

Лабораторно-полевые исследования тяговой способности экспериментального малогабаритного машинного агрегата с автоматической бесступенчатой трансмиссией

Д.А. Милько^{1а}, В.В. Панина^{1b}, А.В. Голаган^{1с}, К.С. Малий^{1d}, И.С. Должиков^{2е}, О.А. Куницкая^{3f}

¹ Мелитопольский государственный университет, проспект Б. Хмельницкого, д. 18, Мелитополь, Россия

² Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2-я Красноармейская ул., д. 4, Санкт-Петербург, Россия

³ Арктический государственный агротехнологический университет, ш. Сергеляхское, 3 км, д. 3, Якутск, Россия

^а milkodmitry@gmail.com, ^б valeri_arsen@mail.ru, ^с alexgolagan@yandex.ru, ^д mr.isidind@yandex.ru,

^е idolzhikov222@mail.ru, ^ф ola.ola07@mail.ru

^а <https://orcid.org/0000-0002-0991-1930>, ^б <https://orcid.org/0000-0001-9623-516X>,

^с <https://orcid.org/0009-0008-2487-2811>, ^д <https://orcid.org/0009-0000-7949-8697>,

^е <https://orcid.org/0000-0002-2738-0483>, ^ф <https://orcid.org/0000-0001-8542-9380>

Статья поступила 20.10.2025, принята 21.11.2025 .

Фермерские хозяйства по своему назначению можно разделить на животноводческие, растениеводческие и производящие как продукцию животноводства, так и растениеводства. При этом перспективными можно считать последние, т. к. в них можно использовать дополнительную животноводческую продукцию – навоз, в качестве высококачественного органического удобрения. Правильное составление графика работы машинных агрегатов позволяет эффективно их эксплуатировать, сочетая работу в животноводстве и растениеводстве. Для повышения производительности труда и снижения физических нагрузок в малых сельскохозяйственных предприятиях целесообразнее использовать универсальные машины. Это утверждение также верно и для лесного хозяйства, например, для лесных питомников, особенно занимающихся выращиванием посадочного материала с закрытой корневой системой. При этом можно значительно сократить количество машин, а значит амортизационные отчисления, затраты на ремонт и техническое обслуживание уменьшатся, что приведёт к снижению себестоимости продукции. В статье рассматриваются вопросы создания экспериментального малогабаритного машинного агрегата малого класса 0,2 для крестьянских (фермерских) хозяйств, который целесообразно использовать в малых сельскохозяйственных предприятиях, с целью большей загруженности техники в работе. В работе проанализирована работа силового агрегата со ступенчатой и бесступенчатой трансмиссиями. Приведено планирование экспериментальных исследований малогабаритного машинного агрегата, выбраны три основных фактора, обуславливающие тяговые показатели. Экспериментальные исследования работы образца проводились согласно некомпозиционному плану второго порядка для трёх факторов. Результаты экспериментов показали, что при минимальном часовом расходе топлива $G_{\text{min}} = 0,74$ кг/ч сила тяги составит $F_m = 220,553$ Н, а при максимальном $G_{\text{max}} = 2,07$ кг/ч – $F_m = 1747$ Н.

Ключевые слова: малогабаритный трактор; электротрактор; машинно-тракторные агрегаты; расход топлива; сила тяги.

Laboratory and field studies of the traction capacity of an experimental small-sized machine unit with an automatic continuously variable transmission

D.A. Milko^{1а}, V.V. Panina^{1b}, A.V. Golagan^{1с}, K.S. Maliy^{1d}, I.S. Dolzhikov^{2е}, O.A. Kunitskaya^{3f}

¹ Melitopol State University; 18, B. Khmel'nitsky Ave., Melitopol, Russia

² St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering; 4, 2nd Krasnoarmeyskaya St., St. Petersburg, Russia

³ Arctic State Agrotechnological University; 3 km, Bld. 3, Sergelyakhskoye Highway, Yakutsk, Russia

^а milkodmitry@gmail.com, ^б valeri_arsen@mail.ru, ^с alexgolagan@yandex.ru, ^д mr.isidind@yandex.ru,

^е idolzhikov222@mail.ru, ^ф ola.ola07@mail.ru

^а <https://orcid.org/0000-0002-0991-1930>, ^б <https://orcid.org/0000-0001-9623-516X>,

^с <https://orcid.org/0009-0008-2487-2811>, ^д <https://orcid.org/0009-0000-7949-8697>,

^е <https://orcid.org/0000-0002-2738-0483>, ^ф <https://orcid.org/0000-0001-8542-9380>

Received 20.10.2025, accepted 21.11.2025

According to their purpose, farms can be divided into livestock, crop production, and producing both livestock and crop production. At the same time, the latter can be considered promising, since they can use additional livestock products – manure, as a high-quality organic fertilizer. Proper scheduling of machine units allows them to be operated efficiently, combining work in animal husbandry and crop production. To increase productivity and reduce physical exertion in small agricultural enterprises, it is more appropriate to use universal machines. This statement is also true for forestry, for example, for forest nurseries, especially those involved in the cultivation of planting material with a closed root system. At the same time, the number of machines can be significantly reduced, which means that depreciation, repair and maintenance costs will decrease, which will lead to lower production costs. The article discusses the issues of creating an experimental small-sized machine unit of small class 0,2 for peasant (farm) households, which is advisable to use in small agricultural enterprises in order to increase the workload of machinery in operation. The work analyzes the operation of a power unit with a stepped and continuously variable transmission. The planning of experimental studies of a small-barite machine unit is given, three main factors determining traction characteristics are selected. Experimental studies of the work of the sample are carried out according to a second-order non-positional plan for three factors. The experimental results show that with minimum hourly fuel consumption of $G_{\min} = 0,74$ kg/h, the thrust force will be $F_m = 220,553$ N, and with maximum $G_{\max} = 2,07$ kg/h, $F_m = 1747$ N.

