10.28983/asj.y2021i3pp82-85 УДК 633.522:631.352.5

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ РЕЖУЩЕГО АППАРАТА ДЛЯ УБОРКИ ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНОПЛИ

ПОПОВ Роман Андреевич, *ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур»*
ЧЕРНИКОВ Виктор Григорьевич, *ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур»*

В статье предложена перспективная схема аппарата ротационного типа для бесподпорного среза технической конопли. Определены основные конструктивные параметры рабочих органов (диаметр режущего диска, расположение режущих сегментов, ширина захвата аппарата). Рассчитаны режимы работы режущего аппарата (скорость резания, частота вращения и угловая скорость диска, крутящий момент, мощность, затрачиваемая на привод). Результаты исследований будут использованы при создании рабочего органа для уборки технической конопли.

Введение. Приоритетная задача отечественного коноплеводства на сегодняшний день – создание технических средств нового поколения для уборки безнаркотической конопли по различным направлениям ее возделывания и получение высококачественного пеньковолокна, конопляного масла из семян, целлюлозы и костры.

Техническая конопля – стратегическая лубяная культура, ценное сырье для производства до 40 тысяч видов продукции в различных отраслях промышленности. По данным прогноза, площадь посева технической конопли в России к 2025 году должна увеличиться до 20,0 тыс. га. При этом ожидаемый валовой сбор пеньковолокна составит – 10,0 тыс. т, а его урожайность – 8,5 ц/га [10].

Срезание стеблей технической конопли при уборке посевов является весьма специфическим процессом. При достижении технической спелости лубоволокнистый слой в стеблях полностью сформирован, обладает значительной длиной и прочностью, что служит причиной частых намоток и забивок рабочих органов уборочных машин, нарушения технологического процесса, вынужденных остановок агрегата и затягивания сроков уборки [4].

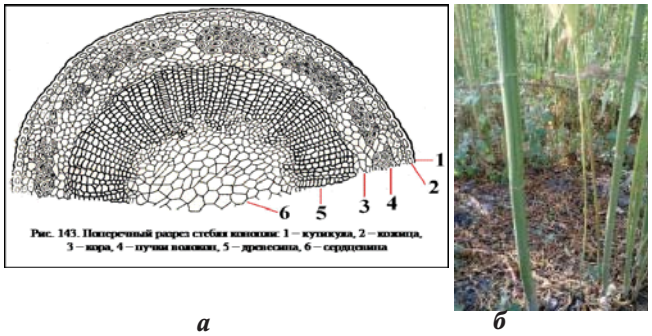
В настоящее время для уборки конопли применяются различные типы режущих аппаратов с учетом характерных особенностей строения и физико-механических свойств стебля, густоты и высоты стеблестоя, в связи с чем к ним предъявляются повышенные требования: чистый срез без закусывания и смятия стеблей, исключение образования намоток волокнистой части на вращающиеся элементы, повышенный срок эксплуатации ножей и др. Учитывая данные обстоятельства, исследование рабочих органов, создание новых технических средств для возделывания безнаркотической конопли на сегодняшний день является весьма актуальной и глобальной задачей в механизации уборочных процессов отечественного коноплеводства.

Цель исследования – определение оптимальных параметров и режимов работы рабочего органа для бесподпорного среза стеблей технической конопли.

Методика исследований. Объектом исследования является важнейший рабочий орган для уборки конопли – режущий аппарат, которому уделяется повышенное внимание из-за волокнистой структуры стебля. Для расчета оптимальных параметров и режимов работы необходимо знать размерно-массовую и прочностную характеристику стебля конопли.

Изучалось анатомическое строение стебля, его физико-механические свойства как объекта срезания и сущность процесса резания. Структура, размерно-массовые характеристики конопли исследовались на посевах сортов Вера, Надежда в Пензенской области, Родник, Сейм в Курской области в 2019–2020 гг. Информационную базу составили научные работы и публикации по исследованию рабочих органов для уборки технической конопли и грубостебельных культур в России и за рубежом, аналитические материалы и другие доступные источники. В процессе исследования применялись экспериментальные и производственные методы, методы сравнительного и системного анализа данных, экспертной оценки.

