

УДК 631.636.7

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ШНЕКОЛОПАСТНОГО СМЕСИТЕЛЯ НА ПОТРЕБЛЯЕМУЮ ИМ МОЩНОСТЬ

Хольшев Николай Васильевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта и автосервис», ФГБОУ ВО Тамбовский ГТУ.

392000, г. Тамбов, ул. Советская, 106.

E-mail: msh@nnn.tstu.ru

Мухин Виктор Алексеевич, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Механизация и технология животноводства», ФГБОУ ВО «Саратовский аграрный университет им. Н. И. Вавилова».

440012, г. Саратов, Театральная пл., 1.

E-mail: fmshsgau@mail.ru

Петрова Светлана Станиславовна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Механика и инженерная графика», ФГБОУ ВО Самарская ГСХА.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail: ssaariz@mail.ru

Ключевые слова: смеситель, лопасть, лопатка, скорость, мощность, смешивание, шнеколопастной.

Цель исследования – совершенствование оборудования для смешивания сухих рассыпных кормов с обоснованием конструктивно-режимных параметров. Применение полнорационных кормовых смесей возможно только с использованием специального технологического оборудования – смесителей кормов, обеспечивающих заданную зоотехническими требованиями однородность смеси. Затраты на приобретение, эксплуатацию и обслуживание смесителей влияют на себестоимость животноводческой продукции. Соответственно нужно стремиться к снижению этих затрат. Этого можно достичь снижением удельных затрат энергии на процесс смешивания, которые во многом зависят от конструкции смесителя, устройства его рабочих органов, эффективности процесса смешивания, и потребляемой на процесс смешивания мощности. Анализ теоретических исследований показал, что в настоящее время не существует методики расчета потребляемой мощности смесителями с комбинированными рабочими органами, имеющими чередующиеся по исполнению и назначению участки. Расходуемая мощность на процесс смешивания является одной из главных составляющих эксплуатационных затрат для смесительного оборудования, определяющая удельные затраты энергии на процесс смешивания – одну из важных характеристик любого смесителя. Методика исследований предусматривала теоретическое обоснование влияния взаимосвязи параметров смесителя по потребляемой мощности на процесс смешивания. Представлены выражения для определения потребления мощности на участках: шнековом, первом и втором перемешивающе-транспортирующих лопаток, перебрасывающих лопастей. Получены выражения для определения потребляемой мощности на процесс смешивания от угла установки перемешивающе-транспортирующих лопаток, коэффициента наполнения смесителя и частоты вращения рабочих органов. Полученные выражения позволяют определить значения мощности на процесс смешивания с погрешностью не более 5% при значениях исследуемых параметров смесителя в границах эксперимента.

INFLUENCE OF DESIGN OPERATING AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF AUGER-BLADE MIXER ON POWER CONSUMED BY IT

Khol'shev N. V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department «Operation of road transport and car service», FSBEI HE Tambov STU.

392000, Tambov, Sovetskaya street, 106.

E-mail: msh@nnn.tstu.ru

Mukhin V. A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the department «Mechanization and technology of animal husbandry», FSBEI HE «Saratov agrarian university named N. I. Vavilov».

440012, Saratov, Theatral'naya square, 1.

E-mail: fmshsgau@mail.ru

Petrova S. S., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department «Mechanics and engineering graphics», FSBEI HE Samara SAA.

446442, Samara region, settlement Ust'-Kinelsky, Uchebnaya street, 2.

E-mail: ssaariz@mail.ru

Keywords: mixer, blade, speed, power, mixing, auger.

The purpose of the study – is the equipment improvement for dry mixing of crumbled feed with substantiation of design and operating parameters. The use of complete feed mixtures is possible only with the use of special technological equipment – feed mixers, producing mixture homogeneity meeting livestock requirements. The costs of purchasing, operating and maintaining mixers ultimately affect the cost of livestock production. Accordingly, it is necessary to aim efforts at the reduction of these costs. This can be achieved by reducing the specific energy costs for the mixing process, which largely depend on the mixer design, its working parts operation and the efficiency of the mixing process and power consumption needed for mixing process. No method of power consumption estimation of mixers with combined working parts according to theoretical studies obtained, having alternating in regard to execution and purpose areas. Power consumption needed for the mixing process is one of the main components of the operating costs for the mixing equipment, ultimately determining the specific energy costs for the mixing process – is one of the important specification of any mixer. The research methodology provided a theoretical basis for the relationship of the mixer parameters on the power consumption during mixing process. Equations for determining the power consumption for the parts were submitted in regard to auger conveyor, the first and the second transporting and throwing blades. The expression for determination of power consumption for mixing process from the angle of installation mixing and transporting blades, the filling ratio of the mixer and the frequency of rotation of the working parts have been received. The obtained and given expressions allow to determine the power values for the mixing process with an error of no more than 5%, with the values of the studied parameters of the mixer within the boundaries of the experiment.

