

7. Puchin E. A., Didmanidze O. N., Lezin P. P., Lizunov E. A., Kravchenko I. N. Nadjozhnost' tehniceskikh sistem (Reliability of technical systems), Moscow, UMC «Triada», 2005, 353 p.
8. RD 50-690-89. Metodicheskie ukazaniya. Nadjozhnost' v tehnike. Metody ocenki pokazatelej nadjozhnosti po jeksperimental'nym dannym (Methodical instructions. Reliability in technique. Methods of reliability assessment according to the experimental data), Moscow, Izdatel'stvo standartov, 1990.
9. Skovorodin V. Ja., Tishkin L. V. Spravochnaja kniga po nadezhnosti sel'skohozjajstvennoj tehniki (Reference book on the reliability of agricultural machinery), Leningrad, Lenizdat, 1985, 204 p.
10. Harrington E. C. Chem. Engng. Progr., 1963, Vol. 42, No. 59, pp. 132 – 147.
11. Harrington E.S. Industr., Quality Control, 1965, Vol. 21, № 10, pp. 494–498.
12. Lauton P. J., Foley A. G. Aluminium Tipped Spring Tine Point-Field Assessment, J. agric. Engug. Res., 1986, Vol. 34, No. 2.
13. Motoren und Jetriebbeolen, MTZ, No. 1, Januar, 1980, p 12.
14. Tougher soil-wearing parts, «Power Farming», 1982, Vol.8, No. 8, p. 40.

УДК 631.353

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛОВ УСТАНОВКИ ВАЛЬЦОВ НА ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ВАЛЬЦОВОГО СТАНКА

**В. А. Одегов**, канд. техн. наук; **А. С. Комкин**, канд. техн. наук;

**В. В. Шилин**, канд. техн. наук,

ФГБОУ ВО Вятская ГСХА,

Октябрьский пр-т, 133, г. Киров, Россия, 610017

E-mail: [akomkin@yandex.ru](mailto:akomkin@yandex.ru)

*Аннотация.* Приведена схема установки бокового и нижнего вальцов двухступенчатого вальцового станка относительно горизонтали, проходящей через центр вращения верхнего (основного) вальца. На первоначальном этапе в результате серий однофакторных экспериментов, проведенных в Кировской области на зерне ячменя сорта Биос-1 влажностью 11,8%, была определена зона значений рационального угла положения от горизонтали бокового и нижнего вальцов, которая находилась в пределах 0...-5°. Определены интервалы варьирования факторами в дальнейших многофакторных экспериментальных исследованиях и получены адекватные модели регрессии, а также двумерные сечения поверхности отклика. Так, при углах установки бокового вальца  $\alpha_1 = -3^\circ \dots 0^\circ$  и нижнего  $\alpha_2 = -70^\circ$  достигается минимальное значение удельных энергозатрат  $q = 2,6 \dots 2,82$  кВт·ч/(т·ед.ст.пл.), а также сход с решета  $\varnothing 2,5$  мм 2,60...2,78% – при обеспечении максимальной пропускной способности  $Q=1$  т/ч и наименьшей энергоемкости  $\Xi=5,54$  кВт·ч/т.

*Ключевые слова:* двухступенчатое плющение, зерно, угол, вальцы, энергоемкость, удельные энергозатраты.

**Введение.** В технологиях возделывания и уборки сельскохозяйственных культур применяются различные подходы для повышения эффективности технологических процессов. С одной стороны, проектируют энергосберегающие мобильные МТА [1], с другой – новые стационарные машины для переработки собранного урожая. В частности, для зерновых культур до сих пор слабыми звеньями остаются переработка и хранение получаемого урожая (влажного зерна). Вместе с тем, из него можно получать дешевый концентрированный корм – плющенное зерно. Однако процесс

плющения достаточно энергоемок, и одним из направлений его совершенствования является повышение его стадийности – двухступенчатое плющение [2].

Многими исследованиями установлено, что в технологии измельчения различного вида кормов рабочий процесс линий, организованных в несколько ступеней, позволяет снизить энергозатраты на процессы и улучшить качество готового продукта [3]. Создаются новые конструкции двухступенчатых вальцовых станков (а на их основе – плющилок) [4, 5], и даже предлагается одновременное с плющени-

ем внесение консерванта [6]. Кроме того, не прекращаются попытки конструктивно-теоретического обоснования их параметров [7–10]. Однако до сих пор так и не найдено оптимальное сочетание параметров конструкции.

