

МОДЕЛИРОВАНИЕ МОЩНОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ЛОПАСТНОГО СМЕСИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ВЫРАЖЕНИЙ

Фомина М. В., Коновалов В. В., Чупшев А. В., Терюшков В. П.

В работе представлены результаты статистической обработки экспериментальных данных по оценке мощности привода вертикального лопастного смесителя. Получены уравнения регрессии, позволяющие определить влияние частоты вращения мешалки, угла наклона ее лопастей и их количества, а также длины накладных лопаток на мощность привода смесителя. Обоснованы рекомендации по применению совокупной степенной модели мощности привода.

Ключевые слова: вертикальный лопастной смеситель, мощность привода, квадратическая модель, степенная модель, адекватность модели.

Введение

В сельскохозяйственном производстве и перерабатывающей промышленности широко применяются устройства, внутри которых происходит перемещение рабочих органов в различных средах [1–4, 21–31]. Затраты мощности при этом рассчитывают теоретически [5–7, 19–20], либо определяют на основе статистических зависимостей [8–10].

Согласно общеизвестной теории факторного эксперимента [11–14] при обработке результатов проведенных исследований традиционно вначале используется линейная модель, описывающая полученные численные результаты. При использовании непосредственных опытных значений выборку проверяют по критерию Кохрена на воспроизво-

димость результатов эксперимента. В дальнейшем могут использоваться средние значения по повторностям (как правило, не менее 3).

В том случае, если линейная модель описывает результаты не адекватно, следует переходить к уравнениям второго и последующих порядков. При адекватном описании результатов, исследователь должен убрать из полученного уравнения второго порядка незначимые коэффициенты, используя критерий Стьюдента, упростив по возможности уравнение. В то же время зафиксированные результаты исследований должны коррелироваться и адекватно описываться полученным упрощенным уравнением регрессии результатов с доверительной вероятностью 95 или 90% (используя соответствующий критерий Фишера, либо данные F-теста, показывающие непосредственно доверительную вероятность совпадения выборок).

При этом следует учитывать, что получаемые статистические выражения в виде уравнения регрессии не отражают физическую сущность явления, а за счет подбора значений коэффициентов в уравнении регрессии пытаются приблизить расчетную поверхность модели к экспериментальным (опытным) точкам с наименьшим отклонением (погрешностью). При наличии адекватного соответствия расчетных и экспериментальных значений внутри плана эксперимента, полученные зависимости нельзя интерполировать на другие сочетания значений факторов.

Это особенность математического моделирования использующего готовые статистические выражения. В этой связи, преимущество при описании процессов имеют функции, по которым ранее были установлены виды зависимостей, адекватно описывающие не только экспериментальные результаты, но и соответствующие ранее установленным теоретическим законам. Они позволяют расширить зону соответствия выявленных тенденций, интерполируя результаты. Однако и в данном случае необходима проверка соответствия результатов эксперименту.

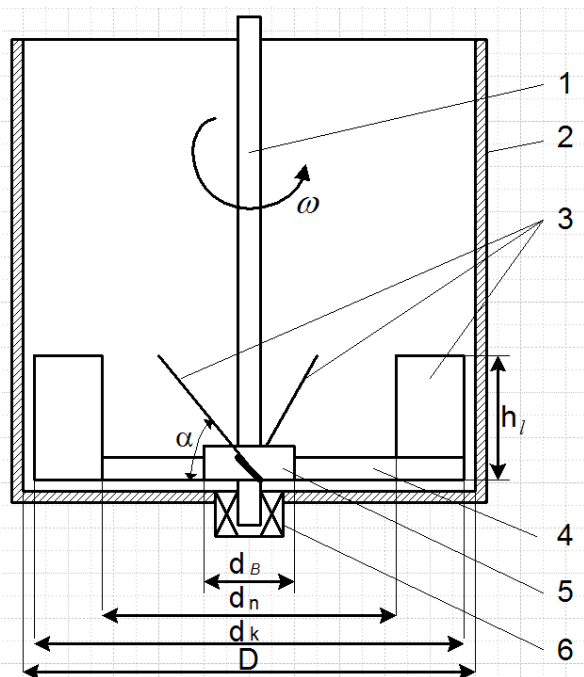


Рис. 1. Схема лопастного смесительного аппарата: 1 – вал приводной; 2 – емкость смесительная; 3 – лопатка; 4 – лопасть радиальная мешалки; 5 – втулка крепежная мешалки; 6 – подшипниковая опора нижняя

По ряду работ [12–15] хорошо известно, что затрачиваемую на технологический процесс мощность хорошо описывают степенные функции. Например, мощность, потребляемая вертикальным лопастным смесителем конструкции Клычева [15], лопасти которой повернуты на 45° описывается выражением, Вт:

$$N = K \cdot \omega^{1,4} \cdot L^{3,3} \cdot b^{0,38} \cdot s^{0,16} \cdot H^{0,8} \cdot r \cdot 10^{-3} \quad (1)$$

где K – коэффициент; ω – угловая скорость, рад./с; L – длина лопастей, м; b – ширина лопасти, м; s – зазор, м; H – высота корма, м.