Применение полнорационных кормовых смесей возможно только с использованием специального технологического оборудования – смесителей кормов, обеспечивающих заданную зоотехническими требованиями однородность смеси. Затраты на приобретение, эксплуатацию и обслуживание смесителей, в конечном счете, влияют на себестоимость животноводческой продукции. Соответственно нужно стремиться к снижению этих затрат, а этого можно достичь снижением удельных затрат энергии на процесс смешивания, которые во многом зависят от конструкции смесителя, устройства его рабочих органов, эффективности процесса смешивания и потребляемой на процесс смешивания мощности. Анализ теоретических исследований и существующих конструкций смесителей кормов показал, что перспективным направлением совершенствования рабочих органов смесителей кормов, с целью организации максимального упорядоченного перемещения компонентов корма, является применение комбинированных рабочих органов с чередующимися по конструктивному исполнению и функциональному назначению участками, но в настоящее время не существует выражений для расчета достоверных теоретических значений потребляемой такими смесителями мощности на процесс смешивания. Расходуемая мощность на процесс смешивания является одной из главных составляющих эксплуатационных затрат для смесительного оборудования, в конечном счете, определяющая удельные затраты энергии на процесс смешивания – одну из важных характеристик любого смесителя.

Цель исследования – совершенствование оборудования для смешивания сухих рассыпных кормов с обоснованием конструктивно-режимных параметров.

Задачи исследования – предложить выражения для расчета теоретических значений мощности, расходуемой на процесс смешивания в смесителе с комбинированными рабочими органами, имеющими чередующиеся по конструктивному исполнению и функциональному назначению рабочими органами; определить влияние конструктивно-технологических и технологических параметров смесителя на мощность, потребляемую им на процесс смешивания; провести экспериментальные исследования для определения фактических значений потребляемой мощности на процесс смешивания в смесителе с комбинированными рабочими органами, имеющими чередующиеся по конструктивному исполнению и функциональному назначению рабочими органами, сопоставить их с теоретическими значениями.

Материалы и методы исследований. В настоящее время существует большое разнообразие смесителей кормов (шнековые, лопастные, барабанные, гравитационные, вибрационные, планетарные, ленточные, комбинированные и другие), каждый из которых имеет конструктивные, режимные и технологические отличия. Для расчета значений потребляемой мощности на процесс смешивания предложен ряд зависимостей, которые позволяют определять их с большей или

меньшей точностью. Это относится к смесителям с хорошо изученными и не комбинированными рабочими органами – шнековым, лопастным, барабанными, теоретические вопросы работы которых хорошо изучены и экспериментально проверены многими исследователями. Применение таких выражений при расчете смесителей с комбинированными рабочими органами затруднено и дает большие погрешности, вызванные спецификой протекающих в них процессов, обусловленных конструкцией рабочих органов. Зависимости, полученные теоретическим путем и описывающие влияние режимно-конструктивных и технологических параметров смесителя, требуют экспериментального подтверждения и, при необходимости, корректировки поправочными коэффициентами.

Результаты исследований. Одной из важных характеристик любого смесителя является потребляемая им на процесс смешивания мощность. Для определения теоретических значений мощности, потребляемой шнеколопастным смесителем, и выявления влияния на нее конструктивно-режимных и технологических параметров смесителя, были произведены теоретические исследования. С учетом конструктивных особенностей смесителя [3], схемы перемещения компонентов корма в смесителе [5] и того, что на каждом рабочем органе смесителя имеются участки шнековой навивки, перемешивающе-транспортирующих лопаток и лопастей, суммарная мощность на привод смесителя будет определяться по формуле:

$$N_{обш} = 2 \cdot (N_{ш} + N_{nm.1} + N_{nm.2} + N_{л}), \text{ Вт}, \quad (1)$$

где 2 – количество рабочих органов, шт.;

$N_{ш}$ – мощность, расходуемая на шнековом участке, Вт;

$N_{nm.1}$ – мощность, расходуемая на первом участке перемешивающе-транспортирующих лопастей, Вт;

$N_{nm.2}$ – мощность, расходуемая на втором участке перемешивающе-транспортирующих лопастей, Вт;

$N_{л}$ – мощность, расходуемая на участке перебрасывающих лопаток, Вт.