В этой связи целью исследования стало выявление влияния углов установки валцов на показатели рабочего процесса двухступенчатого вальцового станка.

**Методика.** С целью изучения влияния углов установки бокового и нижнего валцов относительно горизонтали, проходящей через центр вращения верхнего (основного) вальца, на рабочий процесс двухступенчатого вальцового станка, а именно, на пропускную способность, потребляемую мощность и качество готового продукта, вначале нами были проведены однофакторные эксперименты. В них при зафиксированном угле между боковым и нижним валцами  $65^\circ$  изменяли положение валцов относительно угла установки бокового вальца от горизонтали в интервале от  $-10$  до  $+15^\circ$ .

Экспериментальные исследования проводились на зерне ячменя сорта Биос-1 влажностью 11,8%, которую поддерживали постоянной, со средневзвешенным размером по толщине 2,85 мм. При этом диаметр валцов составлял 220 мм, длина рабочей поверхности валцов – 250 мм и частота вращения  $520 \text{ мин}^{-1}$  (скорость движения точки, находящейся на поверхности вальца, – 5,99 м/с). Входной межвальцовый зазор первой ступени плоче-

ния  $h_1$  фиксировался 1,8 мм, а входной межвальцовый зазор второй ступени плоче-ния  $h_2$  – 0,7 мм.

Опыты проводили в трехкратной повторности. При этом определяли потребляемую мощность двухступенчатого вальцового станка зерна  $N$ , кВт, а также его пропускную способность  $Q$ , т/ч и процент схода с решета  $\phi$  2,5 мм, %.

В качестве критериев оптимизации выбраны потребляемая мощность  $N$  кВт, пропускная способность  $Q$ , т/ч, сход с решета  $\phi$  2,5 мм, %, энергоемкость  $\mathcal{E}$ , кВт·ч/т, и удельные энергозатраты  $q$ , кВт·ч/(т·ед.ст.пл.).

Качество готового продукта оценивали по содержанию предельного количества мучки в хлопьях (ТУ 8-22-39-88 «Хлопья ячменные и перловые», проход сита с отверстиями  $\phi$  2,5 мм для ячменных хлопьев – 6% и перловых – 8%).

Затем, для более детального исследования данного процесса была проведена комплексная оценка выше перечисленных факторов во взаимосвязи с использованием методов многофакторного эксперимента с использованием теории планирования эксперимента.

В качестве варьируемых факторов были приняты следующие (рис. 1, табл.):

- 1) угол установки бокового вальца от горизонтали, проходящей через центр вращения верхнего (основного) вальца,  $\alpha_1$ , град ( $x_1$ );
- 2) угол положения нижнего вальца от горизонтали, проходящей через центр вращения верхнего (основного) вальца,  $\alpha_2$ , град ( $x_2$ ).

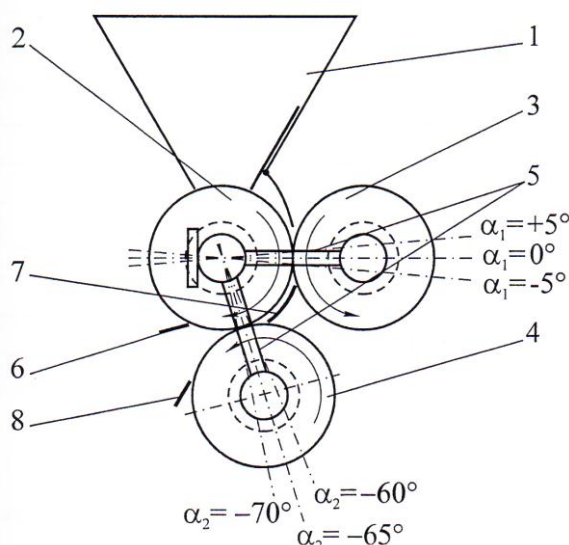


Рис. 1. Схема установки бокового и нижнего валцов: 1 – питательный бункер с регулировочной заслонкой и направляющей криволинейной пластиной (ускорителем); 2 – верхний основной валец; 3 – боковой валец; 4 – нижний валец; 5 – регулировочный механизм межвальцового зазора; 6, 8 – очищающий нож; 7 – направляющая криволинейная пластина

