

### Оптимальные параметры трактора и пахотного агрегата по различным критериям оптимизации

Камиль Абдулхакович Хафизов<sup>1</sup>, Рамиль Наилович Хафизов<sup>1</sup>, Игорь Юрьевич Тюрин<sup>2</sup>,  
Галина Викторовна Левченко<sup>2</sup>, Даниил Владимирович Гамаюнов<sup>2</sup>, Андрей Александрович Лушников<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Казанский ГАУ, г. Казань, Россия

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова», г. Саратов, Россия

e-mail: ramilajz@mail.ru

**Аннотация.** Статья посвящена выявлению оптимальных значений основных параметров трактора (его веса и мощности двигателя) и агрегата (ширины захвата плуга и рабочей скорости агрегата) по различным критериям оптимизации: минимальные прямые и косвенные суммарные затраты энергии с учетом энергии теряемого урожая; минимальный выброс диоксида углерода на стадиях изготовления и эксплуатации с учетом количества диоксида углерода, которое мог бы поглотить из атмосферы, теряемый в ходе работы агрегата, урожай культур; максимальная производительность агрегата за один час времени смены; минимальный расход топлива на 1 га обработанной агрегатом площади и максимальный тяговый коэффициент полезного действия трактора. По результатам вычислительных экспериментов с использованием математических моделей пахотного агрегата выявлено, что оптимальные значения основных параметров трактора и агрегата совпадают по первым трем критериям оптимизации и для выбранных условий работы составляют: вес трактора 130 кН; мощность двигателя 398 л.с.; ширина захвата агрегата 5,25 м; рабочая скорость 7,5 км/ч.

**Ключевые слова:** трактор; пахотный агрегат; оптимизация параметров; суммарные энергозатраты; потери урожая; выброс диоксида углерода.

**Для цитирования:** Хафизов К. А., Хафизов Р. Н., Тюрин И. Ю., Левченко Г. В., Гамаюнов Д. В., Лушников А. А. Оптимальные параметры трактора и пахотного агрегата по различным критериям оптимизации // Аграрный научный журнал. 2023. № 1. С. 155–160. <http://10.28983/asj.y2023i1pp155-160>.

### AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

### Optimal parameters of the tractor and arable unit for various optimization criteria

Kamil A. Khafizov<sup>1</sup>, Ramil N. Khafizov<sup>1</sup>, Igor Yu. Tyurin<sup>2</sup>, Galina V. Levchenko<sup>2</sup>, Daniil V. Gamayunov<sup>2</sup>,  
Andrey A. Lushnikov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia

<sup>2</sup> Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

e-mail: ramilajz@mail.ru

**Abstract.** The article is devoted to identifying the optimal values of the main parameters of the tractor (its weight and engine power) and the unit (the width of the plow capture and the working velocity of the unit) according to various optimization criteria: minimum straight and indirect total energy costs taking into account the energy of a lost harvest; Minimum emission of carbon dioxide at the stages of manufacture and operation, taking into account the amount of carbon dioxide, which could be absorbed from the atmosphere, lost during the work of the unit, crops; maximum aggregate performance in one hour of time The minimum fuel consumption per ha was treated as an area of the area and the maximum traction tractor efficiency. According to the results of computational experiments using mathematical models of the arable unit, it was revealed that the optimal values of the main parameters of the tractor and the unit coincide according to the first three optimization criteria and for the selected working conditions are: the weight of the tractor 130 kN; engine power 398 hp; the width of the capture of the unit is 5.25 m; working speed is 7.5 km/h.

**Keywords:** tractor; arable unit; optimization of parameters; total energy consumption; crop loss; carbon dioxide emission.

**For citation:** Khafizov K. A., Khafizov R. N., Tyurin I. Yu., Levchenko G. V., Gamayunov D. V., Lushnikov A. A. Optimal parameters of the tractor and arable unit for various optimization criteria // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2023;(1):155–160. (In Russ.). <http://10.28983/asj.y2023i1pp155-160>.





