



УДК 631.354.2

В.Н. Ожерельев, В.Ю. Савин, В.Н. Сидоров, А.М. Гринь

DOI: 10.53083/1996-4277-2023-224-6-86-90

V.N. Ozherelev, V.Yu. Savin, V.N. Sidorov, A.M. Grin

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ УСИЛИЯ НА ГРЕБЕНКЕ ПРИ ВИБРООЧЕСЕ КОЛОСА НА КОРНЮ

RESULTS OF STUDYING THE FORCE ON RAKE DURING VIBRATING STRIPPING OF SPIKE OF STANDING CROP

Ключевые слова: зерно, уборка, очес на корню, вибрация, моделирование, усилие очеса, гребенка, колос, частота, амплитуда.

В качестве одного из перспективных направлений совершенствования процесса очеса колосьев на корню предложено увеличение силового воздействия на зерновки в очесываемом колосе путем использования вибрации. Близким аналогом указанного процесса представляется вибрационный съем ягод смородины и голубики. Для подтверждения гипотезы спланирован и проведен трехфакторный эксперимент, в котором варьировали скорость очеса V , частота поперечных колебаний очесывающей гребенки ν и амплитуда ее колебаний A . Для построения математической модели использовали центральный композиционный план второго порядка. Колос протаскивали сквозь щель вибрирующей гребенки и посредством тензодатчика и соответствующего коммутационного оборудования фиксировали усилие очеса P при разном сочетании значений факторов в соответствии с планом эксперимента. В результате обработки экспериментальных данных в программе Excel получена трехфакторная математическая модель процесса очеса высокого уровня адекватности, о чем свидетельствует значение коэффициента детерминации $R^2 = 0,98$. Двухфакторные варианты модели, полученные при фиксированных значениях третьего фактора, были проанализированы с помощью программы MATLAB. В результате установлено, что наибольшее влияние на усилие очеса P оказывают частота ν и амплитуда A поперечного колебания гребенки. Причем минимум функции локализуется при

частоте поперечного колебания $\nu_{\text{опт}} = 77-79$ Гц и ее амплитуде $A_{\text{опт}} = 0,6-0,65$ мм.

Keywords: grain, harvesting, stripping standing crop, vibration, modeling, stripping force, rake, spike, frequency, amplitude.

As one of the promising directions for improving the process of stripping spikes of standing crops, it is proposed to increase the force effect on kernels in the stripped spike by using vibration. A close analogue of this process is the vibratory removal of currants and blueberries. To confirm the hypothesis, a three-factor experiment was planned and carried out when the tow speed V , the frequency of transverse oscillations of the rake ν , and the amplitude of its oscillations A were varied. To build a mathematical model, a second-order central composition plan was used. A spike was pulled through the slot of the vibrating rake, and by means of a strain gauge and the corresponding switching equipment, the stripping force P was recorded at different combinations of factor values in accordance with the experimental plan. As a result of experimental data processing in the Excel software, a three-factor mathematical model of the stripping process of high-level adequacy was obtained, as evidenced by the value of the coefficient of determination $R^2 = 0.98$. Two-factor model variants obtained with fixed values of the third factor were analyzed using the MATLAB software. It was found that the frequency ν and amplitude A of the transverse vibration of the rake had the greatest influence on the stripping force P . Moreover, the minimum of the function is localized at the frequency of the transverse vibration $\nu_{\text{opt}} = 77...79$ Hz and its amplitude $A_{\text{opt}} = 0.6...0.65$ mm.

Ожерельев Виктор Николаевич, д.с.-х.н., профессор, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, с. Кокино, Выгоничский район, Брянская обл., Российская Федерация, e-mail: vicoz@bk.ru.

Савин Владимир Юрьевич, к.т.н., доцент, Калужский филиал, МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Калуга, Российская Федерация, e-mail: savin.study@yandex.ru.

Сидоров Владимир Николаевич, д.т.н., профессор, Калужский филиал, МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Калуга, Российская Федерация, e-mail: sidorov-kaluga@yandex.ru.

Гринь Александр Михайлович, к.э.н., доцент, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, с. Кокино, Выгоничский район, Брянская обл., Российская Федерация, e-mail: grin-970@mail.ru.

Ozherelev Viktor Nikolaevich, Dr. Agr. Sci., Prof., Bryansk State Agricultural University, Kokino, Vygonichskiy District, Bryansk Region, Russian Federation, e-mail: vicoz@bk.ru.

