

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ШНЕКОВОГО ПРЕССА С ОБОСНОВАНИЕМ ЕГО КОНСТРУКТИВНЫХ И КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Новиков В.В., Ермолаева Д.Р., Курочкин А.А.

В работе представлены результаты экспериментальных исследований шнекового пресса для производства растительного масла. Получена математическая модель, позволяющая оценить влияние конструктивных и кинематических параметров машины на ее производительность. Аналитические зависимости, характеризующие модель, позволяют в дальнейшем прогнозировать расчетную производительность шнекового пресса в зависимости от частоты вращения вала, шага навивки шнека и площади выпускного отверстия.

**Ключевые слова:** пресс, производительность, шнек, шаг витка, частота вращения, выпускное отверстие эксперимент.

### Введение

Для современной типизированной технологии малотоннажного производства растительных масел характерны повышенные удельные энергозатраты, достаточно длительные подготовительные операции и наличие в готовом продукте нежелательных примесей. Одним из способов устранения перечисленных недостатков данной технологии является прессование масличного растительного сырья методом холодной экструзии [4].

Холодная экструзия растительного сырья с высоким содержанием липидов может быть реализована с помощью специальных экструдеров, исполнительный механизм которых представляет собой шнек специальной конструкции. Обычно шнек собирается из отдельных сменных элементов различной конфигурации, что позволяет обеспечивать

необходимые режимы обработки семян масличных культур, производительность машины и соответствие качества готового продукта соответствующим нормативным документам. Таким образом, те или иные конструктивные особенности прессов и различные технологические свойства применяемого сырья позволяют в широких пределах комбинировать параметры процесса прессования и получать продукт нужного качества [1-3].

Один из наиболее эффективных современных подходов к рациональному проектированию пресс-экструдеров на заданную производительность и с оптимальными параметрами основан на получении и анализе математической модели исполнительного механизма машины. Такой подход позволит при весьма умеренных затратах труда прогнозировать влияние различных параметров шнекового пресса на его производительность [6-8]. Аналогичный подход был использован другими авторами [9-20].

Цель работы – получение математических регрессионных моделей влияния конструктивных и кинематических параметров на производительность двухзаходного шнекового пресса.

Задачи исследования – провести экспериментальные исследования влияния конструктивных и режимных параметров двухзаходного шнекового пресса на его производительность.

### Объекты и методы исследований

Объектом исследования являлся двухзаходный шнековый пресс [5], включающий корпус 1 (рис. 1), с размещенным в нем активным рабочим органом, загрузочный бункер 2, маслосборник 9 и привод (на рис. не показан).

Активный рабочий орган состоит из трех соосно установленных на приводном валу шнеков: подающего шнека 3, прессующего шнека 4 и шнека 7,

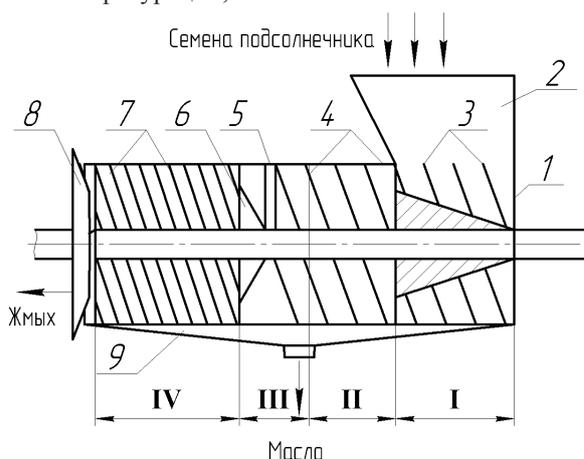


Рис. 1. Конструктивно-технологическая схема двухзаходного шнекового пресса: 1 – корпус; 2 – загрузочный бункер; 3 – подающий шнек; 4 – прессующий шнек; 5 – разрыхлитель мезги; 6 – конусная направляющая втулка; 7 – шнек; 8 – регулятор давления; 9 – маслосборник; I – зона загрузки материала, II – зона сжатия, III – зона стабилизации давления, IV – зона интенсивного сжатия

выполненного с уменьшающимся по направлению движения обрабатываемого сырья шагом витка.