В качестве критериев оптимизации выбраны следующие показатели: потребляемая мощность  $N$  ( $y_1$ ), кВт, пропускная способность  $Q$  ( $y_2$ ), т/ч, сход с решета  $\varnothing$  2,5 мм ( $y_3$ ), %, энергоемкость  $\mathcal{E}$  ( $y_4$ ), кВт·ч/т, и удельные энергозатраты  $q$  ( $y_5$ ), кВт·ч/(т·ед.ст.пл.).

Нами реализовывалась матрица полного факторного эксперимента типа  $3^2$  [11], а обработка результатов экспериментальных исследований осуществлялась на персональном компьютере при помощи программы Statgraphics plus v. 5.1 for Windows [12].

Таблица

Факторы, уровни варьирования и критерии оптимизации

Уровни варьирования факторов и номера строк	Факторы		Критерии оптимизации				
	Угол установки бокового вальца от горизонтали $\alpha_1$ , град	Угол установки нижнего вальца от горизонтали $\alpha_2$ , град	Потребляемая мощность $N$ , кВт при площади $S$	Пропускная способность $Q$ , т/ч	Сход с решета $\varnothing$ 2,5 мм, %	Энергоемкость $\mathcal{E}$ , кВт·ч/т	Удельные энергозатраты $q$ , кВт·ч/(т·ед.ст.пл.)
	$x_1$	$x_2$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	$y_5$
верхний (+1)	+5	-60					
нулевой (0)	0	-65					
нижний (-1)	-5	-70					
1	1	1	5,37	0,834	2,9	6,440	3,126
2	1	0	5,37	0,786	3,5	6,833	3,014
3	1	-1	4,62	0,765	3,1	6,036	2,922
4	0	1	5,99	0,918	2,7	6,522	3,166
5	0	0	5,29	0,981	2,7	5,398	2,727
6	0	-1	5,54	0,936	2,9	5,927	2,939
7	-1	1	6,70	0,912	1,5	7,331	3,944
8	-1	0	5,76	0,864	2,9	6,678	3,201
9	-1	-1	5,43	1,002	2,3	5,424	2,729

**Результаты.** По результатам однофакторных экспериментов при двухступенчатом плуении выявлены зависимости изменения угла положения бокового и нижнего вальцов от горизонтали, проходящей через центр вращения верхнего (основного) вальца (рис. 2)

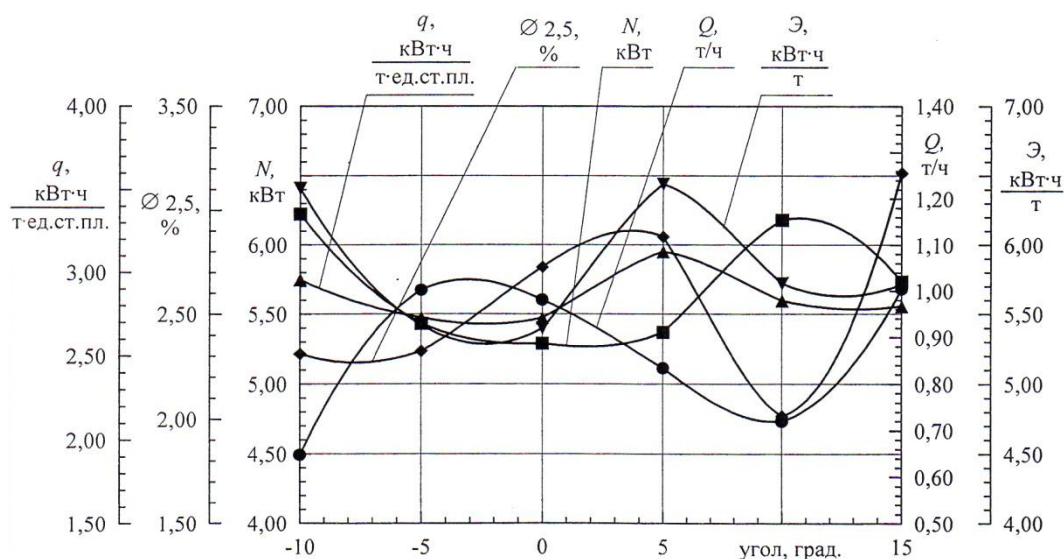


Рис. 2. Зависимости изменения потребляемой мощности  $N$ , пропускной способности  $Q$ , энергоемкости  $\mathcal{E}$ , удельных энергозатрат  $q$  вальцового станка и схода с решета  $\varnothing$  2,5 мм от угла положения бокового и нижнего вальцов относительно горизонтали