Стебель технической конопли состоит из механической ткани (колленхимы), образованной из расположенных в определенном порядке клеток. Волокна ткани являются самыми прочными элементами и выполняют функцию арматуры (рис. 1, а) [2]. По внешнему виду стебель конопли представляет собой вытянутый конус, у основания имеет округлую форму, выше шестигранный (рис. 1, б). В целом стебель конструкция небольшого веса с высокой прочностью и гибкостью. По своей структуре его можно рассматривать как консольную балку с равным по высоте сопротивлением изгибу.



а *б*

Рис. 1. Строение стебля технической конопли: а – поперечный разрез; б) – общий вид; 1 – кутикула; 2 – кожица; 3 – кора; 4 – пучки волокон; 5 – древесина; 6 – сердцевина

Средняя высота конопли среднерусского экотипа составляет 2–3 м, южного – 3–5 м. Диаметр стебля колеблется от 5 до 20 мм и более. В загущенных «зеленцовых» посевах стебли тоньше, в разреженных «семенных» – более толстые. Стебель заполнен сердцевиной, легко древеснеет. Волокна технической конопли отличаются большой крепостью по сравнению с другими лубяными культурами [6, 8].

Структура стебля обусловливает трудности, возникающие при уборке конопли. Сила, с которой нож режущего аппарата воздействует на стебель, вызывает значительное удельное давление между лезвием и материалом, что приводит к разрушению связей. После проникновения в толщу стебля грани ножа вступают во взаимодействие с материалом стебля. При встрече ножа со стеблем одновременно происходит возрастание усилий на нож и растяжение стебля. В момент срезания конопли нож многократно ударяет стебель, при этом уменьшается амплитуда и частота удара. Когда сила инерции стебля при достаточном его отгибе окажет необходимое сопротивление дальнейшему отклонению стебля, происходит его срезание [1, 14].

Результаты исследований. Проведенные исследования и анализ существующих режущих аппаратов позволили установить, что для уборки технической конопли наиболее целесообразным и перспективным является режущий аппарат, работающий по принципу бесподпорного среза, который применяется в жатках ротационного типа для уборки грубостебельных культур с большим диаметром стебля [9, 11, 14].

В работе [12] предложена конструктивно-технологическая схема перспективной многофункциональной коноплеуборочной машины на базе отечественного зерноуборочного комбайна для уборки технической конопли по различным направлениям ее возделывания (на волокно, на семена и одновременно на волокно+семена). Для срезания стеблей конопли машина комплектуется жаткой-косилкой ротационного типа, осуществляющей бесподпорный срез. Проведем математический расчет параметров и режимов работы секции режущего аппарата, который в дальнейшем послужит основой для проектирования жатки-косилки для уборки технической конопли (рис. 2).

Зададимся исходными данными с учетом агротехнических требований при уборке, к которым относятся рабочая скорость машины (агрегата) и ширина захвата режущего аппарата, определяющие производительность, энерго- и металлоемкость машины и ряд других эксплуатационных показателей.

Поступательная скорость машины обуславливает подачу стебельной массы на 1 метр ширины захвата. Согласно экспериментальным данным, полученным при уборке толстостебельных культур (кукуруза, подсолнечник, люпин, сорго и др.), для качественной работы ротационных режущих аппаратов оптимальная скорость машины составляет $V_м$ = 10...15 км/ч (или 2,7...4,2 м/с) [5, 7, 9].

