

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ СЕТЧАТОГО ТРАНСПОРТЕРА НА ЕГО СЕПАРИРУЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ

THE INFLUENCE OF THE SPEED OF THE FLOATING CONVEYOR TO THE SEPARATING ABILITY OF THE BOTTOM OF THE INCLINED CHAMBER

В.Н. ОЖЕРЕЛЬЕВ, Д.С.-Х.Н.
В.В. НИКИТИН, К.Т.Н.
Н.В. СИНЯЯ, К.Т.Н.
В.М. КУЗЮР, К.Т.Н.
А.Е. КУЗНЕЦОВ

Брянский государственный аграрный университет,
Брянск, Россия, vicoz@bk.ru

V.N. OZHERELIEV, DSc in Agriculture,
V.V. NIKITIN, PhD in Engineering,
N.V. SINYAYA, PhD in Engineering,
V.M. KUZYUR, PhD in Engineering,
A.E. KUZNETSOV

Bryansk State Agrarian University, Bryansk, Russia,
vicoz@bk.ru

Представлены результаты лабораторного эксперимента, подтверждающие возможность предварительной сепарации свободного зерна из очесанного зернового вороха до его поступления в молотильную камеру. В частности, предложено снабдить зерноуборочный комбайн устройством для предварительного выделения свободного зерна, смонтированным между наклонной камерой и молотильным устройством. Оно включает в себя два барабана и бесконечное сетчатое полотно. Для интенсификации процесса разделения очесанного зернового вороха на фракции оси вращения барабанов выполнены эксцентрично по отношению к их геометрическим осям. Все исследования производились на пшенице сорта Московская 56. Влажность зерна составляла порядка 12 %. Скорость движения плавающего транспортера имела пять уровней варьирования в пределах 3–5 м/с. Подача очесанного зернового вороха составляла порядка 10 кг/с при содержании в нем 80 % свободного зерна. Длина сетчатого транспортера равнялась 2 м, а его прямоугольные ячейки имели размеры 17×15 мм. Так, по результатам научных исследований установлено, по мере увеличения скорости сетчатого транспортера количество свободного зерна, прошедшего сквозь его ячейки, имеет тенденцию к уменьшению, а количество сошедшего с него зерна, наоборот – к возрастанию. При этом максимальный проход свободного зерна (94,66 %) соответствует минимальной скорости сетчатого транспортера, равной 3 м/с. Наличие свободного зерна обусловлено тем, что при проведении серии экспериментов длина сепарирующей поверхности оказалась недостаточной. Для определения оптимальной длины сетчатого транспортера рассмотрен характер процесса предварительной сепарации свободного зерна из очесанного зернового вороха. Экстраполяция указанного процесса показывает, что минимальная длина сетчатого транспортера, обеспечивающая 99 % выделения свободного зерна из очесанного зернового вороха, должна быть не менее 2,69 м. Практическое внедрение такого технического решения в конструкцию современного зерноуборочного комбайна позволит увеличить его производительность при очесывании растений на корню, надежно исключив при этом вероятность дробления свободного зерна рабочими органами молотильного устройства.

Ключевые слова: дробление, свободное зерно, зерноуборочный комбайн, очес, сетчатый транспортер, предварительная сепарация очесанного зернового вороха.

