



Научная статья
 УДК 633.522:631.352.5
 doi:10.35694/YARCX.2021.55.3.013

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И РАСЧЁТЕ АППАРАТА ДЛЯ СРЕЗАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНОПЛИ

Р. А. Попов (фото)

канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агроинженерных технологий

И. Л. Абрамов

канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агроинженерных технологий ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», г. Тверь

*Техническая конопля,
 режущий аппарат,
 срез конопля, профиль
 зуба, компьютерное
 моделирование,
 прочность*

*Industrial hemp, cutting
 machine, hemp cut,
 tooth profile, computer
 simulation, strength*

На сегодняшний день отечественное коноплеводство представляется весьма перспективным направлением развития сельского хозяйства. Благодаря своим уникальным свойствам техническая (безнаркотическая) конопля приобретает всё новые, инновационные направления использования. Для более динамичного развития подотрасли требуется высокопроизводительная уборочная техника, надёжные рабочие органы, что обусловлено необходимостью среза волокнистых стеблей конопля, обладающих абразивными свойствами, большим диаметром и значительной высотой (в среднем 2,5 метра) в период технической спелости [1; 2].

Наиболее ответственным рабочим органом коноплеуборочной техники является режущий аппарат. Учитывая прочную лубоволокнистую оболочку и древесную составляющую (целлюлозу) в структуре стебля конопля, к режущим аппаратам предъявляются высокие требования для качественного выполнения технологического процесса [3; 4]. В связи с этим при разработке рабочих органов уборочных машин необходимо учитывать особенности строения стеблей конопля, их физико-механические и технологические свойства, а также условия уборки для обеспечения гарантированного среза растений, увеличения ресурса режущих элементов и долговечности работы всего режущего аппарата. Поэтому на этапе проектирования применение компьютерных программных комплексов позволяет смоделировать технологический процесс, провести прочностные расчёты рабочих элементов, выбрать оптимальную форму и материал для изготовления деталей, исключить вероятность возможных ошибок из-за возрастающей сложности механизмов. Моделирование даёт возможность снизить временные и финансовые затраты на конструирование экспериментальных агрегатов, что имеет весьма важное практическое значение в современном сельскохозяйственном машиностроении.

Материалы и методы

В данном исследовании использованы возможности современных компьютерных CAD/CAM систем, которые позволяют осуществить пе-

реход от проектирования к производству за счёт интеграции виртуальных технологических приёмов, анимации работы, моделирования поведения спроектированной детали и работы всего механизма в целом.

Объектом исследования является аппарат для среза стеблей технической конопли и его рабочие элементы. В программном комплексе SolidWorks 2020 созданы объёмные твёрдотельные модели режущих сегментов, проведён прочностной расчёт (в модуле Simulation Premium) профилей под воздействием нагрузки.

В процессе исследования применялось моделирование процесса методом конечных элементов, сравнительный и системный анализ данных, экспертной оценки. Опирались на проведённые

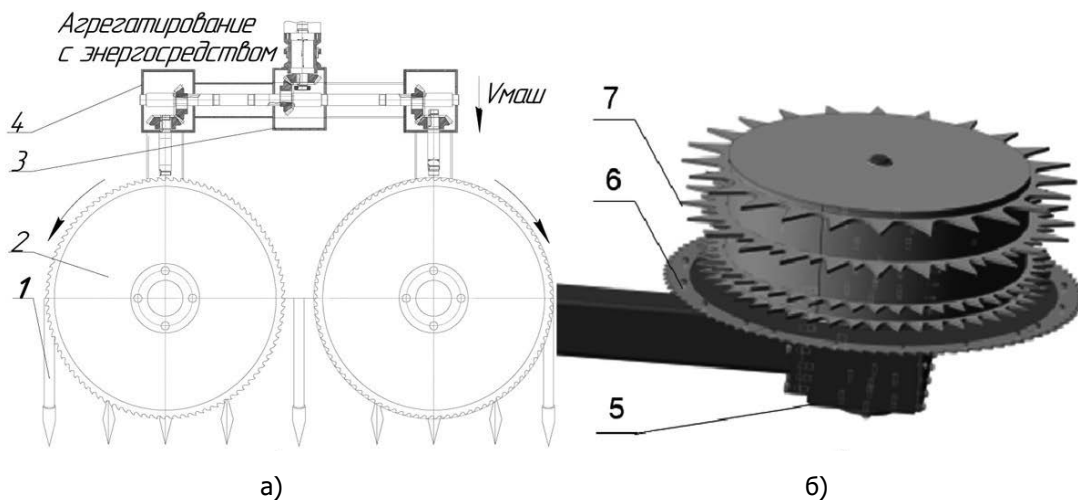
ранее исследования в области компьютерного моделирования при проектировании деталей и узлов сельскохозяйственных машин [5–7].

