

## ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И АГРОТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ

## TECHNICAL CHARACTERISTICS AND AGROTECHNICAL INDICES OF WORK OF TILLAGE MACHINES

**А.Ю. НЕСМИЯН**, к.т.н.

Азово-Черноморский инженерный институт  
ФГБОУ ВО Донской ГАУ, Зерноград, Россия,  
nesmiyan.andrei@yandex.ru

**A.YU. NESMIYAN**, PhD in Engineering

Azov-Black Sea Engineering Institute of Don State Agrarian  
University, Zernograd, Russia, nesmiyan.andrei@yandex.ru

В исследовании представлены результаты анализа характеристик современных тракторов и почвообрабатывающих орудий. Полученные данные позволяют оценивать энергетические, экономические, технические и маневровые показатели соответствующих агрегатов и могут быть использованы в качестве исходной информации при расчете рационального состава машинно-тракторного парка аграрных предприятий. Установлено, что зависимости и массы тракторов и мощности их двигателей от тягового усилия могут быть с высокой точностью описаны линейными уравнениями. В среднем масса гусеничных тракторов на 11 %, а мощность двигателей на 27 % меньше, чем у соответствующих колесных. Однако при более высоком тяговом коэффициенте полезного действия и низком давлении на почву гусеничные тракторы менее маневренны, универсальны и, главное, менее эргономичны, что сдерживает их широкое применение. При рациональном агрегатировании такие характеристики работы почвообрабатывающих агрегатов, как рабочая скорость, удельный расход топлива, коэффициент использования времени смены, фактически не зависят от тягового класса трактора. С увеличением тягового класса трактора удельная металлоемкость агрегируемого с ним орудия возрастает. Разница особенно заметна на примере комбинированных орудий и «кроторов», для которых гипотетический переход от трактора класса 1,4 к трактору класса 8 привел к возрастанию расчетной удельной металлоемкости в 3,7 и 3,4 раза соответственно. Приращение же производительности при увеличении класса трактора в большинстве случаев происходит с запаздыванием. Это позволяет заключить, что единственным преимуществом внедрения широкозахватных агрегатов является сокращение необходимого количества операторов. По остальным показателям агрегат с широкозахватным орудием не имеет преимуществ перед группой агрегатов с орудиями идентичной суммарной ширины захвата.

**Ключевые слова:** машинно-тракторный агрегат, почвообрабатывающее орудие, техническая характеристика, протоколы испытаний, анализ, удельный расход топлива, мощность двигателя, масса, производительность, тяговый класс трактора, агротехнические показатели работы.

The study presents the results of analysis of the characteristics of modern tractors and tillage tools. The data obtained make it possible to assess the energy, economic, technical and shunting indices of the relevant aggregates, and can be used as a starting point in calculating the rational composition of the machine and tractor fleet of agrarian enterprises. It is established that the dependencies and masses of tractors and the power of their engines on traction can be described with high accuracy by linear equations. On average, the mass of tracked tractors is 11 %, and the engine power is 27 % smaller than that of the corresponding wheeled tractors. However, with a higher traction coefficient and low pressure on the soil, caterpillar tractors are less maneuverable, universal and, most importantly, less ergonomic, which hampers their wide application. With rational aggregation, such characteristics of the work of soil-cultivating units as working speed, specific fuel consumption, the utilization factor of the shift time do not actually depend on the traction class of the tractor. With an increase in the traction class of the tractor, the specific metal consumption of the implements being mounted with it increases. The difference is especially noticeable in the case of combined guns and «craters», for which a hypothetical transition from a class 1.4 tractor to a class 8 tractor led to an increase in the estimated specific material consumption by 3.7 and 3.4 times, respectively. The increase in productivity with the increase in the tractor class in most cases occurs with a delay. This allows us to conclude that the only advantage of introducing wide-angle aggregates is the reduction of the required number of operators. For the rest of the parameters, the machine with a wide-cut implement has no advantage over a group of machines with tools of identical total width.