**Введение.** Часто в литературе для обоснования эффективности машинно-тракторных агрегатов используют различные критерии эффективности и соответственно, различные критерии оптимизации при проведении оптимизационных расчетов [1–4].

Если академик Болтинский считал, что тяговое КПД трактора при его работе должен быть максимальным и исходя из этого необходимо подбирать оптимальную ширину захвата агрегата и скорость его работы, то другие ученые предлагали другие критерии для оптимизационных расчетов машинно-тракторных агрегатов.

Минимальный погектарный расход топлива [5], максимальная производительность [3], минимальные эксплуатационные или приведенные денежные затраты [4, 6], и в последние годы суммарные энергетические затраты и минимальный выброс диоксида углерода [7–9].

Вызывает интерес – совпадают ли на различных технологических операциях оптимальные параметры агрегатов, рассчитанные по различным показателям эффективности или критериям оптимизации. Проведем такое исследование для пахотного агрегата.

**Методика исследований.** Для получения материалов статьи использован метод имитационного моделирования работы пахотных агрегатов по различным критериям оптимизации и проведены вычислительные эксперименты с использованием разработанных математических моделей. Вычислительные эксперименты проведены путем использования численного метода в системе компьютерной математики МАТЛАБ. Среди использованных критериев оптимизации параметров и режимов работы пахотного агрегата – минимальные суммарные затраты энергии с учетом энергии теряемого урожая, минимальный выброс диоксида углерода с учетом количества диоксида углерода, которое мог бы поглотить из атмосферы, теряемый урожай, минимальный погектарный расход топлива, максимальная производительность агрегата и максимальный тяговый коэффициент полезного действия трактора.

**Результаты исследований.** Результаты вычислительных экспериментов приведены в таблице и на рис. 1 – 5.

Исходные данные для расчетов:

площадь поля, = 100 га;

длина гона = 1 км;

расстояние переезда агрегата = 3 км;

плотность семян культуры = 800 кг/м<sup>3</sup>;

коэффициент прочности несущей поверхности поля = 0,9;

объем выполняемой агрегатом работы = 500 га;

количество тракторов, выполняющих операцию, = 1;

число часов работы агрегата за сутки = 16 ч;

планируемая урожайность основной и побочной продукции = 40 ц/га;

давление в шинах трактора = 0,16 МПа;

Число колес на одном борту движителей трактора = 1;

коэффициент сцепления колес трактора с почвой = 0,7;

коэффициент сопротивления перекачиванию колес трактора = 0,12;

глубина вспашки = 0,25 м;

масса CO<sub>2</sub>, поглощаемая культурой, = 243 кг/ц;

максимальный вес трактора = 220 кН;

максимальная мощность двигателя = 400 л.с.;

максимальная ширина захвата агрегата = 5,25 м;

максимальная скорость агрегата = 10 км/ч.

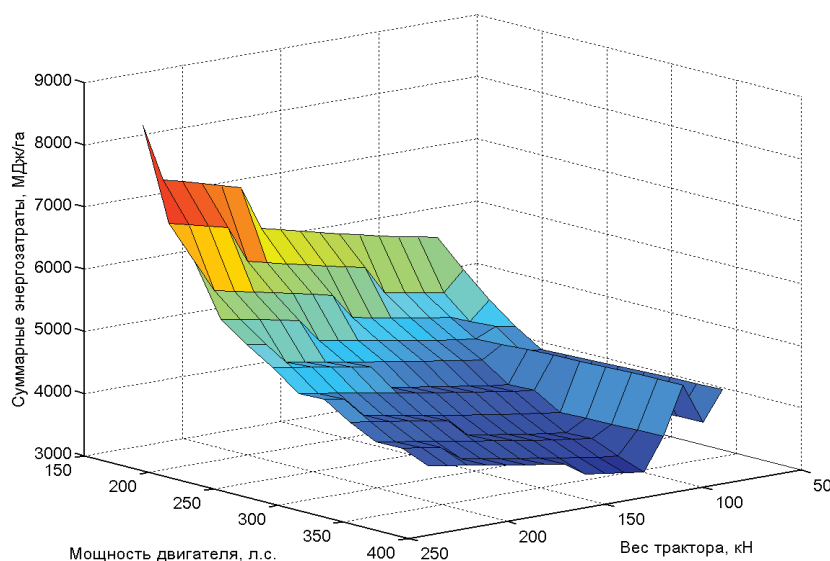
Оптимальное значение веса трактора и мощности его двигателя на вспашке совпадают не по всем критериям оптимизации. По критерию минимальные суммарные энергетические затраты с учетом влияния параметров трактора на формируемый урожай (см. рис. 1) основные параметры трактора получились равными их значению, необходимому для обеспечения пахотным агрегатом максимальной производительности (см. рис. 4).