Результаты и обсуждение

В ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» в рамках НИОКР ведётся работа по созданию опытного образца режущего аппарата для среза технической конопли (рис. 1).

Основные параметры и режимы работы режущего аппарата определены в работе [8]. Техническая характеристика данного аппарата приведена в таблице 1.

Работа данного аппарата основана на принципе бесподпорожного среза стеблей, который применяется в ротационных устройствах для уборки



1 – делители; 2 – режуще-транспортирующие диски; 3 – главный редуктор привода; 4 – угловой редуктор; 5 – редуктор привода режущих дисков; 6 – режущие сегменты; 7 – зубчатые венцы транспортирующих дисков.

Рисунок 1 – Аппарат для среза технической конопли: а) конструктивно-технологическая схема; б) 3D-модель режуще-транспортирующей части

Таблица 1 – Техническая характеристика аппарата для среза стеблей технической конопли

Наименование показателя	Значение
Тип режущего аппарата	Ротационный
Принцип среза растений	Бесподпорожный
Ширина захвата, м	1,6
Диаметр режущего диска, м	0,8
Частота вращения режущих дисков, об/мин	860
Расчётная скорость резания, м/с	32
Расчётная производительность работы, га/час	2,5

высокоурожайных культур с большим диаметром стебля. Важными показателями его работы являются усилие, затрачиваемое на срез стеблей технической конопли, и расходуемая при этом энергия. Согласно [9] удельная сила резания $F_{уд}$

H – для поперечного реза, определяется по формуле:

$$F_{y\partial} = k + \frac{\alpha_{\rho} P_{kp}}{S_z}, \quad (1)$$

где k – коэффициент, зависящий от природы разрезаемого материала;

α_p – поправочный коэффициент на затупление режущих кромок;

S_z – подача на зуб, м/с.

Руководствуясь теорией резания [10], критическое усилие, которое нужно приложить к ножу для среза стебля конопли $P_{кр}$, Н, определяется из выражения:

$$P_{кр} = \delta\sigma_p + \frac{Eh_{сл}^2}{2h} + \{tg\alpha + f\sin^2\alpha + \mu(f + \cos^2\alpha)\}, \quad (2)$$

где δ – толщина лезвия режущего сегмента, мм;

σ_p – разрушающее контактное напряжение при срезе стебля конопли, Н/м²;

E – модуль упругости стебля конопли, МПа;

h – толщина перерезаемого слоя (диаметр стебля конопли), мм;

$h_{сл}$ – толщина слоя, сжатого лезвием до момента начала резания, мм;

α – угол заточки лезвия режущего сегмента, град.;

f – коэффициент трения слоя о лезвие ножа;

μ – коэффициент Пуассона.

Исходя из анализа формул (1) и (2), можно сделать вывод, что мощность, затрачиваемая на срезание стебля конопли, зависит от геометрии

зубьев режущего диска при одинаковых параметрах среза, а именно от угла его заточки. При этом чем меньше угол заточки, тем меньше энергозатраты на срез стебля.

Зная усилие на срез стебля, можно определить энергозатраты при работе режущего аппарата $N_{рез}$, кВт:

$$N_{рез} = \frac{nP_{кр}R}{9550}, \quad (3)$$

где n – частота вращения режущего диска, об/мин;

R – радиус режущего диска, м.

При проектировании режущих сегментов (зубьев) необходимо обеспечить прочностные свойства материала для увеличения ресурса работы режущего аппарата, а также руководствоваться критериями, которые способствуют качественному срезу и минимизации энергозатрат. Поэтому, с учётом строения стебля, физико-механических свойств и размерно-массовой характеристики культуры, разработаны и изготовлены на опытном производстве режущие диски с различным профилем зубчатых сегментов для проведения экспериментально-технологических исследований среза стеблей технической конопли (рис. 2).

