

АГРОИНЖЕНЕРИЯ

4.3.1. Технологии, машины и оборудование
для агропромышленного комплекса

Научная статья
УДК 633.522:631.352.5
<https://doi.org/10.28983/asj.y2025i8pp140-146>

**Исследование процесса разрезания стеблей технической конопли
на отрезки заданной длины**

Роман Андреевич Попов

Федеральный научный центр лубяных культур, г. Тверь, Россия
e-mail: r.popov@fncl.k.ru

Аннотация. Разработка высокотехнологичных рабочих органов и совершенствование способов уборки технической конопли имеет важное практическое значение для развития отечественного коноплеводства. В работе представлены результаты экспериментальных исследований адаптера для разрезания стеблей технической конопли на отрезки заданной длины. Исследования проводили в 2024 г. в научно-производственной лаборатории Федерального научного центра лубяных культур по методике планирования многофакторного эксперимента на разработанной лабораторной установке, позволяющей имитировать работу адаптера в полевых условиях. В результате исследований получили регрессионные модели и экспериментальные данные рациональных параметров и режимов работы адаптера: зазор в режущей паре лезвие-противорез – не более 1 мм, высота расположения противореза относительно горизонтальной оси режущего барабана 142–145 мм, вылет ножа относительно вертикали 23–25°, угол отклонения противореза от вертикали 28–30°. Для получения отрезков стеблей длиной 0,45–0,55 м оптимальная частота вращения режущего барабана должна составлять 70–80 мин⁻¹, плющильных вальцов – 120–140 мин⁻¹. Определили, что наименьшая активная мощность 4 Вт затрачивается на разрезание стебля диаметром 10 мм при угле наклона лезвия ножа 4°.

Ключевые слова: техническая конопля, стебель, отрезки, адаптер, параметры и режимы работы, активная мощность

Для цитирования: Попов Р. А. Исследование процесса разрезания стеблей технической конопли на отрезки заданной длины // Аграрный научный журнал. 2025. № 8. С. 140–146. <https://doi.org/10.28983/asj.y2025i8pp140-146>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

**Investigation of the process of cutting industrial hemp stalks
into segments of a given length**

Roman A. Popov

Federal Scientific Center for Bast Crops, Tver, Russia
e-mail: r.popov@fncl.k.ru

Abstract. The development of high-tech working bodies and the improvement of methods for harvesting industrial hemp is of great practical importance for the development of domestic hemp growing. The paper presents the results of experimental studies of an adapter for cutting industrial hemp stalks into segments of a given length. The research was carried out in 2024 in the scientific and production laboratory of the Federal Scientific Center for Bast Crops using the method of planning a multifactorial experiment on a developed laboratory unit that allows simulating the operation of an adapter in the field. As a result of the research, regression models and experimental data on rational parameters and modes of operation of the adapter were obtained: the gap in the cutting pair blade-shear knife is no more than 1 mm, the height of the shear knife relative to the horizontal axis of the cutting drum is 142–145 mm, the knife outreach relative to the verticality is 23–25°, the angle of deviation of the shear knife from the verticality is 28–30°. To obtain segments of stalks with a length of 0.45–0.55 m, the rotation speed of the cutting drum is 70–80 rpm, and the cutting rollers – 120–140 rpm. It is determined that the lowest active power of 4 W is spent on cutting a stalk with a diameter of 10 mm at an angle of inclination of the knife blade of 4°.



Keywords: industrial hemp, stalk, segments, adapter, parameters and operating modes, active power

For citation: Popov R. A. Investigation of the process of cutting industrial hemp stalks into segments of a given length. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2025;(8):140–146. (In Russ.). <https://doi.org/10.28983/asj.y2025i8pp140-146>.