Мощность, расходуемую на шнековом участке, определим с учетом конструктивных параметров смесителя по известной методике [6]:

$$N_{ш} = k_0 (N_1^{ш} + N_2^{ш}), \quad (2)$$

где $N_1^{ш}$ – мощность, затрачиваемая на преодоление силы трения смеси о виток шнека, Вт;

$N_2^{ш}$ – мощность, затрачиваемая на преодоление силы трения смеси о кожух шнека, Вт;

k_0 – коэффициент, учитывающий перемешивание и дробление смешиваемых компонентов.

$$N_1^{ш} = P_0 v_{en}, \text{ Вт}, \quad (3)$$

где P_0 – окружная сила, действующая со стороны винтовой поверхности, Н;

v_{en} – средняя окружная скорость винтовой поверхности, м/с.

$$v_{en} = \frac{\pi n}{60} D_{ш}, \text{ м/с}, \quad (4)$$

$$P_0 = 9,81 M_{ш} \operatorname{tg}(\alpha_{ш} + \varphi), \quad (5)$$

где $M_{ш}$ – масса корма, находящегося на шнековом участке, кг;

$\alpha_{ш}$ – угол подъема винтовой линии, проходящей через центр тяжести продукта, град;

φ – угол трения корма о винтовую поверхность, град;

$$M_{ш} = \frac{\varphi_{ш}^{ш} \cdot \rho \cdot L_{ш} \cdot S_{см}^n}{2}, \quad (6)$$

где $L_{ш}$ – длина шнекового участка, м;

$S_{см}^n$ – площадь поперечного сечения смесителя при коэффициенте наполнения, равном единице, м².

$$\alpha_y = \arctg \frac{t}{2\pi R_u}, \text{ град,} \quad (7)$$

где $R_u = (0,7 \dots 0,8) R_w$;

t – шаг винтовой поверхности, м;

R_w – радиус наружной кромки винтовой поверхности, м;

r_w – радиус вала винта, м;

$$N_2^{uu} = P_c v_{c.cp}, \text{ Вт,} \quad (8)$$

где $v_{c.cp}$ – средняя окружная скорость продукта, м/с;

P_c – реакция кожуха шнека, Н [6]:

$$P_c = gM_{uu} \left(1 + \frac{v_{c.cp.}}{0,75gR_{uu}}\right), \quad (9)$$

где $v_{c.cp}$ – средняя окружная скорость продукта, м/с [6]:

$$v_{c.cp} = S \cdot n_{uu} \left[m' - \frac{2c^2 f}{R_{uu}^2 - r_{uu}^2} + \frac{2cR_{uu}r_{uu}}{(R_{uu} + r_{uu})(c^2 + R_{uu}r_{uu})} \right], \quad (10)$$

где f – коэффициент трения корма о материал винта;

n_{uu} – частота вращения винта, с⁻¹;

$c = \frac{S}{2\pi}$ – часть шага винтовой поверхности шнека, приходящаяся на один радиан поворота

образующей, м;

$m' = \text{tg } \varphi'$ – коэффициент;

φ' – угол отклонения вектора абсолютной скорости от нормали к винтовой поверхности (для горизонтальных шнеков угол φ' принимается равным углу трения корма о винтовую поверхность φ).

Мощность, потребляемую на i -ом участке перемешивающе-транспортирующих лопаток, определим как сумму мощностей:

$$N_{nm.i} = k_0 (N_1^{nm.i} + N_2^{nm.i} + N_3^{nm.i}), \text{ Вт,} \quad (11)$$

где $N_1^{nm.i}$ – мощность, расходуемая на преодоление сопротивления среды движущейся лопатки на i -ом участке, Вт;

$N_2^{nm.i}$ – мощность, расходуемая на преодоление динамического напора смеси на i -ом участке, Вт;

$N_3^{nm.i}$ – мощность, затрачиваемая на транспортирование смеси на i -ом участке, Вт.

Мощность, расходуемую на преодоление сопротивления среды движущейся лопатки на i -ом участке, найдем по выражению:

$$N_i^{nm.i} = z_{nm.i}^o k_y^{nm.i} \cdot S_{nm.i} \cdot \cos \alpha_{nm.i} \cdot v_{nm.i}, \text{ Вт,} \quad (12)$$

где $z_{nm.i}^o$ – число одновременно погруженных лопаток на i -ом участке, шт.;

$k_y^{nm.i}$ – удельное сопротивление перемещению лопатки на i -ом участке, Па;

$S_{nm.i}$ – площадь перемешивающе-транспортирующей лопатки на i -ом участке, м²;

$\alpha_{nm.i}$ – угол установки лопатки на i -ом участке;

$v_{nm.i}$ – скорость движения перемешивающе-транспортирующей лопатки на i -ом участке, м/с.