Keywords: small-sized tractor; electric tractor; machine tractor units; fuel consumption; traction force.

Введение. В настоящее время в Российской Федерации на 1 января 2023 года зарегистрировано 38 832 сельскохозяйственных организаций, из них 5714 – малые, 23 972 – микропредприятия [1]. За последние годы сельское хозяйство развитых стран (с рыночной экономикой) стало отраслью индустриального товарного производства. Эта отрасль функционирует за счёт использования современной техники и прогрессивных технологий. Сельское хозяйство таких стран характеризуется формированием международной системы агробизнеса. Эта система объединяет сельское хозяйство, отрасли промышленности и соответствующие сферы торговли. Низкая эффективность отечественных крестьянских (фермерских) хозяйств обусловлена ростом цен на технику, недостатком материальной поддержки, риска самостоятельного ведения хозяйств в условиях роста цен на горюче-смазочные материалы. Использование серийно выпускаемых мощных машинных агрегатов в крестьянских (фермерских) хозяйствах нерационально и ведёт к резкому увеличению затрат, поэтому необходимо производство малогабаритных машинных агрегатов (ММА) с навесным и прицепным оборудованием [2].

Это же справедливо и для предприятий и организаций лесного хозяйства, предпринимателей, осуществляющих малообъёмное лесопользование. В которых мощная, дорогостоящая техника не имеет шансов на окупаемость, ввиду малых объёмов и ярко выраженной сезонности работ.

В лесном хозяйстве ММА могут эффективно использоваться, прежде всего, в лесных питомниках, особенно в питомниках для выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой (ЗКС), при проведении ухода за посадками, в т. ч. внесении удобрений, для доставки сил и средств пожаротушения, при лесопожарном патрулировании, в лесопромышленном производстве, при заготовке пищевых и лекарственных лесных растений, при проведении первых рубок ухода за лесом, для доставки сборно-разборных элементов дорожных конструкций временных лесных дорог, создании и эксплуатации небольших по площади лесных плантаций, при малообъёмных работах по искусственному лесовосстановлению, а также при выполнении работ по комбинированному лесовосстановлению. На этих работах

ММА могут обеспечить не только высокую эффективность, но требуемый уровень эргономики и безопасности выполнения работ [3–13].

Основные требования, предъявляемые к ММА, сформулированы В.В. Бурковым [2], которые целесообразно дополнить следующими:

1. Возможность автоматизации процесса переключения передач с бесступенчатым регулированием скорости.
2. Высокая ремонтпригодность и надёжность при эксплуатации в условиях частного сектора.
3. Снижение расхода топлива в сравнении с серийными ММА.
4. Возможность применения электронных систем управления скоростью и силовым режимом работы.
5. Равномерное распределение нагрузки на передний и задний мосты ММА.
6. Для полноприводных машинных агрегатов возможность отключения одного или обоих мостов.
7. ММА должны быть снабжены системами контроля за работой силового агрегата, осветительными приборами по действующим стандартам.

Повышение производительности ММА возможно за счёт использования более полной загрузки силового агрегата. При выполнении сельскохозяйственных операций машинными агрегатами со ступенчатой механической трансмиссией невозможно использование полной мощности двигателя (недогрузка 60–80 %), что ведёт к ухудшению топливной экономичности (на 5–25 %). Улучшение тягово-динамических и эксплуатационных показателей ММА возможно за счёт применения в их трансмиссиях бесступенчатых передач.

В качестве бесступенчатых трансмиссий на современных ММА применяют гидромеханические, гидрообъёмные, электрические, электромеханические передачи и вариаторы. Применение бесступенчатых передач даёт возможность [14–22]:

- при разнообразных условиях работы ММА более полно использовать мощность двигателя;
- повысить производительность ММА;
- улучшить манёвренность ММА, повысить разгонную динамику;
- предохранить рабочие органы ММА от перегрузки и забивания;

– позволяет применить автоматическое регулирование поступательной скорости ММА в зависимости от загрузки рабочих органов;

– позволяет регулировать рабочую скорость при переменной мощности и переменном крутящем моменте.

За счёт использования бесступенчатого регулирования производительность многих механизмов машинного агрегата может быть увеличена.

Бесступенчатая трансмиссия даёт возможность плавно изменять крутящий момент и возможность полной загрузки двигателя при любых режимах эксплуатации. Она позволяет обеспечить режим минимальных токсичных выхлопов за счёт изменения передаточного числа [22].

В работе [23] Ю.М. Мартыхин доказывает, что для снижения выбросов CO_2 необходимо, чтобы двигатель работал с коэффициентом избытка воздуха близким к единице, что достигается бесступенчатым регулированием.

Материалы и методы исследования. Так низшая основная скорость при работе машинного агрегата с но-

минальной силой тяги на крюке обеспечивает полную загрузку двигателя на номинальную величину крутящего момента двигателя [24, 25]. Высшая основная скорость используется при работе ММА с минимальной силой тяги на крюке и при этом допускается недогрузка двигателя.

Подробный анализ и методика согласования характеристик двигателя и параметров автоматической бесступенчатой трансмиссии сделаны Г.П. Деруновым [24] применительно к снегоходу. Но условия эксплуатации снегоходов и ММА сельскохозяйственного назначения принципиально отличаются.

