

Влияние профиля режущей кромки на качество среза стеблей технической конопли

Роман Андреевич Попов¹, Игорь Львович Абрамов¹, Сергей Андреевич Третьяков²

¹ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», г. Тверь, Россия

²ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет» г. Тверь, Россия

e-mail: r.popov@fncl.ru

Аннотация. В статье представлены результаты углубленных научных исследований, включающие срезание стеблей технической конопли лезвием различной формы и интерферирование сечения среза методом бесконтактной оптической профилометрии. Получены трехмерные изображения и характеристические профилограммы поверхностей среза стеблей в зависимости от формы режущей кромки. Определены параметры микрогеометрии поверхности среза и оптимальный профиль режущей кромки.

Ключевые слова: техническая конопля; срез стеблей; оптическая профилометрия; профилометр; микрорельеф поверхности; параметры.

Для цитирования: Попов Р. А., Абрамов И. Л., Третьяков С. А. Влияние профиля режущей кромки на качество среза стеблей технической конопли // Аграрный научный журнал. 2023. № 4. С. 137–141. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i4pp137-141>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Influence of the cutting blade shape on the technical hemp stalks slicing quality

Roman A. Popov¹, Igor L. Abramov¹, Sergey A. Tretyakov²

¹FSBSI «Federal Research Center of Fibre Crops», Tver, Russia

²Tver State University, Tver, Russia

e-mail: r.popov@fncl.ru

Abstract. The article presents the results of in-depth scientific research, including cutting of technical hemp stems with a blade of various shapes and interference of the cut surface by non-contact optical profilometry. Three-dimensional images and characteristic profilograms of the cut surfaces of stems depending on the shape of the cutting edge are obtained. The parameters of the microgeometry of the cut surface and the optimal profile of the cutting edge are determined.

Keywords: technical hemp; cutting stems; optical profilometry; profilometer; surface microrelief; parameters.

For citation: Popov R. A., Abramov I. L., Tretyakov S. A. Influence of the cutting blade shape on the technical hemp stalks slicing quality // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(4):137–141. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i4pp137-141>.

Введение. Посевная (техническая, безнаркотическая) конопля – стратегическая сельскохозяйственная культура, выращиваемая в России и зарубежных странах для производства пеньковолокна, конопляного масла и иной разнообразной продукции в различных отраслях промышленности. Благодаря своим уникальным свойствам техническая конопля ежегодно приобретает все новые, инновационные направления использования.

Срез стеблей в процессе уборки технической конопли имеет свои особенности, что обусловлено наличием в структуре стебля прочного лубоволокнистого слоя и древесной составляющей (целлюлозы). Это приводит к периодическим конструктивным и технологическим сбоям при работе коноплеуборочных машин – быстрому износу и поломкам режущих элементов, образованию намоток и забивок рабочих органов и нарушению технологического процесса. Кроме того,





повышенный расход энергии и недолговечность режущих кромок не отвечают возрастающим требованиям к современной уборочной технике [3, 5, 8].

Данные факторы необходимо учитывать при разработке рабочих органов для коноплеуборочной техники (аппаратов для среза стеблей, измельчения на отрезки заданной длины и других устройств), поэтому исследование среза стеблей технической конопли с получением информации о профиле поверхности и параметрах микрорельефа представляет особый интерес для современной науки, что может быть реализовано с высокой точностью и микрометровым разрешением при использовании методов бесконтактной оптической профилометрии [1]. По параметрам микрорельефа можно оценить качество среза и характер контактного взаимодействия, определить наиболее энергоэффективный профиль режущей кромки и использовать эти данные при проектировании рабочих узлов и элементов машин, при выборе формы и материала для изготовления деталей.

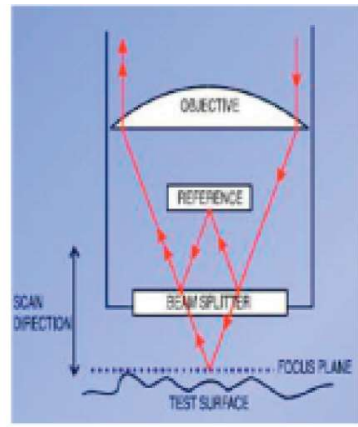
Цель исследования – определение значений параметров микрогеометрии поверхности среза и оптимального профиля режущей кромки, обеспечивающей наиболее качественный срез стеблей.

Методика исследований. Исследования поверхности среза стеблей проводились методом бесконтактной оптической профилометрии с помощью интерференционного профилометра высокого разрешения NanoMap WLI-1000, который состоит из оптической системы получения интерференционной картины при отражении от поверхности, видеокамеры для фиксации ряда изображений и программного обеспечения, обрабатывающего изображения для расчета профиля поверхности (рис. 1, а).