Введение. Техническая (безнаркотическая) конопля обладает огромным производственным и потребительским потенциалом, что обусловлено различными направлениями ее возделывания – на семенные цели, на волокно (зеленцовое направление) и на двустороннее использование [2, 4, 5]. Важнейшей технологической операцией при возделывании технической конопли является ее уборка. Процесс уборки осложнен значительной высотой растений, которая к моменту технической спелости культуры достигает в среднем 2–3 м, а также прочной лубоволокнистой структурой стебля. При этом технологии уборки тесно связаны с последующими операциями подготовки лубяного сырья для дальнейшей обработки – приготовлением тресты, ее подбором и прессованием в оптимальные агротехнические сроки, транспортировкой паков тресты к местам переработки. Результаты наблюдений и проведенные ранее исследования свидетельствуют о том, что применяемые технологии и технические средства для уборки этой весьма перспективной культуры требуют совершенствования и новизны в связи с изменением финансово-экономических условий производства, новыми задачами по обеспечению отечественной сырьевой базы натуральным и экологичным сырьем [1, 9, 11, 12]. Проведенный анализ технологий уборки показал, что в процессе уборки технической конопли при сборе стеблевой массы для дальнейшей переработки необходимо предусмотреть операцию разрезания стеблей на отрезки заданной длины. Это позволит освободить поле от стеблестоя после сбора семенной части и получить конкурентоспособное сырье для производства пеньковолокна. В связи с этим разработка высокотехнологичных рабочих органов и совершенствование способов уборки технической конопли для получения высококачественного лубяного сырья является важной и актуальной задачей для перехода отрасли отечественного коноплеводства на новый уровень развития.

В целях совершенствования технологий предложен новый эффективный способ уборки технической конопли, который включает в себя операцию измельчения (разрезания волокнистых стеблей на части), что позволит получить равномерный валок из отрезков стеблей одинаковой длины, упростит выполнение послеуборочных технологических операций и дальнейшую переработку конопляной тресты [10]. Для осуществления нового способа уборки разработано многофункциональное устройство (конструктивно-технологическая схема), которое включает в себя адаптер для разрезания стеблей. Новизна разработки подтверждена патентом РФ на изобретение [13]. В связи с этим возникает необходимость исследования процесса измельчения волокнистых стеблей таким адаптером, обеспечивающим расчетную длину резки растений. Разработка и исследование рабочих органов для уборки технической конопли, обоснование параметров и режимов их работы имеют важное практическое значение для отечественного коноплеводства и технической оснащенности отрасли.

Цель исследований – определение рациональных параметров и режимов работы адаптера для разрезания стеблей технической конопли на отрезки заданной длины.

Материалы и методы. Методика исследований включала в себя разработку лабораторной установки, исследование процесса разрезания стеблей и получение экспериментальных данных. Объект исследований – адаптер для разрезания стеблей технической конопли на отрезки заданной длины. В ходе исследований руководствовались ГОСТ 34265-2017 [3].

Для проведения лабораторных исследований изготовили экспериментальную установку на опытном производстве ФГБНУ ФНЦ ЛК. Для имитации работы адаптера в полевых условиях смонтировали транспортер подачи растений (рисунок 1).

Экспериментальная установка состоит из основания в виде рамы 1, на которой установлен режущий барабан 2, оснащенный двумя ножами 3, расположенными на одной оси противоположно друг другу, и противорежущим брусом 4; защитного кожуха 5, плющильных вальцов 6, ленточного транспортера 7. Принцип работы установки заключается в следующем. Стебли технической конопли укладывали ровным слоем на ленточный транспортер длиной 1,8 м, который осуществ-