Так как большинство сельскохозяйственных операций совершается на основных передачах, а значит, исполнительные органы работают на основных скоростях, то и график параметров трансмиссий строится для этих значений. При ступенчатом регулировании скорости (рис. 1) точки *a*, *b*, *c* соответствуют номинальному значению угловой скорости, а точки *a'*, *b'*, *c'* – минимальной угловой скорости коленчатого вала двигателя.

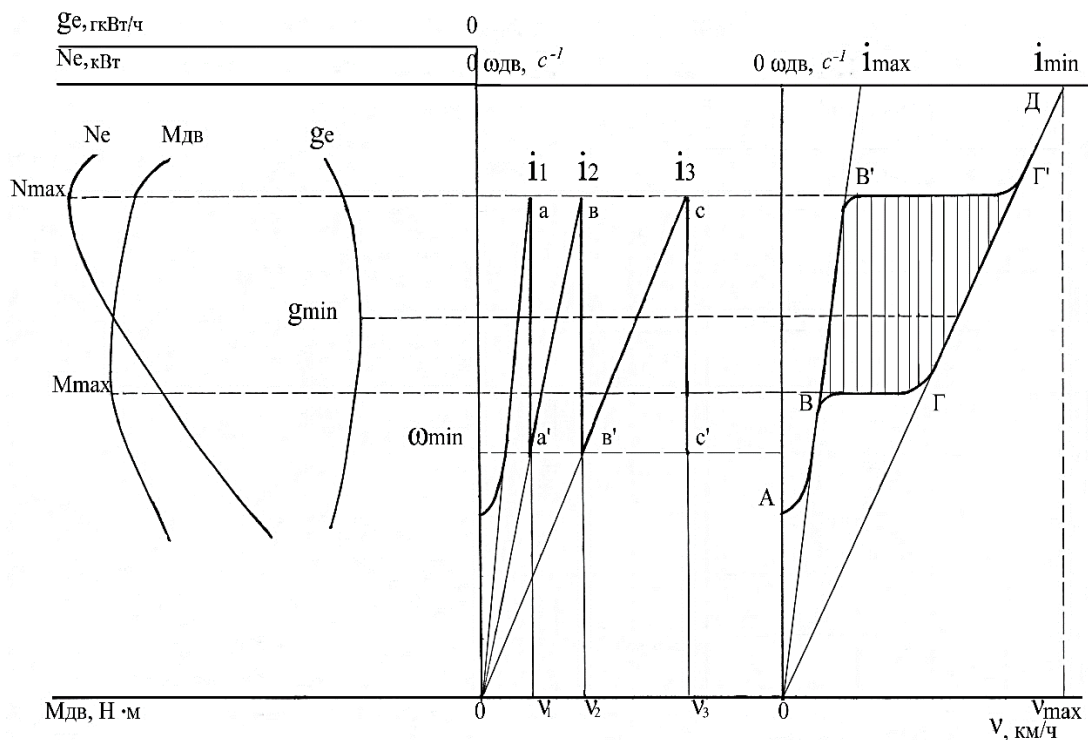


Рис. 1. Анализ работы силового агрегата со ступенчатой и бесступенчатой трансмиссиями: g_e – удельный расход топлива; N_e – эффективная мощность; v – скорость движения ММА

При разгоне машинного агрегата от скорости v_1 до v_3 неоднократно изменяется угловая скорость коленчатого вала от минимальной до номинальной, следовательно, меняются и остальные характеристики, что не позволяет оптимизировать процесс. Увеличение или уменьшение скорости ММА сопровождается не только изменением угловой скорости коленчатого вала двигателя, но и переключением скоростей коробки перемены передач, следовательно, снижается долговечность, как деталей двигателя, так и трансмиссии.

Использование бесступенчатой трансмиссии позволяет получить любые скорости движения машинного агрегата без разрыва потока мощности. Бесступенчатое регулирование скорости даёт возможность нагружать

двигатель на режим близкий к номинальному. Это преимущество бесступенчатой передачи по сравнению со ступенчатой возможно при наличии устройства, изменяющего автоматически передаточное число трансмиссии в зависимости от частоты вращения коленчатого вала двигателя и тягового сопротивления [25–27].

Примером бесступенчатой трансмиссии может служить автоматический клиноременный вариатор (АКВ). Так при определённой настройке трансмиссии перестройка с максимального передаточного числа на минимальное может происходить при максимальном крутящем моменте (по кривой ВГ) или (по кривой ВГ') с использованием максимальной мощности.

Применение ступенчатых передач в трансмиссиях приводит к работе двигателя на переходных режимах, что повышает токсичность выбросов. Только при скоростях v_1, v_2, v_3 она будет минимальна, а при меньших скоростях увеличивается. При бесступенчатом регулировании скорости, когда изменение передаточного отношения происходит практически при постоянных оборотах двигателя, можно добиться и снижения токсичных выбросов. Ю.М. Мартыхин [23] предполагает, что за счёт применения автоматических бесступенчатых трансмиссий с АКВ возможно трёх-, пятикратное снижение выбросов окиси углерода по сравнению со ступенчатыми передачами.

АКВ в трансмиссии ММА оптимизирует систему, но т. к. передаваемый ремнем вариатора момент определяется величиной осевой силы на ведущем шкиве и изменяется по той же зависимости, а теоретический расчёт даёт значительную погрешность (до 20 %) [24, 26], необходимо обязательное согласование работы АКВ и силового агрегата на реальной машине с конкретным двигателем.

Для реализации поставленной цели был разработан экспериментальный малогабаритный машинный агрегат особо малого класса, с тяговой способностью 0,2 кН. Согласно рекомендациям [27], максимальная рабочая и максимальная транспортная скорости экспериментального малогабаритного машинного агрегата должны соответственно быть 6 и 15 км/ч, масса до 500 кг $\pm 15\%$ и мощность силового агрегата до 10 кВт.

