

## Теоретическое исследование возможностей повышения проходимости и экологичности колёсных валочно-трелёвочно-процессорных машин HIGHLANDER

А.А. Кривошеев<sup>1a</sup>, О.А. Куницкая<sup>2b</sup>, О.Н. Бурмистрова<sup>1c</sup>, А.С. Швецов<sup>2d</sup>, И.С. Должиков<sup>3e</sup>, М.М. Иготи<sup>4f</sup>

<sup>1</sup> Ухтинский государственный технический университет, ул. Первомайская, д. 13, г. Ухта, Россия

<sup>2</sup> Арктический государственный агротехнологический университет, ш. Сергеляхское, 3 км, д. 3, Якутск, Россия

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2-я Красноармейская ул., д. 4, г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>4</sup> Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, Институтский пер., 5, Санкт-Петербург, Россия

<sup>a</sup> ugtukrivosheev@mail.ru, <sup>b</sup> ola.ola07@mail.ru, <sup>c</sup> oburmistrova19@gmail.com, <sup>d</sup> shans23@mail.ru, <sup>e</sup> idolzhikov@mail.ru, <sup>f</sup> m.igotti@mail.ru

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0002-1708-7873>, <sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0001-8542-9380>

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0003-2616-7557>, <sup>d</sup> <https://orcid.org/0009-0003-3724-7082>

<sup>e</sup> <https://orcid.org/0000-0002-2738-0483>, <sup>f</sup> <https://orcid.org/0009-0008-4015-9661>

Статья поступила 16.06.2025, принята 15.09.2025

*Валочно-трелёвочно-процессорные машины представляют собой уникальные одномашинные комплексы для заготовки древесины, имеющие наибольшую вариативность использования, а значит и наилучшую технологическую приспособляемость под различные природно-производственные условия эксплуатации. Они с большой эффективностью работают как на равнинной местности, так и на достаточно крутых склонах. Для работы на склонах эти машины оснащены интегрированными в трансмиссию лебёдками. Настоящая статья посвящена теоретическому анализу возможностей повышения эксплуатационной и экологической эффективности данных одномашинных лесозаготовительных комплексов. В статье представлены результаты вычислительного эксперимента и реализации математической модели, учитывающей ослабление почвогрунта склона, время действия и направление нагрузки со стороны эластичного движителя. Расчёты показали, что без использования самоходной лебёдки опорная проходимость машины по неравенству (5) обеспечивается на склоне с углом до 10°, если снизить вес движителя на величину до 30 % от веса, приемлемого на горизонтальной грунтовой поверхности. Если же угол склона превышает 15°, то вес движителя потребуется снизить ещё более существенно – на величину до 60 %. Таким образом, целесообразно оснащение ВТПМ самоходными лебёдками. Для обоснования требуемого тягового усилия лебёдки и двигателя машины при весе движителя, допустимом по показателям колееобразования, получены численные результаты; при этом критерий экологичности, ограничивающий глубину колеи, будет также соблюден. Для работы на склонах при условии использования самоходных лебёдок, обеспечивающих опорную проходимость техники, рекомендуются валочно-трелёвочно-процессорные машины с коэффициентом энергонасыщенности 5,1–5,7 кВт/т.*

**Ключевые слова:** валочно-трелёвочно-процессорные машины; одномашинные лесозаготовительные комплексы; тягово-цепные свойства; колееобразование; несущая способность; угол результирующей нагрузки; лесные почвогрунты.

## A theoretical study of the possibilities of improving the cross-country ability and environmental friendliness of wheeled felling-skidding-processing machines HIGHLANDER

A.A. Krivosheev<sup>1a</sup>, O.A. Kunitskaya<sup>2b</sup>, O.N. Burmistrova<sup>1c</sup>, A.S. Shvetsov<sup>2d</sup>, I.S. Dolzhikov<sup>3e</sup>, M.M. Igotti<sup>4f</sup>

<sup>1</sup> Ukhta State Technical University; 13, Pervomaiskaya St., Ukhta, Russia

<sup>2</sup> Arctic State Agrotechnological University; 3 km, Bld. 3, Sergelyakhskoye Highway, Yakutsk, Russia

<sup>3</sup> St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering; 4, 2nd Krasnoarmeyskaya St., St. Petersburg, Russia

<sup>4</sup> St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov; 5, Institutsky Lane, St. Petersburg, Russia

<sup>a</sup> ugtukrivosheev@mail.ru, <sup>b</sup> ola.ola07@mail.ru, <sup>c</sup> oburmistrova19@gmail.com, <sup>d</sup> shans23@mail.ru, <sup>e</sup> idolzhikov@mail.ru, <sup>f</sup> m.igotti@mail.ru

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0002-1708-7873>, <sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0001-8542-9380>

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0003-2616-7557>, <sup>d</sup> <https://orcid.org/0009-0003-3724-7082>

<sup>e</sup> <https://orcid.org/0000-0002-2738-0483>, <sup>f</sup> <https://orcid.org/0009-0008-4015-9661>

Received 16.06.2025, accepted 15.09.2025

*Felling-skidding-processing machines are unique single-machine logging complexes, which have the greatest variability of use, and therefore the best technological adaptability to various natural and industrial operating conditions. They operate with high efficiency both on flat terrain and on fairly steep slopes. For work on slopes, these machines are equipped with winches integrated into the transmission. This article is devoted to the theoretical analysis of the possibilities of increasing the operational and environmental efficiency of these single-machine logging complexes. The article presents the results of a computational experiment and the implementation of a mathematical model that takes into account the weakening of the slope soil, the time of action and the direction of the load from the elastic mover. Calculations show that without using a self-propelled winch, the support cross-country ability of the machine according to inequality (5) is ensured on a slope with an angle of up to  $10^\circ$ , if the weight of the propeller is reduced by up to 30% of the weight acceptable on a horizontal ground surface. If the slope angle exceeds  $15^\circ$ , the weight of the propeller needs to be reduced even more significantly – by up to 60%. Thus, it is advisable to equip the VTPM with self-propelled winches. Numerical results are obtained to justify the required tractive effort of the winch and the machine engine with a propeller weight acceptable according to rutting indicators; in this case, the environmental criterion limiting the rut depth is also met. For work on slopes, provided that self-propelled winches are used, ensuring the support cross-country ability of the equipment, felling-skidding-processing machines with an energy saturation factor of 5.1-5.7 kW/t are recommended.*

**Keywords:** felling-skidding-processing machine; single-machine logging complexes; traction properties; track formation; bearing capacity; angle of resultant load; forest soils.