Анализируя зависимости (рис. 2), видим, что рациональный угол положения от горизонтали бокового и нижнего валцов находится в пределах  $0...-5^\circ$  и составляет  $-2,5^\circ$ , при этом потребляемая мощность  $N$ , энергоёмкость  $\mathcal{E}$ , удельные энергозатраты  $q$  и сход с решета  $\delta$  2,5 мм наименьшие при наибольшей пропускной способности  $Q$ .

После реализации матрицы полного факторного эксперимента типа  $3^2$  и обработки результатов экспериментальных исследований нами получены адекватные модели регрессии, описывающие влияние факторов на рабочий процесс:

$$y_1 = 5,517 - 0,422 \cdot x_1 + 0,412 \cdot x_2 - 0,130 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,065 \cdot x_1^2 + 0,135 \cdot x_2^2; \quad (1)$$

$$y_2 = 0,933 - 0,066 \cdot x_1 - 0,007 \cdot x_2 + 0,040 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,085 \cdot x_1^2 + 0,018 \cdot x_2^2; \quad (2)$$

$$y_3 = 3,082 + 0,443 \cdot x_1 - 0,197 \cdot x_2 + 0,148 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,065 \cdot x_1^2 - 0,479 \cdot x_2^2; \quad (3)$$

$$y_4 = 5,964 - 0,021 \cdot x_1 + 0,484 \cdot x_2 - 0,376 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,508 \cdot x_1^2 - 0,023 \cdot x_2^2; \quad (4)$$

$$y_5 = 2,839 - 0,135 \cdot x_1 + 0,274 \cdot x_2 - 0,253 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,212 \cdot x_1^2 + 0,157 \cdot x_2^2. \quad (5)$$

По результатам анализа полученных моделей регрессии 1 ... 5 можно сделать следующий вывод. Углы установки бокового и нижнего валцов от горизонтали, проходящей

через центр вращения верхнего основного валца, являются значимыми факторами, оказывающими существенное влияние на критерии оптимизации.

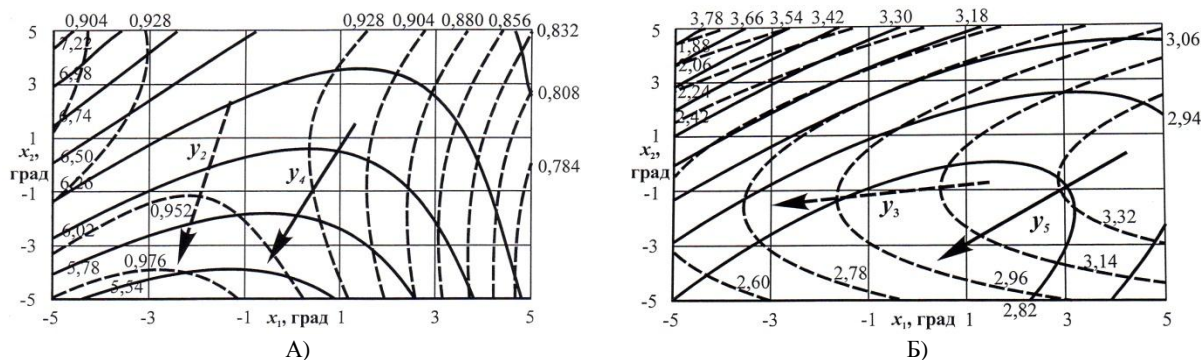


Рис. 3. Двумерные сечения поверхности отклика, характеризующие влияние исследуемых факторов:

- а) на пропускную способность  $Q$ , т/ч, ( $y_2$ -----) и энергоёмкость  $\mathcal{E}$ , кВт·ч/т, ( $y_4$ ————);
- б) на сход с решета  $\delta$  2,5 мм, %, ( $y_3$ -----) и удельные энергозатраты  $q$ , кВт·ч/(т·ед.ст.пл.), ( $y_5$ ————)

При оптимизации параметров рабочего процесса двухступенчатого валцового станка, имея несколько критериев оптимизации, мы решали компромиссную задачу, так как на экстремум одной поверхности отклика налагаются ограничения другой поверхности. Решая компромиссную задачу, необходимо обеспечить минимальные удельные энергозатраты при качестве готового продукта, отвечающего ТУ, методом двумерных сечений (рис. 3) и анализа моделей регрессий.

