укрупненный узел	Количество, шт.	Суммарная масса, кг	
		для культиватора КППУ-8	для культиватора КПН-8А
Центральная секция рамы	1	495	420
Боковая секция рамы	2	300	255
Подвеска рабочих органов	30/29*	636	615
Опорные колеса	4	246	246
Шлейф	4	800	400
Гидросистема	1	123	89
Прицепное/навесное* устройство	1	170	45
Механизм подката колес	1	350	–
Прочее	–	30	30
Итого		3150	2100
*для культиватора КПН-8А.			

На основе проведенного моделирования (таблица 2) принимаем массу культиватора КПН-8А равной 2100 кг при ширине захвата 7,9 м. При этом графически было установлено (рисунок 3), что продольный размер орудия (от навесного устройства до центральной части шлейфа) составил 2,6 м.

Определение размерно-массовых характеристик промышленно выпускаемых навесных технических средств к тракторам третьего класса проводилось на основе анализа информации протоколов испытаний машин и данных интернета [20, 23–25]. В таблице 3 представлены размерно-

массовые характеристики некоторых серийно выпускаемых (на текущий момент или ранее) пропашных сеялок и комбинированных почвообрабатывающих агрегатов, сопоставимые с параметрами гипотетического навесного широкозахватного культиватора.

Таблица 3 – Характеристики некоторых навесных орудий к тракторам третьего класса

Тип орудия	Марка машины (орудия)	Производитель	Продольный размер, м	Рабочая ширина, м	Конструкционная масса, кг
Сеялки пропашные	СКП-12	ОАО «Брестский электро-механический завод»	2,57	9,3	1820
	СУПН-12	ОАО «Красная звезда»	2,4	8,4	2150
	МС-12	ОАО «Миллеровосельмаш»	2,1	8,4	2000
Агрегаты почвообрабатывающие	АПК-4А	ОАО «Белагромаш-сервис»	2,8	4,3	1735
	ДАКН-3,9Н	ЗАО «Ярославское РТП»	3,4	3,9	2280
	АПК-3,9	ОАО «Грязинский культиваторный завод»	4,0	4,1	1635

Сравнение характеристик технических средств, описанных в таблице 3, и моделируемого культиватора КПН-8А в разрезе темы исследования удобно проводить по значениям моментов, обусловленных действием силы тяжести. При этом считаем, что в поперечно-вертикальной плоскости сила тяжести распределена и приложена к серединам правой и левой частей орудий, а в продольно-вертикальной – к центральной части орудия. Соответственно:

$$M_{\text{поп}} = 0,125 \cdot g \cdot m_o \cdot B_o,$$

$$M_{\text{пр}} = 0,50 \cdot g \cdot m_o \cdot L_o,$$

где $M_{\text{поп}}$ и $M_{\text{пр}}$ – моменты, обусловленные действием силы тяжести, действующие на навеску трактора соответственно в поперечно- и продольно-вертикальной плоскостях, Н·м;

m_o – масса орудия (машины), кг;

B_o – рабочая ширина орудия (машины), м;

L_o – продольный размер орудия (машины), м.

Результаты расчета моментов сил тяжести для рассматриваемых орудий (машин) приведены в таблице 4.

**Таблица 4 – Расчетные значения моментов сил тяжести
для рассматриваемых орудий (машин)**

Марка орудия (машины)	Момент сил тяжести	
	$M_{\text{поп}}, \text{Н} \cdot \text{м}$	$M_{\text{пр}}, \text{Н} \cdot \text{м}$
1) СКП-12	20756	22943
2) СУПН-12	22146	25310
3) МС-12	20601	20601
4) АПК-4А	9148	23828
5) ДАКН-3,9Н	10904	38024
6) АПК-3,9	8220	32079
7) КПН-8А	20343	26781

Из данных таблицы 4 видно, что ряд промышленно выпускаемых или выпускавшихся машин (орудий) к тракторам третьего класса обладают существенно большими значениями моментов сил, действующих на агрегат как в продольно-, так и в поперечно-вертикальных плоскостях (в отдельных случаях до 40 %). Это позволяет сделать вывод о возможности внедрения в производство широкозахватных паровых культиваторов к тракторам третьего класса. Потенциально полученные результаты позволяют предположить перспективность разработки широкозахватных орудий и к тракторам больших тяговых классов.