Принцип работы профилометра NanoMap WLI-1000 заключается в разделении исходного потока света на два – опорный, с постоянной длиной пути, и отражающийся, который падает на образец и попадает обратно в оптическую систему, интерферируя с опорным потоком в фокусе видеокамеры (рис. 1, б). Значения параметров микрогеометрии поверхности определялись при помощи как встроенного, так и специализированного программного обеспечения: SPIP-6 и Gwyddion-2.55 [9].



а



б

Рис. 1. Оборудование для бесконтактной оптической профилометрии:
а – общий вид профилометра NanoMap WLI-1000;
б – оптическая схема получения интерференционного изображения

В качестве исследуемого материала использовали стебли технической конопли сорта «Надежда» двустороннего направления использования из Пензенской области. Исходные данные и характеристика исследуемого материала приведены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные для проведения исследований

Сорт конопли посевной, экотип	«Надежда», среднерусский
Влажность стеблей, %	50...60
Высота срезаемых стеблей, м	1,5
Средний диаметр срезаемых стеблей, мм	10
Содержание волокна в стеблях, %	28...34
Принцип среза стеблей	Бесподпорный

В ходе исследований осуществляли срез стеблей на лабораторной установке аппаратом ротационного типа с режущей кромкой зубьев в форме параболы (профиль 1), окружности (профиль 2) и скругленной трапеции (профиль 3) в виде сегментов, специально разработанных для технической конопли с учетом особенностей строения стебля [8] (рис. 2).



Рис. 2. Общий вид профилей режущей кромки

Результаты исследований. При воздействии рабочих органов уборочных машин на стебли технической конопли в первую очередь проявляются физико-механические и технологические свойства растения. Растительный материал испытывает определенные деформации, а элементы и узлы рабочих органов – нагрузки в зависимости от свойств этого материала. При этом между ними возникают силы трения, зависящие от строения стебля, профиля режущей кромки, скорости резания и многих других факторов. Эти силы оказывают влияние на процесс самого резания, вызывают произвольные энергозатраты, износ рабочих элементов, повреждение самих стеблей и т.п. При физических и механических процессах, происходящих в зоне трения, характер контактного взаимодействия поверхностей можно оценить с учетом параметров микрогеометрии [4, 6, 7].

Нами проведены экспериментальные исследования среза стеблей технической конопли лезвиями с различным профилем режущей кромки. По результатам интерферирования поверхностей среза методом бесконтактной оптической профилометрии построены характеристические 2D-профилограммы и трехмерные карты высот. При этом области исследований выбирались в начале и в конце среза в направлении движения лезвий. Полученные результаты исследований представлены на рис. 3.

Согласно теории резания В.П. Горячкина [2], бесподпорное срезание стебля может быть либо рубящим, либо резанием со скольжением. При этом, если срезание осуществляется рубящим способом, то на поверхности среза стебля будут заметны следы не только среза, но и излома отдельных волокон, что заметно сказывается на параметрах шероховатости, определяемых согласно ГОСТ 2789-73. Таким образом, по анализу качества поверхности среза, а именно по значениям основных параметров шероховатости, можно сделать заключение о типе резания, осуществляемого в каждом конкретном случае.

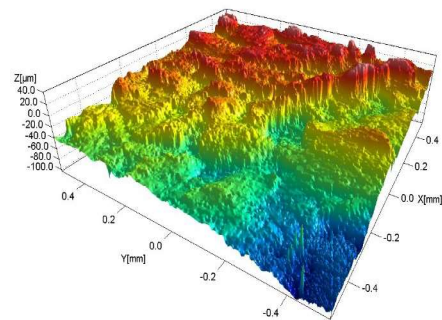
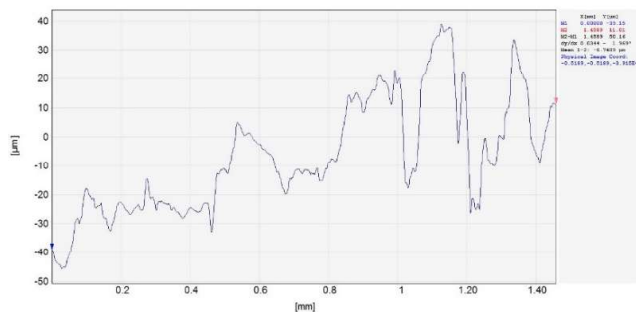
Анализ полученных профилей поверхностей показывает следующее. При срезе стеблей зубьями в форме окружности наблюдаются узкие и глубокие впадины, что, в свою очередь, объясняется разрушением волокон по типу «разрыв», то есть часть волокон не отрезается, а попадает в зону работы острия зуба и при этом вытягивается и обрывается в местах наименьшей прочности. При использовании зубьев в форме трапеции наблюдаются более крупные разрушения волокон, не характерные для чистого среза. Наименьшие разрушения в приповерхностном слое стебля выявлены для образца, полученного при срезе зубьями в форме параболы, что объясняется равномерным выдавливанием волокон на режущую кромку со скольжением.

