

Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2014. – 84 s.

6. German-Galkin, S.G. Matlab & Simulink / Proektirovanie mekhanotronnykh sistem na PK / S.G. German-Galkin. – Sankt-Peterburg: KORONA Vek, 2008. – 368 s.

7. Analiz effektivnosti sistem selskogo elektros-nabzheniya Altayskogo kraya / Belyy V.B.; Obespechenie i ratsionalnoe ispolzovanie energet-icheskikh i vodnykh resursov v APK: sb. nauch. tr. mezhdunar. nauch.-prakt. konf. – Moskva: Izd-vo Rossiyskiy gosudarstvennyy agrarnyy zaochnyy uni-versitet, 2009. – S. 122-124.



УДК 631.3.06.001.66

Н.Н. Бережнов, А.А. Логов, Н.А. Стенина  
N.N. Berezhnov, A.A. Logov, N.A. Stenina

## ПОЛЕВЫЕ ИСПЫТАНИЯ АГРЕГАТА ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ БЕЗВОДНОГО АММИАКА В ПОЧВУ

### FIELD TESTS OF THE UNIT FOR ANHYDROUS AMMONIA APPLICATION INTO THE SOIL

**Ключевые слова:** трактор, рыхлитель, динамометрирование, машинно-тракторный агрегат, тяговое сопротивление, буксование, тяговые испытания, датчик, вариация, матожидание.

Исследования проводили с целью определения соответствия тягово-скоростных показателей трактора в составе машинно-тракторного агрегата (МТА) требованиям агрегатирования, с учетом случайного характера изменения внешних эксплуатационных факторов. Работу проводили на примере МТА Fendt 936 Vario + АВА-12,6 «Агропитатель» в Ленинск-Кузнецком районе Кемеровской области в 2017 г. Методом контрольного динамометрирования определяли вероятностные характеристики тягового сопротивления сельскохозяйственной машины, его зависимость от скорости движения на операциях основной обработки почвы и внутрпочвенного внесения жидких удобрений. Исследования осуществляли на среднегумусных оподзоленных черноземах по стернево-му фону при глубине обработки почвы 16 и 21 см и средней длине гона 1030 м. Приведенные (к 5 км/ч) значения удельного тягового сопротивления агрегата на операциях почвообработки и подкормки составили 2,99 и 5,04 кН/м соответственно, коэффициента пропорциональности – 0,057 и 0,034 с<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>, вариации – 10,5 и 2,1% (p<0,05). При увеличении глубины хода рабочих органов с.-х. машины на 5 см наблюдается повышение удельного тягового сопротивления агрегата на 68,6% при одновре-

менном снижении вариации показателя в 5 раз. Также значительно снижается разница между показателями «тяга-скорость» в 1,7 раза. Трактор Fendt 936 Vario не обеспечивает выполнение требований по рабочей скорости движения и буксованию движителей, при работе в пределах диапазона средних приведенных удельных тяговых сопротивлений, полученных по условиям испытаний, что требует выработки рекомендаций по рациональному агрегатированию с.-х. машины.

**Keywords:** tractor, ripper, dynamometry, machine-tractor unit, traction resistance, slipping, field tests, sensor, variation, mathematical expectation.

The studies were carried out to determine the compliance of traction and speed indicators of the tractor as part of the machine-tractor unit to the requirements of aggregation, taking into account the random nature of changes in external operational factors. The unit Fendt 936 Vario + АВА-12.6 "Agropitatel" was used; the tests were run in the Leninsk-Kuznetsk District of the Kemerovo Region in 2017. The probabilistic characteristics of the traction resistance of the agricultural machine, its dependence on the speed of movement on the operations of the main tillage and intra-soil application of liquid fertilizers were determined by the method of control dynamometry. The studies were carried out on medium humus podzolized chernozems on stubble at a depth of 16 and 21 cm and an average run length of 1030 m. The

given (to 5 km h) values of the specific traction resistance of the unit in the operations of tillage and fertilization were 2.99 and 5.04 kN m, respectively, the proportionality coefficient - 0.057 s<sup>2</sup> m<sup>2</sup> and 0.034 s<sup>2</sup> m<sup>2</sup>, variations - 10.5 and 2.1% (p < 0.05). With increased depth of the working bodies of agricultural machinery by 5 cm, there is an increase of the specific traction resistance of the unit by 68.6% while reducing the variation of the indicator – by 5 times. Also the differ-

ence between the indices traction-speed significantly reduced - 1.7 times. The tractor Fendt 936 Vario does not meet the requirements for the working speed and slipping of the drive wheels when working within the range of average specific traction resistance obtained under test conditions; that requires the development of guidelines for rational aggregation of agricultural machines.