Выводы. Внедрение навесного агрегатирования сельскохозяйственной техники, инициированное в 20–30-е гг. XX в. Г. Фергюсоном, позволило существенно упростить конструкцию и снизить массу, а следовательно, и стоимость машин и орудий по сравнению с прицепными аналогами; повысить маневренность машинно-тракторных агрегатов, сократить непроизводительные затраты времени; увеличить коэффициент сцепления колес трактора с почвой; облегчить условия для контроля работы машин и управления ею; упростить процедуру соединения орудия с трактором и т. д. Производственный опыт показал, что применение навесных машин и орудий позволило в 1,05–1,30 раза повысить сменную производительность агрегата и в 1,1–1,2 раза снизить удельный расход топливно-смазочных материалов.

Тем не менее для орудий навесного типа характерен ряд недостатков, ограничивающих сферу их применения, к наиболее критичным из которых

можно отнести низкую устойчивость агрегата и возможность выхода из строя навесного устройства трактора. Однако проведенное исследование показало, что ряд промышленно выпускаемых или выпускавшихся машин (орудий) к тракторам третьего класса обладают существенно большими значениями моментов сил, действующих на них как в продольно-, так и в поперечно-вертикальных плоскостях (в отдельных случаях до 40 %), чем гипотетический широкозахватный навесной культиватор. Это позволяет сделать вывод о возможности внедрения в производство широкозахватных паровых культиваторов, как минимум к тракторам третьего класса. Гипотетически полученные результаты позволяют предположить перспективность разработки широкозахватных орудий и к тракторам больших тяговых классов.

Список использованных источников

1 A review of assessment of the machinery tillage tools' performance for higher crop production efficiencies / A. Yu. Nesmian, V. A. Chernovolov, A. M. Semenihiin, V. P. Zabrodin, S. L. Nikitchenko // *Research on Crops*. – 2018. – Vol. 19, № 3 (Sept.). – P. 567–575. – DOI: 10.31830/2348-7542.2018.0001.30.

2 Несмиян, А. Ю. Эффективность машинных технологий возделывания подсолнечника на юге России / А. Ю. Несмиян, Л. П. Бельтюков, В. И. Хижняк // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. – 2014. – № 5. – С. 35–38.

3 Рыков, В. Б. Повышение эффективности возделывания озимой пшеницы за счет совершенствования технологических приемов обработки почвы и посева / В. Б. Рыков, С. И. Камбулов, Н. Г. Янковский // *Зерновое хозяйство России*. – 2009. – № 3. – С. 28–31.

4 Измайлов, А. Ю. Перспективные пути применения энерго- и экологически эффективных машинных технологий и технических средств / А. Ю. Измайлов, Я. П. Лобачевский, О. А. Сизов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. – 2013. – № 4. – С. 8–11.

5 Modeling the technological process of tillage / S. G. Mudarisov, I. I. Gabitov, Y. P. Lobachevsky, N. K. Mazitov, R. S. Rakhimov, R. R. Khamaletdinov, I. R. Rakhimov, I. M. Farkhutdinov, A. M. Mukhametdinov, R. T. Gareev // *Soil & Tillage Research*. – 2019. – Vol. 190. – P. 70–77. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.12.004>.

6 Formation of quantitative and age structure of tractor park in the conditions of limitation of resources of agricultural production / V. Shevtsov, A. Lavrov, A. Izmailov, Ya. Lobachevskii // *SAE Technical Papers*. – 2015. – Vol. 2015, Sept. – P. 1–4. – DOI: <https://doi.org/10.4271/2015-26-0147>.

7 Harmonizing power categories and towing categories of agricultural tractors with series of preferred numbers / Ya. Lobachevskii, Z. Godzhaev, V. Shevtsov, A. Lavrov, O. Sizov, A. Merzlyakov // *SAE Technical Papers*. – 2017. – Vol. 2017, Jan. – P. 18–24. – DOI: <https://doi.org/10.4271/2017-26-0225>.

8 История создания «трехточечной навески» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://zen.yandex.ru/media/id/5d6e22fcdf944400acbcc598/istoriia-sozdaniia-trehtochchnoi-naveski-5d6f91d4fc69ab00aecdf703>, 2020.

9 Развитие навесных агрегатов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.iolitn.ru/library/23-poleznye-materialy/734-razvitie-navesnyh-agregatov>, 2020.

10 Гидронавесная система тракторов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vostok-agro.info/dokumentatsiya/130-gidronavesnaya-sistema-traktorov.html>, 2020.