**Выводы.** По результатам анализа математических моделей с помощью двумерного сечения (рис. 3 б) можно сделать вывод о том, что при углах установки бокового валца  $\alpha_1 = -3^\circ...0^\circ$  и нижнего  $\alpha_2 = -70^\circ$  достигается минимальное значение удельных энергозатрат  $q = 2,6...2,82$  кВт·ч/(т·ед.ст.пл.), схода с решета  $\delta$  2,5 мм 2,60...2,78 %, при обеспечении максимальной пропускной способности  $Q = 1$  т/ч и наименьшей энергоёмкости  $\mathcal{E} = 5,54$  кВт·ч/т (рис 3,а).

**Литература**

1. Лопарев А. А., Комкин А. С. Энергетическая оценка машинно-тракторных агрегатов на базе гусенично-колесных пропашных тракторов // Научно-практический журнал «Пермский аграрный вестник». 2015. № 2(10). С. 50–54.
2. Сысуев В. А., Савиных П. А., Казаков В. А. Технология двухступенчатого плющения фуражного зерна // Достижения науки и техники в АПК. 2012. № 6. С. 70–72.

3. Алешкин В. Р. Повышение эффективности процесса и технических средств механизации измельчения кормов : дис...д-ра техн. наук. Киров, 1995. 412 с.
4. Патент RU № 2399420, МПК В02С 4/06. Вальцовый станок / В. А. Сысуев, П. А. Савиных, В. А. Казаков; заявитель и патентообладатель Государственное учреждение Зональный науч.-исслед. ин-т сельского хозяйства Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого (RU). № 2009100228; заявл. 11.01.2009.
5. Пат. 2417778 Российской Федерации, МПК В02С 4/06. Способ плющения фуражного зерна и устройства для его осуществления / В. А. Сысуев, П. А. Савиных, В. А. Казаков, Ю. В. Сычугов; заявл. 01.04.2011; опубл. 10.03.2013. Бюл. № 7. 9 с.: ил.
6. Заболотских И. Ю. Совершенствование рабочего процесса технических средств плющения и консервирования фуражного зерна : дис...канд. техн. наук. Киров, 2007. 171 с.
7. Казаков В. А. Движение зерновки в рабочей зоне двухступенчатой плющилки зерна // Вестник НГЭИ. 2013. № 12(31). С. 36–42.
8. Сысуев В. А., Савиных П. А., Казаков В. А. Исследования технологических параметров движения зерновки в двухступенчатой плющилке зерна // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. Ч. 3. Энергосберегающие технологии в животноводстве и стационарной энергетике : тр. 9-й науч.-техн. конф. (21–22 мая 2014 года, г. Москва, ГНУ ВИЭСХ). 2014. С. 136–142.
9. Сысуев В. А., Алешкин А. В., Савиных П. А. Кормоприготовительные машины. Теория, разработка, эксперимент : в 2-х т. Киров : Зональный НИИСХ Северо-Востока, 2009. Т. 2. 496 с.
10. Susyev W. A., Savinykh P. A., Odegov W. A., Zabolotsky I. J. Wyniki badań eksperymentalnych w celu określenia optymalnych parametrów pracy dwustopniowego zgniatacza ziarna // Materiały na konferencje/Problemy intensyfikacji produkcji zwierzecej z uwzględnieniem ochrony środowiska istandardow ue. Warszawa, 2004. P. 441–446
11. Фирсов М. М. Планирование эксперимента при создании сельскохозяйственной техники. М. : МСХА, 1999. 129 с.
12. Андреев В. А. Использование статистического пакета Statgraphics plus v. 5.1 для обработки результатов экспериментальных исследований : метод. пособие. Киров : ФГБОУ ВПО Вятская ГСХА, 2012. 32 с.