**Бережнов Николай Николаевич**, к.т.н., доцент, Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия. Тел.: (3842) 73-51-17. E-mail: n.berezhnov@mail.ru.

**Логов Александр Александрович**, к.т.н., и.о. проректора по стратегическому развитию, Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия. Тел.: (3842) 73-52-26. E-mail: logov\_aleksandr@mail.ru.

**Стенина Наталья Александровна**, к.т.н., доцент, и.о. декана инженерного фак-та, Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия. Тел.: (3842) 73-51-17. E-mail: stnat33@mail.ru.

**Berezhnov Nikolay Nikolayevich**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Kuzbass State Agricultural Academy. Ph.: (3842) 73-51-17. E-mail: n.berezhnov@mail.ru.

**Logov Aleksandr Aleksandrovich**, Cand. Tech. Sci., Acting Vice-Rctor for Strategic Development, Kuzbass State Agricultural Academy. Ph.: (3842) 73-52-26. E-mail: logov\_aleksandr@mail.ru.

**Stenina Natalya Aleksandrovna**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Acting Dean, Engineering Dept., Kuzbass State Agricultural Academy. Ph.: (3842) 73-51-17. E-mail: stnat33@mail.ru.

### Введение

Преобладающий в настоящее время подход к повышению производительности сельскохозяйственных машинно-тракторных агрегатов (далее – МТА) основан на увеличении ширины захвата и росте рабочих скоростей движения на выполнении технологических операций. Одним из способов улучшения выходных эксплуатационных показателей энергоёмких МТА является научное обоснование их рационального состава, выбор нагрузочных и скоростных режимов работы на основе данных, полученных в ходе проведения полевых испытаний [1, 2].

Измерение и регистрация основных параметров энергетической оценки работы МТА при выполнении технологических операций позволят выработать рекомендации по наиболее рациональному и экономичному выбору режимов движения МТА применительно к конкретным природно-производственным условиям [3-5].

**Цель** – получение исходных данных для определения рациональных эксплуатационных параметров и режимов работы с.-х. МТА на примере машины АВА-12,6 «Агропитатель» в режиме рыхления почвы, применительно к конкретным природно-производственным условиям его использования.

**Задачи** исследования:

1) провести контрольное динамометрирование растениепитателя АВА-12,6 в режиме рыхления почвы;

2) определить статистические оценки для основных тягово-энергетических показателей МТА и трактора;

3) выявить влияние скоростных и нагрузочных режимов работы МТА на статистики изменения тягового сопротивления с.-х. машины и агротехнические показатели трактора.