The results of the laboratory experiment confirming the possibility of preliminary separation of free grain from the combed grain heap before it enters the threshing chamber are presented. In particular, it is proposed to provide a combine harvester with a device for pre-separation of free grain, mounted between the inclined chamber and the threshing device. It includes two drums and an infinite mesh cloth. To intensify the process of separation of the combed grain heap on the fraction of the axis of rotation of the drums are made eccentrically with respect to their geometric axes. All studies were carried out on wheat varieties «Moskovskaya 56». Grain moisture was about 12 %. The speed of movement of the floating conveyor had five levels of variation in the range of 3–5 m/s. Flow oceanog grain heap was about 10 kg/s at a content of 80 % of free grain. The length of the mesh conveyor was 2 m, and its rectangular cells had dimensions of 17×15 mm. Thus, according to the results of scientific research, as the speed of the mesh conveyor increases, the amount of free grain passing through its cells tends to decrease, and the amount of grain coming down from it, on the contrary, to increase. The maximum passage of free grain (94,66 %) corresponds to the minimum speed of the mesh conveyor, equal to 3 m/s. The presence of free grain is due to the fact that during a series of experiments, the length of the separating surface was insufficient. To determine the optimal length of the mesh conveyor, the nature of the process of preliminary separation of free grain from the combed grain heap is considered. Extrapolation of this process shows that the minimum length of the mesh conveyor, providing 99 % of the free grain from the combed grain heap, must be at least 2,69 m. The practical implementation of such a technical solution in the design of a modern combine harvester will increase its productivity when combing plants at the root, reliably eliminating the possibility of crushing free grain by the working bodies of the threshing device.

Keywords: crushing, free grain, combine harvester, comb, mesh conveyor, pre-separation of the combed grain heap.

Введение

Одним из наиболее перспективных направлений уменьшения себестоимости производства зерна является внедрение технологии очесывания растений на корню [1, 2]. Испытания отечественных образцов очесывающих жаток выявили ее высокую эффективность: производительность комбайна повышается в 1,7–2,0 раза, расход топлива снижается на 20–25 %, потери свободного зерна не превышают агродопуск – 0,5 % [3, 4]. Особенно эффективной технология уборки очесом растений на корню оказалась в регионах с дефицитом влаги в почве (Алтай, Казахстан, Поволжье). Оставшаяся на поле высокая стерня в зимний период хорошо задерживает снег и способствует сохранению влаги в почве. Однако ввиду того что очесанный зерновой ворох содержит до 80 % свободного зерна [5], его поступление непосредственно в молотилку вызывает чрезмерное дробление продукции (порядка 12–14 %) рабочими органами последней, что препятствует широкому практическому использованию очеса [6].

Минимизировать дробление свободного зерна возможно путем его выделения из вороха до поступления последнего в молотильное пространство [7, 8], в частности, за счет снабжения зерноуборочного комбайна специальным сепарирующим устройством, смонтированным между наклонной камерой

и барабаном [9]. В результате порядка 95 % свободного зерна минует молотильную камеру и будет направлено на очистку, что исключает травмирующее воздействие на него со стороны рабочих органов молотилки.

Поскольку предварительное выделение свободного зерна из очесанного зернового вороха на практике удалось осуществить только в последние годы, то не все параметры нового технологического процесса изучены до конца. В частности, при работе зерноуборочного комбайна в агрегате с очесывающим адаптером целесообразно оценить влияние скорости сетчатого транспортера на его сепарирующую способность по отношению к свободному зерну.

Цель исследований

Всесторонняя оценка влияния скорости сетчатого транспортера на его сепарирующую способность.

Материалы и методы

Для исследования процесса предварительной сепарации свободного зерна из очесанного зернового вороха авторами была разработана экспериментальная установка (рис. 1), имитирующая работу устройства для предварительного выделения свободного зерна из очесанного зернового вороха. Она состоит из рамы 1, транспортера 2, емкости 3 для сбора свободного