## STUDY OF INFLUENCE OF ANGLES OF ROLLERS ON MAIN INDICATORS OF WORKFLOW OF A TWO-STEP ROLLER MACHINE

**V. A. Odegov**, Cand. Eng. Sci.

**A. S. Komkin**, Cand. Eng. Sci.

**V. V. Shilin**, Cand. Eng. Sci.

Vyatskaya State Agricultural Academy

133 Oktyabrskiy Prospect, Kirov 610017 Russia

E-mail: [akomkin@yandex.ru](mailto:akomkin@yandex.ru)

### ABSTRACT

Installation diagram of the lateral and bottom rollers of two-step roller machine relative to the horizontal plane passing through the centre of rotation of the upper (main) drum is presented in the paper. In the initial phase as a result of the series of single-factor experiments conducted in the Kirovskaya Oblast on grain barley cultivar "Bios-1" with humidity 11.8%, the rational angle from horizontal lateral and bottom rollers values zone was defined, which ranged 0... -5°. These experiments allowed defining intervals varying by factors in further multifactorial experimental studies and obtaining adequate regression models, as well as two-dimensional cross-sections of the response surface. Thus, when installing the drum side angles  $\alpha_1 = -3^\circ \dots 0^\circ$  and bottom  $\alpha_2 = -70^\circ$  is achieved the minimum value per unit of energy  $q = 2.6 \dots 2.82$  kWh/t/crushing degree unit, as well as gathering with sieves  $\varnothing 2.5$  mm, 2.60. 2.78% – while ensuring maximum throughput  $Q = 1$  t/h and the lowest energy intensity  $E = 5.54$  kWh/t.

*Key words:* two-stage crushing, grain, angle, rollers, energy intensity, energy consumption per unit.

### References

1. Loparev A. A., Komkin A. S. Energeticheskaya otsenka mashinno-traktornykh agregatov na baze gusbenichno-kolesnykh propashnykh traktorov (Energy assessment of machine and tractor units on the basis of track-wheel and row-crop tractors), Nauchno-prakticheskii zhurnal «Permskii agrarnyi vestnik», 2015, No. 2(10), pp. 50–54.
2. Sysyuev V. A., Savinykh P. A., Kazakov V. A. Tekhnologiya dvukhstufenchatogo plyushcheniya furazhnogo zerna (Two-stage technology conditioning feed grain), Dostizhenie nauki i tekhniki v APK, 2012, No. 6, pp. 70–72.
3. Alezhkin V. R. Povyshenie effektivnosti protsesssa i tekhnicheskikh sredstv mekhanizatsii izmel'cheniya kormov (The increase of process effectiveness and technical means for fodder blending mechanization), dis...d-ra tekhn. nauk, Kirov, 1995, 412 p.

