

Вестник Курганской ГСХА. 2022. № 2 (42). С. 63-71
Vestnik Kurganskoy GSKhA. 2022; (2-42): 63-71

Научная статья
УДК 631.362
Код ВАК 4.3.1.

DOI: 10.52463/22274227_2022_42_63
EDN: GWUFCX

ВАКУУМНАЯ ВЫПАРНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ КОРМОВЫХ СУСПЕНЗИЙ

Александр Васильевич Фоминых^{1✉}, Анна Анатольевна Ездина², Дмитрий Петрович Ездин³, Надежда Александровна Ковшова⁴

^{1, 2, 3, 4}Курганская государственная сельскохозяйственная академия имени Т.С. Мальцева, Курган, Россия

¹prof_fav@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2656-2848>

²angel_4.1@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9308-8704>

³ezdinDP@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9663-5585>

⁴statistika429@mail.ru

Аннотация. В настоящее время во всём мире наблюдается стабильный рост производства кормов для животных, птицы и рыбы. В кормах широко применяются гуминовые препараты. На данный момент имеется большой опыт использования гуминовых препаратов по: ускорению роста и развития животных; уменьшению заболеваемости; росту устойчивости организма к неблагоприятным условиям внешней среды. Гуминовые вещества характеризуются стимулирующим действием на клеточном и субклеточном уровнях. Применяемое для производства гуминовых препаратов оборудование имеет ряд недостатков: сложное; дорогое; отрицательно воздействует на гуминовые препараты, снижая их качество; занимает большую площадь при низкой производительности и больших затратах труда. В настоящее время актуальным является разработка и обоснование параметров оборудования для производства гуминовых препаратов. **Цель исследования** – установление взаимосвязи параметров конструкции эжектора с показателями работы вакуумной выпарной установки для повышения концентрации кормовых суспензий на примере гуминовой суспензии. **Методика** – расчётное и экспериментальное определение конструктивных параметров эжектора и времени понижения давления в котле выпарной установки от атмосферного до рабочего. **Результаты.** При условии обеспечения максимального объёмного коэффициента инжекции получены зависимости для определения диаметров рабочего сопла и камеры смешения эжектора. В диапазоне рабочего абсолютного давления в котле вакуумной выпарной установки 20...28 кПа рационально обеспечить давление воды перед рабочим соплом 250...350 кПа при отношениях сечения камеры смешения и рабочего сопла 4...6, а скорость истечения воды из

рабочего сопла – 20...25 м/с. При давлении после эжектора $P_c=110$ кПа и диаметре рабочего сопла 5 мм время понижения давления в котле от атмосферного до рабочего 181 с, при диаметре рабочего сопла 10 мм время понижения давления – 45 с. Результаты расчётов времени подтверждены экспериментом и используются при определении производительности вакуумной выпарной установки. Полученные результаты исследования могут использоваться при повышении концентрации жидких кормовых добавок. **Научная новизна.** Разработана математическая модель, позволяющая моделировать работу вакуумной выпарной установки с эжектором для повышения концентрации кормовых суспензий. Получена математическая модель для расчёта времени понижения давления в котле при пуске вакуумной выпарной установки, учитывающая: W_w – суммарный объём воздуха в выпарном котле над суспензией, конденсаторе пара, сборнике конденсата и соединяющих их трубопроводах, м³; P_p – давление воды перед рабочим соплом, Па; P_n – давление инжектируемого воздуха, Па; ρ_n – начальная плотность воздуха, кг/м³; P_c – давление после эжектора, Па; P_{np} – давление насыщенного пара, Па; t_p – температура рабочей воды, °C; t_n – температура инжектируемого воздуха, °C; G_n – массовый расход инжектируемого влажного воздуха, кг/ч.

Ключевые слова: корма, гуминовые препараты, вакуумная выпарная установка, эжектор.