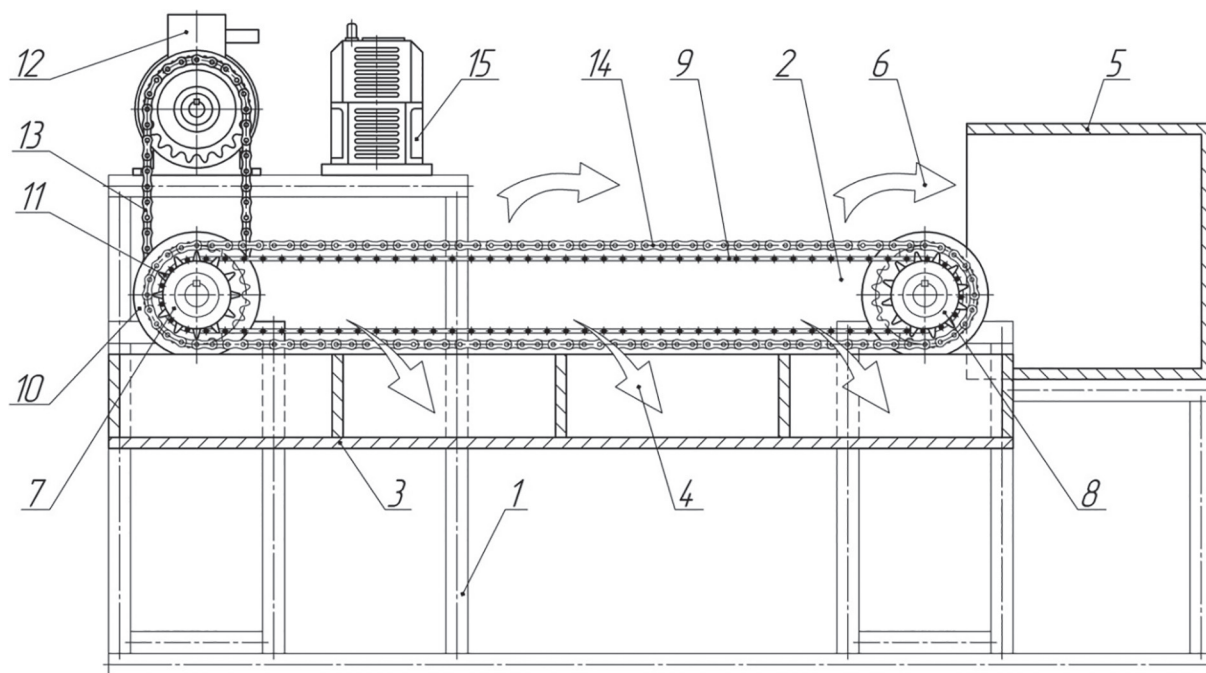


Рис. 1. Схема экспериментальной установки (обозначение позиций дано в тексте)

го зерна 4 и емкости для сбора вороха, идущего сходом. Транспортер 2 включает два барабана 7 и 8 и сетчатое полотно 9. При этом оси вращения барабанов 7 и 8 выполнены эксцентрично по отношению к их геометрическим осям, что обеспечивает интенсивное расслоение зернового вороха на фракции. С целью предотвращения бокового смещения сетчатого полотна 9 при работе установки боковые стороны барабанов 7 и 8 были снабжены ребрами 10. Выступы 11 на цилиндрической поверхности барабанов 7 и 8 способствовали исключению проскальзывания сетчатого полотна 9, а также очищению его ячеек от крупных компонентов очесанного зернового вороха.

Привод установки осуществлялся от электродвигателя 12 посредством двух цепных передач 13 и 14. Управление электродвигателем (включение, отключение, изменение направления вращения) выполнялось при помощи частотного преобразователя 15.

Все исследования проводились на пшенице сорта Московская 56. Влажность зерна составляла порядка 12 % (определялась весовым методом в межкафедральной лаборатории Брянского ГАУ). Скорость движения транспортера имела пять уровней варьирования в пределах 3–5 м/с. Минимальное значение соответствует скорости плавающего транспортера наклонной камеры зерноуборочного комбайна, максимальное – скорости на входе в молотильную камеру [10, 11]. Подача очесанного зернового вороха составляла 10 кг/с при содержании в нем 80 % свободного зерна. Длина сетчатого транспортера равнялась 2 м, а его прямоугольные ячейки имели размеры 17×15 мм (рис. 2).