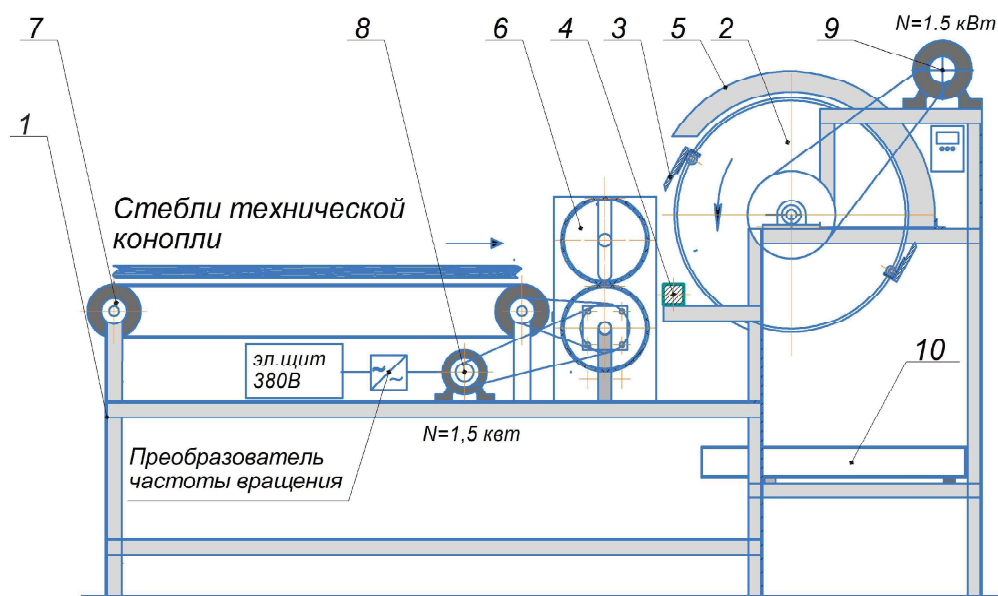


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки для проведения исследований

Figure 1 – Layout of the test facility for conducting research

для подачи материала к плющильным вальцам, обеспечивающим захват стеблей и их подвод к режущему барабану диаметром 0,6 м. Привод плющильных вальцов с транспортером подачи и привод режущего барабана осуществляли через клиноременную передачу от двух электродвигателей 8 и 9 соответственно (мощность 1,5 кВт). Полученные отрезки стеблей под действием собственного веса укладывали в лоток 10.

Для изменения режимов работы режущего барабана и подающих плющильных вальцов в схему электропитания установки подключили преобразователи частоты вращения ВЕСПЕР Е2-8300. Замер частоты вращения режущего барабана и плющильных вальцов проводили цифровым тахометром МЕГЕОН-1800Х, показания снимали с осей вращения. Затраты активной мощности на разрезание стеблей технической конопли измеряли цифровым многофункциональным прибором ЩМ-120, также подключенным в схему электропитания.

В качестве исследуемого растительного материала использовали стебли технической конопли урожая 2024 г. селекции Пензенского НИИСХ (обособленного подразделения ФГБНУ ФНЦ ЛК), отобранные в полевых условиях согласно методике [8] в период уборки. В условиях научно-производственной лаборатории ФГБНУ ФНЦ ЛК производили взвешивание стеблей на электронных весах ВЛТЭ-1100Т и измеряли другие размерно-массовые характеристики: диаметр стеблей в комлевой, средней и верхушечной частях, общую длину растений. Всего исследовали 100 шт. стеблей. Предварительную оценку влажности стеблей осуществляли цифровым влагомером ВЛТЗ. Общий вид измерительного оборудования и образцы растительного материала представлены на рисунке 2.



Рисунок 2 – Измерительное оборудование и растительный материал:
 а – цифровой тахометр МЕГЕОН-1800Х; б – цифровой влагомер ВЛТЗ;
 в – образцы стеблей технической конопли

Figure 2 – Measuring equipment and plant material:
 a – digital tachometer MEGEON-1800X; b – digital moisture meter VLTZ;
 c – samples of industrial hemp stalks





Исходные данные для проведения исследований.
 Сорт технической конопли, экотип: Надежда, среднерусский.
 Дата посева культуры / дата сбора стеблей: 20.05.2024 / 24.09.2024 г.
 Урожайность стеблей в производстве: до 90 ц/га.
 Стадия спелости: полная.
 Полегание стеблестоя, балл (от 1 до 5): 5 (нет полегания).
 Содержание волокна / выход длинного волокна: до 29 / до 18 %.
 Начальная влажность отобранных стеблей: 60 %.
 Длина образцов стеблей (min/max): 1,5/2,3 м.
 Диаметр стеблей (min/max): 10/16 мм.
 Масса одного стебля (min/max): 55/232 г.

Исследования проводили по методике планирования многофакторного эксперимента [7]. За параметры оптимизации приняли длину отрезков стеблей Y_1 и активную мощность, затрачиваемую на разрезание одного стебля Y_2 . При проведении исследований учитывали факторы, оказывающие наибольшее влияние на параметры оптимизации: скорость подачи стебельной массы; частота вращения режущего барабана; угол наклона режущей кромки лезвия; диаметр и влажность стеблей. Факторы и интервалы их варьирования представлены в таблице.