При проведении полевых испытаний применяется активный (многофакторный) эксперимент, в котором уровни факторов для каждого опыта заданы исследователем [28, 29].

Было принято решение – в полевых исследованиях остановиться на трёх основных факторах, обуславливающих тяговые показатели:

1. Степень открытия дроссельной заслонки карбюратора, Θ .
2. Масса агрегируемого груза, m .
3. Почвенный фон с коэффициентом сопротивления качению, f .

Значения этих факторов выбирались из следующих соображений:

– минимальное открытие дроссельной заслонки карбюратора двигателя Θ принималось равным 30° , что соответствует номинальной мощности силового агрегата, а максимальное открытие дроссельной заслонки Θ – максимальной мощности двигателя (90°);

– минимальная масса агрегируемого груза равнялась массе прицепа ($m = 210$ кг), а максимальная масса, агрегируемого груза для данного класса тракторов $m = 1100$ кг;

– почвенный фон согласно ГОСТ 30745-2001 (ИСО 789-9-90) [30] асфальтированное шоссе с коэффициентом сопротивления качению $f = 0,02$, поле под посев $f = 0,18$, стерня колосовых $f = 0,10$.

Участок для исследований горизонтальный, с ровным микрорельефом (допускается уклон не более $0,5\%$), влажность почвы 17–18 % (с указанием предшествующей культуры и обработки почвы в предыдущем и текущем годах, а также имеющийся растительный покров).

Длина зачётного участка между вешками, указывающими начало и конец опыта, зависела от требуемой точности результатов исследований, определяющей продолжительность опыта.

Испытания проводились при атмосферном давлении не менее 96,6 МПа и температуре окружающего воздуха $20 \pm 1,5^\circ\text{C}$.

В качестве почвенного фона – стерня, принималась почва средней плотности (лушенная стерня озимой пшеницы после очистки поля от соломы). Для фона, почва, подготовленная под посев, типична почва с малой плотностью (2–3 дня после культивации, но не позднее чем через 10 дней, т. к. произойдёт уплотнение почвы). Для фона – асфальтовое шоссе, зачётный участок очищается от пыли, через промывку водой. Затем дают полностью просохнуть для обеспечения хорошего и устойчивого сцепления с асфальтом.

Уровни факторов и интервалы варьирования приведены в табл. 1.

Таблица 1. Уровни переменных и интервалы варьирования факторов

Факторы	Уровни переменных			Интервалы	Размерность
	–1 (–)	0	+1 (+)		
$x_1 = \Theta$	30	60	90	30	град
$x_2 = m$	210	655	1100	445	кг
$x_3 = f$	0,02	0,10	0,18	0,08	

При кодировании факторов, имеющих два уровня, верхний уровень обозначается (+1), а нижний (–1). Так как в данном эксперименте реализуются все возможные сочетания уровней факторов, его называют полным факторным экспериментом вида [30]:

$$N = \phi^k, \quad (1)$$

где ϕ – число уровней каждого фактора, $\phi = 2$; k – число факторов, $k = 3$.

Для уменьшения влияния случайных погрешностей каждый опыт должен дублироваться s раз. Дублирование необходимо для определения достоверных экспериментальных данных с показателем точности 95 %. Для определения числа повторов экспериментов производились предварительные экспериментальные наблюдения с большим количеством одинаковых опытов, результатом которых является выявление параметра с наибольшим коэффициентом вариации:

$$g = \frac{100 \cdot \sigma}{A}, \quad (2)$$

где σ – среднеквадратичное отклонение параметра; A – среднеарифметическое значение параметра.

Для числа факторов равных трем рассматривается ценный в практическом отношении класс некомпозиционных планов второго порядка. Этот план представляет собой определённые выборки строк из полного факторного эксперимента типа 3^k (табл. 2).

Таблица 2. Матрица планирования эксперимента

Номер опыта	Уровни переменных					
	x_1		x_2		x_3	
	Код.	Натур.	Код.	Натур.	Код.	Натур.
1	+	90	+	1100	0	0,10
2	+	90	–	210	0	0,10
3	–	30	+	1100	0	0,10
4	–	30	–	210	0	0,10
5	0	60	0	655	0	0,10
6	+	90	0	655	+	0,18
7	+	90	0	655	–	0,02
8	–	30	0	655	+	0,18
9	–	30	0	655	–	0,02
10	0	60	0	655	0	0,10
11	0	60	+	1100	+	0,18
12	0	60	+	1100	–	0,02
13	0	60	–	210	+	0,18
14	0	60	–	210	–	0,02
15	0	60	0	655	0	0,10

В этих планах каждая переменная варьируется всего на трёх уровнях: +1, 0, –1, в то время как центральные композиционные ротatable планы второго порядка предусматривают использование каждого фактора на пяти уровнях. Использование некомпозиционных планов, предусматривающих всего три уровня варьирования факторов, упрощает и удешевляет проведение эксперимента.

Схема некомпозиционного плана второго порядка для трёх факторов изображена в табл. 2. Этот план предусматривает проведение пятнадцати опытов. В центре плана, т. е. при нахождении всех факторов на нулевых уровнях ($X_1 = X_2 = X_3 = 0$), предусмотрено проведение трёх опытов (опыты 5, 10, 15).