Подающий шнек (конусный направитель) выполнен в виде шнека с конической направляющей и служит для перемещения сырья из загрузочного бункера в рабочую зону пресса.

Рабочий орган образует четыре зоны переработки сырья (зона загрузки материала – I, зона его сжатия – II, зона стабилизации давления – III, зона интенсивного сжатия материала – IV).

Базовым показателем работы двухзаходного шнекового пресса является его производительность  $Q$  (кг/ч) по перерабатываемым семенам подсолнечника:

$$Q = \frac{M}{T}, \quad (1)$$

где  $M$  – масса семян подсолнечника, кг;

$T$  – время работы машины, ч.

Основным показателем, характеризующим качество выполнения технологического процесса прессом, является выход масла в %. Для его расчета масса семян подсолнечника принимается за 100%, а масса отжатого масла определяет процент его выхода.

Масса отжатого масла замерялась с помощью электронных весов ВК-1500. При этом выполнялась следующая последовательность действий: предварительно взвешенная масса подготовленного для переработки подсолнечника засыпалась в бункер, под выгрузной лоток устанавливалась оттарированная на весах мерная емкость, после чего включался электронный секундомер, учитывающий время переработки сырья.

По окончании эксперимента замерялась масса

Таблица 1 - Результаты эксперимента по исследованию производительности пресса

№	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1^2$	$x_2^2$	$x_3^2$	$Q$ , кг/ч
1	1	35	400	0,001	0,33	0,33	0,33	111
2	1	45	400	0,001	0,33	0,33	0,33	138
3	1	35	500	0,001	0,33	0,33	0,33	120
4	1	45	500	0,001	0,33	0,33	0,33	146
5	1	35	400	0,002	0,33	0,33	0,33	114
6	1	45	400	0,002	0,33	0,33	0,33	141
7	1	35	500	0,002	0,33	0,33	0,33	119
8	1	45	500	0,002	0,33	0,33	0,33	148
9	1	35	450	0,002	0,33	-0,67	-0,67	115
10	1	45	450	0,002	0,33	-0,67	-0,67	143
11	1	40	400	0,002	-0,67	0,33	-0,67	130
12	1	40	500	0,002	-0,67	0,33	-0,67	136
13	1	40	450	0,001	-0,67	-0,67	0,33	133
14	1	40	450	0,002	-0,67	-0,67	0,33	137
15	1	40	450	0,002	-0,67	-0,67	-0,67	135

полученного масла, и рассчитывался процент его выхода. Экспериментальные данные, полученные по итогам трех замеров и рассчитанные как среднее значение, подставлялись в формулу по расчету производительности машины и заносились в план эксперимента.

## Результаты и их обсуждение

Для получения регрессионной модели, характеризующей связь конструктивно-технологических параметров пресса с его производительностью, был реализован полный факторный эксперимент 33.

Состав, уровни и интервалы варьирования независимых факторов выбирались с учетом конструктивных особенностей экспериментального пресса и особенностей реализуемого им технологического процесса. Матрица планирования эксперимента и полученные в ходе реализации эксперимента данные представлены в таблице 1.

Дальнейшая проверка на однородность и обработка полученных экспериментальных данных проводилась по общепринятой методике. Уравнение регрессии, адекватно описывающее влияние исследуемых факторов на производительность пресса, имеет вид

$$Q = 131,07 + 13,7X + 3,5Y + 1,1Z - 6,67X^2 - 4,266Y^2 - 3,066Z^2 + 0,125XY + 0,375XZ - 0,625YZ + 0,375XYZ, \quad (2)$$

$$\text{где } X = \frac{t - 40}{5}; Y = \frac{n - 450}{5}; Z = \frac{S - 0,0015}{0,0005} \quad (3)$$

$t$  – шаг навивки шнека, мм;

$n$  – частота вращения шнека, мин<sup>-1</sup>;

$S$  – площадь выходного отверстия фильеры, м<sup>2</sup>.