Матрица планирования многофакторного эксперимента

The matrix of planning a multifactorial experiment

Факторы	Обозначение		Уровни варьирования факторов			Интервал варьирования
	натуральное	кодированное	верхний	нулевой	нижний	
			+	0	-	
Параметр оптимизации Y_1 – длина отрезков стеблей						
Частота вращения вальцов, мин ⁻¹	$n_{вал}$	X_1	160	140	120	20
Частота вращения барабана, мин ⁻¹	$n_{бар}$	X_2	110	90	70	20
Параметр оптимизации Y_2 – затраты активной мощности на разрезание стебля						
Угол наклона лезвия ножа, °	τ	X_3	12	8	4	4
Диаметр стеблей, мм	$d_{ст}$	X_4	16	13	10	3

Кодирование выбранных факторов осуществляли по следующему преобразованию:

$$X_i = \frac{x_i - x_{i0}}{A}, \tag{1}$$

где X_i и x_i – кодированное и натуральное значение i -го фактора; x_{i0} – натуральное значение i -го фактора на основном уровне; A – натуральное значение интервала варьирования факторов.

По полученным в ходе исследований значениям параметров оптимизации (Y_1 и Y_2) рассчитывали математические модели технологического процесса в виде уравнений регрессии второго порядка:

$$Y = a_0 + \sum^n a_i X_i + \sum_{i < j}^n a_{ij} X_i X_j + \sum^n a_{ii} X_i^2, \tag{2}$$

где a_0 – свободный коэффициент, равный выходу при $X_i = 0$; a_i – эффекты от соответствующих факторов, показывающие влияние того или иного фактора на объект исследования; a_{ij} – эффекты от взаимодействия выбранных факторов; X_i, X_j – значения выбранных факторов; a_{ii} – эффекты при квадратичных членах.

Опыты проводили в трехкратной повторности на каждом уровне варьирования факторов. Адекватность моделей проверяли по критерию Фишера. Обработку экспериментальных данных осуществляли с использованием программных продуктов MS Excel, Mathcad и универсального статистического пакета STADIA [6, 14].

Результаты исследований. В ходе исследований установлено, что основное разрушающее воздействие на стебли оказывает лезвие ножа. Для гарантированного разрезания стеблей технической конопли необходимо обеспечить скользящее резание, при этом поддерживать лезвие в заточенном состоянии и располагать фаску лезвия параллельно ответной части противорежущей

пластины для нахождения с ней в постоянном зацеплении. Экспериментальным путем определили оптимальные параметры режущей пары: зазор между лезвием и противорезом должен быть не более 1,0 мм, высота расположения кромки противорезающего бруса относительно горизонтальной оси режущего барабана 142–145 мм, угол наклона ножа вперед (вылет ножа) относительно вертикали 23–25°, угол отклонения противореза от вертикали 28–30°. Из-за нормального изнашивания лезвия ножа при разрезании волокнистых стеблей технической конопли увеличивается зазор в режущей паре лезвие-противорез. Самым простым решением для уменьшения зазора является обеспечение регулировки положения противорезающей пластины.

В процессе работы плющильные вальцы, оснащенные гладкой прорезиненной поверхностью, обеспечивают захват стеблей, их подачу к режущему барабану и удержание при разрезании на отрезки, исключая при этом их проскальзывание и смещение к боковой стенке барабана. Длина полученных отрезков стеблей в заданном диапазоне варьирования факторов составила 0,35–0,62 м. Образцы нарезанных стеблей связаны в пучки, пронумерованы и представлены на рисунке 3.