**Введение.** Санкции недружественных стран коллективного запада создали для отечественных лесозаготовительных компаний значительные сложности в плане обновления и поддержания в работоспособном состоянии имеющихся у них лесных машин и оборудования. Снижение коэффициента технической готовности, связанное со сложностями в приобретении необходимых оригинальных запасных частей и расходных материалов, существенно снижает эффективность лесозаготовительного производства, прежде всего – лесосечных работ [1–4].

К сожалению, наша страна оказалась не готова к сложившейся в настоящее время ситуации [5–8].

Надо отметить, что отечественные лесозаготовительные предприятия не хотят и не могут возвращаться к технологиям механизированных рубок лесных насаждений, в связи с их низкой сравнительной эффективностью относительно машинной заготовки и острым дефицитом вальщиков леса [9, 10].

В современной ситуации отечественные лесозаготовительные предприятия испытывают существенные сложности в приобретении современных лесных машин и качественном техническом обслуживании [11, 12].

Отечественные лесозаготовительные компании уже привыкли работать на современных, высокоэффективных многооперационных машинах, таких как ушедшие с российского рынка Ponsse, John Deere, Rottne, Komatsu Forest, и т. д.

Большая часть запасов эксплуатационных лесных массивов, особенно в Сибири и на Дальнем Востоке, произрастает на пересечённой местности. Для эффективной эксплуатации таких лесных массивов нужны специальные технологические решения и технические средства [13–17]. Это делает необходимым поиск и обоснование доступных для российских лесозаготовительных предприятий машин, способных эффективно заменить продукцию ушедших иностранных машиностроительных компаний как на равнинной, так и на пересечённой местности.

Поставляемые в нашу страну, несмотря на санкции, колёсные валочно-трелёвочно-процессорные машины (ВТПМ) Highlander австрийской семейной компании Konrad Forsttechnik GmbH хорошо зарекомендовали

себя во время проведения производственных испытаний в природно-производственных условиях Сибири и Дальнего Востока.

Эти машины показали значительную эксплуатационную эффективность и безопасность работы и на равнине, и на склонах (рис. 1) [18–21].

В связи с тем, что ВТПМ являются во многом принципиально новой компоновкой лесозаготовительных машин для отечественной лесопромышленной науки и практики, теоретических исследований в области повышения их эксплуатационной и экологической эффективности крайне мало.

Эксплуатационная и экологическая эффективности лесных машин, в том числе лесозаготовительных, и универсальных, имеют тесную связь. Интенсивное колееобразование приводит к снижению проходимости машин, и повышению расхода топлива. Негативное воздействие на почвогрунты лесосек в дальнейшем приводит к удорожанию лесовосстановительных работ, входящих в перечень этапов лесозаготовительного производства.



**Рис. 1.** ВТПМ HIGHLANDER на склоне

**Материалы и методы исследования.** Оценка проходимости и экологичности, и (далее) обоснование рациональных параметров движителя ВТПМ ведётся с учётом эластичности колёс и угла склона – этот фактор в данном случае критически важен [22–25].

Приведём основные теоретические уравнения математической модели, прогнозирующей технологическую и экологическую совместимость движителя с по-

верхностью склона. Уравнение глубины колеи  $h$  следующее:

$$h = \frac{p_s}{p_s - p} \cdot \frac{aKpJ}{\sqrt{1 - KpJ}} \operatorname{arctg} \left( \frac{H - h}{ab\sqrt{1 - KpJ}} \right) \quad (1)$$

где  $K$  – параметр, учитывающий податливость почвогрунта (зависит от категории);  $p_s$  – несущая способность (связана в основном с прочностью почвогрунта на сдвиг при вдавливании движителя);  $J$  – параметр, учитывающий стороны пятна контакта движителя и деформируемого почвогрунта;  $a$  – параметр, характеризующий затухание нормального напряжения при вдавливании движителя по глубине;  $H$  – глубина распространения деформаций в почвогрунте;  $b$  – ширина пятна контакта;  $p$  – давление движителя по пятну контакта.

Для расчёта сопротивления грунта  $\varphi_{\text{сопр}}$  склона по направлению движения машины используем формулу:

$$\varphi_{\text{сопр}} = \frac{F_{\text{сопр}}}{w} = \frac{1}{w} b \int_0^h p(h) dh, \quad (2)$$

где  $F_{\text{сопр}}$  – сила сопротивления;  $w$  – вес движителя, интеграл среднего давления  $p$  берётся численно (проводится решение (1) при последовательном увеличении нагрузки, полученная табличная функция интегрируется с использованием квадратурной формулы приближенного интегрирования, например, составной формулы трапеций).

Для оценки сцепления движителя с почвогрунтом воспользуемся коэффициентом  $\mu$ :

$$\mu = \frac{F_{\tau}}{w} = \frac{1}{w} b \int_0^l \tau_x dx \quad (3)$$

где  $F_{\tau}$  – сила, связанная с сопротивлением грунта касательному воздействию движителя;  $x$  – координата, отсчитываемая вдоль пятна контакта;  $l$  – оценка длины пятна контакта с учётом эластичности движителя и глубины колеи, при этом функция  $\tau_x$  учитывает величину сдвига  $j$  грунта при касательном воздействии:

$$\tau_x = \frac{\tau_{\text{ср}}}{Gj + t_{\text{тр}}\tau_{\text{ср}}} Gj = \frac{\tau_{\text{ср}}}{GSx + t_{\text{тр}}\tau_{\text{ср}}} GSx \quad (4)$$