Для цитирования: Фоминых А.В., Ездина А.А., Ездин Д.П., Ковшова Н.А. Вакуумная выпарная установка для повышения концентрации кормовых суспензий // Вестник Курганской ГСХА. 2022. № 2 (42). С. 63-71. https://doi.org/10.52463/22274227_2022_42_63

Scientific article

EVAPORATOR SYSTEM FOR INCREASING THE CONCENTRATION OF FEEDING LIQUOR

Alexander V. Fominykh^{1✉}, Anna A. Ezdina², Dmitry P. Ezdin³, Nadezhda A. Kovshova⁴

^{1, 2, 3, 4} Kurgan State Agricultural Academy named after T.S. Maltsev, Kurgan, Russia

¹prof_fav@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2656-2848>

²angel_4.1@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9308-8704>

³ezdinDP@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9663-5585>

⁴statistika429@mail.ru

Abstract. Nowadays, there is a steady growth in the production of animal feed, poultry and fish all over the world. Humic preparations are widely used in feedstuff. At the moment, there is a lot of experience in using humic drugs to: accelerate the growth and development of animals; reduce morbidity; increase the body's resistance to adverse environmental conditions. Humic substances are characterized by a stimulating effect at the cellular and subcellular levels. The equipment used for the production of humic preparations has a number of disadvantages: complex; expensive; negatively affects humic preparations, reducing their quality; occupies a large area with low productivity and high labor costs. Currently, the development and justification of the parameters of equipment for the production of humic preparations is relevant. **The purpose of the study** is to establish the relationship between the design parameters of the ejector and the performance of a vacuum evaporator to increase the concentration of feed suspensions using the example of a humic suspension. **Methodology** is calculation and experimental determination of the design parameters of the ejector and the time of pressure reduction in the boiler of the evaporator plant from atmospheric to working. **Results.** Under the condition of ensuring the maximum volumetric injection coefficient, dependences were obtained to determine the diameters of the working nozzle and the mixing chamber of the ejector. In the range of operating the absolute pressure in the boiler of a vacuum evaporator of 20...28 kPa, it is rational to provide water pressure in front of the working nozzle of 250...350 kPa with a ratio of the cross section of the mixing chamber and the working

Введение. В настоящее время во всём мире наблюдается стабильный рост производства кормов для животных, птицы и рыбы [1]. В кормах широко применяются гуминовые препараты. Это связано с их широким использованием в сельском хозяйстве, во многих отраслях промышленности, медицине, косметологии и других. На данный момент имеется большой опыт применения гуминовых препаратов в растениеводстве, для ускорения роста и развития животных, уменьшения заболеваемости, роста устойчивости организма к неблагоприятным условиям внешней среды. Гуминовые вещества характеризуются стимулирующим действием на клеточном и субклеточном уровнях [2-5].

При использовании гуминовых препаратов в качестве добавки для животных наблюдается прирост живой массы, повышается сохранность потомства до ста процентов, уменьшается расход корма до 16 %. В птицеводстве обеспечивается повышение сохранности поголовья на 5,72–8,57 %, увеличение живой массы бройлеров на 2,60 – 2,85 % при снижении затрат кормовых смесей на 2,3–6,4 % [6, 7]. Анализ рынка показывает, что в ближайшие пять лет рост потребления гуминовых препаратов составит до 1% в год [8].

Применяемое для производства гуминовых препаратов оборудование имеет ряд недостатков: сложное; дорогое; отрицательно воздействует на гуминовые препараты, снижая их качество; занимает большую площадь при низкой производительности и больших затратах труда. В настоящее время актуальным является разработка и обоснование параметров