Ширину захвата режущего аппарата B определим исходя из диаметра режущего диска $D_{реж}$ и их количества K в нем. В исследованиях [11] теоретическим путем определены значения $D_{реж}$ в зависимости от их количества и компоновки в жатке. Для снижения энергоемкости машины и затрачиваемой мощности на привод рабочих органов, а также обеспечения уборки двух рядков растений при широкорядном севе (порядка 700 мм), примем диаметр режущего диска $D_{РЕЖ}$ = 0,8 м. Тогда ширина захвата секции режущего аппарата составит:

$$B = D_{реж}K = 0{,}8 \cdot 2 = 1{,}6 \text{ м.} \quad (1)$$

Рассчитаем максимальную производительность секции режущего аппарата W_{max} при уборке технической конопли из выражения:

$$W_{max} = 0{,}36BV_м = 0{,}36 \cdot 1{,}6 \cdot 4{,}2 = 2{,}5 \text{ га/ч.} \quad (2)$$

Конструктивные параметры режущего диска (количество режущих сегментов, их высоту

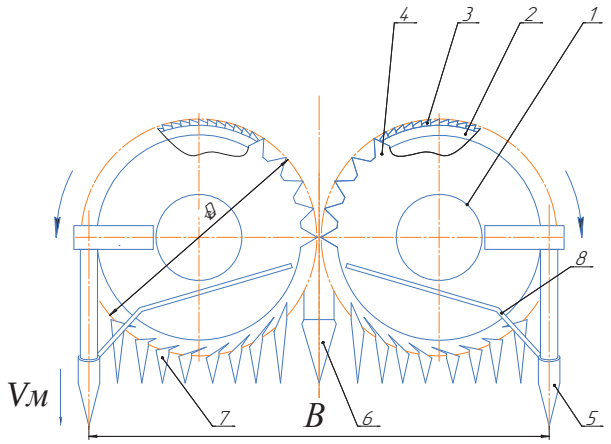


Рис. 2. Схема секции режущего аппарата для бесподпорного среза технической конопли: 1 – ротор режущего аппарата; 2 – режущий диск; 3 – режущие сегменты (ножи); транспортирующий диск; 5 – боковой делитель; 6 – центральный делитель; 7 – направляющие стеблей; 8 – отклоняющий пруток

и расположение) определим с учетом диаметра стебля технической конопли, его влажности при уборке, гибкости, силы трения и других свойств. Для гарантированного среза конопли высоту зуба (сегмента) h примем равной среднему значению диаметра стебля ($h = 10$ мм). Учитывая наличие волокнистой оболочки и древесной части в стебле конопли, его размерно-массовую характеристику, целесообразно разместить режущие сегменты по длине окружности диска сплошным образом с шагом t, кратным нескольким диаметрам стебля (примем $t = 26$ мм). Толщину зуба b примем равной 4 мм (рис. 3).

Количество режущих сегментов на диске определим из выражения:

$$Z = \frac{D_{реж}}{t} = \frac{2\pi R}{t} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 0.4}{0.026} = 96 \text{ шт.} \quad (3)$$

Рассчитаем угол расположения соседних сегментов α на диске:

$$\alpha = \frac{2\pi}{Z} = \frac{2 \cdot 3{,}14}{96} = 0{,}065 \text{ рад.} \approx 4 \text{ град.} \quad (4)$$

Скорость срезания стеблей $V_р$ (или критическая скорость, при которой срез стебля происходит практически без отгиба $V_{кр}$) зависит от свойств растения (жесткости, плотности, величины отгиба стебля при воздействии ножа и др.) и выражается в следующем виде [5, 13]:

$$V_p > \frac{F_{cp}(H^3 + \frac{m}{\Delta t})}{3\Delta t E l_{cm}}, \quad (5)$$

где $F_{ср}$ – сила срезания стебля, Н; H – высота среза стеблестоя, м; m – масса стебля, кг; Δt – время срезания, с; E – модуль упругости материала стебля, Па; $l_{ст}$ – высота стебля, м.

Исследованиями работы ротационного режущего аппарата при срезе грубостебельных культур с большим диаметром стебля установлено, что при бесподпорном срезе критическая скорость $V_{кр}$ составляет 6...10 м/с [4, 5]. С ростом $V_{кр}$ до 25 м/с усилие среза существенно снижается. Таким образом, с учетом уменьшения расхода мощности на привод среднюю скорость резания определим как $V_р = (3 \dots 5)V_{кр} = 32$ м/с [5, 13].