где  $t_{\text{тр}}$  – шаг грунтозацепов;  $S$  – коэффициент буксования;  $G$  – модуль сдвига, а функция  $\tau_{\text{ср}}$  учитывает снижение сцепления при срезе:

$$\tau_{\text{ср}} = p \operatorname{tg} \varphi + \xi C I(\xi),$$

$\varphi$  – угол внутреннего трения частиц почвогрунта склона;  $\xi$  – коэффициент, учитывающий ослабление почвогрунта при срезе:

$$\xi = 1 - \left( \frac{Sx}{t_{\text{тр}}} - \frac{p \operatorname{tg} \varphi + C}{G} \sqrt{\frac{G}{C} - 1} \right) \cdot I \left( Sx - \frac{p \operatorname{tg} \varphi + C}{G} \sqrt{\frac{G}{C} - 1} \right)$$

где  $C$  – удельное сцепление частиц почвогрунта;  $I(\arg)$  – индикаторная функция.

Следующее неравенство является критерием опорной проходимости:

$$\varphi_P = \mu - \varphi_{\text{сопр}} > \operatorname{tg} \beta, \quad (5)$$

где  $\varphi_P$  – коэффициент тяги;  $\beta$  – угол склона.

Второй критерий, который необходимо учесть в исследовании – критерий экологичности, ограничение глубины колеи следующее:

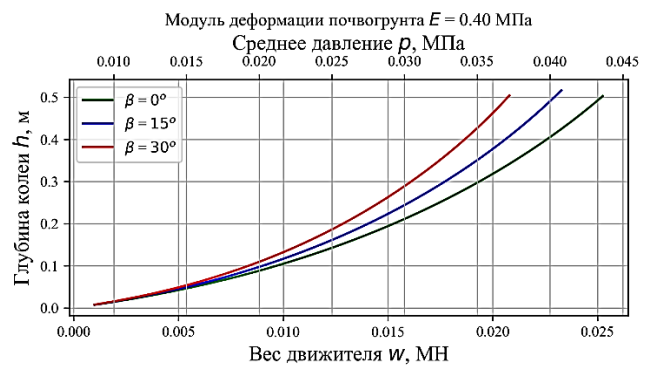
$$h \leq h_{\text{крит}} = 0,20 \text{ м} \quad (6)$$

Для получения практических результатов выполняется реализация математической модели: решение (1) проводится для различных сочетаний значений веса  $w$  с заданным шагом, угла  $\beta$  и физико-механических свойств поверхности движения (почвогрунта). Для полученных результатов по (2), (3) рассчитываются коэффициенты и даётся оценка опорной проходимости по (5), а также проверяется выполнение условия (6).

Для колёсного движителя необходимо учесть эластичность, то есть переменную длину пятна контакта  $l$ , зависящую от веса  $w$  и свойств опорных механических свойств поверхности. Кроме того, для учёта угла склона при расчёте несущей способности  $p_s$  следует воспользоваться понижающими поправочными коэффициентами.

Для выполнения расчётов требуется задать уравнения  $p_s(\beta)$ , глубины распространения деформаций  $H(\beta)$ , характеристики пятна контакта  $b, l(w)$  и давления  $p(w)$ . В нашем исследовании использованы формулы [26], подробно изложенные в указанной статье.

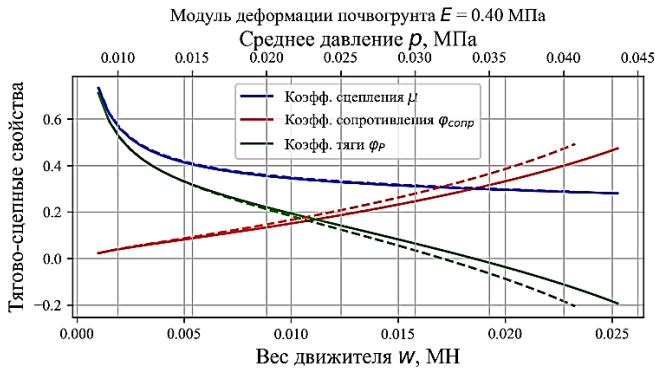
**Результаты исследования.** Поскольку формулы [26] учитывают снижение значения  $p_s$  при увеличении угла склона  $\beta$ , оценки глубины колеи  $h$  при прочих равных условиях для более крутых склонов ожидаемо выше; пример полученных расчётных данных проиллюстрирован на рис. 2.



**Рис. 2.** Глубина колеи при изменении веса движителя и угла склона

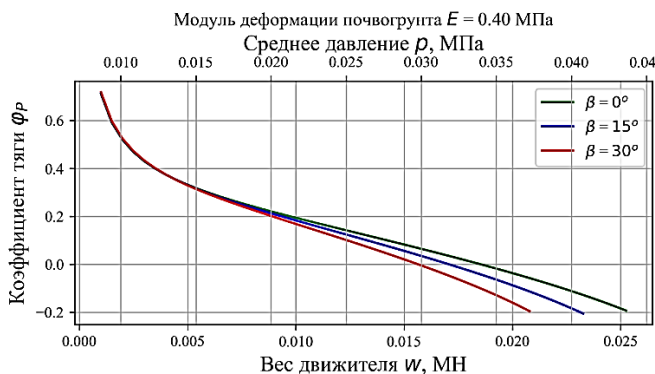
В результате интегрирования функции (2) для сопротивления движению установлено, что коэффициент  $\varphi_{\text{сопр}}$  при прочих равных условиях для более крутых склонов также увеличивается (рис. 3).

Оценки коэффициента сцепления  $\mu$  (см. рис. 3), получены в результате интегрировании функции касательного напряжения  $\tau_x$  при различных углах склона; при этом результирующий угол воздействия на почвогрунт учтён понижающими коэффициентами при расчёте несущей способности.



**Рис. 3.** Оценка тягово-сцепных свойств колёсного движителя с учётом веса и угла склона (сплошные линии  $\beta = 15^\circ$ , пунктирные линии  $\beta = 0^\circ$ )

Согласно результатам расчётов, угол  $\beta$  существенно влияет на коэффициент тяги  $\phi_p$  (рис. 4): увеличение угла склона снижает  $p_s$  и увеличивает  $H$  по направлению воздействия движителя, тогда за счёт большей глубины  $h$  увеличивается сопротивление  $\phi_R$ .