Savin Vladimir Yurevich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Kaluga Branch, Bauman Moscow State Technical University, Kaluga, Russian Federation, e-mail: savin.study@yandex.ru.

Sidorov Vladimir Nikolaevich, Dr. Tech. Sci., Prof., Kaluga Branch, Bauman Moscow State Technical University, Kaluga, Russian Federation, e-mail: sidorov-kaluga@yandex.ru.

Grin Aleksandr Mikhaylovich, Cand. Econ. Sci., Assoc. Prof., Bryansk State Agricultural University, Kokino, Vygonichskiy District, Bryansk Region, Russian Federation, e-mail: grin-970@mail.ru.

Введение

Уборка зерна методом очеса колосьев на корню является одним из наиболее эффективных способов уменьшения, как энергозатрат так и себестоимости продовольствия [1]. При этом, несмотря на довольно широкое практическое применение очесывающих адаптеров, процесс совершенствования их конструкции нельзя считать завершенным [2]. В частности, в последние годы предложено несколько вариантов улучшения конструкции очесывающего устройства путем оптимизации как профиля очесывающих гребенок, так и режимов его работы [3-5].

К числу неиспользованных пока направлений улучшения процесса очеса зерен на корню можно отнести вибрацию, которая хорошо себя зарекомендовала при съеме плодов и ягод [6, 7]. Экстраполяция вибрационных технологий в ягодоуборочной технике на уборку зерна очесом колосьев на корню позволила сформулировать научную гипотезу о том, что если сообщить гребенкам очесывающего барабана еще и перечные колебания, то усилие отрыва зерновок от колоса, являющееся косвенным показателем энергоемкости процесса, должно заметно снизиться [8].

Цель исследования заключается в оценке действенности предлагаемого усовершенствования технологии очеса. Для ее достижения необходимо прежде всего получить регрессионную модель, устанавливающую связь между основными параметрами процесса и усилием от-

рыва зерновок от колоса. При дальнейшем анализе модели должны быть найдены оптимальные значения основных параметров вибрационного воздействия на зерновки, после чего может быть выполнено адекватное сравнение энергоемкости очеса с вибрацией и без нее.

Объекты и методы

Объектом исследования является процесс очеса колосьев на корню при сообщении очесывающей гребенке дополнительных колебаний в поперечном направлении. Предмет исследования – зависимость усилия на гребенке очесывающего аппарата от основных (кинематических) параметров процесса.

Экспериментальная часть

Для проведения исследования был изготовлен стационарный стенд, имитировавший действие очесывающего адаптера (рис.). Посредством направляющих 3, 5 и прижима 4 на раме стенда была смонтирована гребенка 1, снабженная источником поперечной вибрации (на схеме не показан). Кроме того, на стенде был установлен линейный привод с кулачковым зажимом для соломины колоса, имитировавший рабочий процесс очесывающего барабана. Между зажимом и штоком линейного привода устанавливали тензодатчик растяжения-сжатия DYLY-103 (10 kg).

Опыт осуществляли следующим образом. Заготовленные на поле растения обрезали та-

ким образом, чтобы длина соломины, примыкающей к колосу, составляла порядка 150-250 мм. Ориентируя растение колосом вниз, его соломину зажимали в кулачковом быстрозажимном патроне. Поскольку она представляет собой тонкостенную трубку, то для исключения ее чрезмерного поперечного деформирования и разрушения внутрь соломины в районе ее зажима в патроне дополнительно устанавливали стальной стержень. Затем заводили соломину в щель гребенки 1 так, чтобы основание колоса находилось под гребенкой на расстоянии 50-80 мм от ее нижней поверхности. Указанный запас хода необходим для исключения влияния на результат фазы разгона линейного привода.