Скорость движения перемешивающе-транспортирующей лопатки на i -ом участке определим по выражению:

$$v_{nm.i} = 2\pi R_{nm.i}^c n_{nm.i}, \text{ м/с} \quad (13)$$

где $R_{nm.i}^c$ – радиус приложения силы сопротивления на i -ом участке, м.

При движении погруженной в материал лопасти сопротивления вдоль нее распределяются по закону треугольника и точка приложения равнодействующей силы находится в центре тяжести этого

треугольника, то есть на расстоянии двух третей длины лопасти, погруженной в корм. При не полностью заполненной емкости и при вращении лопасти глубина ее погружения является величиной переменной [8]. С учетом этого радиус приложения силы сопротивления определится для i -го участка по формулам:

- при $h_{nm.i}^{cm} \leq (R_{nm.i} - r_{nm.i})$

$$R_{nm.i}^c = R_{nm.i} - \frac{h_{nm.i}^{cm}}{3}, \quad (14)$$

- при $h_{nm.i}^{cm} > (R_{nm.i} - r_{nm.i})$

$$R_{nm.i}^c = R_{nm.i} - \frac{(R_{nm.i} - r_{nm.i})}{3}, \quad (15)$$

где $h_{nm.i}^{cm}$ – высота смеси на i -ом участке, м;

$R_{nm.i}$, $r_{nm.i}$ – соответственно наружный и внутренний радиусы лопатки на i -ом участке, м.

Удельное сопротивление перемещению можно определить по выражению:

$$k_y^{nm.i} = g \cdot \rho \cdot (h_{nm.i}^{cm})^{\varepsilon_{nm.i}} \operatorname{tg}^2 \left(45 + \frac{\varphi_0}{2} \right), \text{ Па}, \quad (16)$$

где ρ – насыпная плотность корма, кг/м³;

φ_0 – угол внутреннего трения корма, град;

$\varepsilon_{nm.i}$ – показатель степени для лопатки на i -ом участке.

Мощность, расходуемую на преодоление динамического напора смеси на i -ом участке, рассчитываем по формуле:

$$N_2^{nm.i} = c_{nm.i} \frac{\rho}{4} \omega_{nm.i}^3 b_{nm.i} (R_{nm.i}^4 - r_{nm.i}^4), \quad (17)$$

где $c_{nm.i}$ – коэффициент обтекаемости лопатки на i -ом участке;

$\omega_{nm.i}$ – угловая скорость лопатки, с⁻¹.

Коэффициент обтекаемости лопатки на i -ом участке определяем по выражению [7]:

$$c_{nm.i} = \frac{2\tau}{\rho v_{nm.i}^2 \cos \alpha_{nm.i}}, \quad (18)$$

где τ – касательные напряжения среза смешиваемого материала, Па.

Мощность, затрачиваемую на транспортирование смеси на i -ом участке, определим по методике расчета винтовых конвейеров [1, 7]:

$$N_3^{nm.i} = g \cdot Q_{nm.i} \cdot L_{nm.i} \cdot w, \quad (19)$$

где $Q_{nm.i}$ – осевая подача лопаток на i -ом участке, кг/с;

w – коэффициент сопротивления движению.

Величина показателя степени $\varepsilon_{nm.i}$ может быть найдена по экспериментальным данным из выражения [2]:

$$\varepsilon_{nm.i} = \log_{A_i} (h_{nm.i}^{cm}), \quad (20)$$

где i – номер участка перемешивающе-транспортирующих лопаток;

A_i – основание логарифма для i -го участка;

$k_y^{nm.i\vartheta}$ – экспериментальные значения удельного сопротивления перемещению лопаток на i -ом участке;

$$A_i = \frac{k_y^{nm.i\vartheta}}{g \cdot \rho \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45 + \frac{\varphi_0}{2} \right)}. \quad (21)$$

Число одновременно погруженных лопаток на i -ом участке определяли по выражению:

$$z_{nm.i}^o = \frac{z_{nm.i} \arccos\left(\frac{R_{nm.i} - h_{nm.i}^{cm}}{R_{nm.i}}\right)}{180}, \quad (22)$$

где $z_{nm.i}$ – количество лопаток на i -ом участке, шт.;

$R_{nm.i}$ – наружный радиус лопатки на i -ом участке, м;

$h_{nm.i}^{cm}$ – высота смеси на i -ом участке, м.