**Keywords:** machine-tractor unit, soil-cultivating tool, technical characteristics, test reports, analysis, specific fuel consumption, engine power, mass, productivity, tractor traction class, agrotechnical performance.

## Введение

Машинно-тракторные агрегаты – сложные многомерные динамические системы [1–3], условия функционирования которых носят вероятностный характер. Поэтому наиболее полную и достоверную информацию об их характеристиках и показателях работы можно получить только на основе экспериментальных данных.

## Цель исследования

Цель представленного исследования – выявление основных технических характеристик и агротехнических показателей работы применяемых в полеводстве тракторов и почвообрабатывающих орудий.

## Материалы и методы

Исследование проводилось в два этапа.

На первом этапе был проведен сбор и анализ информации фирм-производителей [4–10] об основных технических характеристиках 156 колесных и 36 гусеничных отечественных и зарубежных тракторов. При этом основное внимание уделялось зависимости массы  $m$  и мощности  $N_{\text{двс}}$  двигателей современных тракторов от их номинального тягового усилия.

На втором этапе был проведен анализ протоколов испытаний 221 отечественной машины и орудия, проходивших сертификацию на машиноиспытательных станциях страны с 2000 года [10]. При этом, были рассмотрены следующие технические средства (ед.): отвальные плуги – 53; дискаторы и дисковые бороны – 40; паровые культиваторы – 34; стерневые и тяжелые культиваторы – 26; комбинированные орудия – 18; плоскорезы-глубококорыхлители, чизельные культиваторы и

агрегаты для глубокой обработки почвы – 18; чизельные плуги – 16; пружинные (зубовые) бороны – 8; дисковые лушпильники – 3; «кротеры» – 3; игольчатые бороны-мотыги – 2.

## Результаты и их обсуждение

Некоторые усредненные эмпирические данные о массе  $m$  и мощности  $N_{\text{двс}}$  двигателей современных тракторов в зависимости от их расчетного номинального тягового усилия представлены на рис. 1 и 2. Следует отметить, что промышленностью практически не производятся гусеничные тракторы ниже класса 3, поэтому в приводимый анализ подобные машины включены не были.

Анализ данных рис. 1 и 2 показал, что зависимости и массы тракторов и мощности их двигателей от тягового усилия с точностью 96,2–99,6 % могут быть выражены линейными уравнениями. При этом следует отметить высокую вероятность использования на сельскохозяйственных тракторах двигателей мощностью 180–200 кВт, приведшую к перегрузу соответствующих функций в диапазоне номинальных тяговых усилий 40–60 кН. В среднем масса гусеничных тракторов на 11 %, а мощность двигателей на 27 % меньше, чем у колесных тракторов соответствующего тягового класса. Это обусловлено более высоким тяговым КПД гусеничных тракторов по сравнению с колесными, что обеспечивает их производительную и экономичную работу. Они меньше уплотняют почву, более проходимы, но менее маневренны, не могут двигаться по улучшенным дорогам, менее универсальны и, главное, менее эргономичны, что сдерживает их широкое применение в сельскохозяйственном производстве.