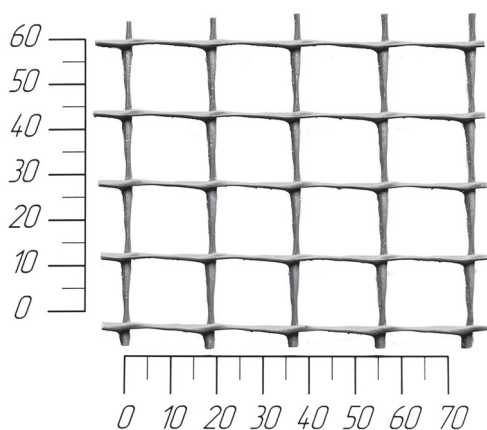


Рис. 2. Фрагмент сетчатого полотна

Зерно, прошедшее сквозь отверстия сетчатого полотна, подвергалось взвешиванию.

Каждый вариант опыта проводился с десятикратной повторностью. Таким образом, всего было учтено и обработано 50 опытов.

Результаты и обсуждение

Полученные данные были обработаны в программах STATISTICA и Excel. По ним построен график (рис. 3), характеризующий зависимость количества свободного зерна, прошедшего сквозь ячейки сетчатого транспортера, от его скорости.

Уравнение регрессии, наиболее полно отражающее характер зависимостей ($R^2 = 0,976$), имеет линейный вид:

$$K_3 = -10,86 \cdot v + 126,35, \quad (1)$$

где K_3 – количество свободного зерна прошедшего сквозь ячейки сетчатого транспортера, %; v – скорость сетчатого транспортера, м/с.

Анализ полученной зависимости (рис. 3) свидетельствует о том, что по мере увеличения скорости сетчатого транспортера количество свободного зерна, прошедшего сквозь его ячейки, уменьшается, а количество сошедшего с него зерна, наоборот, возрастает. При этом максимальный проход свободного зерна (94,66 %) наблюдается при минимальной скорости сетчатого транспортера, равной 3 м/с. Наличие свободного зерна обусловлено тем, что при проведении серии экспериментов длина сепарирующей поверхности оказалась недостаточной.

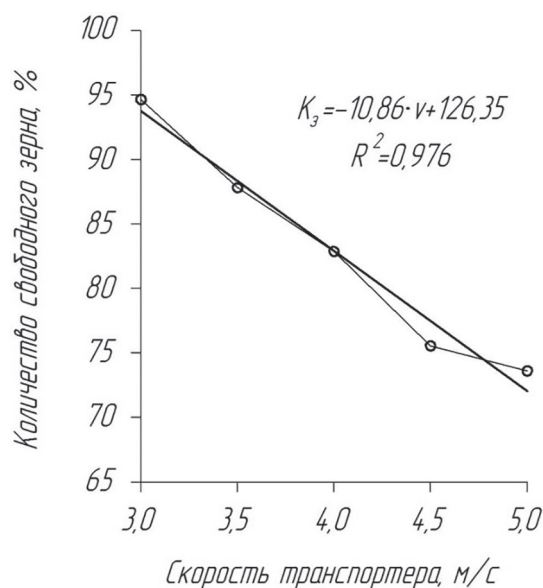


Рис. 3. Изменение количества свободного зерна, прошедшего сквозь ячейки сетчатого транспортера, в зависимости от его скорости

Для выявления характера процесса сепарации свободного зерна был построен график убывания свободного зерна по длине поверхности сепарирования (рис. 4) с регистрацией его количества на четырех контрольных участках. При этом за стопроцентное количество свободного зерна принято начало проведения эксперимента на момент его поступления в установку. Расчет количества свободного зерна, поступившего на второй контрольный участок (53,15 %), определен разницей между предыдущим значение (100 %) и количеством свободного зерна, прошедшего сквозь отверстия на первом контрольном участке (46,85 %). Аналогичным образом были получены и остальные значения (22,71; 9,89 и 5,34 %, соответственно).

