

**РЕЗУЛЬТАТЫ ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКТИВНЫХ
ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЩЕЛЕРЕЗНОГО ЦЕПНОГО
РАБОЧЕГО ОРГАНА**

Саая С.С.Ш.

*Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия*

**RESULTS OF OPTIMIZATION OF DESIGN PARAMETERS AND OPERAT-
ING MODES OF A CHAIN-CUTTING DEVICE**

Saaya S.S.Sh.

*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia*

Аннотация: Выполнение работ по лесовосстановлению целесообразно осуществлять с применением новых щеледренажных машин и механизмов. В статье рассматриваются вопросы оптимизации конструктивных и технологических параметров нового цепного рабочего органа.

Abstract: Reforestation work should be carried out using new slit-drainage machines and mechanisms. This article examines the optimization of the design and technological parameters of the new chain-operated working tool.

Ключевые слова: лесовосстановление, заболоченные участки, дренирование, рабочий орган, параметры, оптимизация.

Keywords: reforestation, wetlands, drainage, working element, parameters, optimization.

В современной России лесное хозяйство уделяет недостаточно внимания вопросам гидролесомелиорации [1], несмотря на богатый опыт, накопленный в советский период и наглядно демонстрирующий эффективность подхода: на подготовленных и осушенных лесных землях сформировались продуктивные древостои, успешно эксплуатируемые в настоящее время [2-4]. Осушение заболоченных и избыточно увлажненных лесных участков является обязательным условием для создания стабильных и продуктивных лесных насаждений. Без проведения осушения лесовосстановление на заболоченных и избыточно увлажненных участках становится экономически нецелесообразным и экологически неоправданным [5], так как молодые саженцы лесных культур не получают необходимых условий для роста.

Экономическая эффективность осушительных мероприятий проявляется в долгосрочной перспективе: увеличение приживаемости саженцев лесных культур с 30...40 % (на заболоченных участках) до 80...90 % (после осушения)

обеспечивает повышение продуктивности лесных насаждений, сокращает сроки возобновления древостоев [6, 7].

При выполнении работ по осушению избыточно увлажненных и заболоченных лесных территорий для последующего лесовосстановления на участках лесных зон применяются различные машины и механизмы, а также технологические схемы дренирования [8, 9]. Перспективными представляются щеледренажные машины с цепными рабочими органами (рис. 1).



Рисунок 1 – Щеледренажные машины с цепными рабочими органами

В рамках выполнения диссертационного исследования была разработана новая конструкция цепного рабочего органа [10], отличительной особенностью которого являлось наличие изогнутых резцов (рис. 2).