**Оптимальные параметры пахотного агрегата по различным критериям оптимизации  
для заданных условий работы**

Параметр	Минимум энергозатрат, МДж/га	Минимум выброса CO <sub>2</sub> , кг/га	Минимум расхода топлива, кг/га	Максимальное КПД трактора	Максимальная производитель- ность, га/ч
Вес трактора, кН	130	130	100	110	130
Мощность двигателя, л.с.	398,11	398,11	214,55	266,79	398,11
Ширина захвата, м	5,25	5,25	4,55	4,2	5,25
Скорость агрегата, км/ч	7,5	7,5	5	6,5	7,5
Величина оптималь- ного значения крите- рия оптимизации	3405,2	434,57	18.87	0.68	2.32

Аналогичная картина наблюдается по критерию минимальный выброс диоксида углерода от использования пахотного агрегата (см. рис. 2). При этом оптимальная масса трактора равна 130 кН (верхний заданный предел 220 кН), а оптимальная мощность двигателя 398 л.с. из максимально заданного, по исходным данным, верхнего предела 400 л.с. По всем перечисленным критериям была выбрана максимально заданная величина ширины захвата плуга 5,25 м, что исключило необходимость использования трактора с большим весом, чем 130 кН. Дальнейшему росту производительности пахотного агрегата мешали ограничения ширины захвата плуга 5,25 м и мощности двигателя трактора 400 л.с., заложенные в исходные данные для расчета. Совпадение на вспашке оптимальных значений параметров трактора и пахотного агрегата в целом по названным трем критериям оптимизации объясняется тем, что по двум первым критериям возникла необходимость обеспечения максимальной производительности пахотного агрегата с целью снижения агросрока выполнения заданного объема работы (500 га) и соответствующего снижения количества потерянного урожая, учитываемого этими критериями, а потери урожая от переуплотнения почвы на вспашке незначительны.

По данным таблицы и рис. 3 для получения минимального расхода топлива на 1 га вспаханной площади необходимо использовать трактор с меньшим весом (100 кН) и меньшей мощностью двигателя (214 л.с.). Проектируемый трактор обеспечивает максимальное тяговое КПД (см. рис. 5)



*Рис. 1. Зависимость суммарных энергетических затрат на вспашке от основных параметров трактора*