Высоту смеси в зависимости от коэффициента наполнения на участках перемешивающе-транспортирующих лопаток определяли по выражениям:

- при $\varphi_n^{nm.i} \leq 0,45$

$$h_{nm.i}^{cm} = -6,664(\varphi_n^{nm.i})^4 + 7,649(\varphi_n^{nm.i})^3 - 3,192(\varphi_n^{nm.i})^2 + 1,045(\varphi_n^{nm.i}) + 0,007, \quad (23)$$

- при $\varphi_n^{nm.i} > 0,45$

$$h_{nm.i}^{cm} = 0,45\varphi_n^{nm.i} + 0,0528, \quad (24)$$

где $\varphi_n^{nm.i}$ – значение коэффициента наполнения на i -ом участке перемешивающе-транспортирующих лопаток.

Мощность, расходуемая на участке перебрасывающих лопастей:

$$N_l = k_0(N_1^l + N_2^l + N_3^l), \text{ Вт}, \quad (25)$$

где N_1^l – мощность, расходуемая на преодоление сопротивления среды движущейся лопасти, Вт;

N_2^l – мощность, расходуемая на преодоление динамического напора смеси, Вт;

N_3^l – мощность, затрачиваемая на транспортирование смеси на лопастном участке, Вт.

Мощность, расходуемую на преодоление сопротивления среды движущейся лопасти, найдем по выражению:

$$N_1^l = z_l^o k_y^l \cdot S_l \cdot v_l, \text{ Вт}, \quad (26)$$

где z_l^o – число одновременно погруженных лопастей, шт.;

k_y^l – удельное сопротивление перемещению лопасти, Па;

S_l – площадь лопасти, м²;

v_l – скорость движения лопасти, м/с.

Скорость движения лопасти определим по выражению:

$$v_l = 2\pi R_l^c n_{nm.2}, \quad (27)$$

где $R_{nm.2}^c$ – радиус приложения силы сопротивления, м:

- при $h_l^{cm} \leq 0,5 \cdot D_l$

$$R_l^c = 0,5 \cdot D_l - \frac{h_l^{cm}}{3}, \text{ м}, \quad (28)$$

- при $h_{nm.2}^{cm} > 0,5 \cdot D_l$

$$R_l^c = \frac{D_l}{3}, \text{ м}, \quad (29)$$

где h_l^{cm} – высота смеси на лопастном участке, м;

D_l – наружный радиус лопасти, м.

Удельное сопротивление перемещению лопасти:

$$k_y^n = g \cdot \rho \cdot (h_n^{cm})^{\varepsilon_n} \operatorname{tg}^2(45 + \frac{\varphi_0}{2}), \quad (30)$$

где ε_n – показатель степени для лопасти.

Величина показателя степени ε_n может быть найдена по экспериментальным данным из выражения [2]:

$$\varepsilon_n = \log_{A_n}(h_n^{cm}), \quad (31)$$

где $A_n = \frac{k_y^{n\vartheta}}{g \cdot \rho \cdot (h_n^{cm})^{\varepsilon_n} \operatorname{tg}^2(45 + \frac{\varphi_0}{2})}$ – для лопастного участка,

где $k_y^{n\vartheta}$ – экспериментальное значение удельного сопротивления перемещению лопасти.

Высоту смеси в зависимости от коэффициента наполнения на лопастном участке определяли по выражениям (23) и (24), которые с учетом обозначений приняли вид:

- при $\varphi_n^l \leq 0,45$

$$h_n^{cm} = -6,664(\varphi_n^l)^4 + 7,649(\varphi_n^l)^3 - 3,192(\varphi_n^l)^2 + 1,045(\varphi_n^l) + 0,007, \quad (32)$$

- при $\varphi_n^l > 0,45$

$$h_n^{cm} = 0,45\varphi_n^l + 0,0528. \quad (33)$$

Число одновременно погруженных лопастей определяли по выражению:

$$z_n^o = \frac{z_n \arccos(\frac{0,5D_n - h_n}{D_n})}{180}, \quad (34)$$

где z_n – количество лопастей, шт.

Мощность, расходуемую на преодоление динамического напора смеси на лопастном участке, рассчитывали по формуле [12]:

$$N_2^n = c_n \frac{\rho}{4} \omega_n^3 b_n ((0,5D_n)^4 - (0,5d_n)^4), \quad (35)$$

где c_n – коэффициент обтекаемости лопасти;

ω_n – угловая скорость лопасти.