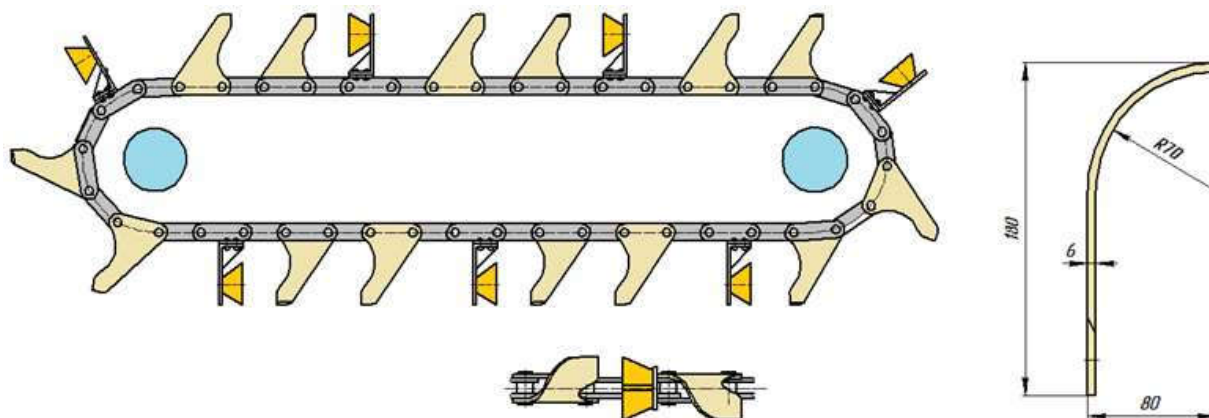


Рисунок 2 – Схема геометрии режущей цепи с резцами в сборе

Имитационное исследование возможных радиусов скругления изогнутых резцов позволило выявить область допустимых соотношений (рис. 3) ширины режущей цепи, указанных радиусов, а также ширины формирующейся дренажной щели, при которых будет обеспечена эффективная работа нового цепного рабочего органа щеледренажной машины.

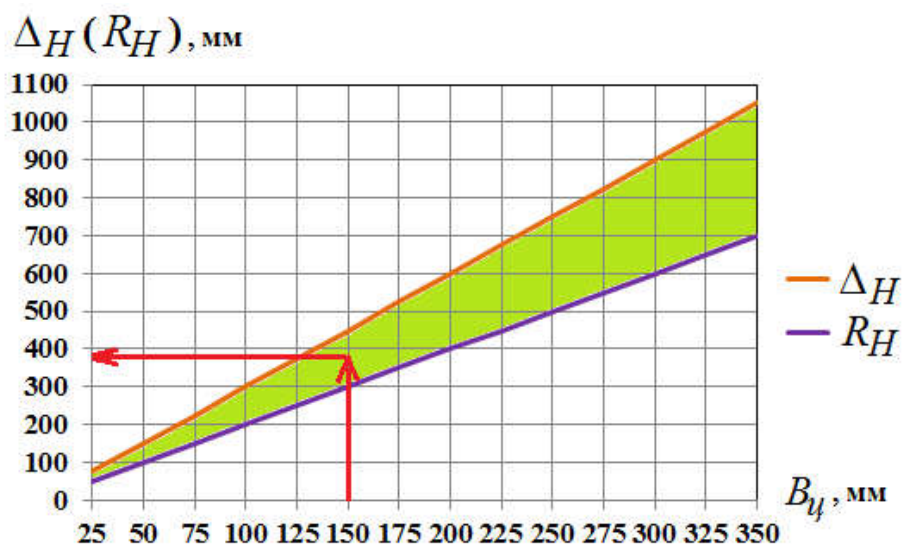


Рисунок 3 – Допустимые соотношения радиуса R_H скругления изогнутых резцов, ширины $B_{ц}$ режущей цепи и ширины Δ_H дренажной щели

Указанная область, ограниченная прямыми $R_H = f(B_{ц})$ и $\Delta_H = f(B_{ц})$ и выделенная на рис. 3 зелёным цветом, позволяет определить допустимые величины радиуса R_H скругления изогнутых резцов нового цепного рабочего органа.

При исследовании зависимости толщины $\delta_{ср} = f(n_{вз}, f_{nn})$ срезаемой стружки торфяно-болотной почвы от частоты вращения ведущей звездочки $n_{вз}$ и поступательной подачи f_{nn} выявлено (рис. 4) следующее.

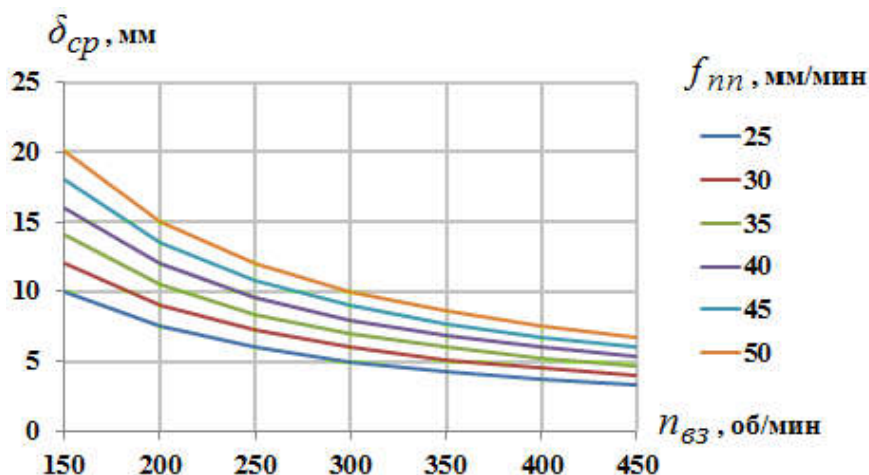


Рисунок 4 – Зависимость толщины срезаемой стружки торфяно-болотной почвы $\delta_{ср}$ от частоты вращения ведущей звездочки $n_{вз}$ и поступательной подачи f_{nn} .