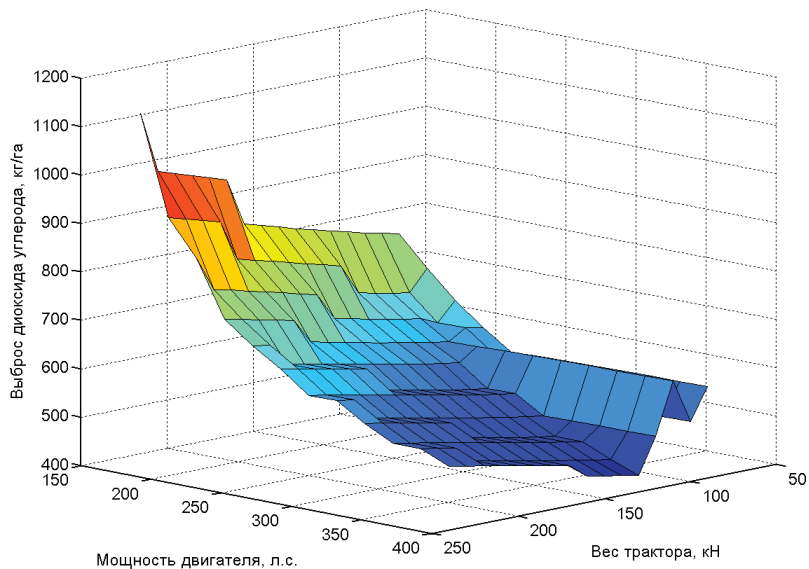


Рис. 2. Зависимость выброса диоксида углерода от основных параметров трактора на вспашке

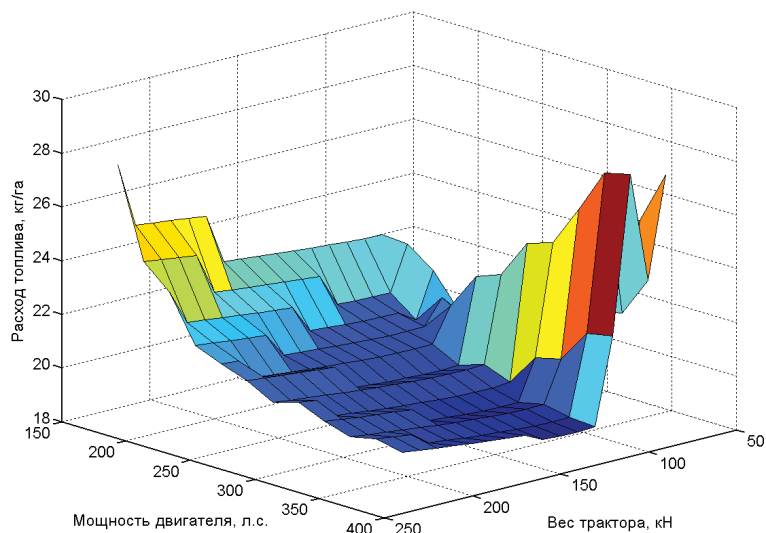


Рис. 3. Зависимость погектарного расхода топлива на вспашке от основных параметров трактора

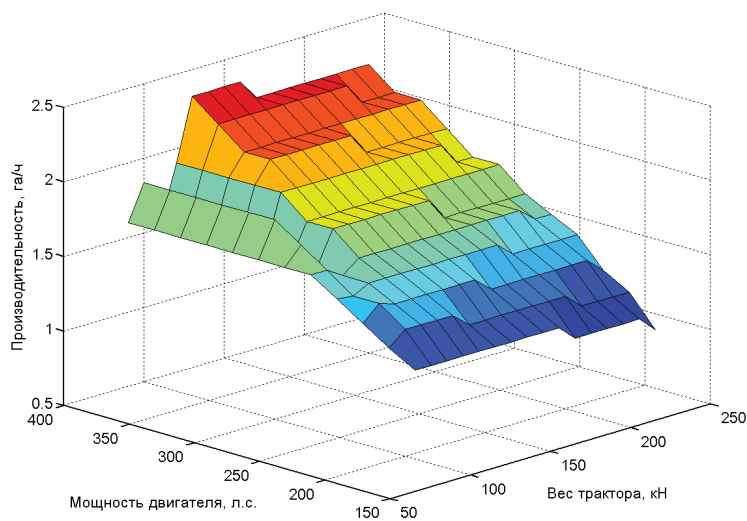


Рис. 4. Изменение производительности пахотного агрегата с изменением основных параметров трактора