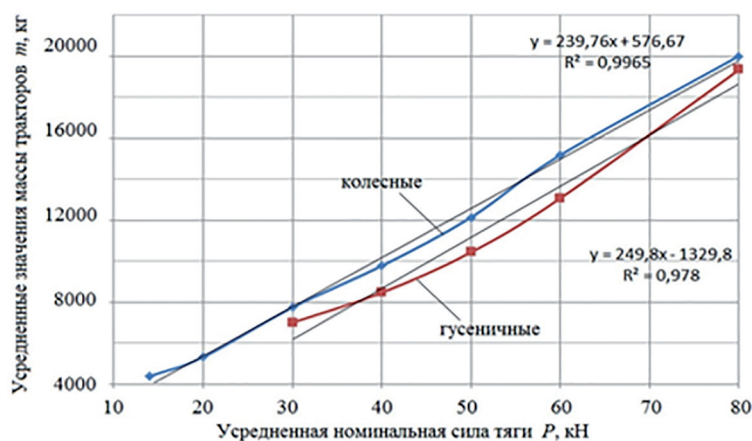


Рис. 1. Зависимости массы тракторов от номинального тягового усилия

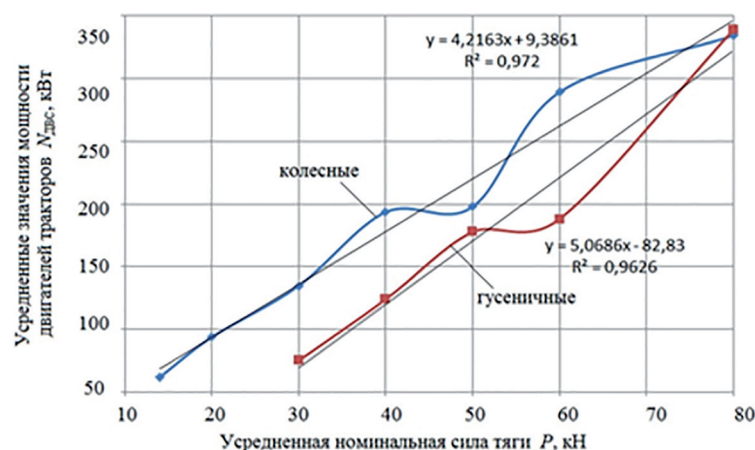


Рис. 2. Зависимости мощности двигателя от номинальной силы тяги трактора

Результаты дальнейшего анализа позволили установить, что при рациональном агрегатировании такие экономические и эксплуатационные характеристики работы почвообрабатывающих агрегатов, как рабочая скорость, удельный расход топлива, коэффициент использования времени смены (табл. 1), определяются видом выполняемой операции и условиями работы [10] и фактически не зависят от тягового класса используемого трактора.

Приведенные в табл. 1 данные позволяют охарактеризовать показатели работы агрегатов, не зависящие от тягового класса используемых тракторов. Так, например, можно заключить, что вопреки распространенному мнению чизелевание является почти на 10 % более энергоемкой операцией, чем отвальная вспашка (с учетом разницы глубины обработки). Также из данных таблицы видно, что применение роторных культиваторов («крото-

Таблица 1

Некоторые эксплуатационные характеристики работы МТА (по данным протоколов испытаний МИС РФ) [10]

Орудия	Средняя глубина $a$ , см	Показатель	Удельный расход топлива, кг/га	Рабочая скорость, км/ч	Коэффициент использования времени смены
1. Плуги отвальные	24	M	15,9	8,1	0,74
		$\sigma$	3,2	0,9	0,05
		max	28,2	12,0	0,96
		min	7,2	4,8	0,61
2. Культиваторы чизельные, плоскорезы	22	M	12,2	8,6	0,73
		$\sigma$	3,7	1,1	0,04
		max	22,6	12,5	0,79
		min	6,9	6,5	0,66
3. Плуги чизельные	37	M	17,4	7,2	0,75
		$\sigma$	2,8	0,9	0,05
		max	25,9	9,5	0,83
		min	12,6	5,1	0,63
4. Дискаторы и дисковые бороны	11	M	7,8	10,2	0,74
		$\sigma$	2,8	1,9	0,05
		max	14,8	15,2	0,90
		min	3,6	6,7	0,65
5. Комбинированные орудия	12	M	8,0	9,0	0,70
		$\sigma$	2,3	1,2	0,07
		max	14,8	12,1	0,85
		min	3,9	6,9	0,55