Мощность, затрачиваемая при смешивании порошков мешалкой конструкции А.М. Ласковцева и Н.П. Попова [15], Вт:

$$N = K \cdot \omega^{2,56} \cdot L^{3,5} \cdot b^{0,68} \cdot s^{0,19} \cdot H^{0,74} \cdot r \cdot 10^{-3}, \quad (2)$$

Для описания мощности вертикального смесителя с круглыми прутковыми лопастями А.В. Чупшевым и др. использовано выражение, Вт [6,7]:

$$N = A \cdot (R_{\text{сш}})^{1,73} \cdot (F_r)^{-6,3} \cdot [(\Gamma_\psi - 1,36667)^{0,14} \cdot (\Gamma_d + 94,372)^{0,78} \cdot (\Gamma_{Ll})^{44,81} \cdot (\Gamma_n)^{93,83}], \quad (3)$$

где коэффициент A :

$$A = 0,309372 \cdot a \cdot b \cdot [K_n \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d_M^5]$$

$$a = \frac{1,855049}{3,87} \cdot \left(\frac{1}{\Gamma_\psi \cdot \Gamma_d} \right)^{1,161}$$

$$b = (-0,389 + 0,834 \cdot \Gamma_n - 0,009 \Gamma_L + 0,512 \cdot \Gamma_n \cdot \Gamma_L)^{-79,93}$$

d_M – диаметр мешалки, м; Γ – симплекс (соотношение) параметров с диаметром.

Таким образом, результаты статистической обработки затрат мощности принято описывать квадратическими или степенными статистическими моделями.

Целью работы являлось установление статистических выражений, позволяющих моделировать затраты мощности привода лопастного смесителя.

В процессе обработки статистических данных решаются задачи по установлению линейных и квадратических выражений и их сопоставление со степенными зависимостями мощности привода.

Объекты и методы исследований

Замеры мощности производились на смесителе, устройство которого приведено на рис.1. Смеситель состоит из привода, вертикальной смесительной емкости 2, внутри которой установлен вал 1 с крепящейся на нем мешалкой в составе втулки 5 радиальных лопастей 4, на краях которых крепятся лопатки 3. Смеситель работает в дискретном режиме. Загруженные компоненты перемешиваются вращающимися лопастями. Ускоряет перемешивание наличие лопаток, обеспечивающие радиальное движение частиц при скатывании их с лопаток в сторону вала [16].

Для моделирования затрат мощности лопастного смесителя с дополнительными лопатками (рис.1) используем всю совокупность замеров мощности привода, полученных в проведенных трех сериях двухфакторных экспериментов при обосновании конструктивных и кинематических параметров данного смесителя при поиске зоны соблюдения зоотехнических требований на качество приготавливаемой смеси [17, 18].

В результате замеров мощности смесителя объемом вертикальной емкости $V=0,028 \text{ м}^3$ при степени заполнения $\psi=0,7$ и плотности вороха смеси $\rho=720 \text{ кг/м}^3$ был получен ряд значений, являющейся так же выборкой из ранее указанной совокупности замеров мощности.