Оценка убывания свободного зерна из очищенного зернового вороха по длине поверхности сепарирования (рис. 4) свидетельствует

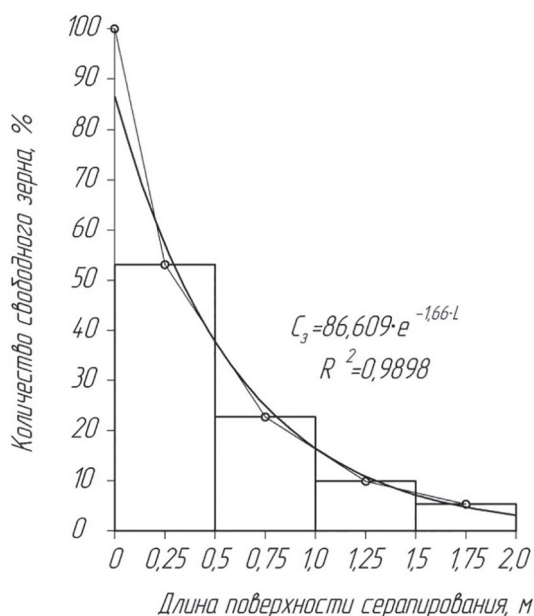


Рис. 4. Убывание свободного зерна по длине сепарирующей поверхности при скорости транспортера 3 м/с

о наличии резерва для повышения степени сепарации. С высокой степенью вероятности ($R^2 = 0,9898$) линии тренда имеет экспоненциальный вид:

$$C_3 = 86,609 \cdot e^{-1,66 \cdot L}, \quad (2)$$

где C_3 – текущий остаток зерна в ворохе, в процентах от ее исходной массы, имевшейся в начале процесса сепарации; L – длина сепарирующей поверхности, м.

Задавшись величиной $C_3 = 1\%$ (согласно агротехническим требованиям дробление семенного материала не должно превышать 1 %), определим необходимую для этого длину поверхности сепарирования по следующему равенству:

$$1 = 86,609 \cdot e^{-1,66 \cdot L}. \quad (3)$$

Решив равенство (3) при помощи программы MathCAD (рис. 5), найдем длину сетчатого транспортера, которая обеспечивает проход 99 % свободного зерна. Следовательно, длина сепарирующей поверхности составит $L = 2,69$ м.

По аналогичной методике были обработаны результаты эксперимента (рис. 6, а–г) при скоростях сетчатого транспортера 3,5; 4,0; 4,5 и 5,0 м/с. По ним получена зависимость длины сетчатого транспортера (обеспечивающая выделение 99 % свободного зерна) от его скорости (рис. 7). Уравнение регрессии представляет собой прямолинейный вид ($R^2 = 0,975$):

$$L = 1,792 \cdot v - 2,498, \quad (4)$$

где L – длина сепарирующей поверхности, м; v – скорость сетчатого транспортера, м/с.

Представленный график свидетельствует о том, что по мере увеличения скорости сетчатого транспортера его длина, обеспечивающая выделение 99 % свободного зерна, возрастает. При этом минимальная длина сепарирующей поверхности 2,69 м соответствует минимальной скорости сетчатого транспортера, равной 3 м/с.