Окончание таблицы 1

Орудия	Средняя глубина $a$ , см	Показатель	Удельный расход топлива, кг/га	Рабочая скорость, км/ч	Коэффициент использования времени смены
6. Стерневые и тяжелые культиваторы	12	M	7,1	8,7	0,74
		$\sigma$	1,2	1,4	0,04
		max	11,1	11,9	0,81
		min	4,2	4,8	0,67
7. Паровые культиваторы	9	M	4,1	9,0	0,73
		$\sigma$	1,0	1,1	0,04
		max	6,9	12,4	0,80
		min	2,5	6,0	0,63
8. Роторные культиваторы	9	M	3,7	10,3	0,65
		$\sigma$	0,6	1,3	0,04
		max	4,7	12,0	0,70
		min	2,7	8,3	0,59
9. Бороны-мотыги	4	M	2,2	11,7	*
		$\sigma$	1,0	1,7	*
		max	3,2	13,8	*
		min	1,1	10,0	*
10. Бороны зубовые (пружинные)	5	M	1,7	10,2	0,69
		$\sigma$	0,7	2,2	0,07
		max	4,6	15,0	0,78
		min	0,8	6,0	0,54

Принятые обозначения: M – среднее значение показателя;  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение показателя; max – максимальное значение показателя; min – минимальное значение показателя.

ров») в сравнении с классическими паровыми культиваторами позволяет снизить удельный расход топлива на 9,7 % и при этом увеличить рабочую скорость агрегата на 14,4 %. Кроме того, данные таблицы позволяют проводить сравнительную качественную оценку работы какого-либо конкретного почвообрабатывающего агрегата.

Последующая аппроксимация полученных исходных данных [10] позволила с точностью 0,93–0,99 выявить зависимости усредненных значений ширины захвата сельскохозяйственных машин (орудий), их удельной массы и удельного приведенного расхода топлива при выполнении некоторых основных почвообрабатывающих операций от тягового класса тракторов, с которыми они агрегируются (табл. 2).

С использованием данных таблицы 2 были определены среднестатистические расчетные значения масс почвообрабатывающих орудий, агрегируемых с тракторами различного тягового класса, и производительность соответствующих агрегатов за час эксплуатационного времени (табл. 3 и 4).

Совместный анализ табл. 2 и 3 позволил заключить, что с увеличением тягового

класса трактора удельная металлоемкость агрегируемого с ним орудия возрастает. Например, удельная металлоемкость дисковой бороны к трактору класса 1,4 составляет около 660 кг/м, а бороны к трактору восьмого класса – 1078 кг/м. Разница особенно заметна на примере комбинированных орудий и «кроторов», для которых переход от трактора класса 1,4 к трактору класса 8 привел к возрастанию удельной материалоемкости в 3,7 и 3,4 раза соответственно. Кстати, возвращаясь к сравнительному анализу характеристик паровых культиваторов и «кроторов», – удельная материалоемкость роторных культиваторов оказалась в 1,82 раза больше, чем у классических.

Приращение производительности при увеличении класса трактора происходит нелинейно (табл. 4) – в большинстве случаев с запаздыванием. Так, например, для большинства агрегатов увеличение тягового класса в 4 раза (от второго к восьмому) привело к увеличению производительности в 3,1–3,6 раза. Исключение составили чизельные плуги, паровые культиваторы и пружинные бороны, у которых производительность выросла в 4,1–4,3 раза.