11 Stembridge, E. Ag History: Ford N Series Tractors And The Handshake That Changed Farming Forever [Electronic resource] / E. Stembridge. – Mode of access: <https://www.curbsideclassic.com/fieldside-classics/ag-history-ford-n-series-tractors-and-the-handshake-that-changed-farming-forever/3/>, 2020.

12 Tractor 3 point linkage [Electronic resource]. – Mode of access: <https://trvid.com/w/tractor+3+point+linkage>, 2020.

13 Совершенствование безотвальной обработки почвы чизельным плугом-глубококорыхлителем / В. И. Хижняк, А. Ю. Несмиян, В. В. Щириков, Е. И. Хлыстов, А. П. Бобряшов // Тракторы и сельхозмашины. – 2013. – № 11. – С. 14–16.

14 Energy and agrotechnical indicators in the testing of machine-tractor units with subsoiler / A. S. Ovchinnikov, A. S. Mezheva, S. D. Fomin, Y. N. Pleskachev, I. B. Borisenko, E. S. Vorontsova, V. P. Zvolinsky, N. V. Tyutyuma, A. E. Novikov // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2017. – Vol. 12, № 24. – P. 7150–7160.

15 Несмиян, А. Ю. Технические характеристики и агротехнические показатели работы почвообрабатывающих агрегатов / А. Ю. Несмиян // Тракторы и сельхозмашины. – 2017. – № 6. – С. 58–64.

16 Оценка эксплуатационных показателей почвообрабатывающих машинно-тракторных агрегатов / А. Ю. Несмиян, А. Г. Арженовский, Я. В. Еременко, А. К. Кулаков // АгроСнабФорум. – 2018. – № 5(161). – С. 24–27.

17 Несмиян, А. Ю. Повышение скорости машинно-тракторного агрегата на посевах пропашных культур / А. Ю. Несмиян, В. В. Должиков, А. В. Яковец // Вестник Орловского государственного аграрного университета. – 2011. – № 4(31). – С. 61–62.

18 Фоменко, Д. С. Анализ рынка пропашных культиваторов / Д. С. Фоменко, А. Ю. Несмиян // Тракторы и сельхозмашины. – 2016. – № 3. – С. 3–8.

19 Mathematical statistics. Encyclopedia of mathematics [Electronic resource]. – Mode of access: http://www.encyclopediaofmath.org/index.php/Mathematical_statistic, 2020.

20 База протоколов результатов испытаний сельскохозяйственной техники [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sistemamis.ru/protocols>, 2020.

21 Протокол № 11-24-11 (5020462) от 10 ноября 2011 года периодических испытаний культиватора парового прицепного универсального КППУ-8. – Черноград: Сев.-Кавк. гос. зон. машиноиспытат. ст., 2011. – 32 с.

22 Справочник конструктора сельскохозяйственных машин. В 2 т. Т. 2 / под ред. А. В. Красниченко. – М.: ВИСХОМ, 1961. – 863 с.

23 Сеялка пунктирного высева СКП-12 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.lidann.by/ltk/agro/pos_mash/ltk_agro_skp-12.html, 2020.

24 Сеялка СУПН-12 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.transmash.net/content/view/1369/172/index.html>, 2020.

25 Технические характеристики сеялки МС-12 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://msm161.ru/>, 2020.

References

1 Nesmiyan A.Yu., Chernovolov V.A., Semenikhin A.M., Zabrodin V.P., Nikitchenko S.L., 2018. A review of assessment of the machinery tillage tools' performance for higher crop production efficiencies. Research on Crops, vol. 19, no. 3 (Sept.), pp. 567-575, DOI: 10.31830/2348-7542.2018.0001.30.

2 Nesmiyan A.Yu., Beltyukov L.P., Khizhnyak V.I. 2014., *Effektivnost' mashinnykh tekhnologiy vozdeystviya podsolnechnika na yuge Rossii* [Efficiency of machine technolo-

gies of sunflower cultivation in the south of Russia]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii* [Agricultural Machines and Technologies], no. 5, pp. 35-38. (In Russian).

3 Rykov V.B., Kambulov S.I., Yankovsky N.G., 2009. *Povyshenie effektivnosti vozde-lyvaniya ozimoy pshenitsy za schet sovershenstvovaniya tekhnologicheskikh priemov obrabotki pochvy i poseva* [Increase of winter wheat cultivation efficiency due to improvement of technological methods of tillage and sowing]. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* [Grain Economy in Russia], no. 3, pp. 28-31. (In Russian).

