

УДК 630*367

А. Зимелис¹, С. Е. Арико², А. Савельев³¹Латвийский государственный лесохозяйственный исследовательский институт «Силава»²Белорусский государственный технологический университет³Латвийский сельскохозяйственный университет**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ
НА ПОПЕРЕЧНУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ КОРЧЕВАТЕЛЯ**

В статье рассмотрены конструктивные особенности технологического оборудования, которое применяется для извлечения пней в настоящее время, и перспективные направления его развития. Приведена сравнительная оценка результатов исследований ряда ученых, посвященных определению усилий корчевки пней и изучению способов их снижения. Учитывая широкое распространение корчевателей на гусеничном шасси в Европейских странах, нами разработана расчетная схема, позволяющая исследовать влияние различных факторов на поперечную устойчивость данных машин. Расчетная схема учитывает взаимное расположение отдельных элементов базового шасси и технологического оборудования и их габаритно-массовые параметры. Для проведения теоретических исследований в качестве базового шасси был выбран экскаватор Newholland E215B с технологическим оборудованием производства SIA «ORVI» (Республика Латвия). Критическим считался случай, когда осуществляется отрыв одной из гусениц шасси. В процессе исследования варьируемыми параметрами являлись диаметр пней, способ корчевки, высота расположения пня над опорной поверхностью, угол наклона местности, массово-геометрические параметры базового шасси и его отдельных элементов в процессе выполнения технологических операций, вылет гидроманипулятора, ширина устанавливаемых на корчевателе гусениц. На основе проведенных исследований даны рекомендации по повышению эффективности эксплуатации корчевателей.

Ключевые слова: корчеватель, поперечная устойчивость, расчетная схема, параметры шасси, диаметр пня, ширина гусеницы.

A. Zimelis¹, S. Ye. Ariko², A. Savel'yev¹Latvian State Forest Research Institute "Silava"²Belarusian State Technological University³Latvian University of Agriculture**INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF VARIOUS FACTORS
ON THE TRANSVERSE SUSTAINABILITY OF THE STUMP PROCESSOR**

The article deals with the design features of the technological equipment, which is used to extract stumps at present and prospective directions for their development. A comparative evaluation of the results of studies of a number of scientists devoted to determining the efforts of stump rooting and studying methods for their reduction is given. Given the wide distribution of the stump processor on the caterpillar chassis in European countries, we will consider a calculation scheme that allows investigating the influence of various factors on the transverse stability of machines. The design scheme takes into account the relative position of the individual elements of the base chassis and technological equipment and their overall mass parameters. To carry out theoretical studies, the Newholland E215B excavator was selected as the basic chassis with technological equipment manufactured by SIA "ORVI" (Republic of Latvia). Critical was the case when the separation of one of the chassis tracks is carried out. In the process of the study varied the parameters: the diameter of the stumps, the way of stump processor, the height of the stump above the bearing surface, the angle of the clone of the terrain, the mass-geometric parameters of the base chassis and its individual elements in the process of performing the technological operations, the outlet of the hydromanipulator, the width of the caterpillars installed on the stump processor. On the basis of the research, recommendations are given to increase the efficiency of the operation of the stump processor.

Key words: stump processor, transverse sustainability, design scheme, chassis parameters, diameter of stumps, caterpillar width.

Введение. В настоящее время актуальным направлением является разработка и внедрение оборудования и машин для корчевки пней, что обеспечивает повышение эффективности выполнения лесохозяйственных и лесовосстанови-

тельных работ [1–4]. При небольшом объеме работ корчевка пней осуществляется с помощью ковша экскаватора, однако ведутся работы по созданию более современных машин для корчевания и подготовки лесных площадей под по-

садку культур [5–9]. Так шведская фирма Gremo представила радиоуправляемую машину [2, 10] с манипулятором и специальным корчевателем в виде изогнутой вилки с механизмом раскалывания (рис. 1, а). Для очистки лесосек от пней, камней и крупных порубочных остатков на отечественных предприятиях широкое распространение получила корчевальная машина КМ-1 (рис. 1, в), представляющая собой лесной трактор с передней навеской рабочего органа в виде зубьев, позволяющих осуществлять корчевку за счет тягового усилия, подъемной силы или сочетания того и другого [5–7]. Аналогичную компоновку имеют корчеватели, создаваемые на базе бульдозеров путем навешивания корчевального оборудования МП-18-6 Мозырского машиностроительного завода (рис. 1, з) [5].