ноzzle of 4...6, and the rate of water outflow from the working nozzle - 20...25 m/s. At a pressure after the ejector = 110 kPa and a diameter of the working nozzle of 5 mm, the time for lowering the pressure in the boiler from atmospheric to working is 181 s, with a diameter of the working nozzle of 10 mm, the time for lowering the pressure is 45 s. The results of time calculations are confirmed by experiment and are used in determining the performance of a vacuum evaporator. The results of the study can be used to increase the concentration of liquid feed additives. **Scientific novelty.** The mathematical model has been developed to simulate the operation of a vacuum evaporator with an ejector to increase the concentration of feed suspensions. The model has been obtained for calculating the time of pressure drop in the boiler during the start-up of a vacuum evaporator, taking into account: W_w is the total volume of air in the evaporator above the suspension, steam condenser, condensate collector and pipelines connecting them, m³; Pp – water pressure in front of the working nozzle, Pa; Pn is the pressure of injected air, Pa; p_n – initial air density, kg/m³; Pc – pressure after the ejector, Pa; Pnp – saturated steam pressure, Pa; tr is the working water temperature, °C; tn is the temperature of the injected air, °C; Gn is the mass flow rate of injected moist air, kg/h.

Keywords: feed, humic preparations, vacuum evaporator, ejector.

For citation: Fominykh A.V., Ezdina A.A., Ezdin D.P., Kovshova N.A. Determination of jet compression ratio in the gate valves. Vestnik Kurganskoy GSKhA. 2022; (2-42): 63-71. https://doi.org/10.52463/22274227_2022_42_63 (In Russ).

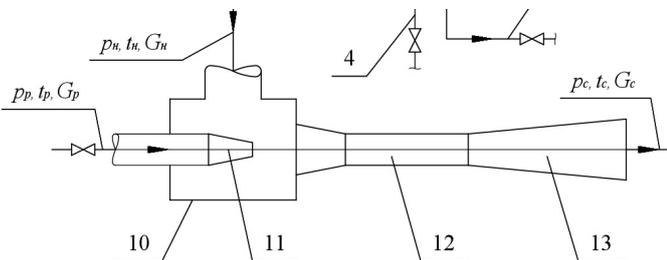
оборудования для производства гуминовых препаратов [9, 10].

Доказано, что лучшими свойствами обладают гуминовые препараты, полученные при повышении концентрации гуминовой суспензии выпариванием [10, 11, 12]. Энергия прорастания яровой пшеницы при применении гуминовых препаратов, полученных с использованием выпаривания, на 7,8% выше, чем после применения медицинских ОС-6МЦ и проточной осадительной центрифуги. Всхожесть после выпаривания на 11,4% выше, чем после проточной осадительной центрифуги, и на 4,6% выше, чем после медицинской центрифуги ОС-6МЦ с доверительной вероятностью 95%. Это можно объяснить тем, что в центрифугах под воздействием центробежных сил (фактор разделения $\Phi=6000...7000$) происходит разрушение молекул гумина, поэтому эффективность гуминовых препаратов уменьшается. На основе представленных результатов принято решение о создании вакуумной выпарной установки с эжектором для повышения концентрации гуминовой суспензии [13, 14].

Методика расчёта. Разработка методики расчёта взаимосвязи показателей удаления воды из гуминовой суспензии в вакуумной выпарной установке с параметрами конструкции и режимом работы эжектора. Цель расчёта: определить рациональные конструктивные параметры и рабочие режимы эжектора, предназначенного для создания и поддержания заданного давления в вакуумной выпарной установке повышения концентрации гуминовой суспензии периодического действия с конденсатором пара.

Исходные данные для расчёта: характеристика вакуумной выпарной установки повышения концентрации гуминовой суспензии периодического действия; производительность установки по испарённой воде, кг/ч; потери давления в трубопроводе от котла до эжектора, Па; давление после эжектора, Па; допустимая температура кипения гуминовой суспензии, °С; характеристика конденсатора пара; температура конденсата °С.