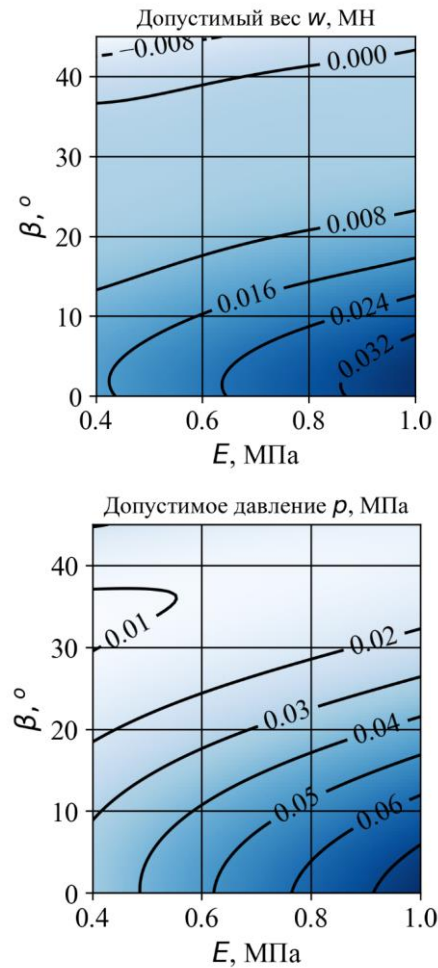


**Рис. 4.** Оценка коэффициента тяги при изменении веса движителя и угла склона

Таким образом, расчёты показали, что сформулированная математическая модель передаёт заложенные в неё предпосылки. Расчётные данные при варьировании угла  $\beta$  в пределах до  $30^\circ$  получены нами впервые.

Результаты дальнейших вычислений при варьировании угла  $\beta$  с шагом  $5^\circ$ , направленные на определение допустимого веса и давления колёсного движителя по критерию проходимости (5) с учётом угла склона без использования самоходной лебёдки, проиллюстрированы на рис. 5.

Далее расчёты проведены с шагом по углу склона  $\beta$  в  $5^\circ$ . Результаты проиллюстрированы на рис. 5.



**Рис. 5.** Результаты расчёта веса движителя, допустимого по опорной проходимости на склоне

Расчёты показывают, что без использования самоходной лебёдки опорная проходимость машины по неравенству (5) обеспечивается на склоне с углом до  $10^\circ$ , если снизить вес движителя на величину до 30 % от веса, приемлемого на горизонтальной грунтовой поверхности. Если же угол склона превышает  $15^\circ$ , то вес движителя потребуется снизить ещё более существенно – на величину до 60 %. Таким образом, целесообразно оснащение ВТПМ самоходными лебёдками.

Вместе с этим реализация математической модели показала, что при ограничении веса для соблюдения критерия экологичности (6), ограничивающего  $h$ , оценки коэффициента тяги  $\phi_p$  будут положительны. Следовательно, среза почвенно-грунтовой поверхности не прогнозируется, и движитель валочно-трелёвочно-процессорной машины не пробуксовывает на месте. Тогда проходимость может быть обеспечена по критерию (5) за счёт использования самоходных лебёдок. Рассмотрим такой подход к обоснованию допустимых показателей воздействия движителя на почвогрунт склона.

Результаты расчётов, представленные на рис. 6, иллюстрируют функции  $w$  и  $p$ , допустимые по критерию (5). Допустимый вес  $w$  обоснован с предположением, что тяга, необходимая для преодоления склона ( $\text{tg } \beta$ ), обеспечивается тяговым усилием лебёдки  $F_{л.}$

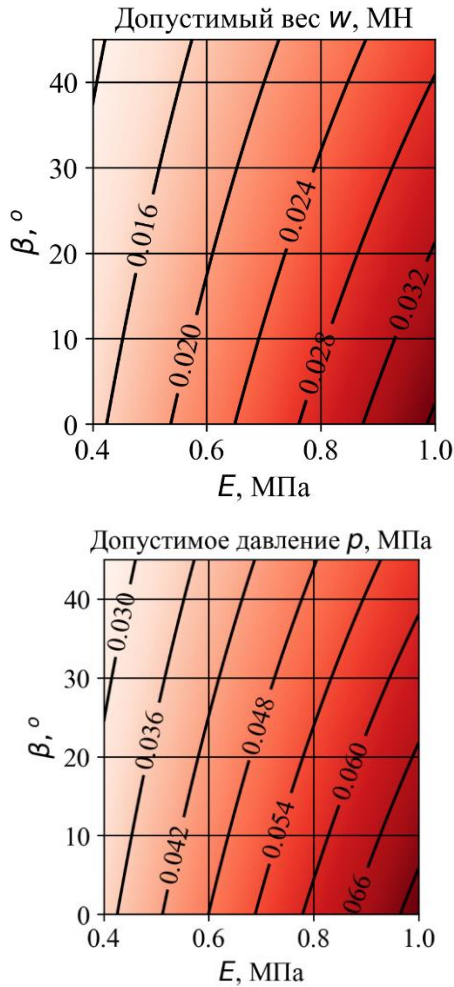


Рис. 6. Допустимый вес и среднее давление колёсного движителя на почвенно-грунтовую поверхность склона при использовании самоходной лебёдки

Дальнейшие расчёты и обработка полученных оценок дают возможность обобщить результаты. Получим функции допустимого веса от физико-механических свойств поверхности склона, а не только от категорий почвогрунта, как ранее [26].

Результаты расчёта коэффициента тяги при весе  $w$ , ограниченном глубиной колеи, критерий (6), представим на рис. 7.