### Объекты и методы

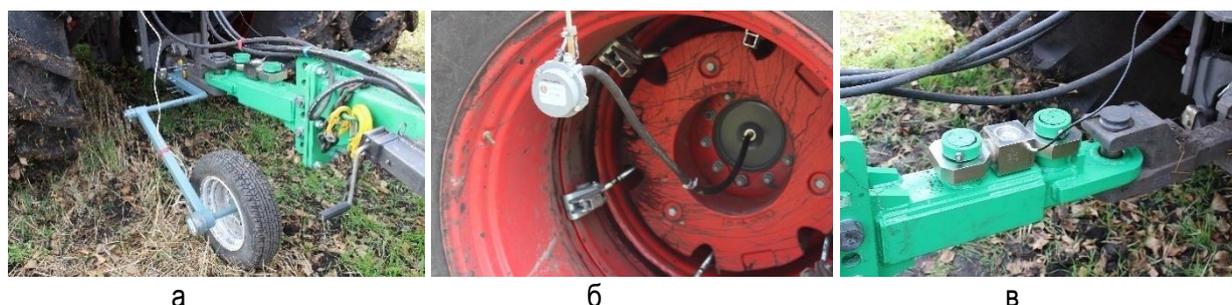
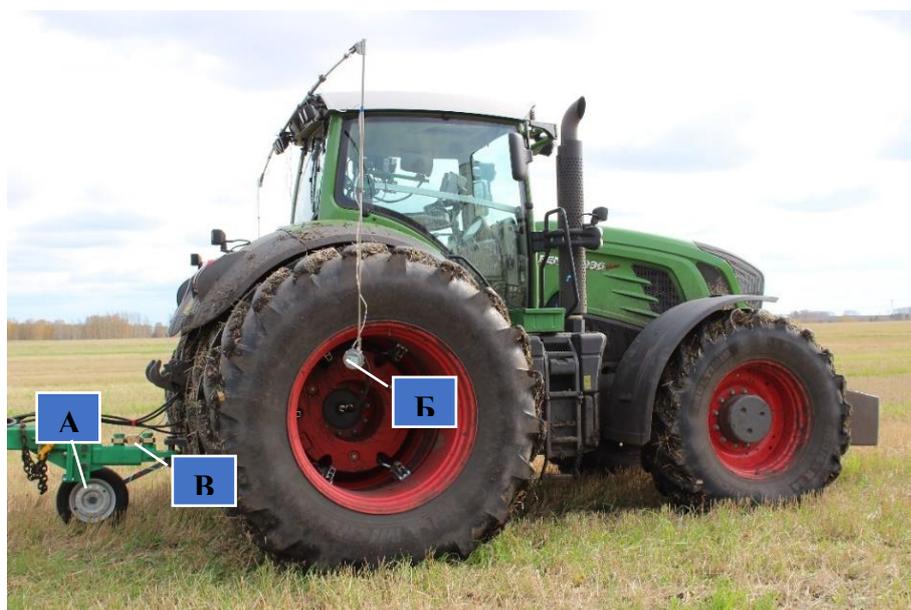
С целью получения исходных данных для моделирования работы МТА на основе энергетической оценки машины АВА-12,6 в режиме рыхлителя в 2017 г. проводились полевые испытания агрегата Fendt 936 Vario+АВА-12,6 на полях предприятия КФХ «Печерин С.В.» Ленинск-Кузнецкого района Кемеровской области (рис. 1).

Методика и программа экспериментальных исследований соответствовали требованиям [6, 7] и предусматривали проведение контрольного динамометрирования испытуемой сельскохозяйственной машины для определения влияния рабочей скорости движения на тяговое сопротивление рабочей машины и динамику его изменения, оценки соответствия буксования движителей установленным требованиям, а также определения статистических характеристик изучаемых показателей [6, 7].

Энергетическую оценку агрегата проводили с использованием контрольно-измерительного и регистрирующего оборудования, которое включало в себя измерительную информационную систему СИ-302 с комплектом первичных преобразователей сигнала (датчиков) (рис. 2).



**Рис. 1. Агрегат для внесения безводного аммиака Fendt 936 Varjo+ ABA-12,6 на полевых испытаниях в режиме рыхлителя почвы**



а

б

в

**Рис. 2. Общий вид датчиков, установленных на агрегат:  
а – датчик пройденного пути ИП-266; б – датчик оборотов ведущих колес трактора ИП-268;  
в – датчик тензорезисторный для измерения тягового усилия К-Р-20Г-20-С1**

**Экспериментальная часть**

**Таблица 1**

**Параметры проведения опытов**

Размер выборки N		Продолжительность реализации опыта	
рабочий ход	холостой ход и повороты	по времени, с	по пройденному расстоянию, м
Глубина обработки 16 см			
12	4	30,03	70,21
Глубина обработки 21 см			
23	13	30,0	61,65

В процессе испытаний агрегата проводили регистрацию и измерение следующих эксплуатационных показателей: тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины (усилие на крюке трактора) ( $P$ , кН), рабочая скорость движения ( $V_p$ , м/с), буксование ведущих колес трактора ( $\delta$ , %).

В ходе подготовки к испытаниям агрегата были специально разработаны и изготовлены приспособления, позволяющие надежно фиксировать датчики на время проведения измерения, а также оперативно менять их положение в зависимости от конструктивных особенностей и компоновки конкретного энергосредства, работающего в составе МТА [8].

Условия испытания агрегата были следующими: агрофон – пар чистый (стерня зерновых), предшествующая обработка – культивация ПК-8,5 «Кузбасс» (5-8 см), тип и механический состав почвы – чернозем среднегумусный оподзоленный, средняя длина гона – 1130,2 м, глубина обработки почвы – 16 и 21 см, средняя абсолютная влажность почвы в горизонте 0-30 см – 37,5%.

Динамометрирование агрегата проводили при движении в пределах диапазона агротехнически допустимых рабочих скоростей – 7-10 км/ч.