В странах Скандинавии для корчевания пней и корней чаще всего применяются гусеничные экскаваторы со специальным оборудованием (рис. 2). При этом на стрелу экскаватора навешивается вилочный корчеватель, представляющий собой изогнутую вилку с несколькими зубьями или вилку с зубьями, копательной лопаткой и раскалывающим механизмом [2, 10].

Выбор корчевальной машины и способа корчевки зависит от применяемых технологий, количества и диаметра пней, имеющегося парка машин, их компоновочных решений и технических характеристик. При этом наименее изученными являются корчеватели, создаваемые на экскаваторном шасси.

Основная часть. При работе манипуляторных машин основным эксплуатационным параметром, ограничивающим функциональные возможности, является поперечная устойчивость [11, 12], на которую оказывают влияние кроме массово-геометрических параметров динамические процессы и компоновочные параметры технологического оборудования [12–15]. При этом отсутствуют методики, позволяющие рекомендовать режимы эксплуатации данного оборудования и базового шасси при корчевке пней. Учитывая, что эффективность применения манипуляторных корчевальных машин в значительной степени ограничена грузоподъемностью манипулятора, первоочередной задачей являлось установление зависимости влияния диаметра пня на усилие корчевки.

В данном направлении работал Савич В. Л., который установил зависимость вертикального усилия корчевки от диаметра пня, при этом погрешность результатов теоретических и экспериментальных исследований составила 8–10% [16].

Аналогичные исследования проводил Солдатенков В. И. [17], которым установлено, что при удалении пней необходимо выделить две стадии формирования сил сопротивления. Первая стадия связана с внедрением рабочего органа в земляную поверхность вокруг корчюемого пня, в результате которого происходит перерезание как грунта, так и части корневой системы; вторая – связана с вертикальным подъемом пня.



а



б



в



з

Рис. 1. Компоновочные схемы корчевателей:
а – Gremo Besten; б – WESTTECH G1250; в – КМ-1; з – МП-18-6



Рис. 2. Рабочие органы для корчевания:

а – изогнутая вилка с несколькими зубьями; *б* – изогнутая вилка с зубьями, копательной лопаткой и раскалывающим механизмом; *в* – корчеватель с захватами и механизмом дробления

На рис. 3 представлены зависимости требуемых усилий на корчевку, установленные Савичем В. Л. (P_1) [15], Солдатенковым В. И. (P_2) [16] и Египко С. В. [17].

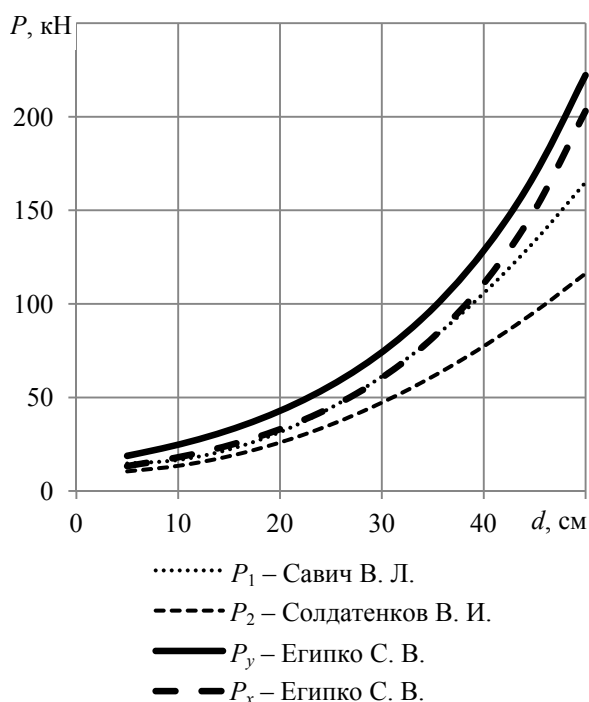


Рис. 3. Изменение усилий корчевки от диаметра пня

Для моделирования процесса работы корчевателя применялись результаты исследований Египко С. В., который установил необходимые усилия (рис. 3) на корчевку пней вертикальным (P_y) и горизонтальным (P_x) движением [17].

Для исследования влияния на эксплуатационные свойства корчевателя параметров пней, способов корчевки и массо-геометрических параметров базового шасси была разработана расчетная схема (рис. 4), учитывающая расположение отдельных элементов машины в процессе выполнения технологических операций.

Разработанная с учетом вышеперечисленных результатов модель позволяет производить оценку устойчивости базового шасси манипу-

ляторного типа при осуществлении операций корчевки, а также осуществлять оценку эффективности применения различных приемов работы в зависимости от уклона местности, диаметра пня и высоты его расположения, а также технических характеристик базового шасси.