Перед началом опытной эксплуатации нами был проведён расчёт на прочность разработанных режущих сегментов на предмет обнаружения

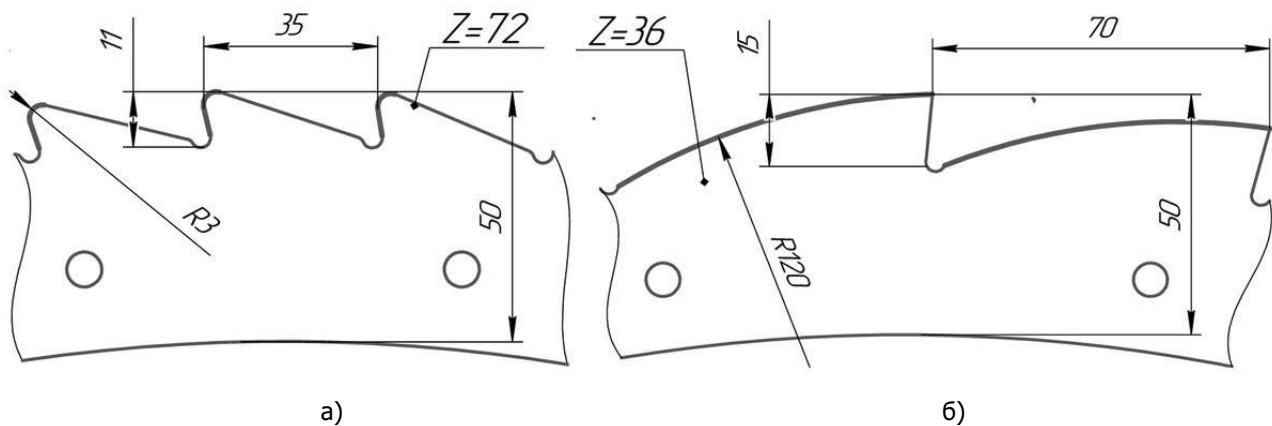


Рисунок 2 – Схема разработанных профилей режущих сегментов с трапецевидной формой зуба (а) и параболической (б)

опасно нагруженных зон, способных разрушить зуб, при помощи компьютерного моделирования. В программном комплексе SolidWorks 2020 созданы трёхмерные твёрдотельные модели режущих сегментов, которые испытывались на статическую нагрузку материала (материал зуба – углеродистая сталь Ст3, упрочнение кромки не учитывалось). Выбор такого материала был обусловлен необходимостью оценки конструктивной прочности в равных условиях. Результаты расчёта представлены на рис. 3.

Как видно из приведённых расчётов, предел текучести материала не превышает ни в одном случае. При этом многократный эксплуатационный запас прочности обеспечивается при использовании зуба параболической формы (9,7 против 1,2 у трапецевидного) за счёт большей длины режущей кромки, что позволяет при производстве конкретных режущих аппаратов использовать менее качественные и недорогие марки сталей. Для сегментов с трапецевидной формой зуба необходимо предусмотреть термоупрочнение угле-