Таблица 2

## Расчетные показатели почвообрабатывающих орудий

Орудия	Средняя глубина $a$ , см	Тяговый класс трактора		
		Ширина, м	Удельная материалоемкость, кг/м	Удельный приведенный расход топлива, кг/(га·м)
1. Плуги отвальные	24	$y(x) = 0,513x + 0,397$	$y(x) = 33,86x + 606,3$	$y(x) = 17,91e^{-0,24x}$
2. Культиваторы чизельные, плоскорезы	22	$y(x) = 0,663x + 0,462$	$y(x) = 46,98x + 253,6$	$y(x) = 19,44e^{-0,36x}$
3. Плуги чизельные	37	$y(x) = 0,784x - 0,067$	$y(x) = 22,03x + 377,7$	$y(x) = 12,96e^{-0,20x}$
4. Дискаторы и дисковые бороны	11	$y(x) = 0,980x + 0,725$	$y(x) = 63,37x + 571,5$	$y(x) = 3,07e^{-0,13x}$
5. Комбинированные орудия (до 16 см)	12	$y(x) = 1,065x + 0,987$	$y(x) = 128,3x + 132,2$	$y(x) = 2,54e^{-0,11x}$
6. Стерневые и тяжелые культиваторы	12	$y(x) = 1,267x + 0,659$	$y(x) = 37,77x + 309,3$	$y(x) = 4,71e^{-0,29x}$
7. Паровые культиваторы	9	$y(x) = 1,886x + 1,337$	$y(x) = 56,47x + 159,2$	$y(x) = 1,2e^{-0,21x}$
8. Кроторы	9	$y(x) = 3,228x + 1,055$	$y(x) = 130,7x + 173,1$	$y(x) = 1,53e^{-0,38x}$
9. Бороны-мотыги	4	$y(x) = 7,687x - 5,162$		$y(x) = 3,57e^{-1,31x}$
10. Бороны зубовые (пружинные)	5	$y(x) = 8,562x - 1,627$	$y(x) = 55,21x + 26,1$	$y(x) = 0,16e^{-0,31x}$

Таблица 3

## Расчетная масса почвообрабатывающих орудий, кг

Орудия	Тяговый класс трактора						
	1,4	2	3	4	5	6	8
1. Плуги отвальные	732,1	957,1	1373,3	1817,3	2295,8	2816,9	3947,3
2. Культиваторы чизельные, плоскорезы	443,9	622,1	966,6	1373,1	1846,5	2377,5	3631,9
3. Плуги чизельные	420,8	632,6	1016,3	1430,1	1878,2	2365,8	3440,0
4. Дискаторы и дисковые бороны	1386,5	1878,3	2795,1	3836,2	5001,4	6290,9	9242,4
5. Комбинированные орудия (до 16 см)	773,3	1213,1	2161,5	3388,4	4882,0	6656,8	11018,3
6. Стерневые и тяжелые культиваторы	880,1	1227,6	1884,8	2638,0	3482,1	4426,7	6603,8
7. Паровые культиваторы	948,3	1390,6	2300,3	3419,5	4755,5	6300,0	10032,0
8. Кроторы	1983,4	3263,1	6070,2	9721,7	14217,5	19548,1	32758,7
9. Бороны зубовые (пружинные)	1071,3	2116,2	4613,3	8055,5	12442,9	17779,2	31281,1

Таблица 4

## Производительность почвообрабатывающих агрегатов за час эксплуатационного времени (расчетная), га/ч

Орудия	Средняя глубина $a$ , см	Тяговый класс трактора						
		1,4	2	3	4	5	6	8
1. Плуги отвальные	24	0,66	0,83	1,14	1,44	1,74	2,04	2,64
2. Культиваторы чизельные, плоскорезы	22	0,90	1,16	1,59	2,02	2,46	2,89	3,75
3. Плуги чизельные	37	0,55	0,81	1,23	1,65	2,07	2,50	3,34
4. Дискаторы и дисковые бороны	11	1,58	2,02	2,76	3,49	4,23	4,96	6,44
5. Комбинированные орудия (до 16 см)	12	1,55	1,94	2,60	3,27	3,93	4,60	5,93
6. Стерневые и тяжелые культиваторы	12	1,57	2,06	2,88	3,70	4,52	5,34	6,98
7. Паровые культиваторы	9	2,64	3,39	4,64	5,89	7,14	8,38	10,88
8. Кроторы	9	3,72	5,02	7,18	9,33	11,49	13,64	17,96
9. Бороны зубовые (пружинные)	5	7,28	10,90	16,92	22,94	28,95	34,98	47,02



Совместный анализ табл. 2, 3 и 4 позволяет заключить, что единственным преимуществом применения в производстве широкозахватных агрегатов является сокращение необходимого количества операторов. По остальным показателям, опять же вопреки распространенному мнению, широкозахватное орудие не имеет преимуществ перед группой орудий идентичной суммарной ширины захвата.