Для исследования в качестве базового шасси был выбран экскаватор Newholland E215B с технологическим оборудованием производства SIA «ORVI» (Республика Латвия), оценка поперечной устойчивости которого производилась на основании изменения реакций под гусеницами.

При исследовании критическим считался момент, когда происходит отрыв гусеницы от опорной поверхности. Исходя из приведенной выше схемы реакции R_1 и R_2 определяются по выражениям:

$$R_1 = [G_2(L_2 + 0,5B + 0,5l) \cos \alpha - G_2 h_2 \sin \alpha + G_1(L_1 + 0,5B + 0,5l) \cos \alpha - G_1 h_1 \sin \alpha - G_3(L_3 - 0,5B - 0,5l) \cos \alpha - G_3 h_3 \sin \alpha - G_4(L_4 - 0,5B - 0,5l) \cos \alpha - G_4 h_4 \sin \alpha - (G_5 + G_6)(L_5 - 0,5B - 0,5l) \cos \alpha - G_5 h_5 \sin \alpha - G_6 h_6 \sin \alpha - P_y(L_5 - 0,5B - 0,5l) \sin \varphi + P_x h_6 \cos \varphi] / (B + 0,5l),$$

$$R_2 = [-G_2(L_2 - 0,5B) \cos \alpha + G_2 h_2 \sin \alpha + G_1(0,5B - L_1) \cos \alpha + G_1 h_1 \sin \alpha + G_3(L_3 + 0,5B) \cos \alpha + G_3 h_3 \sin \alpha + G_4(L_4 + 0,5B) \cos \alpha + G_4 h_4 \sin \alpha + (G_5 + G_6)(L_5 + 0,5B) \cos \alpha + G_5 h_5 \sin \alpha + G_6 h_6 \sin \alpha + P_y(L_5 + 0,5B) \sin \varphi - P_x h_6 \cos \varphi] / (B + 0,5l).$$

В процессе исследований варьируемыми параметрами являлись: диаметр пня, высота его расположения над поверхностью земли, направление действия корчующего усилия, вылет гидроманипулятора и ширина гусеницы.

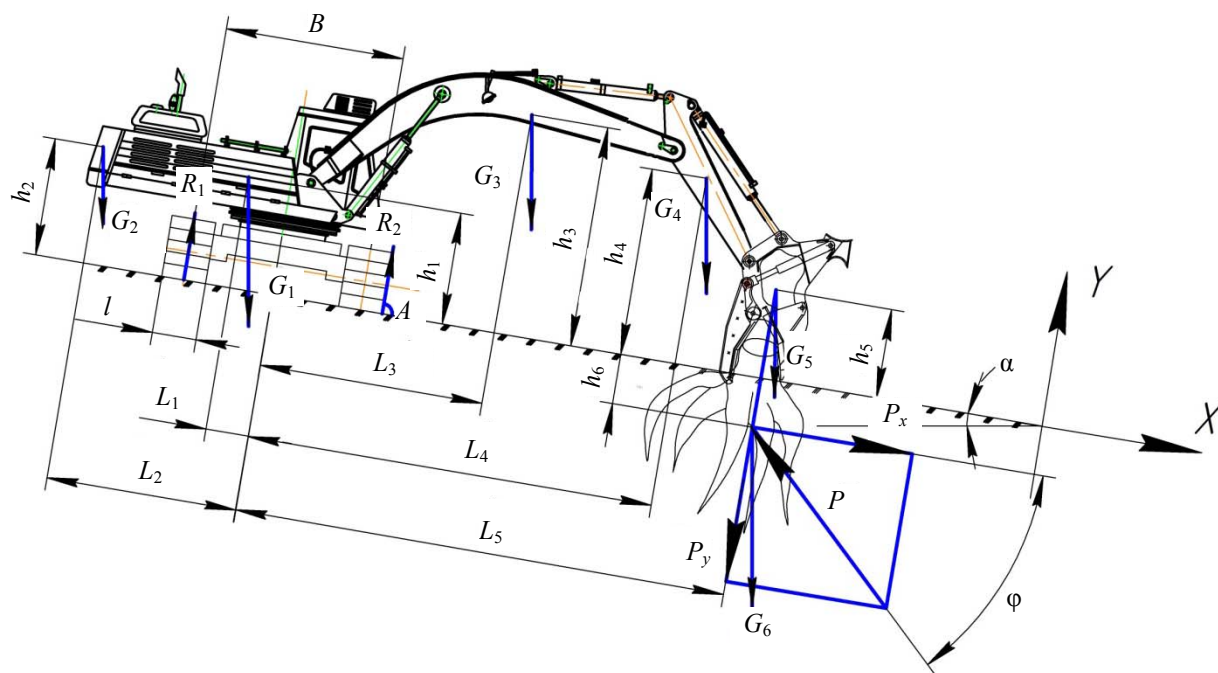


Рис. 4. Расчетная схема корчевателя:

G_1-G_6 – вес базового шасси, противовеса, стрелы и рукояти гидроманипулятора, технологического оборудования и пня соответственно, Н; L_1-L_5 – расстояния от продольной оси базового шасси до его центра тяжести, центров тяжести противовеса, стрелы и рукояти гидроманипулятора, корчюемого пня, м; h_1-h_5 – высоты расположения центров тяжести шасси, противовеса, стрелы и рукояти гидроманипулятора, технологического оборудования и корчюемого пня, м; h_6 – высоты расположения горизонтальной составляющей над опорной поверхностью, м; B – база, м; l – ширина гусеницы, м; P_x, P_y – касательная и нормальная составляющие сопротивления пня корчеванию, Н; P – усилие, необходимое для корчевки, Н; α – уклон местности, град; φ – угол между направлением корчевки и опорной поверхностью, град; A – точка опрокидывания; R_1, R_2 – реакции под гусеницами, Н

Установлено, что увеличение вылета гидроманипулятора (рис. 5) приводит к существенному снижению эксплуатационных свойств.

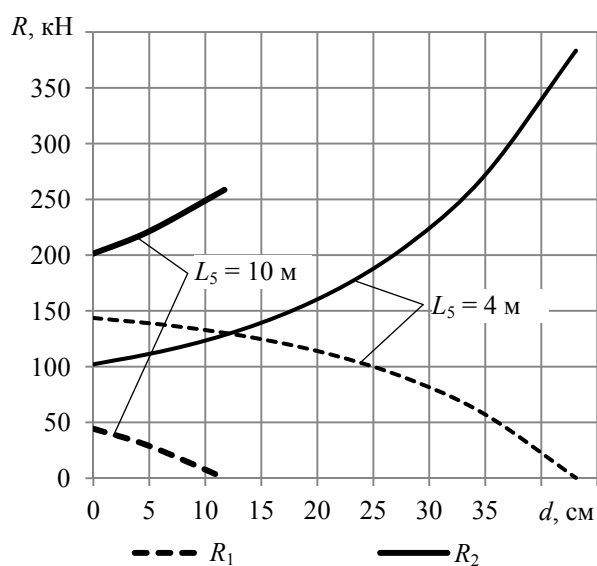


Рис. 5. Влияние диаметра пня (d) и вылета гидроманипулятора (L_5) на распределение опорных реакций корчевателя

Так при корчевке пней на минимальном вылете гидроманипулятора ($L_{\min} = 4$ м) вертикальным усилием без потери устойчивости корчевателя обеспечивается обработка пней максимальным диаметром до 43 см. При увеличении вылета гидроманипулятора в 2,5 раза максимальный диаметр корчюемого пня снижается до 11,7 см.

При работе на уклоне предпочтительным является осуществление корчевки пня, расположенного со стороны возвышенности. Установлено, что при работе на максимальном вылете манипулятора под уклон в 30° корчеватель может осуществлять корчевку пней диаметром до 20 см (рис. 6), а в случае работы с уклона в 10° данная машина не сможет корчевать пни диаметром более 6 см ввиду потери устойчивости, заключающейся в отрыве гусеницы от опорной поверхности.

Кроме рассмотренных выше факторов существенное влияние оказывает способ корчевки, который может осуществляться вертикальным движением технологического оборудования ($\varphi = 90^\circ$), горизонтальным к ($\varphi = 0^\circ$) или от ($\varphi = 180^\circ$) машины и комбинированным к ($0^\circ < \varphi < 90^\circ$) или от

($90^\circ < \varphi < 180^\circ$) машины. В результате теоретических исследований установлено, что при осуществлении корчевки пня вертикальным движением технологического оборудования требуемое усилие является наименьшим (рис. 3), однако данный способ не является наиболее эффективным с точки зрения обеспечения высоких эксплуатационных свойств. Так в случае корчевки пня на горизонтальной поверхности движением технологического оборудования к машине под углом 30° к опорной поверхности обеспечивается увеличение опорной реакции R_1 под разгружаемой гусеницей в 2,16–6,25 раза (рис. 7) при изменении диаметра корчюемого пня от 5 см до 10 см, при этом обеспечивается возможность обработки древостоя диаметром до 25 см. Наибольшая устойчивость корчевателя обеспечивается при горизонтальной корчевке пня. При этом обеспечивается корчевка пней диаметром свыше 50 см, а максимальный диаметр ограничивается сцепными свойствами машины.