При проведении динамометрирования агрегата опыты были реализованы в виде отдельных блочных планов, где в качестве варьируемого фактора выступала рабочая скорость движения [3, 4]. Измерения проводили при рабочем и холостом движении агрегата в загоне (табл. 1).

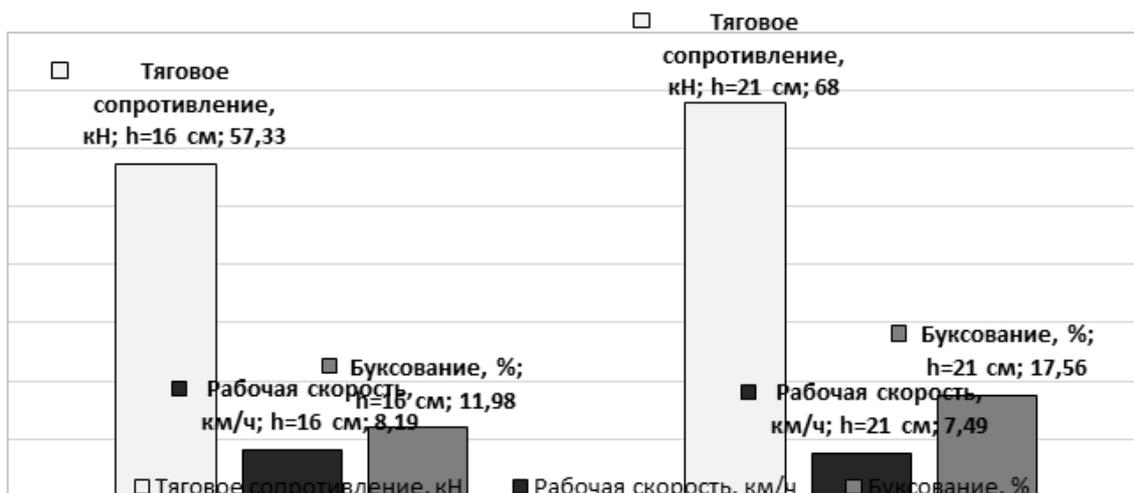
**Результаты и их обсуждение**

Результаты измерений для расчета таких статистических оценочных характеристик, как математическое ожидание  $M(x)$ , максимальное  $x_{max}$  и минимальное  $x_{min}$  значения, среднее квадратическое отклонение  $\sigma(x)$  и вариация  $v(x)$  обрабатывали методом дисперсионного анализа (табл. 2).

**Таблица 2**

**Описательная статистика показателей динамометрирования агрегата**

Показатель	$M(x)$	$x_{max}$	$x_{min}$	$\sigma(x)$	$v(x)$ , %
Глубина обработки 16 см					
$P$ , кН	57,33	64,81	46,46	5,99	10,46
$V_p$ , м/с	2,27	2,57	1,80	0,21	9,38
$\delta$ , %	11,98	15,8	9,1	1,74	14,56
Глубина обработки 21 см					
$P$ , кН	68	70,71	65,37	1,46	2,14
$V_p$ , м/с	2,08	2,29	1,68	0,13	6,18
$\delta$ , %	17,56	21,1	15,5	1,25	7,1



**Рис. 3. Зависимость средних показателей динамометрирования АВА-12,6 в режиме рыхлителя от глубины обработки почвы**

Определены средние значения эксплуатационных показателей агрегата в зависимости от глубины обработки ( $h$ ) почвы (рис. 3).

Полученные данные указывают на несоответствие тягово-сцепных показателей трактора Fendt 936 Varío условиям агрегатирования с испытуемой с.-х. машиной в пределах исследуемого диапазона тяговых сопротивлений при максимальной глубине хода рабочих органов по условиям испытаний (табл. 2, рис. 3). Буксование движителей трактора превышает допустимый уровень в среднем на 8,8%, средние скорости движения агрегата находятся чуть выше нижнего значения диапазона, рекомендованного агротехникой, что не поз-

волит обеспечить высокие значения производительности на выполнении технологической операции.