В пределах неизменной частоты вращения ($n_{вз} = \text{const}$) увеличение поступательной подачи f_{nn} приводит к возрастанию толщины $\delta_{ср}$ срезаемой изогнутыми резцами стружки на 96...100 %, при этом по абсолютным величинам более

быстрые темпы такого увеличения характерны для меньших величин $n_{\text{вз}}$. Возрастание частот вращения $n_{\text{вз}}$ в 3 раза (со 150 об/мин до 450 об/мин) влечет за собой уменьшение толщины $\delta_{\text{ср}}$ срезаемой изогнутыми резцами стружки на 190...210 %.

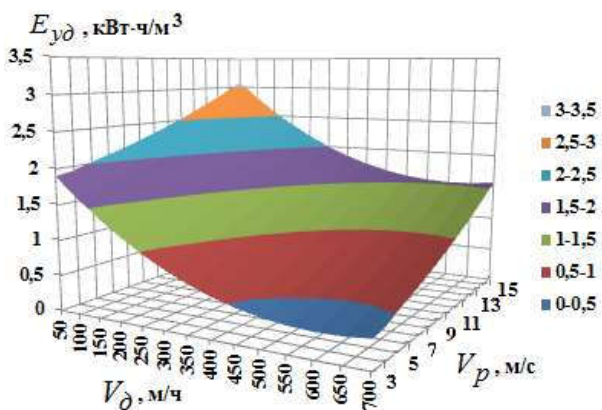
Исследование зависимостей энергоёмкости $E_{y\partial}$ (кВт·ч/м³) прорезания дренажной щели новым цепным рабочим органом в мерзлой и талой почве, в том числе с древесными включениями, от скорости резания цепи V_p (м/с), скорости движения щеледренажной машины V_∂ (м/ч) и поступательной подачи f_{mn} (мм/мин) осуществлялось посредством применения программных продуктов, на которые были получены свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ [11].

Результаты выявления показателей формирования осушительных дрен для подготовки заболоченных участков под посадку лесных культур новым цепным рабочим органом щеледренажной машины, а также его характеристик, представлены на рис. 5, а-в.

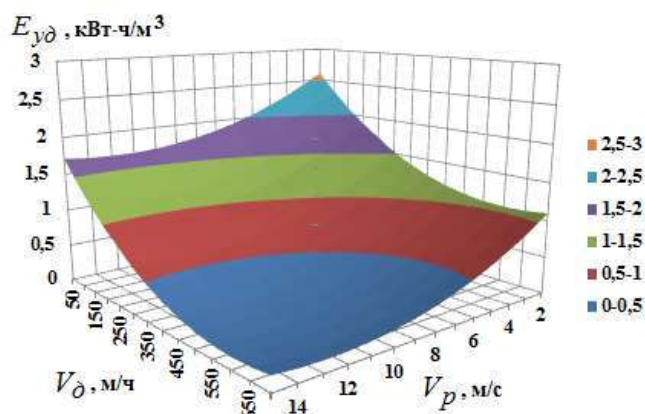
Анализ зависимости $E_{y\partial} = f(V_p, V_\partial)$ энергоёмкости $E_{y\partial}$ прорезания дренажной щели в мерзлой торфяно-болотной лесной почве (рис. 5, а) позволил выявить, что при постоянной скорости резания ($V_p = \text{const}$) увеличение рабочей скорости агрегата с цепным рабочим органом на каждые 50 м/ч обуславливает снижение энергоёмкости на 2,2...19,7 %, при этом увеличение скорости движения щеледренажной машины с 50 м/ч до 600 м/ч обеспечит теоретическое снижение энергоёмкости $E_{y\partial}$ на 410,5 %. Однако при дальнейшем увеличении скорости движения V_∂ машины наблюдается тенденция к резкому возрастанию энергоёмкости $E_{y\partial}$ прорезания дренажной щели.