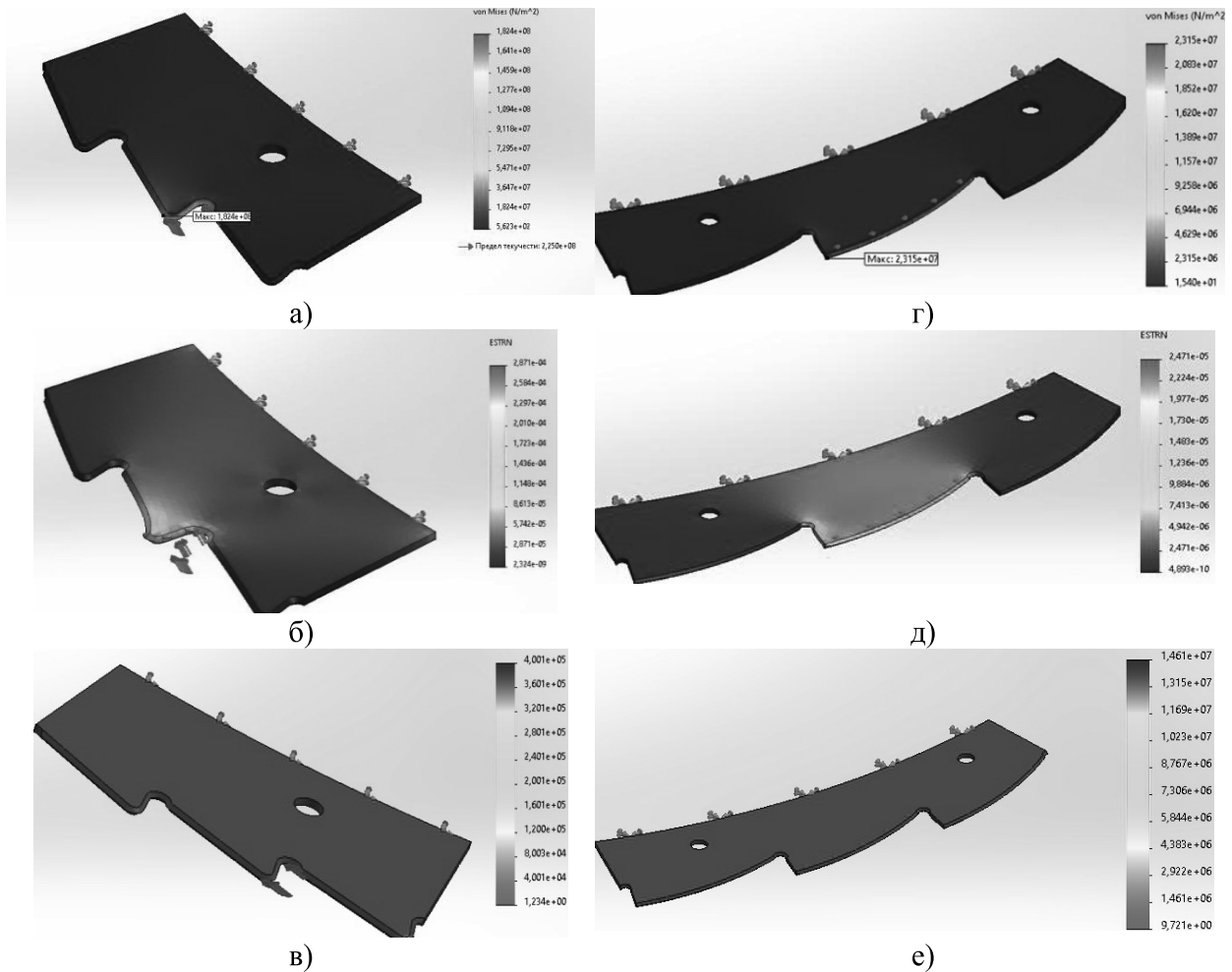


Рисунок 3 – Эпюры распределения напряжений в режущих сегментах с различным профилем:
 а) трапециевидный зуб – напряжение Von Mises (Мин. $5,623e + 02$ Н/м². Макс. $1,824e + 08$ Н/м²);
 б) трапециевидный зуб – деформация (Мин. $2,324e-09$. Макс. $2,871e-04$);
 в) трапециевидный зуб – запас прочности (коэф. запаса 1,2);
 г) параболический зуб – напряжение Von Mises (Мин. $1,540e + 01$ Н/м². Макс. $2,315e + 07$ Н/м²);
 д) параболический зуб – деформация (Мин. $4,893e-10$. Макс. $2,471e-05$);
 е) параболический зуб – запас прочности (коэф. запаса 9,7)

родистой стали (применять напыление, напайку твёрдосплавных пластин на режущую кромку и т. п.), либо использовать более качественную сталь.

Выводы

По результатам проведённых исследований получены аналитические зависимости для определения критической силы и мощности при бесподпорном срезе технической конопли. С учётом

особенностей строения стебля конопли разработаны профили режущих сегментов для создания опытного образца режущего аппарата.

По результатам прочностных расчётов режущих сегментов с помощью компьютерного моделирования установлено, что зубчатые сегменты параболической формы имеют наилучшую надёжность по сравнению с трапециевидными, а также способны осуществлять срезание стеблей технической конопли с наименьшими энергозатратами.

Список источников

1. Давыдова, С. А. Техническое обеспечение возделывания и уборки безнаркотической конопли / С. А. Давыдова, Р. А. Попов, И. Г. Голубев. – Текст : непосредственный // Техника и оборудование для села. – 2020. – № 8. – С. 12–17. – ISSN 2072-9642.
2. Пашин, Е. Л. Исследование морфологических и технологических свойств стеблей новых сортов конопли / Е. Л. Пашин, С. В. Жукова, Л. В. Пашина, Г. С. Степанов. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2010. – № 4 (325). – С. 21–24. – ISSN 0021-3497.