Количественные показатели параметров микрогеометрии определены в ходе обработки построенных профилограмм и карт высот поверхностей. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

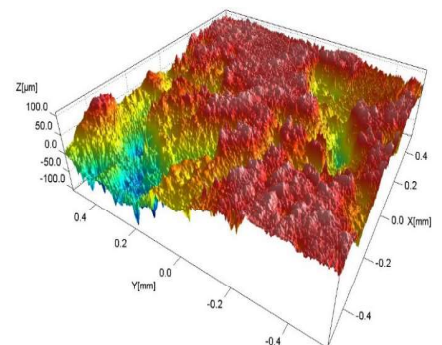
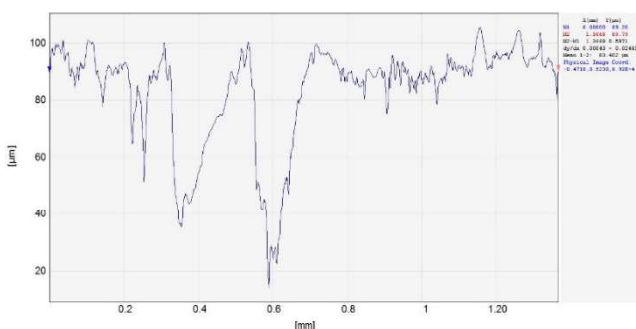
Сравнительный анализ параметров микрогеометрии свидетельствует о том, что наиболее качественный срез обеспечивает режущая кромка параболической формы, за счет большей длины лезвия, многократно превышающей диаметр стебля. Профиль зуба в виде окружности также позволяет получить относительно ровную поверхность среза, однако при этом лезвие оставляет на поверхности «борозды», возникающие из-за отклонения стебля в процессе его срезания и изменения угла между острием зуба и поверхностью среза. Трапециевидная форма зуба оказывает больше рубящее (ударное) воздействие на разрезаемый материал, что объясняется отсутствием скольжения в режущей паре и срез получается рубящим.



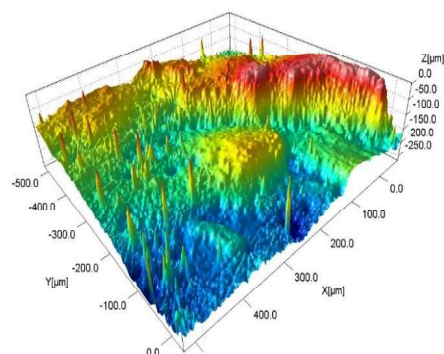
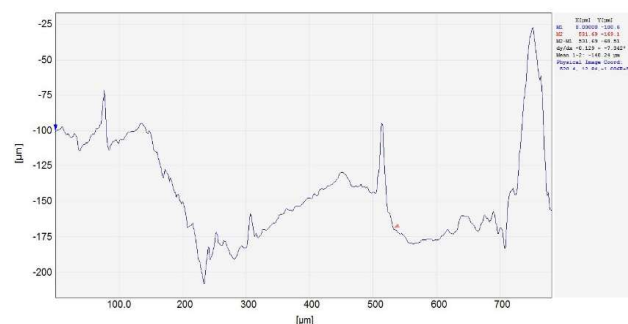
Срез профилем кромки в форме параболы



Срез профилем кромки в форме окружности



Срез профилем кромки в форме трапеции



а

б

Рис. 3. Характеристические 2D-профилограммы поверхностей среза (а) и трехмерные карты высот (б) при разном профиле режущей кромки

Таблица 2

Параметры микрогеометрии поверхности среза стеблей технической конопли при различном профиле режущей кромки

Показатель	Профиль 1 (в форме параболы)	Профиль 2 (в форме окружности)	Профиль 3 (в форме трапеции)
Среднеквадратичная шероховатость S_q , мкм	29,535	36,474	58,019
Средняя шероховатость S_a , мкм	24,662	28,029	48,416
Асимметрия S_{sk} , мкм	-0,503	-1,406	0,259
Избыточный эксцесс, мкм	-0,524	1,868	-0,659
Максимальная высота пика S_p , мкм	57,134	50,361	140,901
Максимальная глубина впадины S_v , мкм	86,488	163,641	28,275
Максимальная высота S_z , мкм	143,622	214,002	169,176
Площадь проекции, мм ²	1,098	1,098	1,098
Площадь поверхности, мм ²	1,330	2,323	9,348
Объём выступов и впадин, м ³	$-18,054 \cdot 10^{-12}$	$64,912 \cdot 10^{-12}$	$-45,273 \cdot 10^{-12}$
Наклон выступов θ , град.	2,720	2,990	3,150
Наклон впадин φ , град.	-147,740	-143,790	3,820



Полученные данные о шероховатости поверхностей позволили оценить качество среза стеблей технической конопли на микрометровом уровне и определить наиболее оптимальный профиль режущей кромки зубьев.