Среднестатистические показатели качества работы некоторых почвообрабатывающих орудий представлены в табл. 5.

Данные табл. 5 свидетельствуют, что в целом усредненные показатели работы современных почвообрабатывающих орудий соответствуют критериям, предусмотренным агротехническими требованиями.

### Выводы

Проведенный анализ характеристик современных тракторов и почвообрабатывающих орудий позволил сделать следующие выводы:

- зависимости массы тракторов и мощности их двигателей от тягового усилия могут быть с высокой точностью описа-

ны линейными уравнениями. В среднем масса гусеничных тракторов на 11 %, а мощность двигателей на 27 % меньше, чем у соответствующих колесных. Однако при более высоком тяговом КПД и низком давлении на почву гусеничные тракторы менее маневренны, универсальны и, главное, менее эргономичны, что сдерживает их широкое применение;

- при рациональном агрегатировании такие характеристики работы почвообрабатывающих агрегатов, как рабочая скорость, удельный расход топлива, коэффициент использования времени смены, фактически не зависят от тягового класса трактора. Наиболее энергоемкой является операция «чизелевание», наименее энергоемкой – обработка пружинными боронами. В целом полученные данные позволяют проводить сравнительную качественную оценку показателей работы орудий в производственных условиях;
- с увеличением тягового класса трактора удельная металлоемкость агрегируемого с ним орудия возрастает. Разница

Таблица 5

Среднестатистические показатели качества работы некоторых почвообрабатывающих МТА

Орудие / Показатель	Средняя глубина обработки почвы, см	Среднеквадратическое отклонение от средней глубины обработки, см	Крошение почвы, %	Гребнистость, см	Измельчение стерни и растительных остатков, %	Изменение содержания эроз.-опасных частиц, %	Повреждение культурных растений, %	Сохранение стерни на поверхности поля, %	Заделка стерни и растительных остатков, %
1. Плуги отвалыные	23,7	1,2	80,7	4,6	*	*	*	*	96,7
2. Культиваторы чизельн, плоскорезы	22,1	2,2	69,2	5,5	*	-3,1	*	68,2	*
3. Плуги чизельные	36,9	1,6	76,3	5,1	*	-1,0	*	70,5	*
4. Дискаторы и дисковые бороны	11,3	2,0	83,6	3,5	50,6	*	*	*	67,0
5. Луцильники дисковые	8,3	1,8	94,8	*	*	*	*	*	*
6. Комбинированные орудия (до 16 см)	12,2	1,6	86,7	2,5	*	*	*	53,9	*
7. Стерневые и тяжелые культиваторы	11,9	1,5	85,8	3,8	*	-0,3	*	60,9	*
8. Паровые культиваторы	9,0	1,1	88,0	2,4	*	*	*	*	*
9. Кроторы	9,3	1,3	85,7	1,7	*	*	*	*	*
10. Бороны-мотыги	4,4	*	94,0	1,6	*	*	1,2	*	*
11. Бороны зубовые (пружинные)	5,2	0,9	87,7	1,6	*	*	1,8	*	*

особенно заметна на примере комбинированных орудий и «кроторов», для которых гипотетический переход от трактора класса 1,4 к трактору класса 8 привел к возрастанию расчетной удельной материалоемкости в 3,7 и 3,4 раза соответственно. Приращение же производительности при увеличении класса трактора в большинстве случаев происходит с запаздыванием. Это позволяет заключить, что единственным преимуществом внедрения широкозахватных агрегатов является сокращение необходимого количества операторов. По остальным показателям агрегат с широкозахватным орудием не имеет преимуществ перед группой агрегатов с орудиями идентичной суммарной ширины захвата;

- усредненные показатели работы современных почвообрабатывающих орудий в основном соответствуют агротребованиям.