Наименьшие величины энергоёмкости (при стабильной величине $V_p = \text{const}$) наблюдаются при скорости движения машины $V_\partial = 550...650$ м/ч (аналогично – для талой почвы; рис. 5, б). При неизменной величине скорости движения ($V_\partial = \text{const}$) возрастание скорости резания цепью V_p мерзлой почвы на каждый 1 м/с обуславливает увеличение энергоёмкости на 2,1...4,1 %, при этом изменение величины V_p с 2 м/с до 15 м/с приводит к увеличению энергоёмкости прорезания дренажной щели на 62,2...84,9 %.

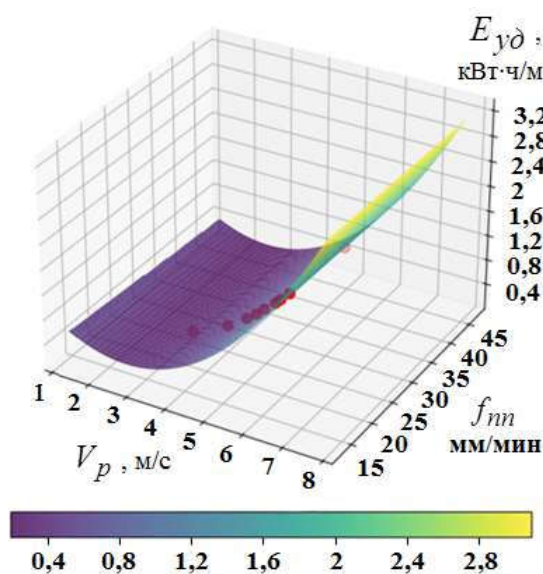
Аналогично, анализ зависимости $E_{y\partial} = f(V_p, V_\partial)$ энергоёмкости $E_{y\partial}$ формирования дрены в талой торфяно-болотной лесной почве (рис. 5, б) позволил выявить, что при постоянной скорости резания ($V_p = \text{const}$) увеличение рабочей скорости агрегата с цепным рабочим органом на каждые 50 м/ч обуславливает снижение энергоёмкости на 1,8...13,4 %, при этом увеличение скорости движения щеледренажной машины с 50 м/ч до 600 м/ч обеспечит теоретическое снижение энергоёмкости $E_{y\partial}$ на 175,8 %.



а)



б)



в)

а – в мерзлой почве; б – в талой почве;

в – в талой почве с древесными включениями

Рисунок 5 – Зависимость энергоёмкости $E_{y\partial}$ прорезания дренажной щели от скорости резания цепи V_p , скорости движения щеледренажной машины V_{∂} и поступательной подачи f_{nn} .

При неизменной величине скорости движения ($V_{\partial} = \text{const}$) возрастание скорости резания цепью V_p талой почвы на каждый 1 м/с обуславливает уменьшение энергоёмкости на 2,6...10,8 %, при этом изменение величины V_p с 2 м/с до 12 м/с приводит к снижению энергоёмкости прорезания дренажной щели на 56,1...80,5 %. Наименьшие величины энергоёмкости (при стабильной величине $V_{\partial} = \text{const}$) наблюдаются при скорости резания цепи $V_p = 11...14$ м/с.

Анализ зависимости $E_{y\partial} = f(V_p, f_{nn})$ энергоёмкости $E_{y\partial}$ прорезания дренажной щели в талой торфяно-болотной лесной почве с древесными включениями (рис. 5, в) позволил выявить, что при постоянной поступательной подаче рабочего органа ($f_{nn} = \text{const}$) наименьшие величины энергоёмкости до-

стигаются при скоростях резания $V_p = 2,5 \dots 3,5$ м/с, при этом увеличение скоростей резания сверх указанного диапазона обуславливает резкое увеличение энергоёмкости на 350...420 %. При постоянной скорости резания ($V_p = \text{const}$) увеличение поступательной подачи рабочего органа обуславливает снижение затрат энергии на резание талой почвы на 123...175 %.