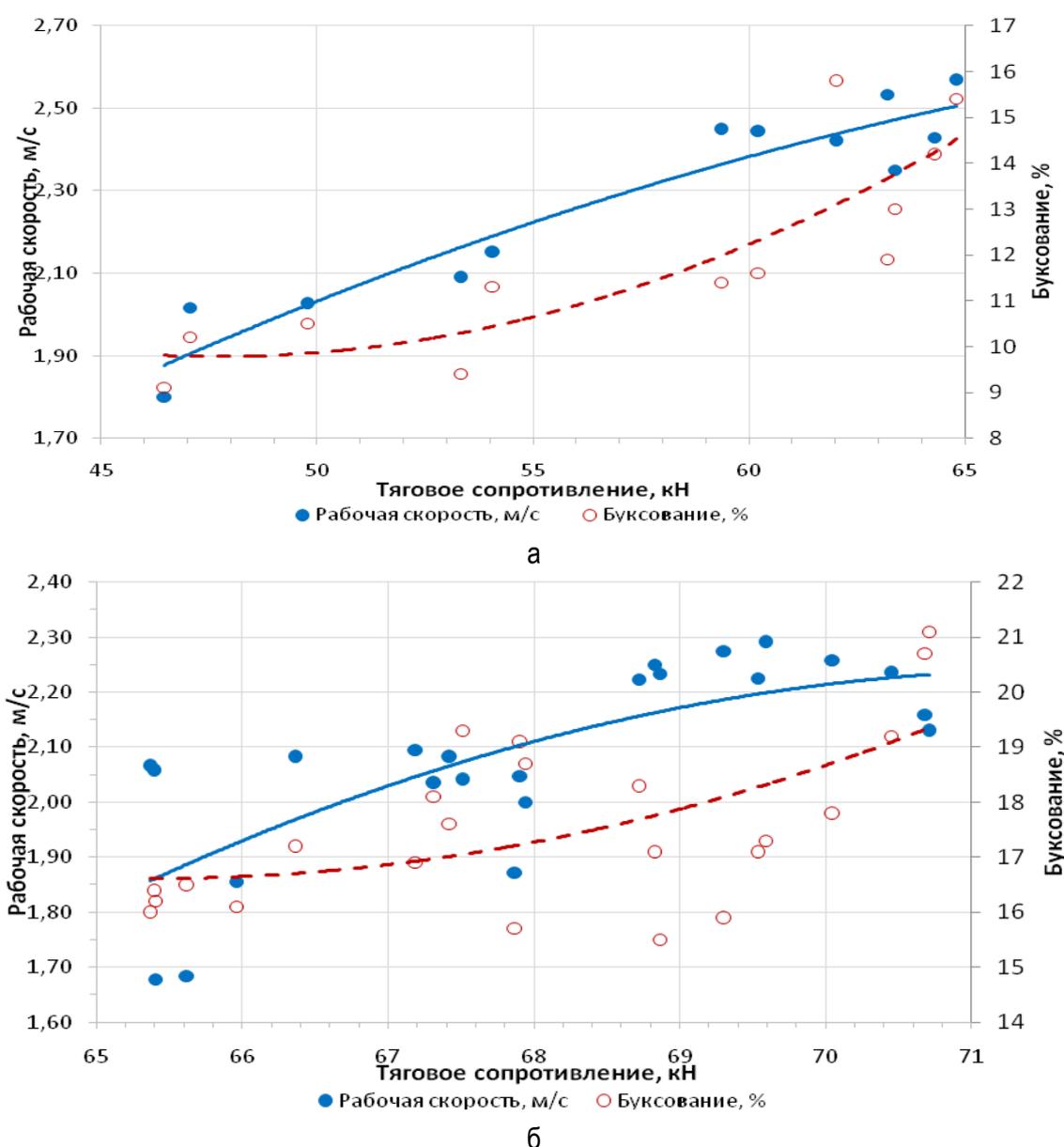
Обработка экспериментальных данных (табл. 2) позволила получить графические зависимости (рис. 4), а также уравнения связи среднего тягового сопротивления агрегата ( $P$ , кН) с рабочей скоростью движения ( $V_p$ , м/с):

- при  $h=16$  см:  

$$P = 26,22 + 5,95V_p^2; R = 0,946; \quad (1)$$

- при  $h=21$  см:  

$$P = 59,91 + 1,86V_p^2; R = 0,735. \quad (2)$$



**Рис. 4. Зависимость средней рабочей скорости движения и буксования движителей трактора от тягового сопротивления агрегата Fendt 936 Varío+ABA-12,6 (в режиме рыхлителя): а – при  $h=16$  см; б – при  $h=21$  см**

Определены средние значения эксплуатационных показателей агрегата в зависимости от глубины обработки ( $h$ ) почвы (рис. 3).