4. Sysuev V. A., Savinykh P. A., Kazakov V. A. Patent RU No. 2399420, MPK V02S 4/06. Val'tsovyi stanok (Grinding mill), zayavitel' i patentoobladatel' Gosudarstvennoe uchrezhdenie Zonal'nyi nauch.-issled. in-t sel'skogo khozyaistva Severo-Vostoka im. N. V. Rudnitskogo (RU), No. 2009100228, zayavl. 11.01.2009.
5. Sysuev V. A., Savinykh P. A., Kazakov V. A., Sychugov Yu. V. Pat. 2417778 Rossiiskoi Federatsii, MPK V02S 4/06. Sposob plyushcheniya furazhnogo zerna i ustroystva dlya ego osushchestvleniya (Crushing method of fodder grain and its implementation equipment), zayavl.01.04.2011, opubl. 10.03.2013, Byul. No. 7, 9 s., il.
6. Zabolotskikh I. Yu. Sovershenstvovanie rabocheho protsessa tekhnicheskikh sredstv plyushcheniya i konservirovaniya furazhnogo zerna (The improvement of operation process of technical means for fodder grain crushing and conservation), dis...kand. tekhn. nauk, Kirov, 2007, 171 p.
7. Kazakov V. A. Dvizhenie zernovki v rabochei zone dvukhstupenchatoi plyushchilki zerna (Movement of grain in working space of two-step grain crusher), Vestnik NGEI, 2013, No. 12(31), pp. 36–42.
8. Sysuev V. A., Savinykh P. A., Kazakov V. A. Issledovaniya tekhnologicheskikh parametrov dvizheniya zernovki v dvukhstupenchatoi plyushchilke zerna (Investigation of technological parameters of bruchid flows in double-stage grain crusher), Energoobespechenie i energosberezhenie v sel'skom khozyaistve, Ch. 3, Energosberegayushchie tekhnologii v zhivotnovodstve i stacionarnoi energetike, tr. 9-i nauch.-tekhn. konf. (21–22 maya 2014 goda, g. Moskva, GNU VIESKh), 2014, pp. 136–142.
9. Sysuev V. A., Aleshkin A. V., Savinykh P. A. Kormoprigotovitel'nye mashiny. Teoriya, razrabotka, eksperiment (Fodder production mashines. Theory, development, experiment), v 2-kh t. Kirov, Zonal'nyi NIISKh Severo-Vostoka, 2009, T. 2, 496 p.
10. Susyev W. A., Savinykh P. A., Odegov W. A., Zabolotsky I. J. Wyniki badań eksperymentalnych w celu określenia optymalnych parametrów pracy dwustopniowego zgniatacza ziarna, Materiały na konferencje/Problemy intensyfikacji produkcji zwierzecej z uwzględnieniem ochrony środowiska istandardow ue, Warszawa, 2004, pp. 441–446
11. Firsov M. M. Planirovanie eksperimenta pri sozdanii sel'skokhozyaistvennoi tekhniki (Planning of experiment at the development of agricultural equipment ), Moscow, MSKhA, 1999, 129 p.
12. Andreev V. A. Ispol'zovanie statisticheskogo paketa Statgraphics plus v. 5.1 dlya obrabotki rezul'tatov eksperimental'nykh issledovaniy (Use of Statgraphics plus v. 5.1 for the processing of experimental results), metod. posobie, Kirov, FGBOU VPO Vyatskaya GSKhA, 2012, 32 p.

УДК 631.363

## К АНАЛИТИЧЕСКОМУ ОПИСАНИЮ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ШНЕКОВОГО ЭКСТРУДЕРА ПРИ ОБРАБОТКЕ ЗЕРНА

**Е. В. Пепеляева**, канд. техн. наук; **В. С. Кошман**, канд. техн. наук, доцент,  
ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ,  
ул. Петропавловская, 23, г. Пермь, Россия, 614990  
E-mail: [tsat@pgsha.ru](mailto:tsat@pgsha.ru)

*Аннотация.* В современных экономических условиях поиск резервов повышения молочной продуктивности дойных коров и в условиях Пермского края имеет высокую практическую значимость. В результате проведения поисковых исследований установлено, что на этом пути особый интерес представляет экструдирование растительного сырья (зерновых) в целях его переработки на корм скоту. В теплонпряженных условиях экструзии в зерновых происходят значимые биохимические изменения в глубинах питательных веществ: декстринизация крахмала до глюкозы, изменение структуры клетчатки, стерилизация кормов, улучшение их вкусовых качеств. Подобное существенно влияет на достигаемый при вскармливании ими эффект. Найдены взаимосвязи между параметрами потока зерновых в приточном канале шнекового экструдера. Данные связи получены на основе законов сохранения массы вещества и второго закона Ньютона. Давление экструдирования в предматричной зоне  $p_2$  предложено вычислять по формуле:  $p_2 = N \cdot \Delta\tau \cdot S_2^{-1} \cdot L^{-1} + S_3 \cdot S_2^{-1} \cdot p_3$ , где  $N$  – мощность, подводимая к материалу на длине потока  $L$ ,  $\Delta\tau$  – время обработки,  $S$  – площадь сечения. Подстрочный индекс 2 соотносит параметры к потоку перед матрицей, а подстрочный индекс 3 – непосредственно за ней. Приведены результаты количественной оценки величины давления в зависимости от конструктивных параметров шнековых экструдеров. Результаты прогноза отвечают величине давления, наблюдаемой на практике. Приведены результаты экспериментального исследования процесса экструдирования озимой ржи.

*Ключевые слова:* экструдирование зерновых, шнековый экструдер, уравнение массового расхода, уравнение количества движения, уравнение энергии.