Таким образом, исследование зависимостей $E_{y\partial} = f(V_p, V_{\partial})$ энергоёмкости $E_{y\partial}$ прорезания дренажной щели в мерзлой и талой (в том числе, с древесными включениями) торфяно-болотной лесной почве выявило, что по критерию $E_{y\partial} \rightarrow \min$ для мерзлой почвы целесообразно назначение скоростей резания цепью $V_p = 2 \dots 5$ м/с, для талой почвы – $V_p = 11 \dots 14$ м/с, для почвы с древесными включениями – $V_p = 2,5 \dots 3,5$ м/с. Во всех случаях целесообразно стремиться к увеличению скоростей движения щеледренажной машины до оптимальных значений $V_{\partial} = 550 \dots 650$ м/ч.

Список литературы

1. Залесов С.В. Гидролесомелиорация избыточно увлажненных земель. Термины, понятия и определения / С.В. Залесов, А.В. Тукачева. – Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2018. – 67 с.
2. Ещё раз к вопросу о гидролесомелиорации торфяных болот / В.Ф. Корольчук, В.К. Константинов, А.В. Кудряшев [и др.] // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. – СПб: Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства, 2011. – С. 295-309.
3. Platonov A.A. Modern state of technical means to remove uncontrolled vegetation / A.A. Platonov // Lesnoy Vestnik. Forestry Bulletin. – 2021. – Vol. 25, № 1. – pp. 115-122. – DOI: 10.18698/2542-1468-2021-1-115-122.
4. Совершенствование технологий и техники для расчистки площадей от нежелательной древесно-кустарниковой растительности / М.В. Драпалюк, В.Н. Коротких, А.А. Платонов [и др.] // Леса России и хозяйство в них. – 2025. – № 3(94). – С. 136-146. – DOI: 10.51318/FRET.2025.94.3.014.
5. О лесоводственной эффективности осушения и лесокультурного освоения болот и их окраек / В.К. Константинов, С.А. Выродова, Ю.А. Фролов [и др.] // Лесное хозяйство и комплексное природопользование: Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. Выпуск 2(22). – СПб: Изд-во СПбНИИЛХ, 2010. – С. 133-138
6. Болат-Оол Ч.К. Оценка искусственного лесовосстановления в Кызылском лесничестве Республики Тыва / Ч.К. Болат-Оол, Ш.А. Седембиль // Научный аспект. – 2023. – Т. 29, № 12. – С. 356-362.
7. Естественное возобновление хвойных пород на площадях лесных культур / В.З. Нгуен, А.В. Грязькин, Н.В. Беляева [и др.] // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2018. – № 223. – С. 6-15. – DOI: 10.21266/2079-4304.2018.223.6-15.

8. Саая С.С.Ш. Совершенствование рабочих органов щеледренажных мелиоративных машин путём обоснования кинематических соотношений работы цепи с чашеобразными резцами / С.С.Ш. Саая, С.Н. Долматов, С.Н. Орловский // Системы. Методы. Технологии. – 2026. – № 1(69). – С. 16-22. – DOI: 10.18324/2077-5415-2026-1-16-22.

9. Саая С.С.Ш. Технологии осушения болот щелевым дренажом / С.С.Ш. Саая, С.Н. Орловский // Мелиорация и водное хозяйство – основа продовольственной и экологической безопасности: материалы Юбилейной международной научно-практической конференции. – М: ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», 2024. – С. 398-407.

10. Патент на полезную модель № 234610 U1 Российская Федерация, МПК E02F 9/22, E02B 11/02, E02F 5/06. Режущий аппарат для формирования дренажных щелей / С.С.Ш. Саая, С.Н. Далматов; заявитель «Тувинский государственный университет»; № 2025100426; заявл. 14.01.2025; опубл. 03.06.2025.