После преобразования уравнения для среднего удельного тягового сопротивления агрегата ( $k$ , кН/м) имеем следующие зависимости:

- при  $h=16$  см:

$$k = 2,08 + 0,47V_p^2; \quad (3)$$

- при  $h=21$  см:

$$k = 4,75 + 0,15V_p^2. \quad (4)$$

На основании уравнений регрессии (1)-(4) получены средние значения удельного тягового сопротивления агрегата при скорости приведения ( $V_0 = 5$  км/ч = 1,39 м/с)  $M(k_0)$  и коэффициента пропорциональности «тяга-скорость»  $\epsilon_0$ , а также их описательная статистика (табл. 3).

Таблица 3

**Средние значения приведенных энергетических показателей агрегата при испытании в режиме рыхлителя**

Размер выборки $N$	$M(P_0)$ , кН	$\sigma(P_0)$ , кН	$v(P_0)$ , %	$M(k_0)$ , кН/м	$\epsilon_0$ , с <sup>2</sup> /м <sup>2</sup>
Глубина обработки $h=16$ см					
12	37,72	5,99	10,46	2,99	0,057
Глубина обработки $h=21$ см					
23	63,49	1,46	2,14	5,04	0,034

Полученные обобщенные данные являются исходными при согласовании параметров трактора и с.-х. машины.

По результатам динамометрирования агрегата при выполнении холостых проходов (табл. 4) по общеизвестной формуле [9] было получено среднее значение коэффициента сопротивления перекатыванию колес трактора и с.-х. машины  $f$ , позволяющее оценить влияние особенностей агрофона на энергетические показатели испытываемого агрегата.

Таблица 4

**Средние значения энергетических показателей работы агрегата АВА-12,6 при выполнении холостых проходов**

Агрофон	Размер выборки $N$	$M(P_{xx})$ , кН	$\sigma(P_{xx})$ , кН	$v(P_{xx})$ , %	$f$
Пар чистый	13	7,10	0,26	3,60	0,095

Поскольку по результатам исследований [3-5] не установлено наличия зависимости между хо-

лостым тяговым сопротивлением с.-х. машины и скоростью движения агрегата, приведенные значения энергетических показателей в данном случае не определялись.

### Выводы

По результатам полевых испытаний агрегата АВА-12,6 «Агропитатель» были сделаны следующие выводы.

1. Испытываемый агрегат не обеспечивает выполнение требований агротехники по рабочей скорости движения, а также по буксованию ведущих колес трактора (для тракторов колесной схемы 4К4а – 16%) при увеличении глубины хода рабочих органов до максимальной по условиям испытаний.

В целом, необходимо констатировать несоответствие технических характеристик используемого на испытаниях трактора Fendt 936 Vario условиям агрегатирования с испытываемой с.-х. машиной по тягово-сцепным показателям.

2. При увеличении глубины хода рабочих органов с.-х. машины на 5 см наблюдается повышение удельного тягового сопротивления агрегата на 68,6% при одновременном снижении вариации показателя – в 5 раз. Также значительно снижается зависимость между показателями «тяга-скорость» в 1,7 раза.

Значительное изменение энергоемкости процесса при снижении статистического рассеивания полученных значений (вариации) и ее зависимости от изменения рабочей скорости обусловлено, во-первых, высокой влажностью почвы, во-вторых, отсутствием глубоких обработок на поле, где проводились испытания (минимальная и «нулевая» технология обработки).

3. Полученные результаты могут быть использованы в качестве входной информации при разработке рекомендаций по рациональному агрегатированию с.-х. машины и позволят решать задачи по оптимизации параметров и режимов работы агрегата.

### Библиографический список

- Schwehn J., Haberle S., Boettinger S. Development of energy requirements of tractors and implements // 75-th International Conference on Agricultural Engineering Land.Technik AgEng, Hannover, Germany, 2017. Vol. 2300. P. 237-244.
- Gao, Dongming, Lianhao, L., Xiaodong, Q., Sarker, Khokan. (2017). Development and evaluation of power consumption model for no-till planter based

on working parameters. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 10 (1): 80-87. 10.3965/j.ijabe.20171001.2310. URL: <https://ijabe.org/index.php/ijabe/article/view/2310/pdf>.