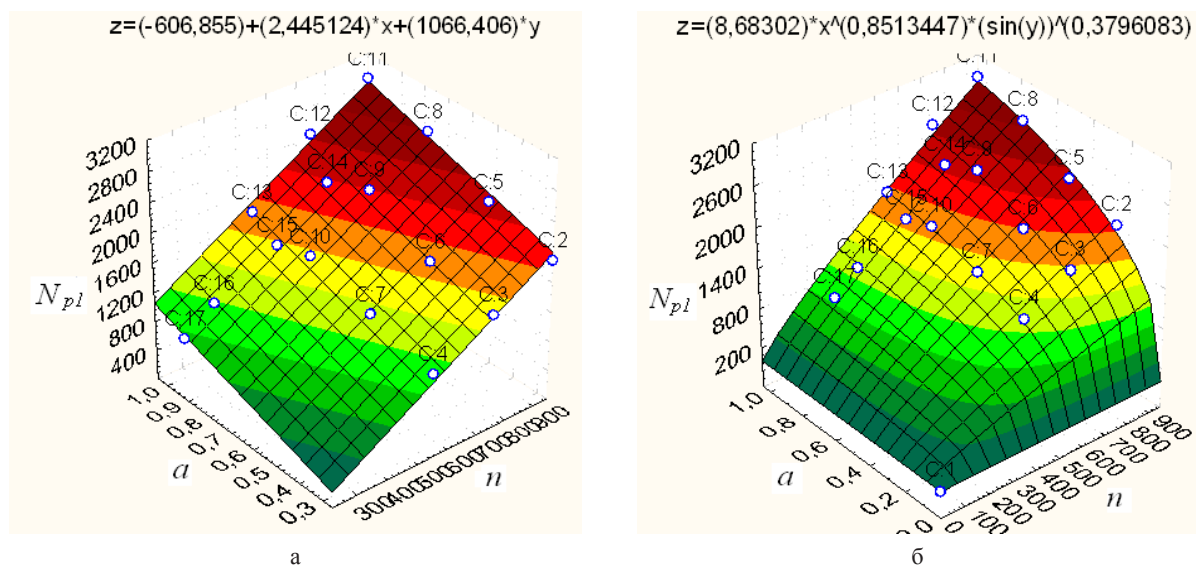


Рис. 2. Влияние частоты вращения n (мин^{-1}) и угла наклона лопастей α , (рад.) на мощность привода: а – линейная модель; б – степенная модель