После того как выбран план эксперимента, основные уровни и интервалы варьирования факторов переходят непосредственно к проведению опытов. Условия опыта записаны в матрице, но во избежание систематических ошибок рекомендуется проводить их в случайной последовательности. Порядок этой последовательности следует выбирать по таблице случайных чисел, реализация опытов приведена в табл. 3 [30, 31]

$$Y_{Gm} = 1,8777 - 0,033\Theta - 0,002m - 5,625f + 0,00001\Theta m + 0,0708\Theta f + 0,0065mf + 0,0002\Theta^2 + 0,000002m^2 + 11,344f^2, \quad (4)$$

Таблица 3. Схема проведения опытов

Номер опыта в матрице	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Порядок реализации опытов	7	2	14	15	8	3	9	1	4	10	11	13	12	5	6

Анализ закономерностей влияния варьируемых факторов на тяговую способность агрегата и часовой расход топлива осуществляется изучением парных взаимодействий двух факторов с фиксацией третьего на постоянном уровне. Этот анализ можно сделать с помощью семейства кривых двухмерных сечений поверхности от-

Необходимое количество дублирования опытов определяется по формуле

$$n_k = \frac{g^2}{p^2}, \quad (3)$$

где p – показатель точности, $p = 95\%$.

По расчётам количество дублей опытов $n_k = 4$.

Результаты исследования. Принимая во внимание эксперименты, проведённые в рамках рассматриваемого непозиционного плана, можно определить коэффициенты уравнения регрессии. Коэффициенты уравнения определяются с использованием метода наименьших квадратов.

Результатом обработки полученных экспериментальных данных стали уравнения регрессии, показывающие влияние значимых факторов на часовой расход топлива Y_{Gm} и силу тяги Y_{Fm} .

Уравнение регрессии для часового расхода топлива имеет следующий вид:

клика или в трёхмерном пространстве плоскостями, позволяющими судить об изменении величины исследуемой функции в зависимости от принятых факторов [30].

Графическая интерпретация уравнения регрессии для часового расхода топлива Y_{Gm} показана на рис. 2.

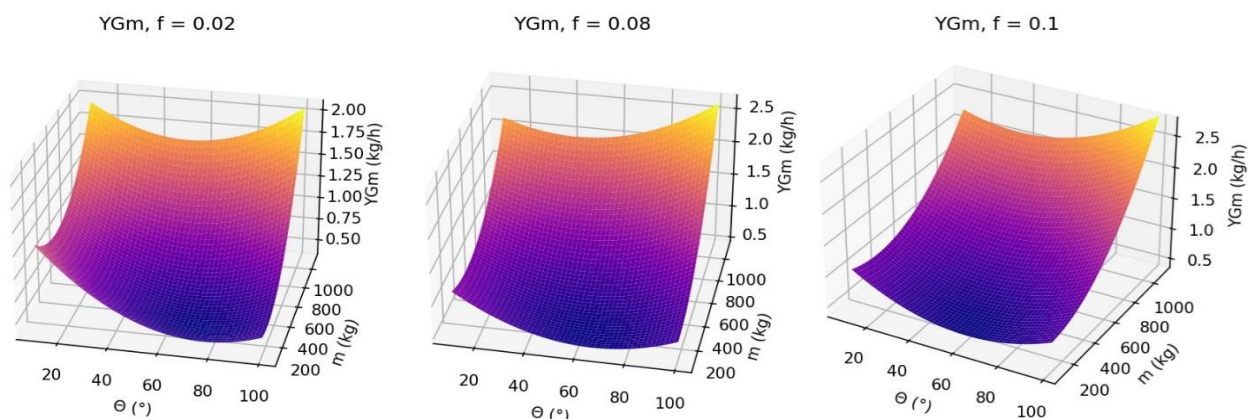


Рис. 2. Графическая интерпретация уравнения регрессии для часового расхода топлива Y_{Gm} при коэффициентах сопротивления качению асфальтированное шоссе $f = 0,02$, поле для посева $f = 0,8$, стерня колосовых $f = 0,10$

Уравнение регрессии для тяги выглядит следующим образом:

$$Y_{Fm} = 7,13261 - 0,05866\Theta - 0,0119m - 5,4775f + 0,00015\Theta m + 9,93679mf + 1,14583\Theta f + 312,5f, \quad (5)$$

Графическая интерпретация уравнения регрессии для тягового усилия Y_{Fm} показана на рис. 3.

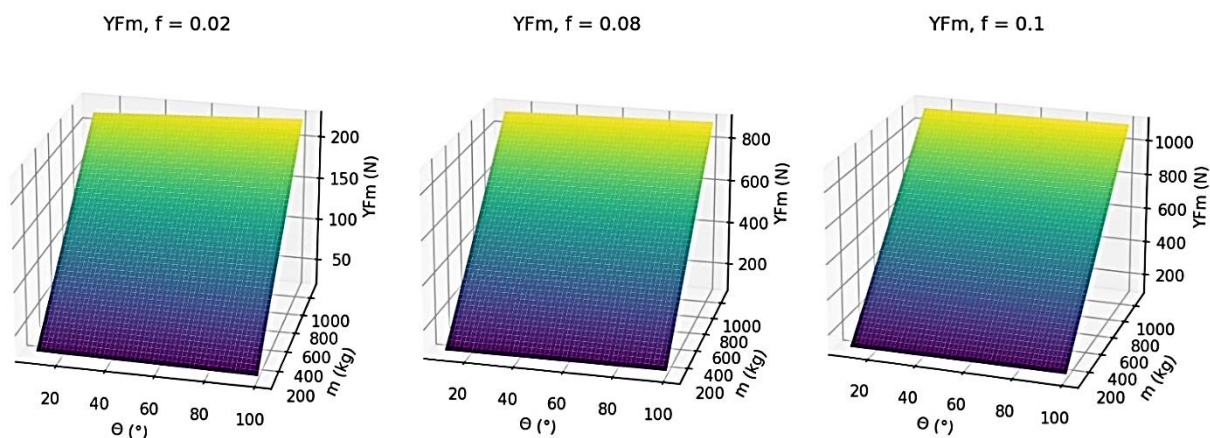


Рис. 3. Графическая интерпретация уравнения регрессии для тягового усилия Y_{Fm} с коэффициентами сопротивления качению: асфальтированное шоссе $f = 0,02$, поле для посева $f = 0,8$, стерня колосовых $f = 0,10$