3. Лукин, В. С. Получение исходных данных для энергетической оценки парового культиватора / В. С. Лукин, Н. Н. Бережнов. – Текст: непосредственный // Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования: материалы X региональной научно-практической конференции студентов и аспирантов, посвященной памяти доцента Михаила Андриановича Анфиногенова / Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инженер. ин-т. – Новосибирск, 2018. – С. 163-167.

4. Бережнов, Н. Н. Обоснование рациональной компоновки и режимов работы энергонасыщенных почвообрабатывающих посевных комплексов: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Бережнов Н. Н. – Барнаул, 2007. – 188 с. – Текст: непосредственный.

5. Красовских, В. С. Повышение эффективности функционирования тяговых агрегатов за счёт оптимизации параметров и эксплуатационных режимов работы в степных и лесостепных районах Западной Сибири: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Красовских В. С. – Санкт-Петербург, 1991. – 37 с. – Текст: непосредственный.

6. ГОСТ Р 52777-2007. Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки. – М.: Стандартинформ, 2008. – 11 с. – Текст: непосредственный.

7. ГОСТ 7057-2001 [ISO 789-9-89]. Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний. – Минск: Изд-во стандартов, 2002. – 12 с. – Текст: непосредственный.

8. Видикер, А. А. Адаптация аппаратных средств измерительно-информационного комплекса для проведения контрольного динамометрирования энергонасыщенных МТА / А. А. Видикер, Н. Н. Бережнов. – Текст: непосредственный // Материалы VIII региональной научно-практической конференции студентов и аспирантов, посвященной 80-летию НГАУ-НСХИ / Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инженер. ин-т. – Новосибирск, 2016. – С. 52-58.

9. Чудаков, Д. А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля / Д. А. Чудаков. – Москва: Колос, 1972. – 384 с.

## References

1. Schwehn J., Haberle S., Boettinger S. Development of energy requirements of tractors and implements // 75-th International Conference on Agricultural Engineering Land.Technik AgEng, Hannover, Germany, 2017. Vol. 2300. P. 237-244.

2. Gao, Dongming, Lianhao, L., Xiaodong, Q., Sarker, Khokan. (2017). Development and evaluation of power consumption model for no-till planter based on working parameters. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 10 (1): 80-87. 10.3965/j.ijabe.20171001.2310. URL: <https://ijabe.org/index.php/ijabe/article/view/2310/pdf>.

3. Lukin V.S., Berezhnov N.N. Poluchenie iskhodnykh dannyykh dlya energeticheskoy otsenki parovogo kultivatora // Sostoyanie i innovatsii tekhnicheskogo servisa mashin i oborudovaniya: materialy X regionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov i aspirantov, posvyashchennoy pamyati dotsenta Anfinogenova Mikhaila Andrianovicha. Novosib. gos. agrar. un-t. Inzhener. in-t. – Novosibirsk, 2018. – S.163-167.

4. Berezhnov N.N. Obosnovanie ratsionalnoy komponovki i rezhimov raboty energonasyshchennykh pochvoobrabatyvayushchikh posevnykh kompleksov: dis. ... kand. tekhn. nauk. – Barnaul, 2007. – 188 s.

5. Krasovskikh V.S. Povyshenie effektivnosti funktsionirovaniya tyagovykh agregatov za schet optimizatsii parametrov i ekspluatatsionnykh rezhimov raboty v stepnykh i lesostepnykh rayonakh Zapadnoy Sibiri: avtoref. dis. ... dokt. tekhn. nauk. – Sankt-Peterburg, 1991. – 37 s.

6. GOST R 52777-2007. Tekhnika selskokhozyaystvennaya. Metody energeticheskoy otsenki. – Moskva: Standartinform, 2008. – 11 s.

7. GOST 7057-2001 [ISO 789-9-89]. Traktory selskokhozyaystvennyye. Metody ispytaniy. – Minsk: Izdatelstvo standartov, 2002. – 12 s.

8. Vidiker A.A., Berezhnov N.N. Adaptatsiya apparatnykh sredstv izmeritelno-informatsionnogo kompleksa dlya provedeniya kontrolnogo dinamometrirovaniya energonasyshchennykh MTA // Materialy VIII regionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov i aspirantov, posvyashchennoy 80-letiyu NGAU-NSKhI. Novosib. gos. agrar. un-t. Inzhener. in-t. – Novosibirsk, 2016. – S. 52-58.

9. Chudakov D.A. Osnovy teorii i rascheta traktora i avtomobilya. – Moskva: Kolos, 1972. – 384 s.