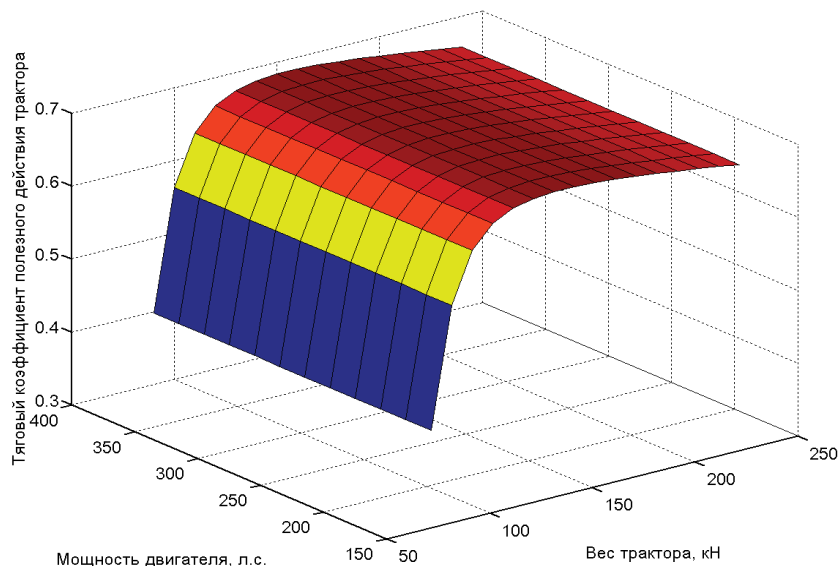


Рис. 5. Зависимость тягового КПД трактора на вспашке от основных параметров трактора

при весе 110 кН и мощности двигателя 266 л.с. Отсюда вытекает, что для экономии суммарных энергетических затрат с учетом энергии теряемого урожая трактору не обязательно работать с максимальным тяговым КПД, как требуется в классической теории трактора и даже не обязательно обеспечивать минимальные энергозатраты через топливо.

Как и предполагалось из наших предыдущих исследований [7–9], при проведении оптимизации параметров и режимов работы машинно-тракторных агрегатов (МТА) на технологических операциях, необходимо использовать объективные, комплексные, системные критерии оптимизации, какими являются критерии – суммарные энергетические затраты и минимальный выброс диоксида углерода при изготовлении и эксплуатации МТА.

**Заключение.** Вычислительные эксперименты, проведенные с использованием математических моделей машинно-тракторных агрегатов, составленных с использованием различных критериев оптимизации параметров и режимов их работы, показали, что не по всем критериям оптимизации значения параметров пахотного агрегата совпадают.

Для заданных условий работы агрегатов полностью совпали оптимальные параметры трактора и пахотного агрегата по критериям оптимизации: минимальные прямые и косвенные суммарные затраты энергии с учетом энергии теряемого урожая; минимальный выброс диоксида углерода на стадиях изготовления и эксплуатации с учетом количества диоксида углерода, которое мог бы поглотить из атмосферы, теряемый, в ходе работы агрегата, урожай культур; максимальная производительность агрегата за один час времени смены и составили – вес трактора 130 кН, мощность двигателя 398 л.с., ширина захвата агрегата 5,25 м, рабочая скорость 7,5 км/ч. Причина совпадения – необходимость обеспечения агрегатом максимальной производительности в том числе и для снижения потерь урожая от нарушения агротехнических сроков проведения вспашки.

По критериям оптимизации минимальный погектарный расход топлива и максимальное тяговое КПД трактора оптимальные значения параметров агрегата по величине меньше, т.к. они не связывают параметры трактора с формируемым урожаем культур.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уштык, Д. В. Критерии оптимизации параметров почвообрабатывающих агрегатов и тракторов // Ресурсосберегающие технологии в агропромышленном комплексе России: материалы II Междунар. науч. конф. Красноярск, 2022. С. 322–326.
2. Дементьев А. М. Обеспечение энергосбережения в технологических процессах обработки почвы путем оптимального проектирования комбинированных агрегатов блочно-модульной структуры: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2011. 19 с.