Оценка требуемого тягового усилия лебёдки, отнесённого к единичному колесному движителю, возможна на базе результатов расчёта «недостачи» коэффициента тяги по критерию (5):

$$F_{л} = \frac{w \cdot (\operatorname{tg} \beta - \varphi_p)}{\eta_{л}}, \quad (7)$$

при этом требуемое тяговое усилие, развиваемое двигателем валочно-трелёвочно-процессорной машины, очевидно определяется по формуле

$$F = \frac{w \cdot \varphi_{\text{сопр}}}{\eta_{т}}, \quad (8)$$

где  $\eta_{л}$ ,  $\eta_{т}$  – соответственно КПД механизма лебёдки и трансмиссии.

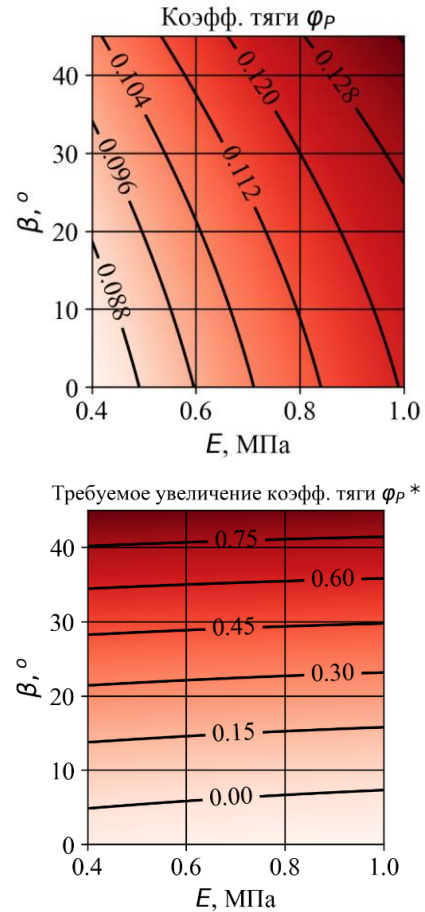


Рис. 7. Коэффициент тяги, обеспечивающей проходимость валочно-трелёвочно-процессорной машины на склоне при ограничении глубины колеи (в отношении к единичному движителю)

Результаты расчёта требуемого тягового усилия самоходной лебёдки, отнесённого к единичному движителю, обеспечивающего проходимость валочно-трелёвочно-процессорной машины (глубина колеи ограничена 0,2 м) проиллюстрированы на рис. 8. На рис. 9 приведена оценка повышения допустимого веса и давления единичного колёсного движителя, ограниченного глубиной колеи, при использовании лебёдки с рекомендуемым тяговым усилием.

Для формулирования наглядных практических рекомендаций полученные результаты удобно представить в виде табл. 2. В таблице оценка допустимого веса единичного движителя переведена в массу четырёхосной машины с лесоматериалами  $M_{л}$ :

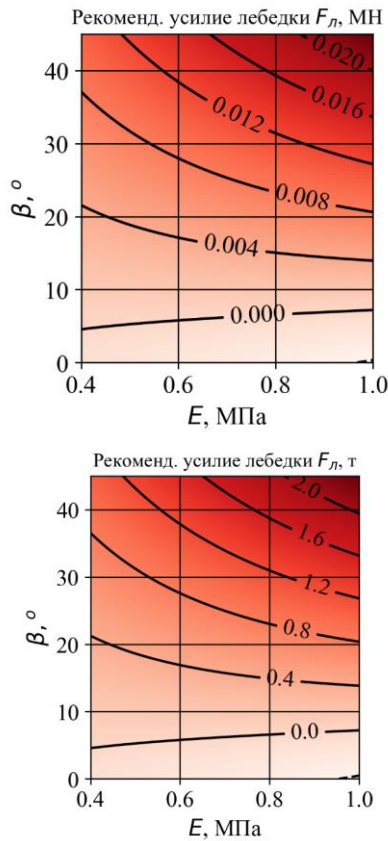
$$M = M_0 + M_{л}, \quad (9)$$

где  $M_0$  и  $M_{л}$  – соответственно масса машины и лесоматериалов, что удобно для получения рекомендуемой верхней оценки коэффициента энергонасыщенности с учётом конструктивных особенностей валочно-трелёвочно-процессорных машин (глава 1):

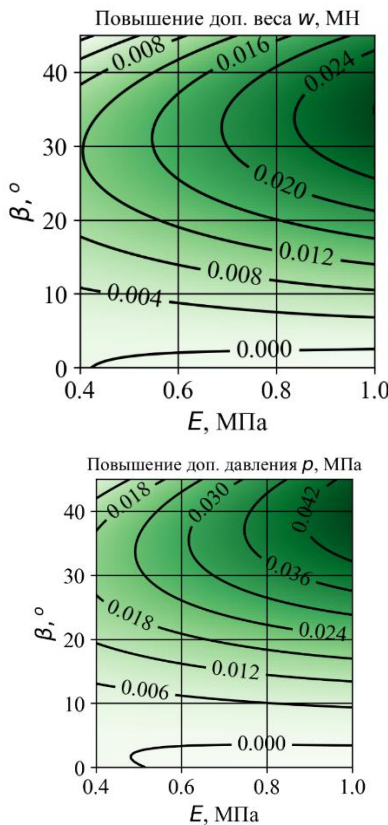
$$K^э = \frac{N}{M_0} \approx \frac{N}{0,6M_0}, \quad (10)$$

где мощность двигателя определяется с запасом на повышение скорости вплоть до технологически допустимой:

$$N = \varphi_{\text{сопр}} \frac{9,81Mv_{\text{техн}}}{M_0\eta_{т}}. \quad (11)$$



**Рис. 8.** Результаты расчёта требуемого тягового усилия самоходной лебёдки, отнесённого к единичному двигателю, обеспечивающему проходимость валочно-трелёвочно-процессорной машины (глубина колеи ограничена 0,2 м)



**Рис. 9.** Повышение допустимого веса и давления единичного колёсного двигателя, ограниченного глубиной колеи, при использовании лебёдки с рекомендуемым тяговым усилием

В таблице для справки указано увеличение допустимого давления двигателя валочно-трелёвочно-процессорной машины при использовании самоходной лебёдки для обеспечения проходимости. Таблица составлена для углов склона  $\beta$  до  $30^\circ$ , поскольку большие значения угла не приемлемы по технологическим соображениям. Результаты расчётов с использованием предлагаемой математической модели позволяют получить оценку опорной проходимости ВТПМ с учётом комплекса факторов, характеризующих работу техники на склоне.