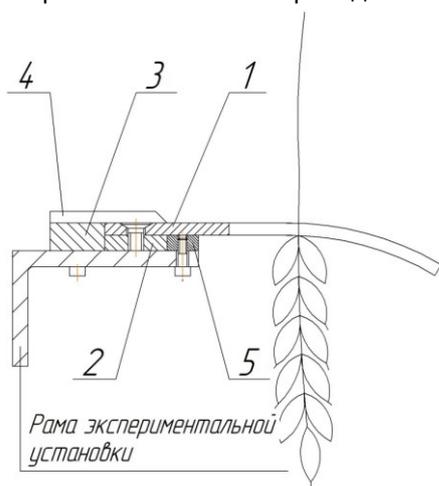


Рис. 1. Стен для имитации очеса колоса с вибрацией:
 1 – гребенка; 2 – брус;
 3, 5 – направляющие; 4 – прижим

После завершения подготовительных операций и установки регулировочных параметров процесса запускали вибропривод поперечного колебания гребенки и линейный привод подъема колоса, протягивая его через щель вибрирующей гребенки. При этом с помощью 8-слотового шасси NI cDAQ-9172 платформы сбора данных Compact DAQ - NI-9219 и универсального модуля аналогового ввода серии С записывали показания датчика силы. Линейный привод автоматически отключался в верхней точке подъема штока и для выполнения следующего опыта необходимо было переключить трехпозиционную клавишу контроллера двигателя постоянного штока в позицию опускания штока.

Методика экспериментального исследования предусматривала определение силы на гребенке при варьировании следующих параметров:

X_1 – скорости очеса V (скорости перемещения штока линейного привода), м/с;

X_2 – частоты колебания гребенки ν , Гц;

X_3 – амплитуды колебания гребенки A , мм.

Уровни варьирования переменных представлены в таблице.

Для построения модели использовали центральный композиционный план второго порядка.

Таблица

Условия эксперимента

Уровень варьирования	x_1 , м/с	x_2 , мин. ⁻¹ (с ⁻¹)	x_3 , мм
Верхний (+1)	0,05	5050 (84,2)	0,75
Основной (0)	0,04	4600 (76,7)	0,60
Нижний (-1)	0,03	4150 (69,2)	0,45

Результаты исследования и их обсуждение

Математическая обработка результатов эксперимента позволила получить следующее уравнение регрессии (1):

$$P = 157,408 - 251,178V - 3,647\nu - 4,145A + 1,866V\nu - 60,003VA - 0,347\nu A + 1800V^2 + 0,02418\nu^2 + 26,222A^2. \quad (1)$$

Для более детального анализа математической модели процесса виброочеса колоса был осуществлен переход к уравнениям регрессии для каждой пары взаимодействующих факторов (при фиксированных значениях третьего фактора):

$$\begin{cases} P = 164,361 - 297,18V - 3,8552v + 1,866Vv + 1800V^2 + 0,02418v^2 \\ P = 19,931 - 108,056V - 30,76A - 60,003VA + 1800V^2 + 26,222A^2 \\ P = 150,241 - 3,572v - 6,545A - 0,347vA + 0,02418v^2 + 26,222A^2 \end{cases} \quad (2)$$

Анализ полученных зависимостей с помощью программы *MATLAB* свидетельствует о наличии явно выраженного минимума функции. Он находится в области частоты колебаний очесывающей гребенки, равной 77-79 Гц. Эффект взаимодействия факторов частоты колебания и скорости очеса выражен довольно слабо и влияния на общую картину изменения усилия очеса практически не оказывает. Фактор скорости очеса также оказывает незначительное влияние на параметр оптимизации. Минимум усилия очеса отмечен при амплитуде поперечного колебания гребенки $A_{opt} = 0,6-0,65$ мм.

Выводы

1. Наибольшее влияние на усилие очеса зерен из колоса оказывают частота v и амплитуда A поперечного колебания очесывающей гребенки.

2. Минимум функции локализуется при частоте поперечного колебания очесывающей гребенки $v_{opt} = 77-79$ Гц и амплитуде $A_{opt} = 0,6-0,65$ мм.

Библиографический список

1. Lachuga Yu.F., Buryanov A.I., Pakhomov V.I., Chervyakov I.V. Adaptation of threshing devices to physical and mechanical characteristics of harvested crops. *Russian Agricultural Sciences*. 2020; 46 (2): 198-201. (In Eng.). doi: <https://dio.org/10.3103/S1068367420020111>.

2. Chaplygin M. E., Pekhalskiy I.A., Tronev S.V. The choice of combine harvesters and their adapters for the conditions of Northern Kazakhstan. *AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*. 2020; 51 (3): 74-76. (In Eng.).

3. Buryanov, A.I., Chervyakov I.V. Using combines for cleaning grain crops by non-traditional technologies. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2019; 59 (3): 27-32. (In Eng.). doi: <https://dio.org/10.35633/INMATEH-59-03>.