11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025619050 РФ. Программа для расчета энергоёмкости прорезания щели в торфе от скоростей резания и движения / С.С.Ш. Саая, С.Н. Долматов; заявитель «Тувинский государственный университет»; № 2025617848; заявл. 07.04.2025; опубл. 14.04.2025.

References

1. Zalesov S.V. Hydroforestry reclamation of excessively wetlands. Terms, concepts, and definitions / S.V. Zalesov, A.V. Tukacheva. – Ekaterinburg: USLTU Publishing House, 2018. – 67 p.

2. Once again on the issue of hydroforestry reclamation of peat bogs / V.F. Korolchuk, V.K. Konstantinov, A.V. Kudryashev [et al.] // Proceedings of the St. Petersburg Forestry Research Institute. - SPb: St. Petersburg Forestry Research Institute, 2011. - Pp. Modern state of technical means to remove uncontrolled vegetation / A.A. Platonov // Lesnoy Vestnik. Forestry Bulletin. – 2021. – Vol. 25, № 1. – pp. 115-122. – DOI: 10.18698/2542-1468-2021-1-115-122.

4. Improving technologies and equipment for clearing areas of unwanted trees and shrubs / M.V. Drapalyuk, V.N. Korotkikh, A.A. Platonov [et al.] // Forests of Russia and their management. – 2025. – № 3(94). – pp. 136-146. – DOI: 10.51318/FRET.2025.94.3.014.

5. On the silvicultural efficiency of drainage and silvicultural development of swamps and their edges / V.K. Konstantinov, S.A. Vyrodova, Yu.A. Frolov [et al.] // Forestry and Integrated Nature Management: Transactions of the St. Petersburg Forestry Research Institute. Vol. 2(22). – SPb: Publishing House of SPbNIILH, 2010. – Pp. 133-138

6. Bolat-Ool Ch.K. Assessment of artificial reforestation in the Kyzyl forestry of the Republic of Tyva / Ch.K. Bolat-Ool, Sh.A. Sedembil // Scientific aspect. – 2023. – Vol. 29, № 12. – pp. 356-362.

7. Natural regeneration of coniferous species in areas of forest plantations / V.Z. Nguyen, A.V. Gryazkin, N.V. Belyaeva [et al.] // Bulletin of the St. Petersburg Forest

Engineering Academy. – 2018. – № 223. – pp. 6-15. – DOI: 10.21266/2079-4304.2018.223.6-15.

8. Saaya S.S.Sh. Improvement of working bodies of slit drainage melioration machines by substantiating the kinematic relationships of the operation of a chain with cup-shaped cutters / S.S.Sh. Saaya, S.N. Dolmatov, S.N. Orlovsky // Systems. Methods. Technologies. – 2026. – № 1(69). – pp. 16-22. – DOI: 10.18324/2077-5415-2026-1-16-22.

9. Saaya S.S.Sh. Technologies for draining swamps with slit drainage / S.S.Sh. Saaya, S.N. Orlovsky // Land Reclamation and Water Management – the Basis of Food and Environmental Security: Proceedings of the Anniversary International Scientific and Practical Conference. – Moscow: Federal Scientific Center of Hydrometeorology and Metrology named after A.N. Kostyakov, 2024. – pp. 398-407.

10. Patent for Utility Model № 234610 U1 Russian Federation, IPC E02F 9/22, E02B 11/02, E02F 5/06. Cutting Apparatus for Forming Drainage Slits / S.S.Sh. Saaya, S.N. Dolmatov; applicant «Tuva State University»; № 2025100426; declared 14.01.2025; published 03.06.2025.

11. Certificate of state registration of computer program № 2025619050 of the Russian Federation. Program for calculating the energy intensity of cutting a gap in peat from cutting and movement speeds / S.S.Sh. Saaya, S.N. Dolmatov; applicant «Tuva State University»; № 2025617848; declared 07.04.2025; published 14.04.2025.