### Литература

1. Липкович Э.И. Аналитические основы системы машин. Ростов н/Д: Ростов. кн. изд-во, 1983. 112 с.
2. Камбулов С.И. Механико-технологические основы повышения уровня функционирования сельскохозяйственных агрегатов. Ростов н/Д: ООО «Терра Принт», 2006. 304 с.
3. Самсонов В.А., Зангиев А.А., Лачуга Ю.Ф., Дидманидзе О.Н.. Основы теории мобильных сельскохозяйственных агрегатов. М.: Колос, 2000. 248 с.
4. Case [Электронный ресурс]. URL: <http://www.case-rf.ru> (дата обращения: 02.10.2013 г.).
5. Производство тракторов [Электронный ресурс]. URL: <http://www.agco.ru> (дата обращения: 02.10.2013 г.).
6. Экскаватор.ру [Электронный ресурс]. URL: <http://exkavator.ru/excapedia/producers/case> (дата обращения: 02.10.2013 г.).
7. John Deere [Электронный ресурс]. URL: <http://www.agroru.com> (дата обращения: 03.10.2013 г.).
8. Агробизнес.ру [Электронный ресурс]. URL: <http://agrobiznes.ru/agro> (дата обращения: 03.10.2013 г.).
9. Нунгезер В.В., Лачуга Ю.Ф., Федоренко В.Ф. и др. Справочник инженера-механика сельскохозяйственного производства. Ч.1. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2011. 372 с.
10. База протоколов результатов испытаний сельскохозяйственной техники [Электронный ресурс]. URL: <http://sistemamis.ru/protocols> (дата обращения: 01.10.2013 г.).

### References

1. Lipkovich E.I. Analiticheskie osnovy sistemy mashin [Analytical basis of the machine system]. Rostov n/D: Rostov. kn. izd-vo Publ., 1983. 112 p.
2. Kambulov S.I. Mekhaniko-tekhnologicheskie osnovy povysheniya urovnya funktsionirovaniya sel'skokhozyaystvennykh agregatov [Mechanic-technological basis for increasing the level of functioning of agricultural units]. Rostov n/D: ООО «Terra Print» Publ., 2006. 304 p.
3. Samsonov V.A., Zangiev A.A., Lachuga Yu.F., Didmanidze O.N.. Osnovy teorii mobil'nykh sel'skokhozyaystvennykh agregatov [The fundamentals of the theory of mobile agricultural aggregates]. Moscow: Kolos Publ., 2000. 248 p.
4. Sase [Elektronnyy resurs] (in Russ.). URL: <http://www.case-rf.ru> (accessed 02.10.2013).
5. Proizvodstvo traktorov [Elektronnyy resurs] (in Russ.). URL: <http://www.agco.ru> (accessed: 02.10.2013).
6. Ekskavator.ru [Elektronnyy resurs] (in Russ.). URL: <http://exkavator.ru/excapedia/producers/case> (accessed 02.10.2013).
7. John Deere [Elektronnyy resurs] (in Russ.). URL: <http://www.agroru.com> (accessed 03.10.2013).
8. Agrobiznes.ru [Elektronnyy resurs] (in Russ.). URL: <http://agrobiznes.ru/agro> (accessed 03.10.2013).
9. Nungezer V.V., Lachuga Yu.F., Fedorenko V.F. i dr. Spravochnik inzhenera-mekhanika sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva [Reference book of the engineer-mechanic of agricultural production]. Ch. 1. Moscow: FGBNU «Rosinformagrotekh» Publ., 2011. 372 p.
10. Baza protokolov rezul'tatov ispytaniy sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Elektronnyy resurs] (in Russ.). URL: <http://sistemamis.ru/protocols> (accessed 01.10.2013).