Анализ закономерностей влияния переменных факторов на тяговую способность агрегата и почасовой расход топлива осуществляется путём изучения парных взаимодействий двух факторов с фиксацией третьего на постоянном уровне. Этот анализ может быть проведён с использованием семейства кривых двумерных поперечных сечений поверхности отклика или в трёхмерном пространстве с плоскостями, которые позволяют нам судить об изменении величины исследуемой функции в зависимости от принятых факторов. Анализ полученных графиков показывает, что при минимальном часовом расходе топлива $G_{min} = 0,74$ кг/ч сила тяги составит $F_m = 220,553$ Н, а при максимальном $G_{max} = 2,07$ кг/ч, $F_m = 1747$ Н [31].

Выводы. Использование универсальных средств малой механизации в крестьянских (фермерских) хозяй-

ствах, в малообъёмных лесозаготовительных предприятиях и организациях лесного хозяйства снижает трудовые затраты от 2 до 14 раз, при этом затраты на заработную плату уменьшаются от 1,5 до 10 раз по сравнению с немеханизированным трудом.

Создание адаптивной системы «двигатель – трансмиссия – рабочие органы» повышает эффективность работы ММА за счёт более полного использования возможностей двигателя и трансмиссии.

Применение в малогабаритных машинных агрегатах автоматических бесступенчатых трансмиссий с клиноременным вариатором позволяет существенно снизить влияние оператора на процесс управления, упростить его.

Исследования выполнены в рамках проекта РНФ № 25-26-00080 «Мини-электро-трактор».