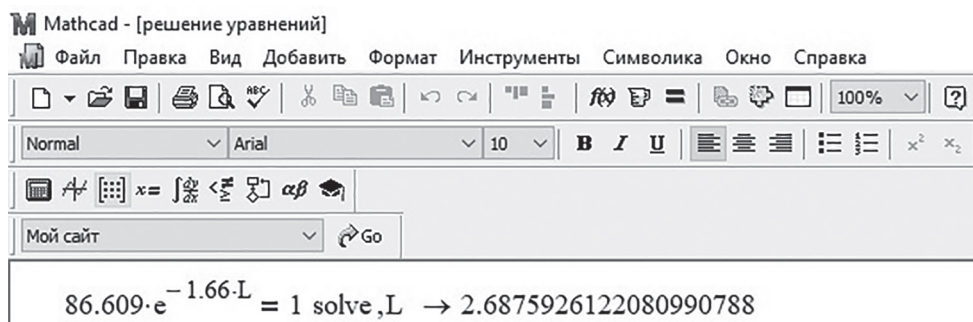


Рис. 5. Скриншот программы MathCAD

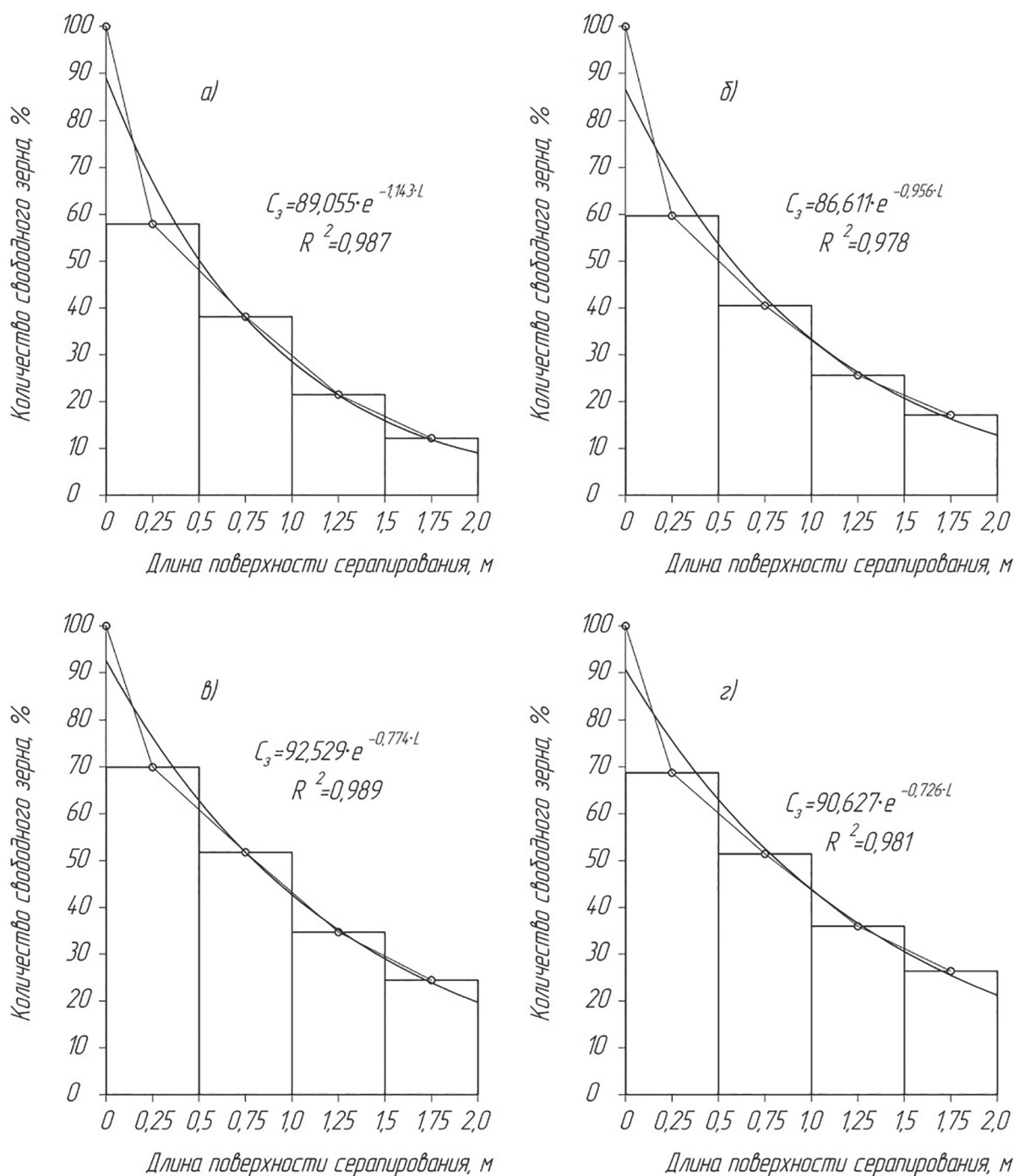


Рис. 6. Убывание свободного зерна из очесанного зернового вороха по длине поверхности сепарирования при скорости сетчатого транспортера:
 а) $v = 3,5$ м/с; б) $v = 4,0$ м/с; в) $v = 4,5$ м/с; г) $v = 5,0$ м/с

Заключение

Результаты эксперимента позволяют сделать следующие выводы.

1. Эффективная сепарация свободного зерна из очесанного зернового вороха на сетчатом транспортере, смонтированным между наклонной камерой и молотильным устройством, возможна.

2. Для обеспечения максимальной сепарации свободного зерна из очесанного зернового вороха длина сетчатого транспортера должна быть не менее 2,69 м.

3. Практическая реализация такого технического решения требует смещения молотильного барабана назад и укорачивания соломотряса (за ненадобностью) без нарушения его технологического процесса.

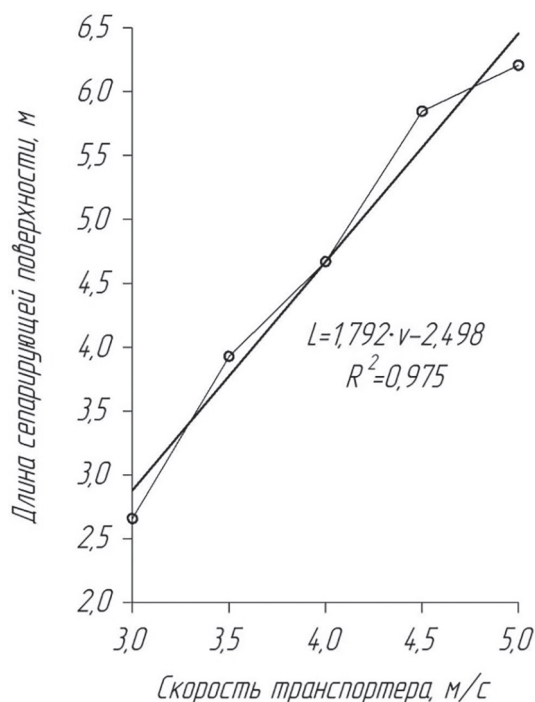


Рис. 7. Зависимость длины сепарирующей поверхности экспериментальной установки от скорости сетчатого транспортера

Литература

1. Ожерельев В.Н., Жалнин Э.В., Никитин В.В. Перспективы развития конструкции зерноуборочного комбайна // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе: материалы международной научно-практической конференции. Ч. II. Воронеж: ФГОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени Петра I», 2018. С. 137–143.
2. Ожерельев В.Н., Никитин В.В. Перспективные направления снижения энергоемкости процесса выделения зерна из колоса // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 8. С. 30–31.
3. Жалнин Э.В. Технические инновации в сельскохозяйственном производстве и ресурсосберегающий эффект // АгроСнабФорум. 2017. № 3 (151). С. 14.
4. Жалнин Э.В. Уборка с очесом на корню: за и против // Сельский механизатор. 2013. № 8. С. 10–12.
5. Ожерельев В.Н., Никитин В.В., Алакин В.М., Становов С.Н. Исследование параметров очесанного зернового вороха // Техника в сельском хозяйстве. 2013. № 1. С. 7–9.
6. Шабанов Н.П. Разработка и обоснование устройства для сепарации очесанного зернового вороха в наклонной камере зерноуборочного комбайна: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Симферополь, 1997. 26 с.