3. Дмитриев, С. Ю. Оптимальные параметры среза стеблей конопли / С. Ю. Дмитриев. – Текст : непосредственный // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2014. – № 4. – С. 26–28. – ISSN 2073-7599.
4. Попов, Р. А. Анализ работы режущего аппарата для бесподпорного среза стеблей технической конопли / Р. А. Попов, Г. А. Перов. – Текст : непосредственный // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 3. – С. 14–21. – ISSN 1816-4501.
5. Абрамов, И. Л. Применение компьютерного моделирования для оценки качества проектирования и производства деталей сельскохозяйственных машин / И. Л. Абрамов. – Текст : непосредственный // Технический сервис машин. – 2019. – № 1 (134). – С. 12–18. – ISSN 2618-8287.
6. Абрамов, И. Л. К вопросу о моделировании поверхности движения игольчатой бороны / И. Л. Абрамов. – Текст : непосредственный // Вестник АПК Верхневолжья. – 2018. – № 3 (43). – С. 69–72. – ISSN 1998-1635.
7. Попов, В. Б. Компьютерное моделирование трансмиссии машинно-тракторных агрегатов / В. Б. Попов, Т. А. Трохова. – Текст : непосредственный // Агротехника и энергообеспечение. – 2016. – Т. 1, № 4 (13). – С. 69–75. – ISSN 2410-5031.
8. Попов, Р. А. Расчет параметров и режимов работы режущего аппарата для уборки технической конопли / Р. А. Попов, В. Г. Черников. – Текст : непосредственный // Аграрный научный журнал. – 2021. – № 3. – С. 82–85. – ISSN 2313-8432.
9. Резник, Н. Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов / Н. Е. Резник. – Москва : Машиностроение, 1975. – 311 с. – Текст : непосредственный.
10. Глебов, И. Т. Оборудование отрасли : справочник по резанию древесины / И. Т. Глебов. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Екатеринбург : Уральский гос. лесотехнический ун-т, 2009. – 314 с. – ISBN 978-5-94984-238-6. – Текст : непосредственный.

References

1. Davydova, S. A. Tehnicheskoe obespechenie vzdelyvanija i uborki beznarkoticheskoj konopli / S. A. Davydova, R. A. Popov, I. G. Golubev. – Tekst : neposredstvennyj // Tehnika i oborudovanie dlja sela. – 2020. – № 8. – S. 12–17. – ISSN 2072-9642.
2. Pashin, E. L. Issledovanie morfologicheskikh i tehnologicheskikh svojstv steblej novyh sortov konopli / E. L. Pashin, S. V. Zhukova, L. V. Pashina, G. S. Stepanov. – Tekst : neposredstvennyj // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2010. – № 4 (325). – S. 21–24. – ISSN 0021-3497.
3. Dmitriev, S. Yu. Optimal'nye parametry sreza steblej konopli / S. Yu. Dmitriev. – Tekst : neposredstvennyj // Sel'skohozjajstvennye mashiny i tehnologii. – 2014. – № 4. – S. 26–28. – ISSN 2073-7599.
4. Popov, R. A. Analiz raboty rezhushhego apparata dlja bespodpornogo sreza steblej tehnicheskoy konopli / R. A. Popov, G. A. Perov. – Tekst : neposredstvennyj // Vestnik Ul'janovskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii. – 2020. – № 3. – S. 14–21. – ISSN 1816-4501.
5. Abramov, I. L. Primenenie komp'juternogo modelirovanija dlja ocenki kachestva proektirovanija i proizvodstva detalej sel'skohozjajstvennyh mashin / I. L. Abramov. – Tekst : neposredstvennyj // Tehnicheskij servis mashin. – 2019. – № 1 (134). – S. 12–18. – ISSN 2618-8287.
6. Abramov, I. L. K voprosu o modelirovanii poverhnosti dvizhenija igol'chatoj borony / I. L. Abramov. – Tekst : neposredstvennyj // Vestnik APK Verhnevolzh'ja. – 2018. – № 3 (43). – S. 69–72. – ISSN 1998-1635.
7. Popov, V. B. Komp'juternoe modelirovanie transmissii mashinno-traktornyh agregatov / V. B. Popov, T. A. Trokhova. – Tekst : neposredstvennyj // Agrotehnika i jenergoobespechenie. – 2016. – Т. 1, № 4 (13). – S. 69–75. – ISSN 2410-5031.
8. Popov, R. A. Raschet parametrov i rezhimov raboty rezhushhego apparata dlja uborki tehnicheskoy konopli / R. A. Popov, V. G. Chernikov. – Tekst : neposredstvennyj // Agrarnyj nauchnyj zhurnal. – 2021. – № 3. – S. 82–85. – ISSN 2313-8432.
9. Reznik, N. E. Teorija rezanija lezviem i osnovy rascheta rezhushhih apparatov / N. E. Reznik. – Moskva : Mashinostroenie, 1975. – 311 s. – Tekst : neposredstvennyj.
10. Glebov, I. T. Oborudovanie otrasli : spravochnik po rezaniju drevesiny / I. T. Glebov. – Izd. 2-e, pererab. i dop. – Ekaterinburg : Ural'skij gos. lesotekhnicheskij un-t, 2009. – 314 s. – ISBN 978-5-94984-238-6. – Tekst : neposredstvennyj.