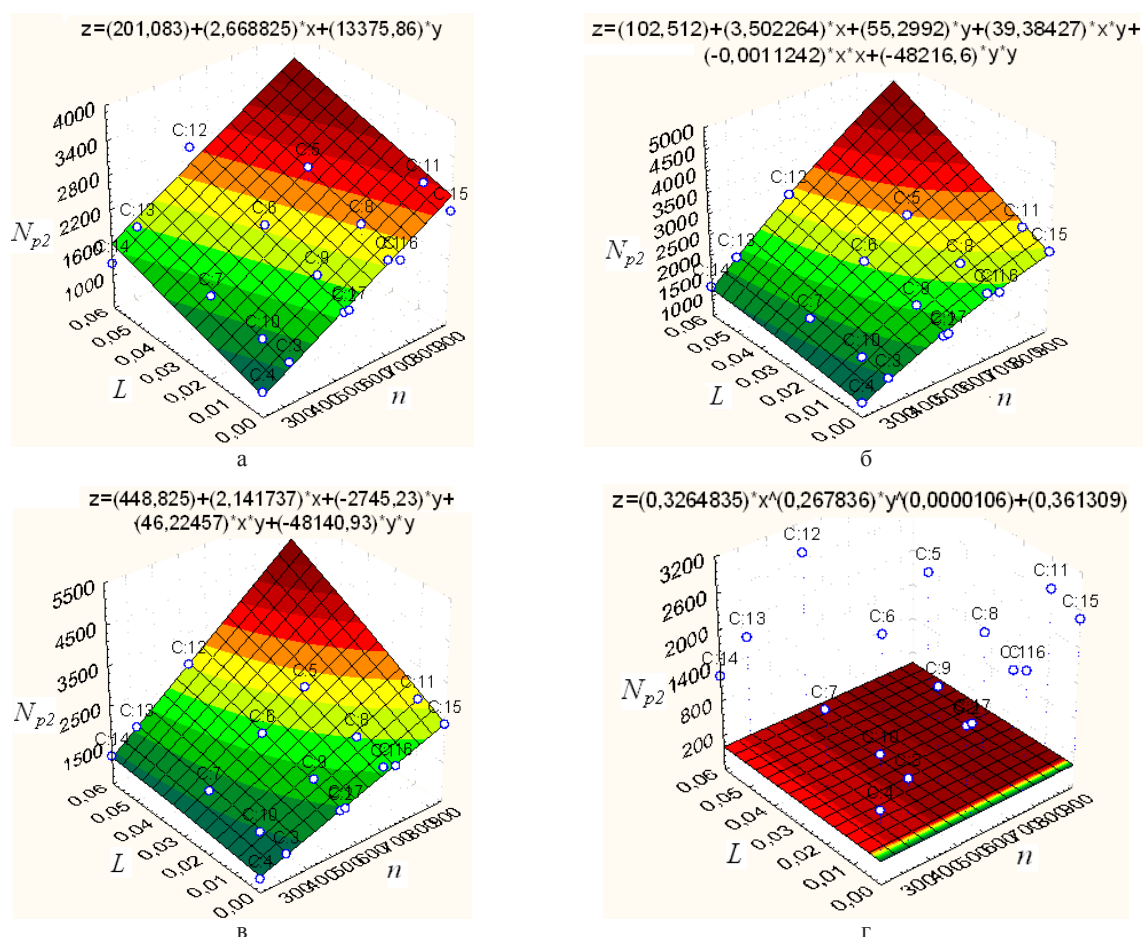


Рис. 3. Влияние частоты вращения n (мин^{-1}) и длины лопаток L , (м) на мощность привода: а – линейная модель; б – квадратическая полная модель; в – квадратическая усеченная модель; г – степенная модель

Результаты и их обсуждение

В результате обработки данных первой серии экспериментов была получена линейная модель мощности, Вт:

$$N_{p1} = -606,855 + 2,445124n + 1066,407\alpha, \quad (4)$$

где n – частота вращения мешалки, до 1500 мин^{-1} ;

α – угол наклона лопасти (15...60 град.), рад.

Коэффициент корреляции $R=0,98873 > 0,85$, $F\text{-тест}=0,965578 > 0,95$, т.е. линейная модель (рис.2, а) адекватно описывает затраты мощности.

Степенная модель мощности, Вт:

$$N_{p1} = 8,68302 n^{0,851345} (\sin(\alpha))^{0,379608} \quad (5)$$

Коэффициент корреляции $R=0,99316$, $F\text{-тест}=0,999074$, т.е. степенная модель адекватно описывает затраты мощности.

Сопоставляя результаты, видно, что у степенной модели (рис.2, б) доверительная вероятность выше.

В результате обработки данных второй серии экспериментов (рис.3) была получена линейная модель, Вт:

$$N_{p2} = 201,083 + 2,668826 n + 13375,87 L, \quad (6)$$

где L – длина лопатки выше уровня лопасти, до 0,060 м.

Коэффициент корреляции $R=0,94004$, $F\text{-тест}=0,807671 < 0,9$, т.е. линейная модель неадекватно описывает затраты мощности.

Полная квадратичная модель мощности, Вт:

$$N_{p2} = 102,5119 + 3,502265 n + 55,2992 L + 39,38427 n L - 0,00112 n^2 - 48216,6 L^2 \quad (7)$$

Коэффициент корреляции $R=0,99064$, $F\text{-тест}=0,970452$, т.е. полная квадратичная модель адекватно описывает затраты мощности. При этом перед квадратом частоты вращения коэффициент незначим, и после его устранения из полной модели получим уравнение усеченной модели:

$$N_{p2} = 448,8249 + 2,141738 n - 2745,23 L + 46,22457 n L - 48140,9 L^2 \quad (8)$$

Коэффициент корреляции $R=0,98688$, $F\text{-тест}=0,958522$, т.е. усеченная квадратичная модель адекватно описывает затраты мощности. Однако дальнейшее упрощение модели приведет к выходу из доверительного интервала 95%, т.к. на данном этапе $F\text{-тест}=0,958522$.

Степенную модель мощности, вид которой указан на рис.3, г, по тем же экспериментальным данным получить не удалось.

В результате обработки данных третьей серии экспериментов была получена линейная модель, Вт (рис. 4):