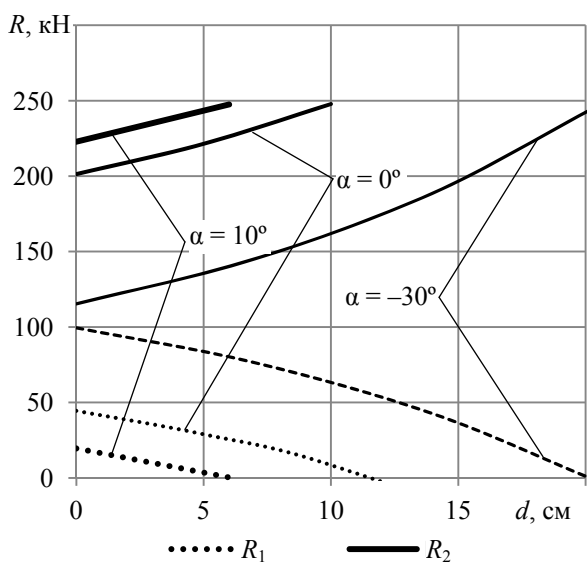


Рис. 6. Влияние диаметра пня (d) и уклона местности (α) на распределение опорных реакций корчевателя

Изменение реакций под гусеницами корчевателя при горизонтальном способе извлечения пня зависит от направления усилия корчевки и расположения пня по отношению к горизонту (рис. 8).

Исходя из полученных зависимостей видно, что при расположении усилия корчевки ниже опорной поверхности обеспечивается повышение устойчивости машины. Так при расположении пня над опорной поверхностью происходит уменьшение опорной реакции под разгружаемой гусеницей от 0,53 кН ($d = 5$ см) до 8,2 кН ($d = 50$ см) на каждые 10 см подъема, а в

случае расположения пня ниже опорной поверхности происходит увеличение опорной реакции под разгружаемой гусеницей от 0,53 кН ($d = 5$ см) до 8,2 кН ($d = 50$ см) на каждые 10 см опускания.

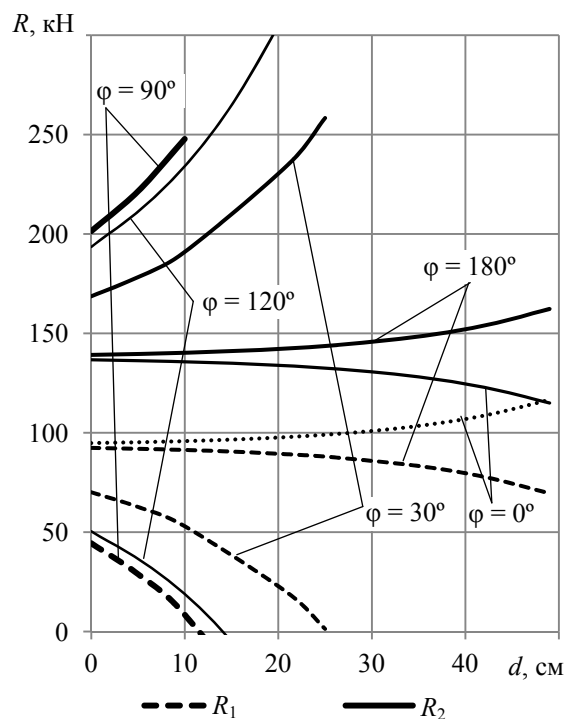


Рис. 7. Влияние диаметра пня (d) и угла (α) между направлением корчевки и опорной поверхностью на распределение опорных реакций корчевателя