Коэффициент обтекаемости лопасти [10]:

$$c_n = \frac{2\tau}{\rho v_n^2}. \quad (36)$$

Мощность на транспортирование смеси на участке лопастей:

$$N_3^n = g \cdot Q_n \cdot L_n \cdot w, \quad (37)$$

где Q_n – величина поперечной подачи лопастей, кг/с;

L_n – длина лопастного участка, м.

С учетом (2), (3), (11), (12), (17), (19), (25), (26), (35), (37) выражение (1) для расчета общей расходуемой мощности на процесс смешивания в шнеколопастном смесителе примет вид:

$$\begin{aligned} N_{общ} = & 2k_0(P_o v_{\text{вн}} + P_c v_{c.sp} + z_{nm,1}^o k_y^{nm,1} \cdot S_{nm,1} \cdot \cos \alpha_{nm,1} \cdot v_{nm,1} + c_{nm,1} \frac{\rho}{4} \omega_{nm,1}^3 b_{nm,1} (R_{nm,1}^4 - r_{nm,1}^4) + \\ & + g \cdot Q_{nm,2} \cdot L_{nm,2} \cdot w + z_{nm,2}^o k_y^{nm,2} \cdot S_{nm,2} \cdot \cos \alpha_{nm,2} \cdot v_{nm,2} + c_{nm,2} \frac{\rho}{4} \omega_{nm,2}^3 b_{nm,2} (R_{nm,2}^4 - r_{nm,2}^4) + \\ & + g \cdot (Q_{nm,3} + Q_{nep}) \cdot L_{nm,3} \cdot w + z_n^o k_y^n \cdot S_n \cdot v_n + c_n \frac{\rho}{4} \omega_n^3 b_n ((0,5D_n)^4 - (0,5d_n)^4) + g \cdot Q_n \cdot L_n \cdot w). \end{aligned} \quad (38)$$

Для определения теоретических значений показателей работы шнеколопастного смесителя в соответствии с предложенной методикой была составлена программа в среде программирования «Delphi 7.0». Данная программа позволяет производить расчеты и оперативно определять теоретические значения при различных значениях режимных и конструктивных параметров.

Для проверки адекватности предложенных выражений сопоставили полученные теоретически значения с экспериментальными (рис. 1). Графики были построены при углах установки перемешивающе-транспортирующих лопаток 70° (рис. 1, а), 65° (рис. 1, б) и 60° (рис. 1, в).

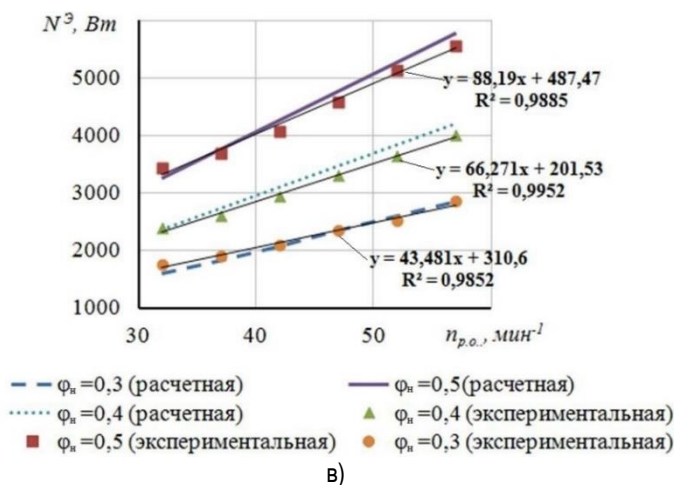
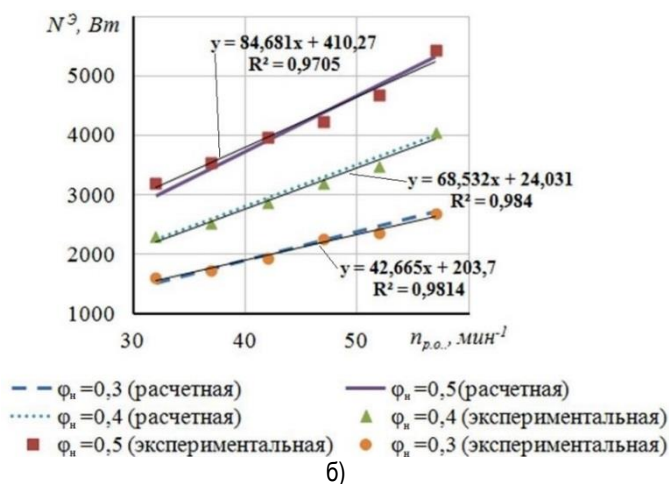
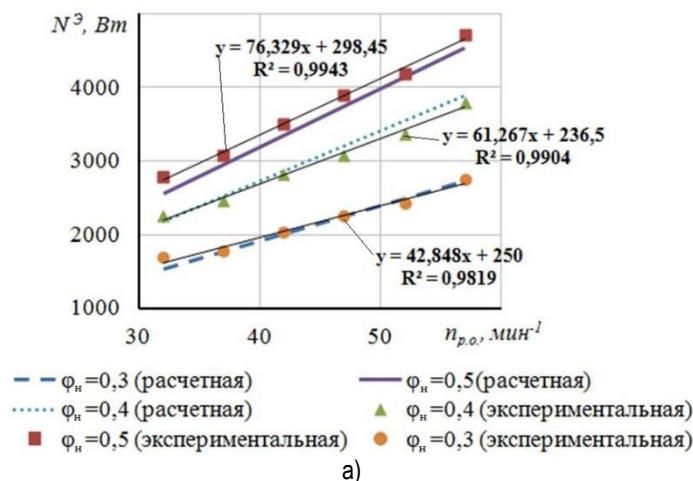