Рисунок 3 – Образцы отрезков стеблей технической конопли после исследований

Figure 3 – Samples of industrial hemp stalk segments after research

По результатам обработки опытных данных получили адекватные многопараметрические регрессионные модели, описывающие зависимость длины отрезков стеблей технической конопли $L_{ст}$ от частоты вращения плющильных вальцов $n_{вал}$ и режущего барабана $n_{бар}$ (3) и затрат активной мощности $N_{рез}$ при разрезании стебля от угла наклона лезвия ножа τ и диаметра стебля $d_{ст}$ (4):

$$L_{ст} = 44,440 + 5,333X_1 - 7,111X_2 - 0,250X_1X_2 + 1,333X_1^2 + 2,667X_2^2; \quad (3)$$

$$N_{рез} = 5,630 + 0,944X_3 + 1,889X_4 - 0,250X_3X_4 + 0,722X_3^2 + 0,556X_4^2. \quad (4)$$

Для регрессионных моделей (3) и (4) построили поверхности отклика и их двумерные сечения, характеризующие зависимость параметров оптимизации от выбранных факторов (рисунки 4, 5).

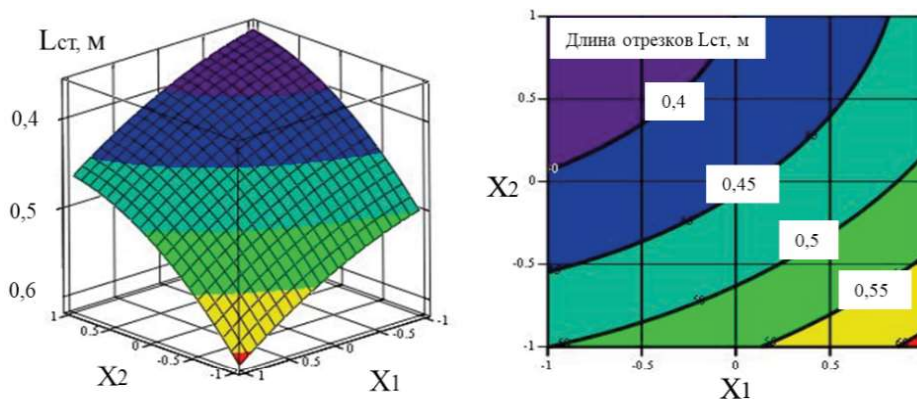


Рисунок 4 – Влияние частоты вращения вальцов X_1 и частоты вращения режущего барабана X_2 на длину отрезков стеблей $L_{ст}$

Figure 4 – The effect of the rotation frequency of the rollers X_1 and the rotation frequency of the cutting drum X_2 on the length of the stalk segments $L_{ст}$



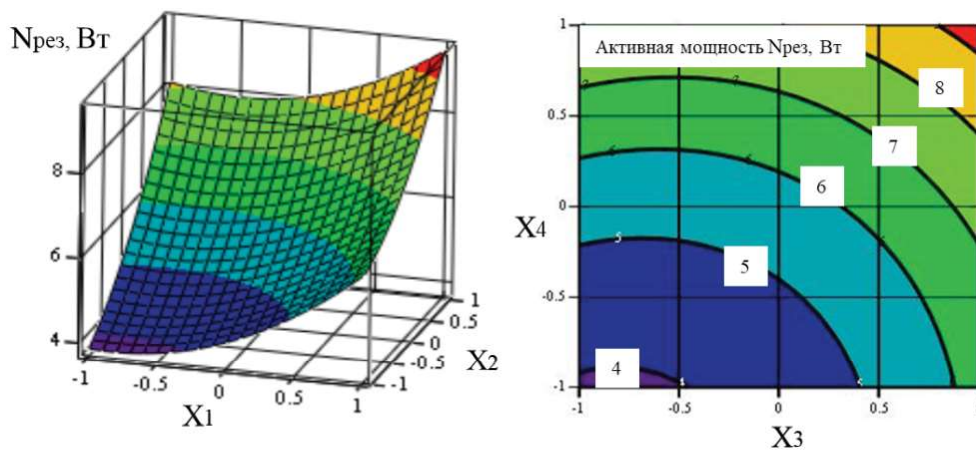


Рисунок 5 – Влияние угла наклона лезвия ножа X_3 и диаметра стеблей технической конопли X_4 на затраты активной мощности при разрезании стеблей $N_{рез}$

Figure 5 – The effect of the angle of inclination of the knife blade X_3 and the diameter of the stalks of industrial hemp X_4 on the loss of active power when cutting the stems N_{cut}