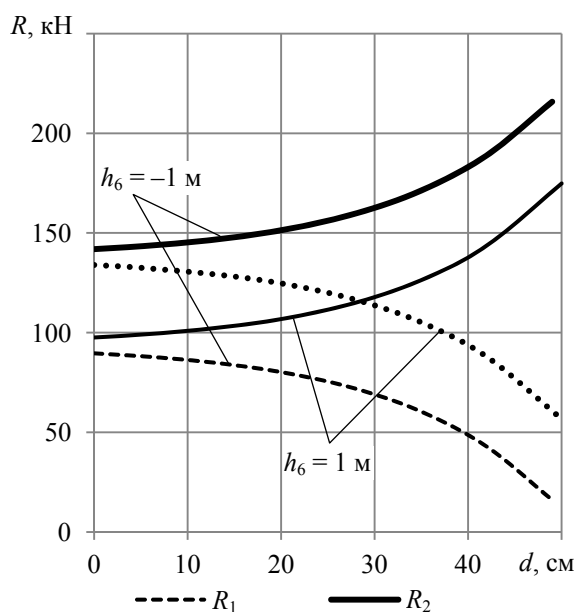


Рис. 8. Влияние диаметра пня (d) и высоты (h_6) расположения горизонтальной составляющей усилия корчевки над опорной поверхностью на распределение опорных реакций корчевателя

Следует отметить, что на экскаваторе Newholland E215B могут устанавливаться гусеницы шириной 600, 750 и 900 мм. При этом их габаритные и массовые параметры не оказывают существенного влияния на поперечную устойчивость. Установка гусениц шириной 900 мм вместо 600 мм при работе на максимальном вылете позволит обеспечить возможность обработки пней диаметром до 16 см вместо 12 см. Их применение также дает возможность повысить проходимость корчевателя.

Заключение. В процессе исследований было установлено, что в настоящее время для извлечения пней применяется достаточно разнообразное технологическое оборудование, имеющее различные габаритно-массовые и технические характеристики, а также отличающееся конструктивным исполнением. При этом на процесс корчевания существенное влияние оказывают не только параметры базового шасси и корчующего пня, но и приемы работы. В последние годы в качестве базового шасси все большее распространение находят гусеничные машины, оснащенные гидроманипулятором и рабочим органом для корчевания. Для оценки функциональных свойств данных машин разработана расчетная схема и проведены теоретические исследования влияния различных факторов на поперечную устойчивость. К основным признакам потери устойчивости относятся: отрыв от плоскости склона одной из гусениц; необратимая потеря устойчивости всей машины и ее опрокидывание. В качестве критического признака потери устойчивости следует рассматривать случаи отрыва одной из гусениц, так как при эксплуатации корчевателя в данном случае не обеспечивается безопасность работы [12]. Для проведения теоретических исследований в качестве базового шасси был выбран экскаватор Newholland E215B с технологическим

оборудованием производства SIA «ORVI» (Республика Латвия).

В результате исследований было установлено, что при осуществлении корчевки вертикальным усилием потеря устойчивости базового шасси наступает при меньших параметрах пня. В случае корчевки пней движением к себе под углом 60° к вертикальной оси устойчивость против опрокидывания увеличивается в 2,16–6,25 раза в зависимости от диаметра обрабатываемого пня. При этом в случае корчевки пня движением близким к горизонтальному продольная устойчивость шасси обеспечивает возможность корчевки пней диаметром до 50 см на максимальном вылете. Однако при работе на грунтах с низкой несущей способностью существует вероятность бокового сползания.

Учитывая вышесказанное, можно сделать вывод, что для обеспечения эффективности эксплуатации корчевателя извлечение пней на максимальном вылете рекомендуется выполнять под уклон движением технологического оборудования, которое направлено параллельно опорной поверхности. При этом в случае расположения пня выше опорной поверхности большая поперечная устойчивость обеспечивается при движении технологического оборудования от машины, а в случае расположения пня ниже опорной поверхности корчевку следует осуществлять движением к базовой машине. Разработанная расчетная модель позволяет производить оценку эксплуатационных свойств машин манипуляторного типа, осуществляющих корчевку пней вертикальным, горизонтальным или комбинированным движением, сравнивать корчеватели, создаваемые на базе гусеничных манипуляторных машин различных производителей, давать рекомендации по повышению эффективности работы данной техники в различных природно-производственных условиях эксплуатации.

Литература

1. Никишов В. Д. Комплексное использование древесины. М.: Лесная пром-сть, 1985. 264 с.
2. Энергетическое использование древесной биомассы: заготовка, транспортировка и сжигание / В. С. Сюнев [и др.]. Петрозаводск: ПетрГУ, 2014. 123 с.
3. Кочегаров В. Г., Бит Ю. А., Меньшиков В. Н. Технология и машины лесосечных работ. М.: Лесная пром-сть, 1990. 392 с.
4. Перспективный комплекс машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов / С. П. Мохов [и др.] // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 26–28 апр. 2017 г. Минск: БГТУ, 2017. С. 178–181.
5. Арико С. Е., Смяян А. И., Симанович В. А. Дорожно-строительные машины. Лабораторный практикум. Минск: БГТУ, 2015. 124 с.
6. Лесохозяйственные машины. Практикум / М. К. Асмоловский [и др.]. Минск: БГТУ, 2017. 92 с.
7. Асмоловский М. К., Пищов С. Н., Арико С. Е. Механизация лесохозяйственных работ. Лабораторный практикум. Минск: БГТУ, 2014. 92 с.
8. Применение фрезерного оборудования в лесном комплексе Республики Беларусь / С. Е. Арико [и др.] // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар.