Рис. 1. Экспериментальные и теоретические зависимости потребляемой мощности на процесс смешивания от частоты вращения при разных коэффициентах наполнения бункера и углах установки лопаток: а) $\alpha_{nm,i} = 70^\circ$; б) $\alpha_{nm,i} = 65^\circ$; в) лопаток $\alpha_{nm,i} = 60^\circ$

По графикам видно, что достигнута хорошая сходимость теоретических и экспериментальных значений. При изменении частоты вращения от 37 мин⁻¹ до 57 мин⁻¹ ошибка не превышает 5%. Экспериментальные данные аппроксимируются линейными зависимостями с высокой точностью. Можно сделать вывод, что предложенная методика по расчету мощности, потребляемой шнеколопастным смесителем, применима в исследуемых пределах: частота вращения от 32 до 57 мин⁻¹, коэффициент наполнения от 0,3 до 0,5, угол установки перемешивающе-транспортирующих лопаток от 60° до 70°.

Заключение. В результате проведения исследований были получены следующие результаты: получены эмпирические выражения, позволяющие определить мощность на процесс смешивания в шнеколопастном смесителе с рабочими органами, имеющими чередующиеся по конструктивному исполнению и функциональному участку, в зависимости от физико-механических свойств кормов, конструктивно-режимных и технологических параметров; сопоставление расчетных значений мощности с экспериментальными показало сходимость. Предложенная методика по расчету мощности, потребляемой шнеколопастным смесителем, применима в исследуемых пределах: частота вращения от 32 до 57 мин⁻¹, коэффициент наполнения от 0,3 до 0,5, угол установки лопаток от 60° до 70° и может быть в дальнейшем использована для определения теоретических значений удельных затрат энергии на процесс смешивания.

Библиографический список

1. Ведищев, С. М. Методика и результаты определения удельного сопротивления перемещению лопатки и лопасти шнеколопастного смесителя / С. М. Ведищев, Н. В. Хольшев, А. В. Прохоров / Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы : сб. науч. тр. – Саранск : Изд-во Мордовского университета, 2017. – С. 174-179.
2. Ведищев, С. М. Обоснование конструкции смесителя кормов / С. М. Ведищев, А. В. Прохоров, М. М. Свиридов, Н. В. Хольшев // Наука на рубеже тысячелетий : сборник материалов 5-й международной научно-практической конференции (26-27 октября 2008 г.). – Тамбов : Издательство Першина Р.В., 2008. – С.181-183.
3. Ведищев, С. М. Смеситель сухих рассыпных кормосмесей / С. М. Ведищев, А. В. Прохоров, Н. В. Хольшев // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2012. – № 4(42). – С. 326-328.
4. Ведищев, С. М. Теоретическое исследование влияния конструктивно-режимных параметров шнеколопастного смесителя на его производительность / С. М. Ведищев, Н. В. Хольшев // Вестник мичуринского аграрного университета. – Мичуринск : Изд-во Мичуринского ГАУ. – 2011. – Ч. 2, №2. – С. 23-26.
5. Коба, В. Г. Машины для раздачи кормов. Теория и расчет / В. Г. Коба. – Саратов : Издательство Саратовского СХИ, 1974. – 140 с.
6. Кулаковский, И. В. Машины и оборудование для приготовления кормов : справочник / И. В. Кулаковский. – М. : Россельхозиздат, 1987. – Ч. 1. – 285 с.
7. Скотников, Д. А. Совершенствование технологии и оптимизация субстрата при производстве биогаза : дис. ... канд. техн. наук : 05. 20. 01 ; 05. 20. 03 / Скотников Дмитрий Анатольевич. – Саратов, 2003. – 173 с.
8. Хольшев, Н. В. Компьютерная программа для расчета теоретических значений показателей работы шнеколопастного смесителя кормов / Н. В. Хольшев, С. М. Ведищев // Цифровизация агропромышленного комплекса : материалы I Международной научно-практической конференции (10-12 октября 2018 г.). – Тамбов : Издательский центр Тамбовского ГТУ. – Т. 2. – С. 69-71.
9. Коновалов, В. В. Обоснование конструктивно-режимных параметров смесителя сухих кормов с плоскими лопастями / В. В. Коновалов, В. Ф. Дмитриев, М.В. Коновалова // Научное обозрение. – 2011. – №1. – С. 24-28.