3. Погуляев, Ю. Д. Повышение производительности машинно-тракторных агрегатов на основе оптимального и квазиоптимального управления энергетическими режимами: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Челябинск, 2006. 39 с.
4. Филин А. В., Филин В. А. Выбор машинно-тракторных агрегатов по максимуму производительности и минимуму эксплуатационных затрат // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: межвуз. сб. науч. трудов. Саранск, 2016. С. 235–237.
5. Никифоров А. Г., Алексеев А. В. Сравнительный анализ методик оценки эффективности машинно-тракторных агрегатов на примере пахотных работ // Научное и техническое обеспечение АПК, состояние и перспективы развития: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. Омск, 2018. С. 110–113.
6. Сироткин С. А., Кельчевская Н. Р. Приведенные затраты: Есть ли будущее? // Вестник УГТУ-УПИ. Серия: Экономика и управление. 2008. № 3. С. 12–18.
7. Хафизов К. А. Оптимизация параметров и режимов работы МТА на основе энергетического анализа // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2006. № 7. С. 32–34.
8. Хафизов К. А., Хафизов Р. Н. Определение количества техники, необходимой для сельского хозяйства Татарстана // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2015. Т. 10. № 1(35). С. 82–88. DOI 10.12737/11384.
9. Khafizov C., Khafizov R., Nurmiev A., Galiev I. Optimization of main parameters of tractor and unit for plowing soil, taking into account their influence on yield of grain crops // Engineering for Rural Development: 19, Jelgava, 20–22 мая 2020 года. Jelgava, 2020. P. 585-590. DOI 10.22616/ERDev.2020.19.TF131.

## REFERENCES

1. Ushtyk, D. V. Criteria for optimizing the parameters of tillage machines and tractors. / *Resource-saving technologies in the agro-industrial complex of Russia*. Krasnoyarsk, 2022: 322–326.
2. Dementiev, A. M. Ensuring energy saving in technological processes of tillage by optimal design of combined units of block-modular structure. SPb., 2011. 19 p.
3. Pogulyaev, Yu. D. Improving the productivity of machine-tractor units based on optimal and quasi-optimal control of energy modes. Chelyabinsk, 2006. 39 p.
4. Filin A. V., Filin V. A. Selection of machine-tractor units for maximum productivity and minimum operating costs. *Energy-efficient and resource-saving technologies and systems: interuniversity*. Saransk, 2016: 235–237.
5. Nikiforov A. G., Alekseev A. V. Comparative analysis of methods for evaluating the efficiency of machine-tractor units on the example of arable work. *Scientific and technical support of the agro-industrial complex, state and development prospects*. Omsk, 2018: 110–113.
6. Sirotkin S. A., Kelchevskaya N. R. Reduced costs: Is there a future? *Vestnik USTU-UPI. Series: Economics and Management*. 2008; 3: 12–18.
7. Khafizov K. A. Optimization of parameters and modes of operation of MTA based on energy analysis. *Tractors and agricultural machines*. 2006; 7: 32–34.
8. Khafizov K. A., Khafizov R. N. Determining the amount of equipment needed for agriculture in Tatarstan. *Bulletin of the Kazan State Agrarian University*. 2015; 10; 1(35): 82–88. DOI 10.12737/11384.
9. Khafizov C., Khafizov R., Nurmiev A., Galiev I. Optimization of main parameters of tractor and unit for plowing soil, taking into account their influence on yield of grain crops. *Engineering for Rural Development: 19, Jelgava, May 20–22, 2020*. Jelgava, 2020: 585–590. DOI 10.22616/ERDev.2020.19.TF131.

Статья поступила в редакцию 16.08.2022; одобрена после рецензирования 22.09.2022; принята к публикации 5.10.2022.

The article was submitted 16.08.2022; approved after reviewing 22.09.2022; accepted for publication 5.10.2022.