$$N_{p3} = 169,3699 + 2,428363 n + 127,5 Z, \quad (9)$$

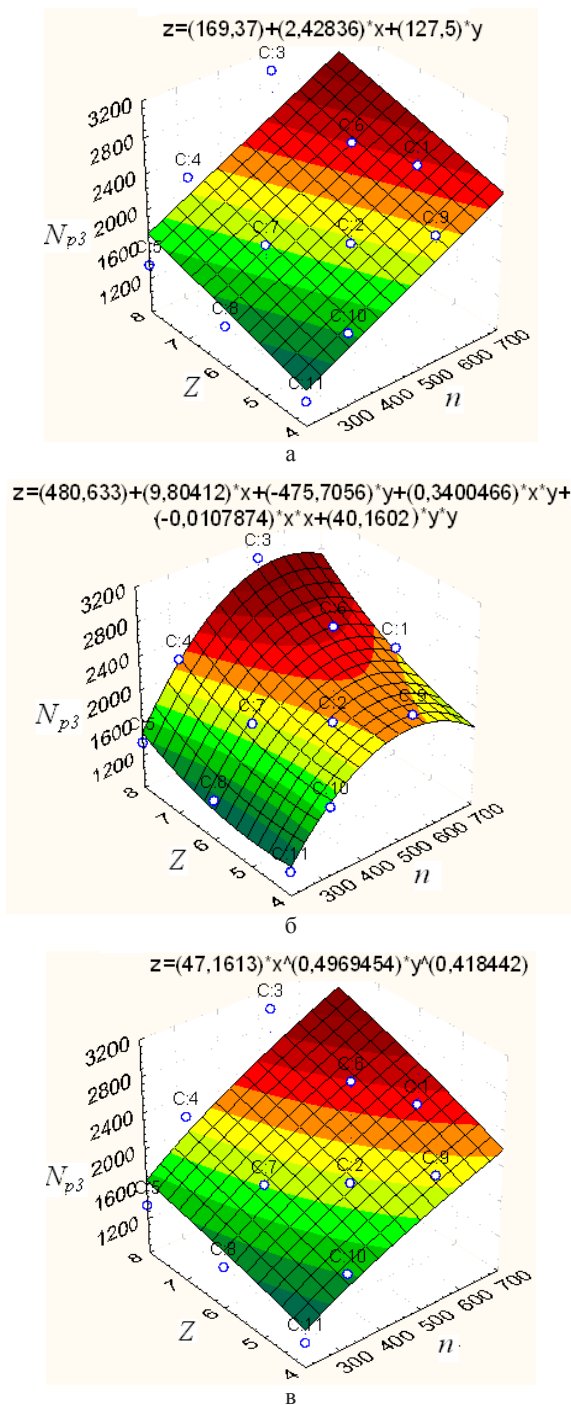


Рис. 4. Влияние частоты вращения n (мин⁻¹) и количества лопастей Z (шт.) на мощность привода: а – линейная модель; б – квадратическая модель; в – степенная модель

где Z – количество лопастей у мешалки смесителя, 4...8 шт.

Коэффициент корреляции $R=0,74700 < 0,85$, F-тест= $0,371542 < 0,9$, т.е. линейная модель неадекватно описывает затраты мощности.

Полная квадратичная модель мощности:

$$N_{p3} = 480,6333 + 9,80412 n - 475,706 Z + 0,340047nZ - 0,01079 n^2 + 40,1602 Z^2 \quad (10)$$

Коэффициент корреляции низкий $R=0,87427$ (но более 0,85), F-тест = $0,678993 < 0,9$, т.е. полная квадратичная модель неадекватно описывает затраты мощности.

Степенная модель мощности:

$$N_{p3} = 47,16129 + n^{0,496945} Z^{0,418442} \quad (11)$$

Коэффициент корреляции незначителен $R=0,77244$ (менее 0,85), F-тест= $0,390464 < 0,9$, т.е. степенная модель неадекватно описывает мощность.

Произвели попытку получить статистическую модель и по совокупному объему имеющихся экспериментальных данных с помощью степенного уравнения регрессии, Вт:

$$N_p = 3,680412 M n^{0,814137} (l_s^{0,543368} + l^{0,962341}) \sin(\alpha)^{0,346369} Z^{0,393481}, \quad (12)$$

где $M=V\rho$ – масса порции смеси, 14,1 кг; l_s – ширина лопасти, 0,015 м [18].

Коэффициент корреляции $R=0,98210$, F-тест= $0,900$, т.е. степенная совокупная модель адекватно описывает затраты мощности с 90% доверительной вероятностью. Соответствие расчетных N_p и экспериментальных N_o данных приведено на рис.5.

Выводы

Таким образом, полученная модель мощности на основе степенной функции, адекватно описывает статистические данные экспериментальных затрат мощности и позволяет производить необходимые расчеты при численном моделировании работы смесителя.