**Таблица 1.** Допустимая масса валочно-трелёвочно-процессорной машины и среднее давление двигателя, рекомендуемая мощность двигателя и тяговое усилие лебёдки и коэффициент энергонасыщенности машины

$\beta, ^\circ$	$M, \text{ т}$	$p, \text{ кПа}$	$N, \text{ кВт}$	$F_{л}, \text{ т}$	$K^3, \text{ кВт/т}$
Слабонесущий почвогрунт (III категория прочности), $E = 0,40 \text{ МПа}$					
0	12,12	34 (+0 %)	39,8	–	5,48
5	12,12	33 (+1 %)	41,4	0,120	5,69
10	11,71	33 (+15 %)	40,0	1,115	5,69
15	11,31	32 (+39 %)	38,6	2,069	5,69
20	10,91	31 (+72 %)	37,2	2,995	5,68
25	10,50	30 (+113 %)	35,7	3,909	5,67
30	10,10	29 (+171 %)	34,2	4,827	5,65
Почвогрунт средней прочности (II категория прочности), $E = 1,00 \text{ МПа}$					
0	29,88	74 (+0 %)	92,0	–	5,13
5	29,07	73 (+0 %)	90,5	–	5,19
10	27,86	70 (+8 %)	86,1	1,422	5,15
15	27,05	68 (+26 %)	84,5	3,840	5,21
20	26,24	67 (+60 %)	82,9	6,222	5,27
25	25,44	65 (+111 %)	81,2	8,605	5,32
30	24,63	63 (+168 %)	79,5	11,032	5,38

**Выводы.** В результате вычислительного эксперимента и реализации математической модели, учитывающей ослабление почвогрунта склона, направление нагрузки со стороны эластичного двигателя, получены следующие основные результаты и выводы.

Расчёты показали, что без использования самоходной лебёдки опорная проходимость машины по неравности (5) обеспечивается на склоне с углом до  $10^\circ$ , если снизить вес двигателя на величину до 30 % от веса, приемлемого на горизонтальной грунтовой поверхности. Если же угол склона превышает  $15^\circ$ , то вес двигателя потребуется снизить ещё более существенно – на величину до 60 %. Таким образом, целесообразно оснащение ВТПМ самоходными лебёдками.

Для обоснования требуемого тягового усилия лебёдки и двигателя машины при весе двигателя, допустимом по показателям колееобразования, получены численные результаты (см. табл. 1); при этом критерий экологичности, ограничивающий глубину колеи, будет также соблюден.

Для работы на склонах при условии использования самоходных лебёдок, обеспечивающих опорную проходимость техники, рекомендуются валочно-трелёвочно-процессорные машины с коэффициентом энергонасыщенности 5,1–5,7 кВт/т.