Для наглядного отображения веса каждого фактора в уравнении на рисунке 2 представлена гистограмма значений коэффициентов.

После подстановки уравнений (3) в (2) получим уравнение регрессии для производительности в зависимости от выбранных независимых параметров в раскодированном виде

$$Q = -892,97 + 25,646t + 1,803n + 98242S - 0,266t^2 - 0,0017n^2 - 1,226 \cdot 10^7 \cdot S^2 - 0,004tn - 1200tS - 145nS + 3tnS \quad (4)$$

Для анализа полученной регрессионной модели (4) зафиксируем один из факторов на соответствующих уровнях варьирования. Таким фактором удобнее выбрать шаг навивки шнека  $t$ , так как варьирование двух других факторов не сопряжено с необходимостью изготовления дополнительных деталей.

Таким образом, фиксируя шаг навивки шнека на трёх выбранных уровнях с соответствующими значениями, получим три уравнения регрессии:

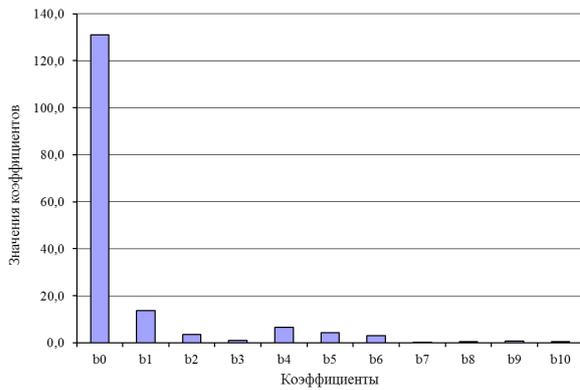


Рис. 2. Значимость факторов в уравнении

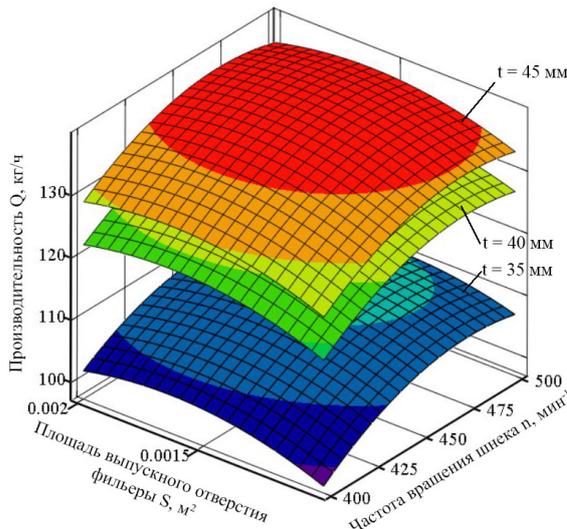


Рис. 3. Производительность пресса Q в зависимости от частоты вращения шнека n и площади выпускного отверстия S при фиксированных значениях шага шнека t

$$Q^{t=35} = 1,663n + 56242S - 0,0017n^2 - 1,226 \cdot 10^7 \cdot S^2 - 40nS - 321,99; \quad (5)$$

$$Q^{t=40} = 1,643n + 50242S - 0,0017n^2 - 1,226 \cdot 10^7 \cdot S^2 - 25nS - 293,75; \quad (6)$$

$$Q^{t=45} = 1,623n + 44242S - 0,0017n^2 - 1,226 \cdot 10^7 \cdot S^2 - 10nS - 278,84; \quad (7)$$

Для визуального представления полученных уравнений, представляющие собой криволинейные поверхности, представим их в координатах [n; S] (рисунок 3).

По уравнениям (5), (6) и (7) построим поверхности уровней.