науч.-техн. конф., Могилев, 27–28 апр. 2017 г. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Белорус.-Рос. ун-т. Могилев, 2017. С. 197–198.

9. Разработка многофункционального шасси для проведения лесохозяйственных работ / В. Н. Лой [и др.] // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 26–28 апр. 2017 г. Минск: БГТУ, 2017. С. 124–126.

10. Лесосечные машины в фокусе биоэнергетики: конструкции, проектирование, расчет / В. С. Сютёв [и др.]. Йоэнсуу: НИИ леса Финляндии. METLA, 2011. 143 с.

11. Жуков А. В. Теория лесных машин. Минск: БГТУ, 2001. 640 с.

12. Арико С. Е. Обоснование параметров валочно-сучкорезно-раскряжевой машины для рубок промежуточного пользования: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Минск, 2012. 225 с.

13. Симанович В. А., Кононович Д. А., Исаченков В. С. Влияние динамической нагруженности на эксплуатационные показатели колесных лесных машин // Труды БГТУ. 2016. № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. С. 54–57.

14. Симанович В. А., Исаченков В. С., Арико С. Е. Математическое моделирование динамических процессов как основной метод при исследовании колесных лесных агрегатных машин // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 26–28 апр. 2017 г. Минск: БГТУ, 2017. С. 182–186.

15. Особенности конструкционного исполнения технологического оборудования лесных погрузочно-транспортных машин / Д. А. Кононович [и др.] // Труды БГТУ. 2015. № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. С. 59–62.

16. Савич В. Л. Обоснование основных параметров оборудования для виброкорчевки пней и целых деревьев: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Петрозаводск, 2013. 24 с.

17. Савич В. Л., Солдатенков В. И. К вопросу определения удельных затрат и производительности машины при корчевке пней вертикальным способом // Сборник научных трудов: материалы науч.-техн. конф., Ухта, 14–17 апр. 2009 г. Ухта: УГТУ, 2009. С. 80–82.

18. Египко С. В. Совершенствование технологии корчевания пней комбинированным способом // Природообустройство. 2009. № 1. С. 97–99.

References

1. Nikishov V. D. *Kompleksnoe ispol'zovanie drevesiny* [Comprehensive use of wood]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1985. 264 p.

2. Syunyov V. S., Petukhin A. V., Vasiliev S. B., Galaktionov O. N., Kuznetsov A. V., Selivertov A. A., Sukhanov Yu. V., Kholodkov V. S. *Energeticheskoe ispol'zovanie drevesnoy biomassy: zagotovka, transportirovka i szhiganiye* [Energy use of woody biomass: harvesting, transportation and burning]. Petrozavodsk, PetrGU Publ., 2014. 123 p.

3. Kochegarov V. G., Bit Yu. A., Men'shikov V. N. *Tekhnologiya i mashiny lesechnykh rabot* [Technology and machines logging activities]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1990. 392 p.

4. Mokhov S. P., Korobkin V. A., Golyakevich S. A., Kononovich D. A. [Perspective complex machines for collection and transportation logging waste]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii (Lesozagotovitel'noye proizvodstvo: problemy i resheniya)* [Materials of the International Scientific and Technical Conference (Logging industry: problems and solutions)]. Minsk, 2017, pp. 178–181 (In Russian).

5. Ariko S. Ye., Smeyan A. I., Simanovich V. A. *Dorozhno-stroitel'nye mashiny. Laboratornyy praktikum* [Road construction machinery. Laboratory practical]. Minsk, BGTU Publ., 2015. 124 p.

6. Asmolovskiy M. K., Mokhov S. P., Ariko S. Ye., Germanovich A. O. *Lesokhozyaystvennyye mashiny. Praktikum* [Forestry machines. Practical]. Minsk, BGTU Publ., 2017. 92 p.

7. Asmolovskiy M. K., Pishchov S. N., Ariko S. Ye. *Mekhanizatsiya lesokhozyaystvennykh rabot. Laboratornyy praktikum* [Mechanization of forestry operations. Laboratory practical]. Minsk, BGTU Publ., 2014. 92 p.