*Литература*

- Кузнецов А.В., Галактионов О.Н. Анализ производства лесозаготовительных машин в России // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 4 (100). – С. 712–722.
- Вернер Н.Н. Пути решения проблемы обеспечения предприятий лесного комплекса качественной и безопасной продукцией лесного машиностроения // Безопасность и охрана труда в лесозаготовительном и деревообрабатывающем производствах. – 2023. – № 1. – С. 25–31.
- Курочкин П.А., Григорьев И.В., Григорьева О.И. Новые подходы к проектированию лесопромышленного оборудования с учетом рисков в области безопасности и охраны труда // Перспективные ресурсосберегающие технологии развития лесопромышленного комплекса. Мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и студентов. – Воронеж, 2023. – С. 72–77.
- Григорьева О.И., Бауер-Бимштейн Н.А., Трушевский П.В., Михайлова Л.М., Григорьев И.В. Практика проведения машинных рубок ухода по скандинавской технологии в Пермском крае // Вестник АГАТУ. – 2024. – № 2 (14). – С. 68–91.
- Григорьев И.В. Современные проблемы импортозамещения в лесном машиностроении Российской Федерации // Инновации в химико-лесном комплексе: тенденции и перспективы развития. Мат-лы Всеросс. науч.-практ. конф. ; отв. редакторы Ю.А. Безруких, Е.В. Мельникова. – Красноярск, 2022. – С. 165–169.
- Григорьева О.И., Давтян А.Б., Гринько О.И. Перспективы импортозамещения в производстве лесохозяйственных и лесопожарных машин в России // Лесозэксплуатация и комплексное использование древесины. Сборник статей Всеросс. науч.-практ. конф. – Красноярск, 2020. – С. 66–69.
- Григорьева О.И., Давтян А.Б., Гринько О.И., Войнаш С.А. Концепция универсальной машины для выполнения лесохозяйственных работ и тушения лесных пожаров // Машиностроение: новые концепции и технологии. Всеросс. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Красноярск, 2020. – С. 45–49.
- Григорьев И.В., Кацадзе В.А. Стратегия развития лесного машиностроения в России // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2015. – Т. 3. – № 2-2 (13-2). С. 209–212.
- Григорьев И.В., Григорьева О.И. Технические аспекты безопасного использования бензиномоторных пил // Безопасность и охрана труда в лесозаготовительном и деревообрабатывающем производствах. – 2022. – № 1. – С. 43–50.
- Григорьева О.И., Данилов Д.А., Григорьев И.В. Безопасность и охрана труда в свете требований международных систем добровольной лесной сертификации // Безопасность и охрана труда в лесозаготовительном и деревообрабатывающем производствах. – 2022. – № 1. – С. 4–20.
- Горобченко С.Л., Ковалёв Д.А., Соколова В.А., Григорьев И.В., Тарабан М.В., Чураков А.В. Разработка технического задания на АРМ «Пластдеталь» с применением системного подхода // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2025. – № 2. – С. 33–40.
- Горобченко С.Л., Ковалёв Д.А., Соколова В.А., Григорьев И.В., Меламед Н.В., Мешков С.А. Интеллектуализация исполнительных устройств и перспективы ее применения для технического обслуживания и ремонтов // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2024. – № 12. – С. 32–48.
- Каляшов В.А., До Т.А., Григорьева О.И., Гурьев А.Ю., Новгородов Д.В. Технологические аспекты безопасной работы вальщиков леса на горных склонах // Безопасность и охрана труда в лесозаготовительном и деревообрабатывающем производствах. – 2022. – № 2. – С. 4–10.
- Каляшов В.А., До Т.А., Григорьева О.И., Гурьев А.Ю., Новгородов Д.В. Современные технические решения для обеспечения безопасной работы лесных машин на горных склонах // Безопасность и охрана труда в лесозаготовительном и деревообрабатывающем производствах. – 2022. – № 2. – С. 11–25.
- Каляшов В.А., До Туан А., Хитров Е.Г., Григорьева О.И., Гурьев А.Ю., Новгородов Д.В. Современные системы машин и технологии заготовки древесины и лесовосстановления в условиях горных лесосек // Resources and Technology. – 2022. – Т. 19. – № 2. – С. 1–47.
- Каляшов В.А., Григорьев И.В., Григорьева О.И. Инновационные методы освоения горных лесосек // Инновации в химико-лесном комплексе: тенденции и перспективы развития. Мат-лы Всеросс. науч.-практ. конф. / отв. редакторы Ю.А. Безруких, Е.В. Мельникова. — Красноярск, 2022. – С. 88–92.
- Абузов А.В., Григорьева О.И., Григорьев И.В. Анализ потенциала лиственных лесов, произрастающих на территории Дальневосточного федерального округа // Системы. Методы. Технологии. – 2022. – № 2 (54). – С. 64–71.
- Куницкая О.А., Кривошеев А.А., Швецов А.С., Григорьева О.И., Макуев В.А., Ревяко С.И. Технологический анализ вариантов использования валочно-трелёвочно-процессорных машин // Resources and Technology. 2024. – Т. 21. – № 2. – С. 51–82.
- Швецов А.С., Кривошеев А.А., Должиков И.С., Григорьев И.В., Курочкин П.А., Григорьева О.И. Рациональные приемы выполнения рубок лесных насаждений универсальной лесозаготовительной машиной // Вестник АГАТУ. – 2024. – № 1 (13). – С. 48–65.
- Швецов А.С., Должиков И.С., Григорьев И.В., Курочкин П.А., Григорьева О.И. Технология разровки трасс линейных объектов универсальной лесозаготовительной машиной // Вестник АГАТУ. – 2024. – № 2 (14). – С. 104–121.
- Куницкая О.А., Кривошеев А.А., Швецов А.С., Григорьева О.И. Основные правила безопасной эксплуатации универсальных лесозаготовительных машин // Безопасность и охрана труда в лесозаготовительном и деревообрабатывающем производствах. – 2023. – № 6. С. 33–42.
- До Т.А., Злобина Н.И., Каляшов В.А., Гурьев А.Ю., Григорьева О.И., Хитров Е.Г. Теоретические исследования влияния угла склона на несущую способность почвогрунта при работе лесных машин // Деревообрабатывающая промышленность. – 2022. – № 2. – С. 18–27.
- До Т.А., Злобина Н.И., Каляшов В.А., Новгородов Д.В., Григорьева О.И., Хитров Е.Г. Обоснование технологических параметров, связанных с тягово-сцепными свойствами гусеничной машины, работающей на склоне // Деревообрабатывающая промышленность. 2022. – № 2. – С. 3–12.
- До Т.А., Григорьев Г.В., Каляшов В.А., Новгородов Д.В., Григорьева О.И., Хитров Е.Г. Оценка тягово-сцепных свойств двигателя лесной гусеничной машины, работающей на склоне // Системы. Методы. Технологии. – 2022. – № 2 (54). – С. 78–84.

*Работа выполнена в рамках научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства» Арктического государственного агротехнологического университета. Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 23-16-00092, <https://rscf.ru/project/23-16-00092/>.*

25. До Т.А., Григорьев Г.В., Каляшов В.А., Гурьев А.Ю., Григорьева О.И., Хитров Е.Г. Теоретические исследования работы лесных машин с гусеничным двигателем на склонах // Resources and Technology. –2022. – Т. 19. – № 3. – С. 1–29.
26. Кривошеев А.А., Куницкая О.А., Бурмистрова О.Н., Морковин В.А., Гурьев А.Ю., Андронов А.В. Теоретический анализ опорной проходимости колесного двигателя лесной машины при работе на склоне // Лесотехнический журнал. – 2024. – Т. 14. – № 4 (56). – С. 187–207.