Заключение. По результатам исследований установлено, что наиболее чистый срез обеспечивают зубья параболической формы, что подтверждается результатами профилометрирования образцов, в то время как поверхности среза стеблей зубьями в форме окружности и трапеции имеют значительно большую шероховатость (соответственно на 20 и 96 % по параметру среднеквадратичная шероховатость S_q). Это свидетельствует о том, что наиболее оптимальным профилем для среза стеблей технической конопли является режущая кромка параболической формы, которая обеспечивает резание со скольжением и представляется наиболее энергоэффективной с точки зрения экономии энергозатрат.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБНУ ФНЦ ЛК (№ FGSS-2022-0005).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бесконтактные способы и средства комбинированной профилометрии / А.П. Марков [и др.] // *Литье и металлургия*. 2010. № 3(56). С. 84–90.
2. Горячкин В.П. Собрание сочинений. в 3 т. М., 1968. 384 с.
3. Дмитриев С.Ю. Оптимальные параметры среза стеблей конопли // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2014. № 4. С. 26–28.
4. Ковалев М.М., Просолов С.В., Перов М.Г., Шишин Д.А. Результаты исследований сопротивления растительных материалов изгибу при взаимодействии с рабочими органами уборочных машин // *Наука в Центральной России*. 2021. № 2 (50). С. 5–12.
5. Попов Р.А., Черников В.Г. Расчет параметров и режимов работы режущего аппарата для уборки технической конопли // *Аграрный научный журнал*. 2021. № 3. С. 82–85.
6. Попов Р.А., Уткин А.А., Барабанова Е.В. Исследование микрорельефа поверхности стебля конопли для проектирования рабочих органов коноплеуборочных машин // *Аграрный научный журнал*. 2022. № 5. С. 86–89.
7. Определение коэффициентов трения стеблей льна по характеристикам шероховатости / В.Г. Черников [и др.] // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т.13. № 1. С.41–47.
8. Popov R.A., Krupnov A.V. Research impact of cutting tooth shapes on energy consumption when cutting technical hemp stems // *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2022. No. 2(30). P. 103–110.
9. SPIP – Analytical Software for Microscopy. Режим доступа: [http:// www.imagemet.com/products/spip](http://www.imagemet.com/products/spip) (дата обращения 25.11.2022).

REFERENCES

1. Contactless methods and means of combined profilometry/ A.P. Markov et al. *Casting and Metallurgy*. 2010; 3(56): 84–90. (In Russ.)
2. Goryachkin V.P. Collected works. In 3 vols. Moscow, 1968: 384. (In Russ.)
3. Dmitriev S.Yu. Optimal parameters of the cut of hemp stems. *Agricultural Machines and Technologies*. 2014; 4: 26–28. (In Russ.)
4. Kovalev M.M., Prosolov S.V., Perov M.G., Shishin D.A. The results of studies of the resistance of plant materials to bending in interaction with the working bodies of harvesting machines. *Science in Central Russia*. 2021; 2 (50): 5–12. (In Russ.)
5. Popov R.A., Chernikov V.G. Calculation of parameters and operating modes of the cutting apparatus for harvesting technical hemp. *The Agrarian Scientific Journal*. 2021; 3: 82–85 (In Russ.)
6. Popov R.A., Utkin A.A., Barabanova E.V. Investigation of the microrelief of the hemp stem surface for designing the working bodies of hemp harvesting machines. *The Agrarian Scientific Journal*. 2022; 5: 86–89. (In Russ.)
7. Determination of the coefficients of friction of flax stems according to the characteristics of roughness / V.G. Chernikov et al. *Agricultural machines and technologies*. 2019; 1(13). 41–47. (In Russ.)
8. Popov R.A., Krupnov A.V. Research impact of cutting tooth shapes on energy consumption when cutting technical hemp stems. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2022; 2(30): 103–110.
9. SPIP – Analytical Software for Microscopy. URL: [http:// www.imagemet.com/products/spip](http://www.imagemet.com/products/spip) (reference's date 25.11.2022).

*Статья поступила в редакцию 29.12.2022; одобрена после рецензирования 21.01.2023; принята к публикации 8.02.2023.
The article was submitted 29.12.2022; approved after reviewing 21.01.2023; accepted for publication 8.02.2023.*