References

1. Vedishchev, S.M., Khol'shev, N.V. & Prokhorov, A.V. (2017). Metodika i rezultaty opredeleniya udelinogo soprotivleniya peremeshcheniyu lopatki i lopasti shnekolopastnogo smesitelya [Technique and results of determination of specific resistance to movement of the blades and vanes necroposting mixer]. Energy-saving technologies and systems '17: *sbornik nauchnykh trudov – collection of proceedings*. (pp. 174-179). Saransk: publishing house of Mordovia university [in Russian].
2. Vedishchev, S. M., Prokhorov, A. V., Sviridov, M. M., & Khol'shev, N. V. (2008). Obosnovanie konstrukcii smesitelia kormov [Grounding for the design of the mixer feeds]. Science at the turn of the Millennium '08: *5 Mezhdunarodnaia nauchno-prakticheskaia konferenciia (26-27 oktiabria 2008 goda) – International scientific and practical conference*. (pp. 181-183). Tambov: Publishing Pershina R. V. [in Russian].

3. Vedishchev, S. M., Prokhorov, & Khol'shev, N. V. (2012). Smesitel sukhikh rassypnykh kormosmesi [Mixer for dry loose mixtures]. *Voprosy sovremennoi nauki i praktiki. Universitet im. V. I. Vernadskogo – Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University*, 4 (42), 326-328 [in Russian].
4. Vedishchev, S. M., & Khol'shev, N. V. (2011). Teoreticheskoe issledovanie vliianiia konstruktivno-rezhimnykh parametrov shnekolopastnogo smesitelia na ego proizvoditelnost [Theoretical study of the influence of design-mode parameters of the screw-bladed mixer on its performance]. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta – The Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*, p. 2, 2, 23-26 [in Russian].
5. Koba, V. G. (1974). *Mashiny dlia razdachi kormov. Teoriia i raschet [Machines for feed distribution. Theory and calculation]*. Saratov: publishing house Saratov agricultural Institute [in Russian].
6. Kulakovskiy, I. V. (1987). *Mashiny i oborudovaniye dlia prigotovleniya kormov [Machines and equipment for preparation of feed]*. M.: Rosselkhozizdat [in Russian].
7. Skotnikov D. A. (2003). Sovershenstvovanie tekhnologii i optimizatsiya substrata pri proizvodstve biogumusa [Improvement of technology and optimization of substrate in the production of biohumus] *Candidate's thesis*. Saratov [in Russian].
8. Khol'shev, N. V. & Vedishchev, S. M. (2018). Kompiuternaia programma dlia rascheta teoreticheskikh znachenii pokazatelei raboty shnekolopastnogo smesitelya kormov [Computer program for calculating the theoretical values of the performance necroposting mixer feed]. Digitization of agro-industrial complex '18: *I Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya (10-12 oktyabrya 2018 goda) – I International scientific-practical conference*. (pp. 69-71). Tambov: publishing center of Tambov STU [in Russian].
9. Konovalov, V. V. (2011). Obosnovaniye konstruktivno-rezhimnykh parametrov smesitelya sukhikh kormov s ploskimi lopastyami [Substantiation of constructive-regime parameters of the mixer of dry fodder with flat blades]. *Nauchnoe obozrenie – Scientific Review*, 1, 24-28 [in Russian].