4. Червяков, И. В. Совершенствование процесса уборки зерновых культур комбайновым очесом: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Червяков Иван Владимирович. – Ростов-на-Дону, 2020. – 22 с. – Текст: непосредственный.

5. Федин, М. А. Снижение потерь зерна за очесывающей жаткой комбайна, разработкой и применением ротора, оснащенного гребенками с тангенциальными каналами: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Федин Михаил Андреевич. – Пенза, 2018. – 20 с. – Текст: непосредственный.

6. Утков, Ю. А. Опыт создания отечественных ягодоуборочных машин / Ю. А. Утков. – Текст: непосредственный // Садоводство и виноградарство. – 2000. – № 5-6. – С. 13-14.

7. Ожерельев В. Н. Технологические процессы и средства механизации производства ягод малины: диссертация на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук: 05.20.01: утв. 10.10.2002 / Ожерельев Виктор Николаевич. – Брянск, 2001. – 312 с. – Текст: непосредственный.

8. Савин, В. Ю. Исследование очесывающего аппарата устройства для уборки зерновых культур как колебательной системы / В. Ю. Савин. – Текст: непосредственный // Инженерные технологии и системы. – 2021. – Т. 31, № 3. – С. 403-413. – DOI <https://dio.org/10.15507/2658-4123.031.202103.403-413>.

References

1. Lachuga Yu.F., Buryanov A.I., Pakhomov V.I., Chervyakov I.V. Adaptation of threshing devices to physical and mechanical characteristics of harvested crops. *Russian Agricultural Sciences*. 2020; 46 (2): 198-201. (In Eng.). DOI: <https://dio.org/10.3103/S1068367420020111>.

2. Chaplygin M. E., Pekhalskiy I.A., Tronev S.V. The choice of combine harvesters and their adapters for the conditions of Northern Kazakhstan. *AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*. 2020; 51 (3): 74-76. (In Eng.).

3. Buryanov, A.I., Chervyakov I.V. Using combines for cleaning grain crops by non-traditional technologies. *INMATEH - Agricultural Engineering*. 2019; 59 (3): 27-32. (In Eng.). DOI: <https://dio.org/10.35633/INMATEH-59-03>.

4. Cherviakov I.V. Sovershenstvovanie protsessa uborki zernovykh kultur kombainovym ochesom: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Rostov-na-Donu, 2020. 22 s.

5. Fedin M.A. Snizhenie poter zerna za ochesyvaiushchei zhatkoi kombaina, razrabotkoi i primeneniem rotora, osnashchennogo grebenkami s tangentsialnymi kanalami: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Penza, 2018. 20 s.

6. Utkov Iu.A. Opyt sozdaniia otechestvennykh iagodouborochnykh mashin // *Sadovodstvo i vinogradarstvo*. – 2000. – No. 5-6. – S. 13-14.

7. Ozherelev V.N. Tekhnologicheskie protsessy i sredstva mekhanizatsii proizvodstva iagod maliny: diss. ... dokt. s.-kh. nauk: 05.20.01: utv. 10.10.2002. Briansk, 2001. 312 s.

8. Savin V.Iu. Issledovanie ochesyvaiushchego apparata ustroistva dlia uborki zernovykh kultur kak kolebatelnoi sistemy // *Inzhenernye tekhnologii i sistemy*. – 2021. – T. 31. – No. 3. – S. 403-413. DOI: <https://dio.org/10.15507/2658-4123.031.202103.403-413>.



УДК 631.362-047.37

DOI: 10.53083/1996-4277-2023-224-6-90-99

В.А. Угаров, С.Ф. Сороченко

V.A. Ugarov, S.F. Sorochenko

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЗЕРНОВОГО ВОРОХА
В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ЦЕНТРОБЕЖНО-РЕШЕТНОМ СЕПАРАТОРЕ С АКТИВАТОРОМ

STUDY OF GRAIN HEAP MOVEMENT
IN HORIZONTAL CENTRIFUGAL SIEVE SEPARATOR WITH ACTIVATOR

Ключевые слова: зерновой ворох, сепаратор, горизонтальное центробежное решето, активатор, математическая модель, результаты исследования.

Keywords: grain heap, separator, horizontal centrifugal sieve, activator, mathematical model, research findings.