Как видно из рисунков 4-6 характер всех трёх поверхностей схож и имеются чётко очерченные области с высокой производительностью машины. Для определения максимально возможной производительности пресса, с помощью программы Mathcad 14.0 были проведены необходимые расчёты, результаты которых приведены в таблице 2.

Для проверки сходимости данных, полученных в эксперименте и рассчитанных с помощью полученных аналитических выражений, был построен сравнительный график (рисунок 7).

Коэффициент корреляции между результатами

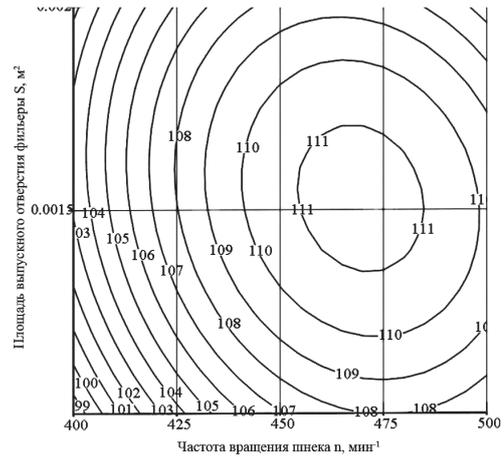


Рис. 4. Производительность Q в зависимости от частоты вращения шнека n и площади выпускного отверстия S при фиксированном значении шага шнека t = 35 мм

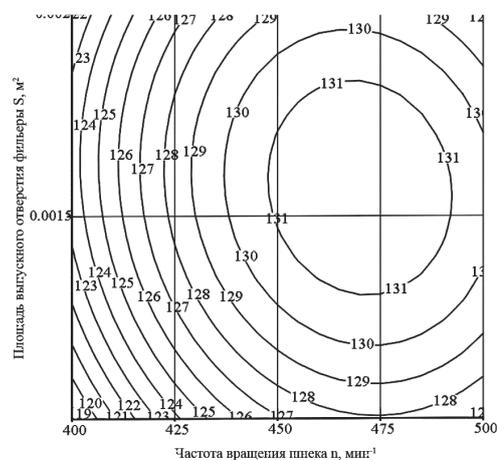


Рис. 5. Производительность Q в зависимости от частоты вращения шнека n и площади выпускного отверстия S при фиксированном значении шага шнека t = 40 мм

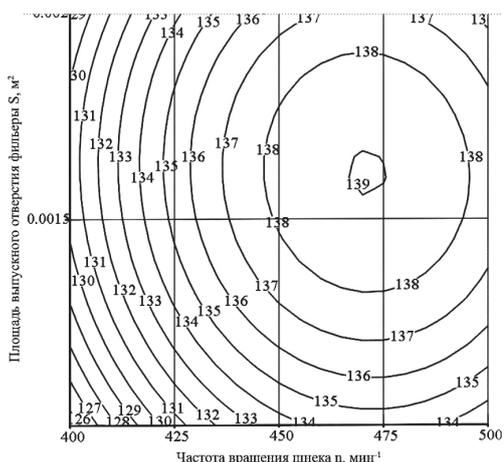


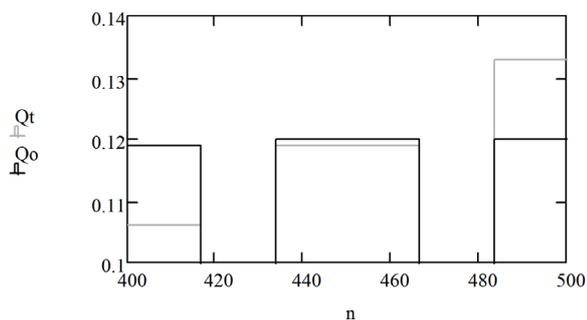
Рис. 6. Производительность Q в зависимости от частоты вращения шнека n и площади выпускного отверстия S при фиксированном значении шага шнека t = 45 мм

теоретических и экспериментальных исследований составил:  $\chi q^2=0,003$ , что свидетельствует о достаточной достоверности аналитических зависимостей и применимости их в расчётах.