Для сохранения и повышения качества гуминовых препаратов температура кипения гуминовой суспензии не должна превышать 70 °С. При кипении ниже 60 °С будет завышен расход энергии на процесс выпаривания. Поэтому необходимо обеспечить температуру кипения суспензии в котле 60...68 °С. При этом вакуумметрическое давление в котле необходимо поддерживать в диапазоне 80...72 кПа и, соответственно, абсолютное давление в котле – в диапазоне 20...28 кПа. В расчётах температуру конденсата принимаем 30 °С, при этом давление насыщенного пара равно 4,24 кПа. Расчётная схема эжектора в составе вакуумной выпарной установки показана на рисунке 1.



1 – приёмная камера эжектора, 2 – рабочее сопло, 3 – камера смешения, 4 – диффузор, 5 – подвод влажного воздуха и конденсата после котла и конденсатора пара

Рисунок 1 – Схема эжектора в составе вакуумной выпарной установки периодического действия

Принятые в математической модели эжектора и процесса удаления пара из гуминовой суспензии обозначения:

V_n – объёмный расход влажного воздуха, м³/ч;

G_n – массовый расход инжектируемого влажного воздуха, кг/ч;

P_n – давление инжектируемого влажного воздуха, Па;

P_{np} – давление насыщенного пара, Па;

P_p – давление воды перед рабочим соплом, Па;

ΔP_p – разность давлений воды перед рабочим соплом и инжектируемого влажного воздуха, Па;

P_c – давление после эжектора, Па;

ΔP_c – разность давлений после эжектора и инжектируемого влажного воздуха, Па;

V_p – объёмный часовой расход рабочей воды, м³/ч;

Q_p – объёмный секундный расход рабочей воды, м³/с;

N_s – мощность струи рабочей воды, Вт;

ω_p – скорость истечения струи рабочей воды из сопла, м/с;

t_p – температура рабочей воды, °С;

f_{p1} и d_{p1} – площадь и диаметр рабочего сопла, м² и м;

f_3 и d_3 – площадь и диаметр камеры смешения, м² и м;

U_o – объёмный коэффициент инжекции.

Для расчёта параметров влажного воздуха (смеси пара и воздуха, удаляемых из котла) необходимы: $R_o = R / \mu_o$ – газовая постоянная воздуха, Дж/К*кг; $R_o = 286,7$ Дж/К*кг; $R = 8,314$ – универсальная газовая постоянная, Дж/К*моль; $\mu_o = 0,029$ – молярная масса воздуха, кг/моль; $R_p = R / \mu_p$ – газовая постоянная пара, Дж/К*кг; $R_p = 461,9$ Дж/К*кг; $\mu_p = 0,018$ – молярная масса пара, кг/моль; $R_{po} = R / \mu_{po}$ – газовая постоянная влажного воздуха, Дж/К*кг; μ_{po} – молярная масса влажного воздуха, кг/моль. Молярная масса влажного воздуха определяется по формуле [45, с. 53]:

$$\mu_{po} = \mu_p \cdot r_p + \mu_o \cdot r_o, \quad (1)$$

где $r_p = v_p / v_{po}$ – объёмная доля пара (v_p – объём пара; v_{po} – объём влажного воздуха);

$r_o = (v_{po} - v_p) / v_{po}$ – объёмная доля сухого воздуха.

При заданной производительности вакуумной выпарной установки повышения концентрации суспензии определяется её производительность по испарённой воде и рассчитывается массовый расход инжектируемого влажного воздуха G_n , кг/ч. В камере смешения влажный воздух пополняется парами воды. Температура воздуха становится практически равной температуре рабочей воды. При этом парциальное давление сухого воздуха во влажном удаляемом воздухе уменьшается на давление насыщенного пара. Объёмный расход влажного воздуха определяется по формуле [10, 15]:

$$V_n = \frac{G_n \cdot R_{p\omega} \cdot (273 + t_p)}{P_n - P_{np}}. \quad (2)$$

Разность давлений воды перед рабочим соплом и инжектируемого влажного воздуха определяется по формуле:

$$\Delta P_p = P_p - P_n. \quad (3)$$

Разность давлений после эжектора и инжектируемого влажного воздуха определяется по формуле:

$$\Delta P_c = P_c - P_n. \quad (4)$$

Максимальный объёмный коэффициент инжекции эжектора определяется по формуле:

$$U_0 = 0,85 \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_p}{\Delta P_c} - 1}. \quad (5)$$