#### References

1. Kuznetsov A.V., Galaktionov O.N. Analysis of the production of logging machines in Russia // Engineering Bulletin of the Don. – 2023. – № 4 (100). – pp. 712–722.
2. Werner N.N. Ways to solve the problem of providing enterprises of the forestry complex with high-quality and safe products of forestry engineering // Occupational safety and health in the logging and woodworking industries. 2023. – № 1. – pp. 25–31.
3. Kurochkin P.A., Grigorev I.V., Grigoreva O.I. New approaches to the design of timber industry equipment taking into account risks in the field of occupational safety and health // Promising resource-saving technologies for the development of the timber industry. Materials of the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students. – Voronezh, 2023. – pp. 72–77.
4. Grigoreva O.I., Bauer-Bimshtein N.A., Trushevsky P.V., Mikhailova L.M., Grigorev I.V. The practice of carrying out care cabins using Scandinavian technology in the Perm Region // Bulletin of AGATU. – 2024. – № 2 (14). – pp. 68–91.
5. Grigorev I.V. Modern problems of import substitution in the forestry engineering of the Russian Federation // Innovations in the chemical and forestry complex: trends and development prospects. Materials of the All-Russian scientific and practical conference. Editors Yu.A. Bezrukih, E.V. Melnikova. Krasnoyarsk, 2022. – pp. 165–169.
6. Grigoreva O.I., Davtyan A.B., Grinko O.I. Prospects of import substitution in the production of forestry and fire fighting machines in Russia // Forest exploitation and integrated use of wood. Collection of articles of the All-Russian scientific and practical conference. – Krasnoyarsk, 2020. – pp. 66–69.
7. Grigoreva O.I., Davtyan A.B., Grinko O.I., Voynash S.A. The concept of a universal machine for performing forestry work and extinguishing forest fires // Mechanical engineering: new concepts and technologies. All-Russian Scientific and Practical Conference of students, postgraduates and Young Scientists. – Krasnoyarsk, 2020. – pp. 45–49.
8. Grigorev I.V., Katsadze V.A. Strategy of development of forest engineering in Russia // Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice. 2015. – Vol. 3. – № 2–2 (13–2). – pp. 209–212.
9. Grigorev I.V., Grigoreva O.I. Technical aspects of the safe use of gasoline-powered saws // Occupational safety and health in logging and woodworking industries. – 2022. – № 1. – pp. 43–50.
10. Grigoreva O.I., Danilov D.A., Grigorev I.V. Occupational safety and health in the light of the requirements of international voluntary forest certification systems // Occupational safety and health in logging and woodworking industries. – 2022. – № 1. – pp. 4–20.
11. Gorobchenko S.L., Kovalev D.A., Sokolova V.A., Grigorev I.V., Taraban M.V., Churakov A.V. Development of technical specifications for ARM "Plastdeta" using a systematic approach // Repair. Recovery. Modernization. 2025. – № 2. – pp. 33–40.
12. Gorobchenko S.L., Kovalev D.A., Sokolova V.A., Grigorev I.V., Melamed N.V., Meshkov S.A. Intellectualization of actuators and prospects of its application for maintenance and repairs // Repair. Recovery. Modernization. 2024. – № 12. – pp. 32–48.
13. Kalyashov V.A., Do T.A., Grigorieva O.I., Guryev A.Yu., Novgorodov D.V. Technological aspects of the safe work of fellers on mountain slopes // Occupational safety and health in logging and woodworking industries. – 2022. – № 2. – pp. 4–10.
14. Kalyashov V.A., Do T.A., Grigorieva O.I., Guryev A.Yu., Novgorodov D.V. Modern technical solutions for ensuring the safe operation of forest machinery on mountain slopes // Occupational safety and health in logging and woodworking industries. 2022. – № 2. – pp. 11–25.
15. Kalyashov V.A., Do Tuan A., Khitrov E.G., Grigorieva O.I., Guryev A.Yu., Novgorodov D.V. Modern machine systems and technologies for harvesting wood and reforestation in conditions of mountain logging areas // Resources and Technology. – 2022. – Vol. 19. – № 2. – pp. 1–47.
16. Kalyashov V.A., Grigoriev I.V., Grigorieva O.I. Innovative methods of mining logging areas // Innovations in the chemical forestry complex: trends and development prospects. Materials of the All-Russian scientific and practical conference. Editors Yu.A. Bezrukih, E.V. Melnikova. Krasnoyarsk, 2022. – pp. 88–92.
17. Abuzov A.V., Grigoreva O.I., Grigorev I.V. Analysis of the potential of larch forests growing on the territory of the Far Eastern Federal District // Systems. Methods. Technologies. 2022. – № 2 (54). – pp. 64–71.
18. Kunitskaya O.A., Krivosheev A.A., Shvetsov A.S., Grigoreva O.I., Makuyev V.A., Revyako S.I. Technological analysis of options for using roller-skidding processor machines // Resources and Technology. – 2024. – Vol. 21. – № 2. – pp. 51–82.
19. Shvetsov A.S., Krivosheev A.A., Dolzhikov I.S., Grigorev I.V., Kurochkin P.A., Grigoreva O.I. Rational methods of cutting forest plantations with a universal logging machine // AGATHU's Messenger. 2024. – № 1 (13). – pp. 48–65.
20. Shvetsov A.S., Dolzhikov I.S., Grigorev I.V., Kurochkin P.A., Grigoreva O.I. Technology of cutting trails of linear objects with a universal logging machine // AGATHU's Messenger. 2024. – № 2 (14). – pp. 104–121.
21. Kunitskaya O.A., Krivosheev A.A., Shvetsov A.S., Grigoreva O.I. Basic rules for the safe operation of universal logging machines // Occupational safety and health in logging and woodworking industries. – 2023. – № 6. – pp. 33–42.
22. Do T.A., Zlobina N.I., Kalyashov V.A., Guryev A.Yu., Grigoreva O.I., Khitrov E.G. Theoretical studies of the influence of slope angle on the bearing capacity of soil during operation of forest machinery // The woodworking industry. – 2022. – № 2. – pp. 18–27.
23. Do T.A., Zlobina N.I., Kalyashov V.A., Novgorodov D.V., Grigoreva O.I., Khitrov E.G. Substantiation of technological parameters related to traction properties of a tracked vehicle operating on a slope // The woodworking industry. 2022. – № 2. – pp. 3–12.
24. Do T.A., Grigorev G.V., Kalyashov V.A., Novgorodov D.V., Grigorieva O.I., Khitrov E.G. Evaluation of traction properties of the propulsion of a forest tracked vehicle operating on a slope // Systems. Methods. Technologies. 2022. – № 2 (54). – pp. 78–84.
25. Do T.A., Grigorev G.V., Kalyashov V.A., Guryev A.Yu., Grigoreva O.I., Khitrov E.G. Theoretical studies of the operation of forest vehicles with tracked propulsion on slopes // Resources and Technology. – 2022. – Vol. 19. – № 3. – pp. 1–29.
26. Krivosheev A.A., Kunitskaya O.A., Burmistrova O.N., Morkovin V.A., Guryev A.Yu., Andronov A.V. Theoretical analysis of the basic maneuverability of a wheeled propulsion system of a forest vehicle when working on a slope // Forestry Journal. – 2024. – Vol. 14. – № 4 (56). – pp. 187–207.