Поверхности откликов регрессионных моделей (3) и (4) представляют собой эллиптический параболоид. Анализ уравнения регрессии (3) показывает, что наибольшее влияние на длину отрезков стеблей оказывает фактор X_2 – частота вращения режущего барабана, с ростом которой в заданном диапазоне эта длина уменьшается. Это объясняется увеличением количества воздействий ножей режущего барабана на стебли в единицу времени. Исходя из требований дальнейшей переработки для получения отрезков длиной 0,45–0,55 м рациональными режимами работы адаптера являются: частота вращения режущего барабана 70–80 мин⁻¹; частота вращения вальцов 120–140 мин⁻¹.

На энергоэффективность процесса измельчения стеблей на отрезки (4) наибольшее влияние оказывает фактор X_4 – диаметр разрезаемых стеблей, который обуславливает глубину проникновения лезвия ножа в толщу материала, увеличение усилия и удельного давления, способствующего разрушению связей. С увеличением диаметра стеблей затраты активной мощности возрастают, достигая своего максимума до 10 Вт при диаметре стебля 16 мм и угле наклона лезвия ножа от 8 до 12°. Это объясняется тем, что в зоне резания происходят упругие деформации, скорость деформирования меняет механические свойства разрезаемого материала. Наименьшие затраты активной мощности 4 Вт зафиксированы при разрезании стебля диаметром 10 мм и угле наклона лезвия ножа 4°, что является оптимальным значением.

Заключение. В результате исследований установлено, что разработанный адаптер обеспечивает выполнение технологического процесса разрезания стеблей технической конопли на отрезки заданной длины. С использованием теории планирования многофакторного опыта получены регрессионные модели и экспериментальные данные рациональных параметров и режимов работы адаптера: зазор в режущей паре лезвие-противорез – не более 1 мм, высота расположения противореза относительно горизонтальной оси режущего барабана 142–145 мм, вылет ножа относительно вертикали 23–25°, угол отклонения противореза от вертикали 28–30°. Для получения отрезков стеблей в диапазоне 0,45–0,55 м частота вращения режущего барабана должна быть в пределах 70–80 мин⁻¹, частота вращения вальцов 120–140 мин⁻¹. Наименьшая активная мощность 4 Вт затрачивается на разрезание стебля диаметром 10 мм при угле наклона лезвия ножа 4°.

Полученные данные экспериментальных исследований будут учтены в дальнейшей проектной работе по разработке макетного образца многофункционального устройства для уборки технической конопли с рациональными конструктивными параметрами.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ ФНЦ ЛК (№ FGSS-2022-0005) при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ.



1. Бакулова И. В. Влияние способа уборки конопли посевной на урожайность и качество семян в условиях Среднего Поволжья // *Аграрный научный журнал*. 2023. № 8. С. 17–23.
2. Басова Н. В., Новиков Э. В. Анализ производства лубяных культур в России за период импортозамещения // *Технические культуры. Научный сельскохозяйственный журнал*. 2023. № 2(3). С. 54–63.
3. ГОСТ 34265-2017. Техника сельскохозяйственная. Машины кормоуборочные. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2018. 54 с.
4. Ивановс С., Адамович А., Руциньш А. Расширение возможностей использования продукции индустриальной конопли // *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2017. № 91. С. 118–126.
5. Кабунина И. В. Современная структура мирового рынка производства конопли // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2021. № 4. С. 40–44.
6. Кулаичев А. П. Методы и средства комплексного анализа данных. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Форум: Инфра-М, 2006. 512 с.
7. Мельников С. В., Алешкин В. Р., Рощин П. М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. Л.: Колос, 1972. 200 с.
8. Методические указания по селекции конопли и производственной проверке законченных научно-исследовательских работ / ВАСХНИЛ. Отделение растениеводства и селекции, ВНИИ лубяных культур / Сост. Г. И. Сенченко. М.: ВАСХНИЛ, 1980. 30 с.
9. Попов Р. А. Инновационные разработки и современные технические средства для уборки конопли посевной // *Таврический вестник аграрной науки*. 2021. № 1(25). С. 150–163.
10. Попов Р. А. Повышение эффективности процесса уборки высокостебельных лубяных культур // *Аграрный научный журнал*. 2024. № 6. С. 117–124.
11. Ростовцев Р. А., Попов Р. А., Пучков Е. М. Инновационный способ уборки технической конопли и схема многофункционального агрегата для его осуществления // *Аграрная наука*. 2023. № 7(372). С. 129–133.
12. Ростовцев Р. А., Ущачовский И. В., Новиков Э. В. Актуальные проблемы производства и первичной переработки технической конопли // *Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса: материалы XII Международ. науч.-практ. конф. в рамках XXII Агропромышленного форума юга России и выставки «Интерагромаш»; Донской государственный технический университет; Аграрный научный центр «Донской»*. Ростов н/Д., 2019. С. 421–424.
13. Способ уборки высокостебельных лубяных культур и устройство для его осуществления: патент № 2814555 С1 / Р. А. Ростовцев [и др.]; заявл. 27.03.2023; опубл. 01.03.2024.
14. Хайлис Г. А., Ковалев М. М. Исследование сельскохозяйственной техники и обработка опытных данных. М.: Колос, 1994. 169 с.