8. Ariko S. Ye., Mokhov S. P., Simanovich V. A., Dudko Ye. M. [The use of milling equipment in the forestry complex of the Republic of Belarus]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii (Materialy, oborudovanie i resursosberegayushchie tekhnologii)* [Materials of the International Scientific and Technical Conference (Materials, equipment and resource-saving technologies)]. Mogilev, 2017, pp. 197–198 (In Russian).

9. Loy V. N., Ariko S. Ye., Asmolovskiy M. K., Germanovich A. O., Dudko Ye. M. [Development of a multi-functional chassis for forestry operations]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii (Lesozagotovitel'noye proizvodstvo: problemy i resheniya)*. [Materials of the International Scientific and Technical Conference (Logging production: problems and solutions)]. Minsk, 2017, pp. 124–126 (In Russian).

10. Syunев V. S., Seliverstov A. A., Gerasimov Yu. Yu., Sokolov A. P. *Lesosechnye mashiny v fokuse bioenergetiki: konstruktсии, proektirovaniye, raschet* [Lesossechnye machines in focus bioenergetics: design, design, calculation]. Joensuu, METLA Publ., 2011. 143 p.

11. Zhukov A. V. *Teoriya lesnykh mashin* [The theory of forest machines]. Minsk, BGTU Publ., 2001. 640 p.

12. Ariko S. Ye. *Obosnovaniye parametrov valochno-suchkorezno-raskryazhevochnoy mashiny dlya rubok promezhutochnogo pol'zovaniya. Dis. kand. tekhn. nauk* [Substantiation of felling-delimiting-bucking machine characteristics for intermediate forest exploitation cutting. Cand. Diss]. Minsk, 2012. 225 p.

13. Simanovich V. A., Kononovich D. A., Isachenkov V. S. Influence on dynamic loading performance wheel forestry machinery. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 54–57 (In Russian).

14. Simanovich V. A., Isachenkov V. S., Ariko S. Ye. [Mathematical modeling of dynamic processes as the main method in the study of wheeled forest aggregates]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy Konferentsii (Lesozagotovitel'noye proizvodstvo: problemy i resheniya)*. [Materials of the International Scientific and Technical Conference (Logging production: problems and solutions)]. Minsk, 2017, pp. 182–186 (In Russian).

15. Kononovich D. A., Mokhov S. P., Ariko S. Ye., Golyakevich S. A. Features of the structural design of the technological equipment of forestry handling vehicles. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 59–62 (In Russian).

16. Savich V. L. *Obosnovaniye osnovnykh parametrov oborudovaniya dlya vibrokorchevki pney i tselykh derev'ev: Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Substantiation of the basic parameters of the equipment for vibrating the stumps and whole trees. Abstract of thesis cand. of techn. sci.]. Petrozavodsk, 2013. 24 p.

17. Savich V. L., Soldatenkov V. I. [To the question of determining the unit costs and productivity of a machine when stumps are stabbed vertically]. *Materialy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii (Sbornik nauchnykh trudov)* [Materials of the Scientific and Technical Conference (Collection of scientific papers)]. Ukhta, 2009, pp. 80–82 (In Russian).

18. Egipko S. V. Improvement of stump extraction technology in a combined way. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], 2009, no. 1, pp. 97–99 (In Russian).

Информация об авторах

Агрис Зимелис – магистр технических наук, научный сотрудник. Латвийский государственный лесохозяйственный исследовательский институт «Силава» (LV-2169, Саласпилс, ул. Рига, 111, Республика Латвия). E-mail: agris.zimelis@llu.lv

Арико Сергей Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: sergeyariko@mail.ru

Савельев Александр – доктор технических наук, доцент кафедры лесопользования. Латвийский сельскохозяйственный университет (LV-3001, г. Елгава, ул. Лиела, 2, Республика Латвия). E-mail: silvasav@inbox.lv

Information about the authors

Zimelis Agris – Master of Engineering, researcher. Latvian State Forest Research Institute “Silava” (111, Riga str., LV-2169, Salaspils, Republic of Latvia). E-mail: agris.zimelis@llu.lv

Ariko Sergey Yevgen'yevich – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sergeyariko@mail.ru

Savel'yev Aleksandr – DSc (Engineering), Assistant Professor, the Department of Forest Management. Latvian University of Agriculture (2, Liela str., LV-3001, Jelgava, Republic of Latvia). E-mail: silvasav@inbox.lv

Поступила 28.02.2018