### Выводы

Таблица 2 - Значения производительности прессы при различных сочетаниях независимых факторов

Значения	Производительность Q, кг/ч	Конструктивные и режимные параметры		
		шаг шнека $t$ , мм	частота вращения $n$ , мин <sup>-1</sup>	площадь выпускного отверстия $S$ , м <sup>2</sup>
Максимальное значение $Q_{\max}$	139,03	45	471	0,002
Минимальное значение $Q_{\min}$	98,28	35	400	0,001
Диапазон изменения	98,28-139,03	35-45	400-500	0,001-0,002
Оптимальное значение	139,03	45	471	0,002

Рис. 7. Сходимость расчетных  $Q_t$  и экспериментальных  $Q_0$  значений производительности, кг/с

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования прессы для отжима подсолнечного масла позволили выявить зависимость производительности машины от конструктивных и режимных параметров: частоты вращения вала с расположенными на нём рабочими органами, шага навивки шнека и площади выпускного отверстия. Анализ полученной зависимости позволил определить интервал варьирования производительности машины, который составил 98,28-139,03 кг/ч. Кроме того, расчётным путём получена максимально возможная производительность шнекового прессы, которая составила 139,03 кг/ч.

Результаты данных исследований позволят в дальнейшем прогнозировать расчетную производительность шнекового прессы в зависимости от его конструктивных и кинематических параметров.

### Список литературы

- [1] Курочкин А. А. Дипломное проектирование по механизации переработки продукции животноводства. / А. А. Курочкин, В. М. Зимняков, В. В. Ляшенко, В. С. Парфенов, И. А. Спицын: Учебное пособие. – Пенза: Пензенская ГСХА, 1998. 250 с.
- [2] Курочкин А. А. Методологические аспекты теоретических исследований пресс-экструдеров для обработки растительного крахмалсодержащего сырья / А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, В. В. Новиков, С. В. Денисов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2013. № 06 (10). С. 46–55.
- [3] Курочкин А. А. Обоснование рациональных параметров шнека пресс-экструдера в зоне загрузки / А. А. Курочкин, В. В. Новиков // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2013. № 06 (10). С. 123–127.
- [4] Курочкин А. А. Оборудование перерабатывающих производств / А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, В. М. Зимняков, П. К. Воронина. М.: ИНФРА-М, 2015. 363 с.
- [5] Патент № 167408 Российская Федерация, МПК7A23N1/00. Шнековый пресс для извлечения влаги из растительного сырья / В. В. Новиков, А. С. Грецов, В. В. Коновалов И. В. Успенская, Д. Р. Ермолаева; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Самарская ГСХА. № 2016119959; заявл. 23.05.2016; опубл. 10.01.2017, Бюл. № 1.
- [6] Фролов Д. И. Обоснование оптимальной частоты вращения рабочего органа ботвоудаляющей машины / Д. И. Фролов, А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2013. № 3. С. 18–23.
- [7] Фролов Д. И. Моделирование процесса удаления ботвы лука рабочим органом ботвоудаляющей машины / Д. И. Фролов, А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. № 3. С. 29–33.
- [8] Фролов Д. И. Определение оптимальных параметров ботвоудаляющей машины на посевах лука / Д. И. Фролов, А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 1 (29). С. 120–126.
- [9] Ботвоудаляющая машина : пат. 2339208 Российская Федерация : МПК А 01 D 23/02 / Н.П. Ларюшин,