REFERENCES

1. Bakulova I. V. The influence of the method of harvesting seeded hemp on the yield and quality of seeds in the conditions of the Middle Volga region. *Agrarian Scientific Journal*. 2023;(8):17–23. (In Russ).
2. Basova N. V., Novikov E. V. Analysis of the production of bast crops in Russia for the period of import substitution. *Technical Crops. Scientific Agricultural Journal*. 2023;2(3):54–63. (In Russ).
3. GOST 34265-2017. Agricultural machinery. Forage harvesting machines. Test methods. Moscow: Standartinform, 2018. 54 p. (In Russ).
4. Ivanovs S., Adamovichs A., Rutsinsh A. Improving the possibilities for using industrial hemp products. *Technologies and Technical Means for Mechanized Production of Crop and Livestock Products*. 2017;(91):118–126. (In Russ).
5. Kabunina I. V. Modern world market structure hemp production. *International Agricultural Journal*. 2021;(4):40–44. (In Russ).
6. Kulaichev A. P. Methods and tools of complex data analysis. 4th ed., rev. and add. Moscow, 2006. 512 p. (In Russ).
7. Melnikov S. V., Alyoshkin V. R., Roshchin P. M. Experimental planning in research of agricultural processes. Leningrad, 1972. 200 p. (In Russ).
8. Methodological guidelines on hemp breeding and production verification of completed research works / VASKhNIL. Department of Crop Production and Breeding, All-Russian Research Institute of Bast Crops / compl. G. I. Senchenko. Moscow, 1980. 30 p. (In Russ).
9. Popov R. A. Innovative developments and modern technical means for seeded hemp harvesting. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2021;1(25):150–163. (In Russ).
10. Popov R. A. Increasing the efficiency of the high-stem bast crops harvesting process. *Agrarian Scientific Journal*. 2024;(6):117–124. (In Russ).
11. Rostovtsev R. A., Popov R. A., Puchkov E. M. An innovative method for harvesting industrial hemp and a scheme of a multifunctional unit for its implementation. *Agrarian Science*. 2023;7(372):129–133. (In Russ).
12. Rostovtsev R. A., Ushchapovsky I. V., Novikov E. V. Actual problems of production and primary processing of industrial hemp. *State and Prospects of Development of the Agro-industrial Complex*. Rostov-on-Don, 2019:421–424. (In Russ).
13. The method of harvesting tall-stalked bast crops and the device for its implementation: patent No. 2814555 C1 / R. A. Rostovtsev, R. A. Popov, S. V. Solovyov, G. A. Perov; appl. 03/27/2023; publ. 01.03.2024. (In Russ).
14. Khailis G. A., Kovalev M. M. Research of agricultural machinery and processing of experimental data. Moscow: Kolos, 1994. 169 p. (In Russ).

Статья поступила в редакцию 16.10.2024; одобрена после рецензирования 20.11.2024; принята к публикации 30.11.2024.
The article was submitted 16.10.2024; approved after reviewing 20.11.2024; accepted for publication 30.11.2024.