Объёмный часовой расход рабочей воды определяется по формуле:

$$V_p = \frac{V_\omega}{U_0}. \quad (6)$$

Объёмный секундный расход рабочей воды определяется по формуле:

$$Q_p = \frac{V_p}{3600}. \quad (7)$$

Мощность струи рабочей воды определяется по формуле:

$$N_s = P_p \cdot Q_p. \quad (8)$$

Скорость истечения струи рабочей воды из сопла определяется по формуле:

$$\omega_p = \psi \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P_p}{\rho_p}}, \quad (9)$$

где ψ – коэффициент скорости струи при течении в режиме турбулентной автомодельности;

ρ_p – плотность рабочей воды, кг/м³.

Площадь рабочего сопла определяется по формуле:

$$f_{p1} = \frac{Q_p}{\omega_p}. \quad (10)$$

После подстановки формул (2...9) в формулу (10) получаем формулу для определения площади рабочего сопла:

$$f_{p1} = \frac{G_n \cdot R_{p\omega} \cdot (273 + t_p)}{3600 \cdot (P_n - P_{np}) \cdot \left(0,85 \cdot \sqrt{\frac{P_p - P_n}{P_c - P_n} - 1} \right) \cdot \sqrt{\frac{\rho_p}{2 \cdot (P_p - P_n)}}}. \quad (11)$$

Диаметр рабочего сопла определяется по формуле:

$$d_{p1} = \sqrt{\frac{f_{p1}}{3,14}}, \quad (12)$$

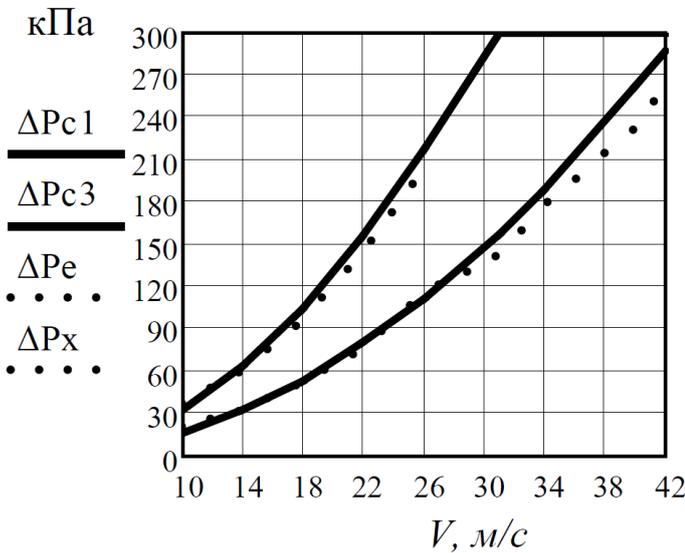
Площадь и диаметр камеры смешения определяются по формулам:

$$f_3 = \frac{\Delta P_p}{\Delta P_c} \cdot f_{p1}, \quad d_3 = \sqrt{\frac{f_3}{3,14}}. \quad (13)$$

Разработанная методика, формулы (1...13), устанавливает взаимосвязи параметров конструкции и режима работы эжектора с показателями работы вакуумной выпарной установки при удалении воды из гуминовой суспензии при обеспечении максимального объёмного коэффициента инжекции и, соответственно, минимальных затрат энергии на процесс повышения концентрации суспензии. Получены формулы расчёта диаметров рабочего сопла и камеры смешения эжектора в функции от: G_n – массового расхода инжектируемого влажного воздуха, кг/ч; P_p – давления воды перед рабочим соплом, Па; P_n – давления инжектируемого влажного воздуха, Па; ρ_p – плотности рабочей воды, кг/м³; P_c – давления после эжектора, Па; P_{np} – давления насыщенного пара, Па; t_p – температуры рабо-

чей воды, °C; t_n – температуры инжектируемого влажного воздуха, °C.