- С.А. Сущёв, Д.И. Фролов, А.М. Ларюшин ; 2007109990/12 ; заявл. 19.3.2007 ; опубл. 27.11.2008, Бюл. №33. 8 с.
- [10] Курочкин А.А., Фролов Д.И. Технология производства кормов на основе термо-вакуумной обработки отходов с/х производства // Инновационная техника и технология. 2014. № 4 (01). С. 36–40.
- [11] Анализ процесса движения воздуха внутри кожуха ботвоудаляющего рабочего органа с обоснованием оптимального угла наклона ножей / Д.И. Фролов, А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, Д.Е. Каширин // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2015. № 4 (28). С. 67–72.
- [12] Фролов Д.И. Анализ работы ботвоудаляющего рабочего органа с оптимизацией воздушного потока внутри кожуха // Инновационная техника и технология. 2014. № 4 (01). С. 30–35.
- [13] Фролов Д.И., Чекайкин С.В. Обоснование рациональных параметров ботвоудаляющей машины на посевах лука // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2014. № 6 (22). С. 158–161.
- [14] Ларюшин Н.П., Ларюшин А.М., Фролов Д.И. Уборка без задержек // Сельский механизатор. 2007. № 7. С. 48–49.
- [15] Фролов Д.И. Разработка обрезчика ботвы лука и сорных растений с обоснованием конструктивных и режимных параметров : автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.20.01. Пенза: ПГСХА, 2008. 18 с.
- [16] Фролов Д.И. Разработка обрезчика ботвы лука и сорных растений с обоснованием конструктивных и режимных параметров : дис. ...канд. техн. наук: 05.20.01. Пенза: ПГСХА, 2008. 153 с.
- [17] Ларюшин А.М., Ларюшин Н.П., Фролов Д.И. Совершенствование технологии уборки лука // Труды международного форума по проблемам науки, техники и образования. М.: Академия наук о Земле, 2007. С. 17–18.
- [18] Ларюшин Н.П., Ларюшин А.М., Фролов Д.И. Оптимальные параметры ботвоудаляющего рабочего органа обрезчика листостебельной массы // Тракторы и сельхозмашины. 2010. № 2. С. 15–17.
- [19] Ларюшин Н.П., Ларюшин А.М., Фролов Д.И. Обоснование конструктивно-режимных параметров ботвоудаляющего устройства при лабораторных исследованиях // Нива Поволжья. 2008. № 2 (7). С. 46–51.
- [20] Фролов Д.И. Применение модернизированной ботвоудаляющей машины для скашивания люцерны // Инновационная техника и технология. 2015. № 1 (02). С. 45–49.

## EXPERIMENTAL STUDY OF SCREW PRESS WITH THE JUSTIFICATION OF THE CONSTRUCTIVE AND KINEMATIC PARAMETERS

*Novikov V.V., Ermolaeva D.R., Kurochkin A.A.*

The paper presents the results of experimental studies of screw press for the production of vegetable oil. The mathematical model allowing to estimate influence of constructive and kinematic parameters of the machine on its productivity is received. The analytical dependences characterizing the model will allow to predict further the calculated productivity of the screw press depending on the speed of the shaft, the pitch of the screw winding and the area of the outlet.

**Keywords:** *press, performance, the auger, the pitch of the coil rotational speed, the outlet of the experiment.*

### References

- [1] Kurochkin A.A. Diplomnoe proektirovanie po mekhanizatsii pererabotki produktsii zhivotnovodstva. /A.A. Kurochkin, V.M. Zimnyakov, V.V. Lyashenko, V.S. Parfenov, I.A. Spitsyn: Uchebnoe posobie.– Penza: Penzenskaya GSKhA, 1998. 250 p.
- [2] Kurochkin A.A. Metodologicheskie aspekty teoreticheskikh issledovaniy press-ekstrudirov dlya obrabotki rastitel'nogo krakhmalsoderzhashchego syr'ya /A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, V.V. Novikov, S.V. Denisov // KhKhI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus. 2013. № 06 (10). pp. 46–55.
- [3] Kurochkin A.A. Obosnovanie ratsional'nykh parametrov shneka press-ekstrudera v zone zagruzki /A.A. Kurochkin, V.V. Novikov// KhKhI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus. 2013. № 06 (10). pp. 123–127.
- [4] Kurochkin A.A. Oborudovanie pererabatyvayushchikh proizvodstv /A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, V.M. Zimnyakov, P.K. Voronina. M.: INFRA-M, 2015. 363 p.
- [5] Patent № 167408 Rossiiskaya Federatsiya, MPK7A23N1/00. Shnekoviye press dlya izvlecheniya vlagi iz rastitel'nogo syr'ya /V.V. Novikov, A. S. Gretsov, V.V. Konovalov I. V. Uspenskaya, D.R. Ermolaeva;