4 Izmailov A.Yu., Lobachevsky Ya.P., Sizov O.A., 2013. *Perspektivnye puti primeneniya energo- i ekologicheskii effektivnykh mashinnykh tekhnologiy i tekhnicheskikh sredstv* [Promising ways of using energy- and environmentally efficient machine technologies and technical means]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii* [Agricultural Machines and Technologies], no. 4, pp. 8-11. (In Russian).

5 Mudarisov S.G., Gabitov I.I., Lobachevsky Y.P., Mazitov N.K., Rakhimov R.S., Khamaletdinov R.R., Rakhimov I.R., Farkhutdinov I.M., Mukhametdinov A.M., Gareev R.T., 2019. Modeling the technological process of tillage. *Soil & Tillage Research*, vol. 190, pp. 70-77, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.12.004>.

6 Shevtsov V., Lavrov A., Izmailov A., Lobachevskii Ya., 2015. Formation of quantitative and age structure of tractor park in the conditions of limitation of resources of agricultural production. *SAE Technical Papers*, vol. 2015, Sept., pp. 1-4, DOI: <https://doi.org/10.4271/2015-26-0147>.

7 Lobachevskii Ya., Godzhaev Z., Shevtsov V., Lavrov A., Sizov O., Merzlyakov A., 2017. Harmonizing power categories and towing categories of agricultural tractors with series of preferred numbers. *SAE Technical Papers*, vol. 2017, Jan., pp. 18-24, DOI: <https://doi.org/10.4271/2017-26-0225>.

8 *Istoriya sozdaniya "trekhtocheynoy naveski"* [History of Creation "Three-Point Linkage"], available: <https://zen.yandex.ru/media/id/5d6e22fcd944400acbcc598/istoriya-sozdaniya-trekhtocheynoy-naveski-5d6f91d4fc69ab00aecd7f03> [accessed 2020]. (In Russian).

9 *Razvitie navesnykh agregatov* [Development of Mounted Implements], available: <http://www.iolitn.ru/library/23-poleznye-materialy/734-razvitie-navesnykh-agregatov> [accessed 2020]. (In Russian).

10 *Gidronavesnaya sistema traktorov* [Hydro-Mounted Tractor System], available: <https://vostok-agro.info/dokumentatsiya/130-gidronavesnaya-sistema-traktorov.html> [accessed 2020]. (In Russian).

11 Stembridge E., 2020. Ag History: Ford N Series Tractors And The Handshake That Changed Farming Forever, available: <https://www.curbsideclassic.com/fieldside-classics/aghistor-ford-n-series-tractors-and-the-hand-shake-that-changed-farming-forever/3/> [accessed 2020].

12 Tractor 3 point linkage, available: <https://trvid.com/w/tractor+3+point+linkage> [accessed 2020].

13 Khizhnyak V.I., Nesmiyan A.Yu., Shchirov V.V., Khlystov E.I., Bobryashov A.P., 2013. *Sovershenstvovanie bezotval'noy obrabotki pochvy chizel'nyim plugom-glubokorykhlytelem* [Improving subsurface tillage with a chisel plow deep ripper]. *Traktory i sel'khoz mashiny* [Tractors and Agricultural Machines], no. 11, pp. 14-16. (In Russian).

14 Ovchinnikov A.S., Mezheva A.S., Fomin S.D., Pleskachev Y.N., Borisenko I.B., Vorontsova E.S., Zvolinsky V.P., Tyutyuma N.V., Novikov A.E., 2017. Energy and agro-technical indicators in testing machine-tractor units with subsoiler. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 12, no. 24, pp. 7150-7160.

15 Nesmiyan A.Yu., 2017. *Tekhnicheskie kharakteristiki i agrotekhnicheskie pokazateli raboty pochvoobrabatyvayushchikh agregatov* [Technical characteristics and agrotechnical indicators of work of tillage machines]. *Traktory i sel'khoz mashiny* [Tractors and Agricultural Machinery], no. 6, pp. 58-64. (In Russian).

16 Nesmiyan A.Yu., Arzhenovsky A.G., Eremenko Ya.V., Kulakov A.K., 2018. *Otsenka ekspluatatsionnykh pokazateley pochvoobrabatyvayushchikh mashinno-traktornykh agregatov* [Evaluation of operational indicators of tillage machine-tractor units]. *AgroSnab-Forum* [AgroSnabForum], no. 5(161), pp. 24-27. (In Russian).