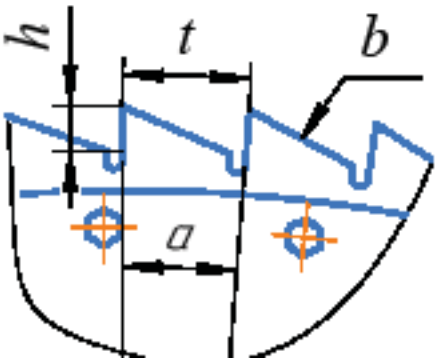


Рис. 3. Расположение и параметры режущих сегментов на диске

Угловую скорость вращения диска ω определим из условия, что для качественного срезания стеблей технической конопли без опоры скорость ножа должна быть больше критической скорости резания:

$$\omega = \frac{V_р + V_м}{R} = \frac{32+4{,}2}{0{,}4} = 90 \text{ с}^{-1}. \quad (6)$$

Число оборотов диска n рассчитаем из выражения:

$$n = \frac{30\omega}{\pi} = \frac{30 \cdot 90}{3{,}14} = 860 \text{ мин}^{-1}. \quad (7)$$

Определим крутящий момент $M_{кр}$ на валу режущего диска:

$$M_{кр} = F_{ср} R. \quad (8)$$

Усилие $F_{ср}$, необходимое для среза стеблей технической конопли данным режущим аппаратом, определим расчетным путем. С учетом имеющихся данных (ширины захвата B, скорости машины $V_м$, густоты стеблестоя при ширине междурядий 700 мм, среднего диаметра стебля, усилия, затрачиваемого на срез 1 стебля конопли) усилие $F_{ср}$ составит порядка 170 Н. Тогда крутящий момент на одном режущем диске будет равен $M_{кр} = 68$ Нм.

Рассчитаем мощность, затрачиваемую на привод одного диска:

$$N = \frac{nM_{кр}}{9550} = \frac{860 \cdot 68}{9550} = 6{,}1 \text{ кВт}. \quad (9)$$

Суммарная мощность привода секции режущего аппарата:

$$N_{сум} = KN = 12{,}2 \text{ кВт}. \quad (10)$$

С учетом полученных параметров и режимов работы можно графически определить эксплуатационные показатели работы режущего аппарата при различной ширине захвата жатки-косилки (рис. 4).

Заключение. Проведенные расчеты позволили определить оптимальные параметры конструктивных элементов и режимы работы режущего аппарата для уборки технической конопли: ширина захвата 1,6 м, диаметр режущего диска

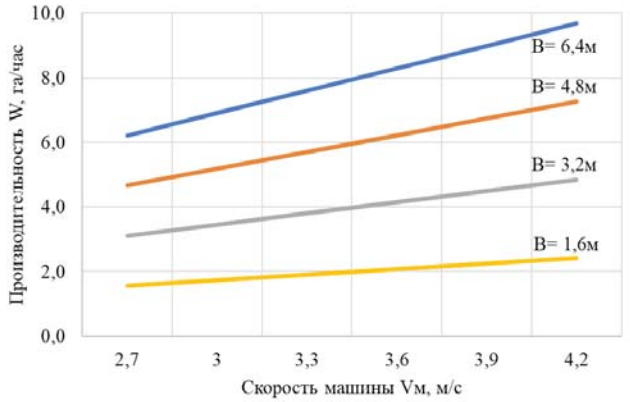


Рис. 4. Зависимость производительности режущего аппарата от скорости машины и ширины захвата

0,8 м, количество сегментов на диске 96 шт., угол их расположения 4 град., скорость резания 32 м/с, угловая скорость диска 90 $с^{-1}$, частота вращения – 860 $мин^{-1}$, крутящий момент 68 Нм, суммарная мощность на привод 12,2 кВт.