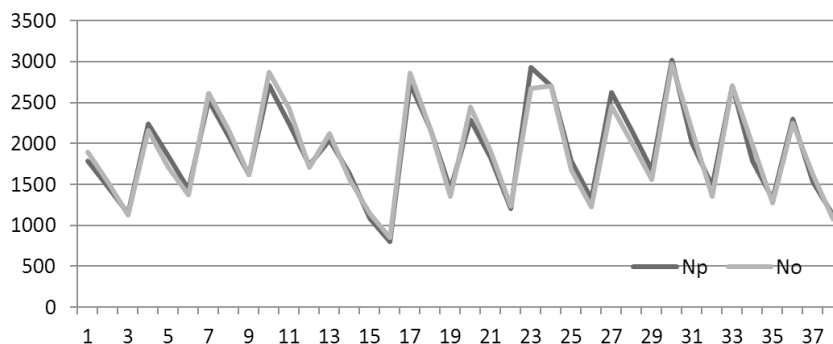


Рис. 5. Соответствие расчетных N_p и экспериментальных N_o затрат мощности, Вт

Список литературы

- [1] Коновалов, В.В. Оптимизация параметров спирально-лопастного питателя концентрированных кормов / В.В. Коновалов, А.С. Калиганов, В.П. Терюшков, В.В. Коновалов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии, 2012.– № 3.–С. 107–112.
- [2] Коновалов, В.В. Устройство для внесения жира в концентрированные корма / В.В. Коновалов, А.А. Курочкин, К.М. Мишин // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 2002.– № 5.– С. 12–13.
- [3] Коновалов, В.В. Определение подачи цилиндрического шнекового пресса / В.В. Коновалов, В.В. Новиков, Д.В. Беляев, Л.В. Иноземцева // Нива Поволжья, 2010.– № 2.–С. 51–56.
- [4] Курочкин, А.А. Устройство для внесения жира в концентрированные корма / А.А. Курочкин, К.М. Мишин, В.В. Коновалов // Техника в сельском хозяйстве, 2004.– № 2.–С. 9–10.
- [5] Коновалов, В.В. Моделирование качества смешивания сыпучих материалов барабанным смесителем / В.В. Коновалов, Н.В. Дмитриев, А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс, 2013.–Т. 1.– № 9 (13).–С. 77–84.
- [6] Чупшев, А.В. Аналитическое определение параметров лопастных смесителей для турбулентного перемешивания сухих смесей / А.В. Чупшев, В.В. Коновалов, В.П. Терюшков, Г.В. Шабурова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2012.– № 3 (89).–С. 88–91.
- [7] Коновалов, В.В. Результаты теоретических исследований процесса перемешивания в смесителе периодического действия / В.В. Коновалов, А.В. Чупшев // Нива Поволжья, 2012.– № 2.–С. 51–55.
- [8] Коновалов, В.В. Моделирование процесса непрерывного приготовления смеси смесителем-дозатором экструдера / В.В. Коновалов, В.В. Новиков, Д.Н. Азиаткин, А.С. Грецов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии, 2013.– № 3.–С. 72–78.
- [9] Чупшев, А.В. Влияние технологических параметров на показатели работы смесителя микродобавок / А.В. Чупшев, В.В. Коновалов // Нива Поволжья, 2009.– № 2.–С. 76–81.
- [10] Чупшев, А.В. Оптимизация параметров смесителя по минимуму энергоемкости перемешивания / А.В. Чупшев, В.В. Коновалов, С.С. Петрова // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии, 2009.– № 3.–С. 72–76.
- [11] Мельников, С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рошин–Л.: Колос, 1972.– 202 с.
- [12] Капустин, В.П. Основы научных исследований и патентоведения–Тамбов: ТГТУ, 1996.– 34 с.
- [13] Основы научных исследований / В.В. Лянденбургский, В.В. Коновалов, А.В. Баженов–Пенза, 2013.– 396 с.
- [14] Коновалов, В.В. Практикум по обработке результатов научных исследований с помощью ПЭВМ–Пенза, 2003.– 176 с.
- [15] Клычев, К.М. Исследование процесса смешивания сыпучих кормов в псевдооживленном слое. / Диссертация на соискание к.т.н.–М., 1969.– 198 с.
- [16] Коновалов, В.В. Аналитическое обоснование длительности цикла работы смесителя периодического действия / В.В. Коновалов, М.В. Фомина, В.П. Терюшков, А.В. Чупшев // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии, 2015.– № 3.–С. 10–15.
- [17] Коновалов, В.В. Моделирование изменения равномерности смеси при ступенчатом смешивании / В.В. Коновалов, А.В. Чупшев, М.В. Фомина, А.С. Калиганов // Нива Поволжья, 2013.– № 3 (28).– С. 77–83.
- [18] Фомина, М.В. Обоснование параметров узких плоских лопастей быстроходного смесителя сухих компонентов // Инновационная техника и технология, 2015–№ 4 (05)–С. 30–33.
- [19] 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.
- [20] Курочкин, А.А. Основы расчета и конструирования машин и аппаратов перерабатывающих производств. /А.А. Курочкин, В.М. Зимняков. Под ред. А.А. Курочкина.–М.: КолосС, 2006.– 320 с.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 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.