Литература

1. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. – www.rosstat.gov.ru. (дата обращения: 13.02.2025).
2. Бурков В.В., Зикун Е.П., Иовлев М.Е., Ткешелашвили Н.Н. Мини-тракторы/ под общей ред. В.В.Буркова. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. – 270 с.
3. Григорьева О.И., Нгуен Ф.З. Перспективная техника для проведения рубок ухода за лесом // Леса России: политика, промышленность, наука, образование : мат-лы науч.-техн. конф. 2016. С. 112–114.
4. Григорьева О.И., Панарин А.О. Перспективные пути повышения эффективности рубок ухода в молодняках // Актуальные проблемы лесного хозяйства и деревопереработки. Мат-лы Всерос. науч.-практ. конф. Под редакцией Ю.М. Казакова [и др.]. Казань, 2023. С. 70–73.
5. Лоренц А.С., Григорьев И.В., Григорьева О.И., Рябухин П.Б. Исследование применения иглофильтров в составе вакуумных установок для повышения эффективности борьбы с лесными пожарами // Системы. Методы. Технологии. 2023. № 4 (60). С. 124–129.
6. Григорьева О.И., Лоренц А.С., Григорьев И.В. Охрана труда и техника безопасности при эксплуатации иглофилтратционной установки для тушения лесных пожаров // Безопасность и охрана труда в лесозаготовительном и деревообрабатывающем производствах. 2023. № 1. С. 37–43.
7. Зорин М.В., Григорьев И.В., Григорьева О.И. Безопасность и охрана труда при строительстве временных лесных дорог и технологических коридоров из пластиковых сборно-разборных покрытий // Безопасность и охрана труда в лесозаготовительном и деревообрабатывающем производствах. 2023. № 2. С. 37–52.
8. Курочкин П.А., Григорьев И.В., Григорьева О.И. Разработка новых методических подходов к проектированию специальной техники и оборудования с учетом рисков в области безопасности труда и влияния человеческого фактора (на примере инвестиционных проектов по освоению лесов) // Безопасность и охрана труда в лесозаготовительном и деревообрабатывающем производствах. 2023. № 5. С. 20–28.
9. Григорьева О.И., Макуев В.А., Барышникова Е.В., Бурмирова О.Н., Швецова В.В., Григорьев И.В., Иванов В.А. Перспективы импортозамещения систем машин для искусственного лесовосстановления // Системы. Методы. Технологии. 2022. № 3 (55). С. 78–84.
10. Григорьев И.В., Григорьева О.И. Мини-тракторы и райдеры в садово-парковом хозяйстве // Транспортные и транспортно-технологические системы. Мат-лы Междунар. науч.-техн. конф. Отв. редактор Н.С. Захаров. 2020. С. 122–125.
11. Григорьев И.В., Григорьева О.И. Правила техники безопасности при тушении лесных пожаров // Безопасность и охрана труда в лесозаготовительном и деревообрабатывающем производствах. 2022. № 1. С. 21–33.
12. Сафин Р.Р., Григорьев И.В., Григорьева О.И., Разумов Е.Ю. Основы лесного хозяйства. М. : Изд-во журнала Деревообрабатывающая промышленность, 2015. – 170 с.
13. Григорьева О.И., Нгуен Ф.З. Лесные плантации для сырьевого обеспечения деревоперерабатывающих предприятий // Повышение эффективности лесного комплекса. Мат-лы третьей Всерос. науч.-практ. конф. с международным участием. 2017. С. 59–61.
14. Григорьев И.В., Григорьева О.И. Общие методические вопросы эргономической оценки системы «оператор – производственная среда – машина» // Безопасность и охрана труда в лесозаготовительном и деревообрабатывающем производствах. 2022. № 5. С. 17–22.
15. Шарипов В.М. Конструирование и расчёт тракторов : учебник. М. : Машиностроение, 2009. 752 с.
16. Дидиков Р.А., Добрецов Р.Ю., Галышев Ю.В. Варианты кинематической схемы двухпоточной трансмиссии перспективного трактора с автоматизированной коробкой передач // Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы: Мат-лы VI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвященной 70-летию Рубцовского индустриального ин-та, Рубцовск, 24–25 ноября 2016 г. / под ред. О.А. Михайленко, Г.А. Обуховой. Рубцовск : Рубцовский индустриальный ин-т, 2016. С. 113–120.
17. Ключников А.В. Тенденции развития трансмиссий колесных тракторов / А.В. Ключников // Техника и оборудование для села. 2012. № 1 (175). С. 43–47.
18. Тракторы XXI века: состояние и перспективы / С.Н. Поддубко [и др.]. Минск : Беларусь. наука, 2019. 207 с.
19. Щельцын Н.А. Современные бесступенчатые трансмиссии с.-х. тракторов / Н.А. Щельцын, Л.А. Фрумкин, И.В. Иванов // Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 11. С. 18–26.
20. Иванов Н.А. Модульно-блочное проектирование лёгких вездеходов / Н.А. Иванов // Актуальные проблемы лесного комплекса / Под ред. Е. Памфилова. Сборник научных трудов по итогам Междунар. науч.-техн. конф. Выпуск 11. Брянск : БГИТА. 2005. – С. 22–25.
21. Шарипов В.М. Проектирование механических, гидромеханических и гидрообъемных передач тракторов / В.М. Шарипов. М. : МГТУ «МАМИ», 2002. 300 с.
22. Добрецов Р.Ю., Григорьев И.В. Перспективные трансмиссии лесных гусеничных машин // Повышение эффективности лесного комплекса : мат-лы IV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (22–23 мая 2018 г.). Петрозаводск, 2018. С. 57–58.
23. Мартыхин Ю.М. Автоматический вариатор как средство снижения токсичных выбросов двухтактных двигателей мототранспортных средств (ВНИИмотопром, г. Серпухов)//Бесступенчато-регулируемые передачи, Ярославль, 1978. – С. 44–47.
24. Дерунов Г.П. Согласование совместной работы двигателя и автоматического клиноременного вариатора в трансмиссиях мототранспортных средств // Межвузовский сборник научных трудов/Бесступенчато-регулируемые передачи. – Ярославль, 1984. С. 14–19.
25. Скотников В.А., Машенский А.А., Солонский А.С. Основы теории и расчета трактора и автомобиля. М. : Агропромиздат, 1986. 383 с.
26. Пронин Б.А., Ревков Г.А. Бесступенчатые клиноременные и фрикционные передачи (вариаторы) – изд. 3-е, перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1980. – 320 с.
27. Пронин Б.А., Мартынов В.К., Дерунов Г.П. Исследование работы автоматического клиноременного вариатора в режиме муфты сцепления. – В сб.: Бесступенчато-регулируемые передачи. Ярославль, 1984. С. 20–24.
28. ГОСТ 28523-90 (СТ СЭВ 6713-89). «Мобильные средства малой механизации для сельскохозяйственных работ. Тракторы малогабаритные. Типы и основные параметры». МКС 65.060.10 ОКП 47 2410 Дата введения 1992-01-01.
29. ГОСТ 30745-2001 (ИСО 789-9-90). «Тракторы сельскохозяйственные. Определение тяговых показателей». МКС 65.060.10 Д29 ОКП 47 2200 Дата введения 2001-11-01.
30. Панина В.В. Лабораторно-полевые исследования автоматической бесступенчатой трансмиссии для малогабаритного энергетического средства // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. Вип. 17 «Підвищення надійності відновлюємих деталей машин». – Харків 2003. – С. 321–323.
31. Листопад И.А. Планирование эксперимента в исследованиях по механизации сельскохозяйственного производства – М. : Агропромиздат, 1988. – 88 с.