17 Nesmiyan A.Yu., Dolzhikov V.V., Yakovets A.V., 2011. *Povyshenie skorosti mashinno-traktornogo agregata na poseve propashnykh kul'tur* [Increasing the speed of a machine-tractor unit for sowing row crops]. *Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bull. of Oryol State Agrarian University], no. 4(31), pp. 61-62. (In Russian).

18 Fomenko D.S., Nesmiyan A.Yu., 2016. *Analiz rynka propashnykh kul'tivatorov* [Analysis of market of rowcrop cultivators]. *Traktory i sel'khoz mashiny* [Tractors and Agricultural Machines], no. 3, pp. 3-8. (In Russian).

19 Mathematical statistics. Encyclopedia of mathematics, available: http://www.encyclopediaofmath.org/index.php/Mathematical_statistic [accessed 2020].

20 *Baza protokolov rezul'tatov ispytaniy sel'skokhozyaystvennoy tekhniki* [Base Protocols of the Results of Tests of Agricultural Machinery], available: <http://sistemamis.ru/protocols> [accessed 2020]. (In Russian).

21 *Protokol no. 11-24-11 (5020462) ot 10 noyabrya 2011 goda periodicheskikh ispytaniy kul'tivatora parovogo pritsepnogo universal'nogo KPPU-8* [Protocol no. 11-24-11 (5020462) of November 10, 2011 for periodic testing of a cultivator of a steam-towed universal trailer KPPU-8]. Zernograd, North-Caucasus State Machine-Testing Station, 2011, 32 p. (In Russian).

22 Krasnichenko A.V., 1961. *Spravochnik konstruktora sel'skokhozyaystvennykh mashin* [Handbook for Design Engineer of Agricultural Machines]. In 2 vol., vol. 2, Moscow, VSKHOM Publ., 863 p. (In Russian).

23 *Seyalka punktirnogo vyseva SKP-12* [Single-Seed Drill SKP-12], available: https://www.lidann.by/ltk/agro/pos_mash/ltk_agro_skp-12.html [accessed 2020]. (In Russian).

24 *Seyalka SUPN-12* [Seeder SUPN-12], available: <http://www.transmash.net/content/view/1369/172/index.html> [accessed 2020]. (In Russian).

25 *Tekhnicheskie kharakteristiki seyalki MS-12* [Technical Specifications of the Seeder MC-12], available: <https://msm161.ru/> [accessed 2020]. (In Russian).

Несмиян Андрей Юрьевич

Ученая степень: доктор технических наук

Ученое звание: доцент

Должность: профессор

Место работы: Азово-Черноморский инженерный институт – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный аграрный университет»

Адрес организации: ул. Ленина, 21, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740

E-mail: nesmiyan.andrei@yandex.ru

Nesmiyan Andrey Yuryevich

Degree: Doctor of Technical Sciences

Title: Associate Professor

Position: Professor

Affiliation: Azov-Black Sea Engineering Institute – a branch of the Don State Agrarian University

Affiliation address: st. Lenin, 21, Zernograd, Rostov region, Russian Federation, 347740

E-mail: nesmiyan.andrei@yandex.ru

Горбатюк Анастасия Павловна

Должность: магистрант

Место работы: Азово-Черноморский инженерный институт – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный аграрный университет»

Адрес организации: ул. Ленина, 21, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740

E-mail: nastena30.1997@gmail.com

Gorbatyuk Anastasiya Pavlovna

Position: Master Student

Affiliation: Azov-Black Sea Engineering Institute – a branch of the Don State Agrarian University

Affiliation address: st. Lenin, 21, Zernograd, Rostov region, Russian Federation, 347740

E-mail: nastena30.1997@gmail.com

Каймакова Анастасия Сергеевна

Должность: студент

Место работы: Азово-Черноморский инженерный институт – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный аграрный университет»

Адрес организации: ул. Ленина, 21, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740

E-mail: kaimakowa2015@yandex.ru

Kaymakova Anastasiya Sergeyevna

Position: Student

Affiliation: Azov-Black Sea Engineering Institute – a branch of the Don State Agrarian University

Affiliation address: st. Lenin, 21, Zernograd, Rostov region, Russian Federation, 347740

E-mail: kaimakowa2015@yandex.ru