- [24] 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.
- [25] Фролов, Д. И. Обоснование рациональных параметров ботвоудаляющей машины на посевах лука / Д. И. Фролов, С. В. Чекайкин // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2014. – № 6 (22). – С. 158–161.
- [26] 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.
- [27] Ларюшин Н. П., Сущёв С. А., Фролов Д. И., Ларюшин А. М. Ботвоудаляющая машина // Патент России № 2339208. – 2008. Бюл. № 33.
- [28] Фролов, Д. И. Разработка обрезчика ботвы лука и сорных растений с обоснованием конструктивных и режимных параметров: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Фролов Дмитрий Иванович. – Пенза, 2008. – 153 с.
- [29] Фролов, Д. И. Разработка обрезчика ботвы лука и сорных растений с обоснованием конструктивных и режимных параметров: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Фролов Дмитрий Иванович. – Пенза, 2008. – 18 с.
- [30] Фролов Д. И. 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. 69–74.
- [31] Фролов, Д. И. Анализ работы ботвоудаляющего рабочего органа с оптимизацией воздушного потока внутри кожуха / Д. И. Фролов // Инновационная техника и технология. – 2014. – № 4 (01). – С. 30–35.

MODELING OF POWER VERTICAL PADDLE MIXER BASED ON STATISTICAL EXPRESSIONS

Fomina M. V., Konovalov V. V., Chupshev A. V., Teryushkov V. P.

The paper presents the results of statistical processing of experimental data on the evaluation of the drive capacity vertical paddle mixer. The obtained regression equations allowing to determine the influence of frequency of rotation of the stirrer, the angle of inclination of its blades and their quantity and also length of overhead blades on the drive power of the mixer. Recommendations for use the total power models drive power.

Keywords: *vertical paddle mixer, drive power, quadratic model, the power-law model, the adequacy of the model.*

References

- [1] Konovalov, V. V. Optimization of parameters of spiral-vane feeder concentrated feed / V. V. Konovalov, A. S. Kaliganov, V. P. Teryushkov, V. V. Konovalov // Bulletin of the Samara State Agricultural Academy, 2012. – № 3. – P. 107–112.
- [2] Konovalov, V. V. A device for making fat in a concentrated feed / V. V. Konovalov, A. A. Kurochkin, K. M. Mishin // Mechanization and electrification of agriculture, 2002. – № 5. – P. 12–13.
- [3] Konovalov, V. V. Determination of the cylindrical feed screw press / V. V. Konovalov, V. V. Novikov, D. V. Belyaev, L. V. Inozemtseva // Volga Niva, 2010. – № 2. – P. 51–56.
- [4] Kurochkin, A. A. A device for making fat in a concentrated feed / A. A. Kurochkin, K. M. Mishin, V. V. Konovalov // Technology in Agriculture, 2004. – № 2. – P. 9–10.
- [5] Konovalov, V. V. Modeling quality bulk material mixing drum mixer / V. V. Konovalov, N. V. Dimitriev, A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova // XXI century: the results of the past and the problems of the present, plus, 2013. – Т. 1. – number 9 (13). – P. 77–84.
- [6] Chupshev, A. V. Analytical determination of parameters of blade mixers for turbulent mixing of dry mixes / A. V. Chupshev, V. V. Konovalov, V. P. Teryushkov, G. V. Shaburova // Herald of Altai State Agrarian University, 2012. – № 3 (89). – P. 88–91.
- [7] Konovalov, V. V. The results of theoretical studies of the mixing process in a batch mixer / V. V. Konovalov, A. V. Chupshev // Volga Niva, 2012. – № 2. – P. 51–55.
- [8] Konovalov, V. V. Simulation of the process of continuous compounding extruder, mixer-dispenser /