Результаты расчетов будут использованы в дальнейшей научно-исследовательской работе при проектировании и лабораторно-полевых испытаниях жатки-косилки для бесподпорного среза технической конопли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алдошин Н.В., Золотов А.А., Лылин Н.А.* Совершенствование конструкции сегментно-пальцевых режущих аппаратов // Вестник НГИЭИ. – 2017. – № 6 (73). – С. 46–53.

2. *Александрова Л.Н., Ефейкин Д.П.* Анатомическое строение стебля конопли в зависимости от нормы высева // Аграрная наука Евро-Северо-Востока.– 2012.– № 4 (29). – С. 24–26.

3. *Босой Е.С., Верняев О.В.* Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин. – М.: Машиностроение, 1978. – 568 с.

4. *Дмитриев С.Ю.* Оптимальные параметры среза стеблей конопли // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2014. – № 4 – С. 26–28.

5. *Догота П.А., Красовский В.В.* Анализ существующих теорий работы ротационного режущего аппарата косилки для скашивания сидератов в междурядьях многолетних насаждений // Науч. тр. ЮФ НУБиПУ «КАТУ». – Симферополь, 2013. – Вып. 153. – С. 164–175.

6. *Жукова С.В.* Исследование новых сортов конопли и разработка технологии получения однотипной пеньки: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.02. – Кострома, 2012.- 185 с.

7. *Особов В.И.* Механическая технология кормов. –М.: Колос, 2009. – 344 с.

8. *Пашин Е.Л., Жукова С.В., Пашина Л.В., Степанов Г.С.* Исследование морфологических и технологических свойств стеблей новых сортов конопли // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2010. – № 4(325). – С. 21–24.

9. *Попов В.Б., Голушко П.Е., Иванов А.А., Чаус В.П.* Анализ технологического процесса кошения растений ротационными режущими аппаратами // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. – 2009. – № 4 (73). – С. 32–39.

10. *Попов Р.А.* Состояние, проблемы и возможности для развития отечественного коноплеводства // Агротехника и энергообеспечение. – 2019. – № 4 (25). – С. 42–52.

11. *Попов Р.А., Перов Г.А.* Анализ работы режущего аппарата для бесподпорного среза стеблей технической конопли // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 3. – С. 14–21.

12. *Попов Р.А., Пучков Е.М., Соловьев С.В.* Аналитический обзор конструкций машин и технических решений для уборки конопли// Аграрный научный журнал. – 2020. – № 10. – С. 120–125.

13. *Резник Н.Е.* Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов. - М.: Машиностроение, 1975.– 311 с.

14. *Трубилин Е.И., Абликов В.А.* Машины для уборки сельскохозяйственных культур (конструкции, теория и расчет): учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. – Краснодар: КГАУ, 2010. – 325 с.

Попов Роман Андреевич, *канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный центр лубяных культур. Россия.*

Черников Виктор Григорьевич, *д-р техн. наук, проф., чл.-корр. РАН, главный научный сотрудник, Федеральный научный центр лубяных культур. Россия.*

170041, г. Тверь, Комсомольский просп., 17/56.

Тел.: (4822) 416-110.

Ключевые слова: *техническая конопля; стебель конопли; режущий аппарат; режимы работы; уборка конопли.*

TECHNICAL HEMP HARVESTING CUTTING MACHINE PARAMETERS AND OPERATION MODES CALCULATION

Popov Roman Andreevich, *Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, Federal Scientific Center for Fiber Crops, Russia.*

Chernikov Victor Grigorievich, *Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher, Federal Scientific Center for Fiber Crops, Russia.*

Keywords: *technical hemp; the stalk of hemp; cutting device; operation modes; hemp harvesting*

In the article, a promising scheme of a rotary type apparatus for a non-support cut of technical hemp is proposed. The main design parameters of working bodies are defined (diameter of the cutting disc, location of the cutting segments, width of the device). The operating modes of the cutting device are calculated (cutting speed, rotational speed and angular speed of the blade, torque, power applied to the drive). The research results will be used to create working bodies for harvesting technical hemp.