References

1. Federal State Statistics Service [Electronic resource]. – www.rosstat.gov.ru . (date of reference: 02/13/2025).
2. Burkov V.V., Zikunov E.P., Iovlev M.E., Tkeshelashvili N.N. Mini tractors/ Under the general editorship of V.V.Burkov. – L. : Mechanical Engineering. Leningr. publishing house, 1987. 270 p.
3. Grigoreva O.I., Nguyen F.Z. Promising technology for logging and forest maintenance // Forests of Russia: politics, industry, science, education. materials of the scientific and technical conference. 2016. pp. 112–114.
4. Grigoreva O.I., Panarin A.O. Promising ways to increase the efficiency of logging care in young trees // Actual problems of forestry and timber processing. Materials of the All-Russian scientific and practical conference. Edited by Yu.M. Kazakov [et al.]. Kazan, 2023. pp. 70–73.
5. Lorenz A.S., Grigorev I.V., Grigoreva O.I., Ryabukhin P.B. Investigation of the use of needle filters in vacuum installations to increase the effectiveness of forest fire control // Systems. Methods. Technologies. 2023. No. 4 (60). pp. 124–129.
6. Grigoreva O.I., Lorenz A.S., Grigoriev I.V. Labor protection and safety during operation of a needle filtration plant for extinguishing forest fires // Occupational safety and health in logging and woodworking industries. 2023. No. 1. pp. 37–43.
7. Zorin M.V., Grigorev I.V., Grigoreva O.I. Safety and labor protection during the construction of temporary forest roads and technological corridors from plastic collapsible coverings // Safety and labor protection in logging and woodworking industries. 2023. No. 2. pp. 37–52.
8. Kurochkin P.A., Grigorev I.V., Grigoreva O.I. Development of new methodological approaches to the design of special machinery and equipment, taking into account risks in the field of occupational safety and the influence of the human factor (on the example of investment projects for forest development) // Occupational safety and health in logging and woodworking industries. 2023. No. 5. pp. 20–28.
9. Grigoreva O.I., Makuev V.A., Baryshnikova E.V., Burmistrova O.N., Shvetsova V.V., Grigorev I.V., Ivanov V.A. Prospects of import substitution of machine systems for artificial reforestation // The system is us. Methods. Technologies. 2022. No. 3 (55). pp. 78–84.
10. Grigorev I.V., Grigoreva O.I. Mini tractors and riders in gardening and park management // Transport and transport-technological systems. Materials of the International Scientific and Technical Conference. Editor-in-chief N.S. Zakharov. 2020. pp. 122–125.
11. Grigorev I.V., Grigoriva O.I. Safety rules for extinguishing forest fires // Safety and labor protection in logging and woodworking industries. 2022. No. 1. pp. 21–33.
12. Safin R.R., Grigorev I.V., Grigoreva O.I., Razumov E.Yu. Fundamentals of forestry. Moscow: Publishing house of the journal Woodworking industry, 2015. 170 p.
13. Grigoreva O.I., Nguyen F.Z. Forest plantations for the raw material supply of wood-processing enterprises // Improving the efficiency of the forest complex. Materials of the third All-Russian Scientific and Practical conference with international participation. 2017. pp. 59–61.
14. Grigorev I.V., Grigoreva O.I. General methodological issues of ergonomic assessment of the «operator – production environment – machine» system // Occupational safety and health in logging and woodworking industries. 2022. No. 5. pp. 17–22.
15. Sharipov V.M. Design and calculation of tractors: textbook. Moscow: Mashinostroenie, 2009. 752 p.
16. Didikov R.A., Dobretsov R.Yu., Galyshev Yu.V. Variants of the kinematic scheme of a two-flow transmission of a promising tractor with an automated gearbox // Modern machinery and technologies: problems, state and prospects: Mater. VI All-Russian Scientific and Practical Conference with international conference dedicated to the 70th anniversary of the Rubtsovsky Industrial Institute, Rubtsovsk, November 24–25, 2016 / edited by O.A. Mikhailenko, G.A. Obukhova. Rubtsovsk : Rubtsovskiy Industrial Institute, 2016. pp. 113–120.
17. Klyuchnikov A.V. Trends in the development of wheeled tractor transmissions / A.V. Klyuchnikov // Machinery and equipment for rural areas. 2012. No. 1 (175). pp. 43–47.
18. Tractors of the XXI century: state and prospects / S.N. Podubko [et al.]. Minsk : Belarus. Navuka, 2019. 207 p.
19. Shchelstyn N. A. Modern continuously variable transmissions of agricultural tractors / N.A. Shchelstyn, L.A. Frumkin, I.V. Ivanov // Tractors and agricultural machinery. 2011. No. 11. pp. 18–26.
20. Ivanov H.A. Modular – block design of light all-terrain vehicles H.A. Ivanov // Actual problems of the forest complex / Edited by E. Pamfilov. Collection of scientific papers based on the results of the international scientific and technical conference. Issue 11 – Bryansk. – BGITA. – 2005. – p. 22–25.
21. Sharipov V.M. Design of mechanical, hydromechanical and hydraulic gears of tractors / V. M. Sharipov. M. : MSTU "MAMI", 2002. 300 p.
22. Dobretsov R.Yu., Grigorev I.V. Promising transmissions of forest tracked vehicles // Improving the efficiency of the forest complex: materials of the IV All-Russian Scientific Journal. – practical conference with the international (May 22–23, 2018). Petrozavodsk, 2018. pp. 57–58.
23. Martykhin Yu.M. Automatic variator as a means of reducing toxic emissions from two-stroke engines of motor vehicles (VNII motoprom, Serpukhov) // Continuously variable gears, Yaroslavl, 1978. pp. 44–47. Derunov G.P. Coordination of joint operation of the engine and the automatic V-belt variator in transmissions of motor vehicles // Interuniversity collection of scientific papers/Continuously adjustable transmissions. Yaroslavl, 1984. pp. 14–19.
24. Skotnikov V.A., Mashchensky A.A., Solonsky A.S. Fundamentals of theory and calculation of tractors and automobiles. Moscow: Agropromizdat, 1986. 383 p.
25. Pronin B.A., Revkov G.A. Stepless V-belt and friction gears (variators) – 3rd edition, revised. M. : Mashinostroenie Publ., 1980. 320 p.
26. Pronin B.A., Martynov V.K., Derunov G.P. Investigation of the operation of an automatic V-belt variator in the clutch mode. – In the collection: Foam-free-adjustable gears. Yaroslavl, 1984. pp. 20–24.
27. GOST 28523-90 (ST SEV 6713-89). "Mobile means of small-scale mechanization for agricultural work. Tractors are small-sized. Types and basic parameters". ISS 65.060.10 OKP 47 2410 Date of introduction 1992-01-01.
28. GOST 30745-2001 (ISO 789-9-90). "Agricultural tractors. Determination of traction indicators". ISS 65.060.10 D29 OKP 47 2200 Date of introduction 2001-11-01.
29. Panina V.V. Laboratory and field studies of an automatic continuously variable transmission for a small-sized power tool // Bulletin of the Kharkov State Technical University of the Silsky Government. Vip. 17 "Protection of reliability of new machine parts". – Harkiv 2003. – pp. 321–323.
30. Listopad I.A. Planning an experiment in research on the mechanization of agricultural production – M. : Agropromizdat, 1988. – 88 p.