7. Ожерельев В.Н., Никитин В.В. Стратегия совершенствования конструкции зерноуборочного комбайна // Тракторы и сельхозмашины. 2016. № 8. С. 39–43.
8. Ожерельев В.Н., Никитин В.В. Предварительная сепарация очесанного зернового вороха в наклонной камере // Агропромышленный комплекс на рубеже веков: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию агроинженерного факультета. Ч. 1. Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский ГАУ имени Петра I», 2015. С. 165–170.
9. Ожерельев В.Н., Никитин В.В. Зерноуборочный комбайн: патент на изобретение № 2677349, Российская Федерация; опубл. 16.01.2019, бюл. № 2.
10. Халанский В.М., Горбачев И.В. Сельскохозяйственные машины. М.: КолосС, 2003. 624 с.
11. Комбайн зерноуборочный самоходный КЗС-10К «ПАЛЕССЕ GS10». Инструкция по эксплуатации. 2013. 231 с.

References

1. Ozhereliev V.N., Zhalnin E.V., Nikitin V.V. Prospects for the development of combine harvester design // *Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе: материалы международной научно-практической конференции* [Energy efficiency and energy saving in modern manufacturing and society: proceedings of the international scientific and practical conference]. P. II. Voronezh: FSBEI HE «Voronezh state agricultural university named after Peter I», 2018. pp. 137–143 (in Russ.).
2. Ozhereliev V.N., Nikitin V.V. Promising directions for reducing the energy intensity of the process of grain separation from the ear. *Traktory i sel'hoz mashiny*. 2012. No 8. pp. 30–31 (in Russ.).
3. Zhalnin E.V. Technical innovations in agricultural production and resource-saving effect. *AgroSnaбForum*. 2017. No 3 (151). pp. 14 (in Russ.).
4. Zhalnin E.V. Maid with tow standing: for and against. *Sel'skiy mekhanizator*. 2013. No. 8, pp. 10–12 (in Russ.).
5. Ozhereliev V.N., Nikitin V.V., Alakin V.M., Stanovov S.N. Study of parameters oceanog grain heap. *Tehnika v sel'skom hozjajstve*. 2013. No. 1, pp. 7–9 (in Russ.).
6. Shabanov N. P. Razrabotka i obosnovanie ustroystva dlya separatsii ochesannogo zernovogo vorokha v naklonnoy kamere zernouborochnogo kombayna: avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk [Development and justification of the device for the separation of the combed grain heap in the inclined chamber of

- the combine harvester: author. diss. ... candidate. tekhn. sciences]. Simferopol, 1997. 26 p.
7. Ozhereliev V.N., Nikitin V.V. Strategy for improving the design of the combine harvester. *Traktory i sel'hozmashiny*. 2016. No 8. pp. 39–43 (in Russ.).
 8. Ozhereliev V.N., Nikitin V.V., The effect of the size of lattice holes of the bottom of the inclined chamber at its separating ability // *Rol' agrarnoy nauki v razvitii APK RF: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 105-letiyu FGBOU VO Voronezhskiy GAU* [The role of agrarian science in the development of agriculture: materials of the international scientific-practical conference dedicated to the 105th anniversary of the Voronezh GAU]. P. I. Voronezh: FSBEI HE Voronezh state agricultural university, 2015. pp. 8–12 (in Russ.).
 9. Ozhereliev V.N., Nikitin V.V. Zernouborochnyj kombajn [Combine harvester]: patent na izobretenie No 2677349, Rossiyskaya Fereratsiya. Opublikovano 16.01.2019. *Byul.* No 2.
 10. Khalanskiy V. M., Gorbachev I.V. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny* [Agricultural vehicles]. M.: KolosS Publ., 2003, 624 p.
 11. *Kombajn zernouborochnyj samohodnyj KZS-10K «PALESSE GS10». Instrukciya po ehkspluatacii* [A combine harvester self-propelled KZS-10K «PALESSE GS10». Operating instructions]. 2013. 231 p.