- zayavitel' i patentoobladatel' FGBOU VO Samarskaya GSKhA. № 2016119959; zayavl. 23.05.2016; opubl. 10.01.2017, Byul. № 1.
- [6] Frolov D.I. Obosnovanie optimal'noi chastoty vrashcheniya rabocheho organa botvoudalyayushchei mashiny / D.I. Frolov, A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova // Izvestiya Samarskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. 2013. № 3. pp. 18–23.
- [7] Frolov D.I. Modelirovanie protsessa udaleniya botvy luka rabochim organom botvoudalyayushchei mashiny / D.I. Frolov, A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova // Izvestiya Samarskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. 2014. № 3. pp. 29–33.
- [8] Frolov D.I. Opredelenie optimal'nykh parametrov botvoudalyayushchei mashiny na posevakh luka /D.I. Frolov, A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova //Vestnik Ul'yansovskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. 2015. № 1 (29). pp. 120–126.
- [9] Haulm machine: Pat. 2339208 Russian Federation: IPC A 01 D 23/02 / N.P. Laryushin, S.A. Sushchev, D.I. Frolov, A.M. Laryushin; 2007109990/12; declare 19.3.2007; publ. 27.11.2008, Bull. No. 33 8 s.
- [10] Kurochkin A.A., Frolov D.I. Production technology of feed based on thermal vacuum processing of agricultural waste // Innovative equipment and technology. 2014. No. 4 (01). Pp. 36–40.
- [11] Analysis of the process of air movement inside the casing of a tootoning working body with the substantiation of the optimum angle of inclination of the knives / D.I. Frolov, A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, D.E. Kashirin // Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostycheva. 2015. № 4 (28). Pp. 67–72.
- [12] Frolov D.I. Analysis of the work of the tootoning working body with the optimization of the air flow inside the casing // Innovative equipment and technology. 2014. No. 4 (01). Pp. 30–35.
- [13] Frolov D.I., Chekaykin S.V. Justification of rational parameters of a haulm topper on onions // XXI century: the results of the past and the problems of the present plus. 2014. № 6 (22). Pp. 158–161.
- [14] Larushin NP, Larushin AM, Frolov D.I. Cleaning without delay // Rural mechanicizer. 2007. No. 7. P. 48–49.
- [15] Frolov D.I. Development obrezchika tops of onions and weed plants with the rationale of design and regime parameters: author. dis. ... Cand. tech. Sciences: 05.20.01. Penza: PGSA, 2008. 18 p.
- [16] Frolov D.I. Development obrezchika tops of onions and weed plants with the rationale of structural and operational parameters: dis. ... Cand. tech. Sciences: 05.20.01. Penza: PGSA, 2008. 153 p.
- [17] Laryushin A.M., Laryushin N.P., Frolov D.I. Improving the technology of harvesting onions // Proceedings of the international forum on science, technology and education. Moscow: Earth Sciences Academy, 2007. pp. 17–18.
- [18] Larushin N.P., Larushin A.M., Frolov D.I. Optimal parameters of the tootoning working body of the leaf cutter cutter // Tractors and agricultural machines. 2010. No. 2. P. 15–17.
- [19] Larushin N.P., Larushin A.M., Frolov D.I. Justification of constructive-mode parameters of the topper-removing device in laboratory studies // Niva Volga. 2008. № 2 (7). Pp. 46–51.
- [20] Frolov D.I. The use of an upgraded haulm machine for cutting alfalfa // Innovative equipment and technology. 2015. № 1 (02). Pp. 45–49.