- V. V. Konovalov, V. V. Novikov, D. N. Aziatkin, A. S. Gretsov // Bulletin of the Samara State Agricultural Academy, 2013.– № 3.–P. 72–78.
- [9] Chupshev, A. V. Influence of technological parameters on the performance of the mixer microadditives / A. V. Chupshev, V. V. Konovalov // Volga Niva, 2009.– № 2.–P. 76–81.
- [10] Chupshev, A. V. Optimization of the mixer settings at a minimum energy intensity mixing / A. V. Chupshev, V. V. Konovalov, S. S. Petrova // Bulletin of the Samara State Agricultural Academy, 2009.– № 3.–P. 72–76.
- [11] Melnikov, S. V. Experimental Design in studies of agricultural processes. / S. V. Melnikov, V. R. Aleshkin, P. M. Roshchin–L. : Kolos, 1972.– 202 p.
- [12] Kapustin V. P. Basic research and patenting–Tambov: TSTU, 1996.– 34 p.
- [13] Basic research / V. V. Lyandenbursky, V. V. Konovalov, A. V. Bazhenov–Penza, 2013.– 396 p.
- [14] Konovalov, V. V. Workshop on handling research results via PC–Penza, 2003.– 176 p.
- [15] Klychev, K. M. Study of bulk fodder mixing process in a fluidized bed. / Thesis for the Ph.D.–M., 1969.– 198 p.
- [16] Konovalov, V. V. Analytical justification of the duration of the operation cycle of a batch mixer / V. V. Konovalov, M. V. Fomina, V. P. Teryushkov, A. V. Chupshev // Bulletin of the Samara State Agricultural Academy, 2015.– № 3.–P. 10–15.
- [17] Konovalov, V. V. Modeling changes uniform mixture with a stepped mixing / V. V. Konovalov, A. V. Chupshev, M. V. Fomina, A. S. Kaliganov // Volga Niva, 2013.– № 3 (28).–P. 77–83.
- [18] Fomina, M. V. Substantiation of parameters of narrow flat blades of a high-speed mixing the dry components // Innovative Engineering and Technology 2015–№ 4 (05)–P. 30–33.
- [19] Kurochkin, A. A. Diploma engineering for mechanization of processing of livestock products. / A. A. Kurochkin, V. M. Zimnyakov, V. V. Lyashenko, V. S. Parfenov, I. A. Spitsyn: a Training manual.– Penza: Penza state agricultural Academy, 1998.– 250 p.
- [20] Kurochkin, A. A. Fundamentals of calculating and designing machines and devices of food processing industry / A. A. Kurochkin, V. M. Zimnyakov. Under the editorship of A. A. Kurochkin.–M.: KolosS, 2006.– 320 p.
- [21] Kurochkin, A. A. Methodological aspects of theoretical research extruder machines for processing starchcontaining plant raw materials / A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova, V. V. Novikov, S. V. Denisov // XXI century: results and problems of the past with plus.– 2013.– № 06 (10).–P. 46–55.
- [22] Kurochkin, A. A. Substantiation of rational parameters of the screw press-extruder in the loading zone / A. A. Kurochkin, V. V. Novikov// XXI century: results and problems of the past with plus.– 2013.– № 06 (10).–P. 123–127.
- [23] Frolov, D. I. A study of the optimal frequency of rotation of the working body of the machine haulm removing / D. I. Frolov, A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova // Bulletin Samara state agricultural Academy.– 2013.–No. 3.–P. 18–23.
- [24] Frolov, D. I., The modeling of the process of removing the tops of onion working on haulm removing machine/D. I. Frolov, A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova// Bulletin Samara state agricultural Academy.– 2014.–No. 3.–P. 29–33.
- [25] Frolov, D. I. Substantiation of rational parameters of haulm removing machine for sowing Luke / D. I. Frolov, S. V. Chekalkin // XXI century: the results of the past and problems with plus.– 2014.– № 6 (22).–Pp. 158–161.
- [26] Frolov D. I. Determination of the optimal parameters haulm removing machine for sowing Luke /D. I. Frolov, A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova//Bulletin of the Ulyanovsk state agricultural Academy.–2015.–№ 1 (29).–P. 120–126.
- [27] Laryushin N. P. Sushchev, A. S., Frolov D. I., Laryushin A. M. Haulm removing machine // Patent of Russia № 2339208.–2008. Bull. No. 33.
- [28] Frolov, D. I. Development of cutter tops of onions and weeds with substantiation of constructive and operational parameters: dis. ...candidate. tekhn. Sciences: 05.20.01/Frolov Dmitry Ivanovich.–Penza, 2008. 153 p.
- [29] Frolov, D. I. Development of cutter tops of onions and weeds with substantiation of constructive and operational parameters: author. dis. ...candidate. tekhn. Sciences: 05.20.01/Frolov Dmitry Ivanovich.–Penza, 2008.– 18 p.
- [30] Frolov D. I. Analysis of the process of air movement inside the housing haulm removing working on a study of optimum tilt angle of the knives /D. I. Frolov, A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova, D. E. Kashirin// Bulletin of Ryazan state agrotechnological University named after P. A. Kostychev.–2015.–№ 4 (28).–Pp. 69–74.
- [31] Frolov, D. I. Analysis of haulm removing working on optimizing the air flow within the housing /D. I. Frolov// Innovative machinery and technology.– 2014.– № 4 (01).–Pp. 30–35.