Результаты расчётов с использованием полученных формул представлены на рисунке 2 в сравнении с результатами эксперимента.



Результаты расчёта: ΔP_{c1} – при $f_3/f_{p1} = 2,5$;
 ΔP_{c3} – при $f_3/f_{p1} = 5,6$;
 Результаты эксперимента: ΔP_e – при $f_3/f_{p1} = 2,5$; ΔP_x – при $f_3/f_{p1} = 5,6$

Рисунок 2 – Зависимость максимального перепада давлений ΔP_c , кПа, создаваемого эжектором, от скорости истечения рабочей воды V , м/с, при различных отношениях сечений камеры смешения и сопла $Kf = f_3/f_{p1}$

Результаты расчётов эжектора по модернизированной математической модели удовлетворительно совпадают с результатами экспериментов из литературных источников, и формулы могут быть использованы для определения рациональных конструктивных параметров эжектора для вакуумной выпарной установки. При пуске ВВУ давление в котле необходимо понизить от атмосферного $P_{at} = 100$ кПа до рабочего $P_n = 20$ кПа. Диапазон понижения давления разделим на участки по 10 кПа: $P_{n0} = 100$ кПа; $P_{n1} = 90$ кПа; $P_{n2} = 80$ кПа; $P_{n3} = 70$ кПа; $P_{n4} = 60$ кПа; $P_{n5} = 50$ кПа; $P_{n6} = 40$ кПа; $P_{n7} = 30$ кПа; $P_{n8} = 20$ кПа. Задачу решим численным методом прямоугольников, рассматривая понижение давления через каждые 10 кПа. Время понижения давления на i -ом участке шкалы давления определяется по формуле [10]:

$$T_{yi} = \frac{V_{oi}}{V_{ni}}, \tag{14}$$

где $i=0...8$; V_{oi} – объём паровоздушной смеси, откачиваемый на i -ом участке, м³; V_{ni} – объёмный расход паровоздушной смеси, при откачивании на i -ом участке шкалы давления, м³/с.

Объём влажного воздуха определяется по формуле:

$$V_{oi} = \frac{\Delta M_i \cdot R_{p\omega} \cdot (273 + t_p)}{P_{ni} - P_{np}}. \tag{15}$$

Плотность влажного воздуха в котле на i -ом участке определяется по формуле:

$$\rho_{ni} = \frac{\rho_n \cdot P_{ni}}{P_{n0}}. \tag{16}$$

После преобразований получаем зависимость для определения времени понижения давления на каждом участке по 10 кПа шкалы давления:

$$T_{yi} = \frac{W_{\omega} \cdot \rho_n \cdot (P_{ni} - P_{ni+1}) \cdot R_{p\omega} \cdot (273 + t_p)}{\left(0,85 \cdot \sqrt{\frac{P_p - P_{ni}}{P_c - P_{ni}} - 1}\right) \cdot f_{p1} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (P_p - P_{ni})}{\rho_p}} \cdot (P_{ni} - P_{np})} \tag{17}$$

Принятые обозначения: W_{ω} – суммарный объём влажного воздуха в выпарном котле над гуминовой суспензией, в конденсаторе пара, сборнике конденсата и соединяющих их трубопроводов, м³; P_p – давление воды перед рабочим соплом, Па; P_n – давление инжектируемого влажного воздуха, Па; ρ_n – начальная плотность влажного воздуха, кг/м³; P_c – давление после эжектора, Па; P_{np} – давление насыщенного пара, Па; t_p – температура рабочей воды, °C; t_n – температура инжектируемого влажного воздуха, °C; G_n – массовый расход инжектируемого влажного воздуха, кг/ч. При пуске установки давление в котле понижается от атмосферного до рабочего за время, определяемое по формуле суммированием времени понижения давления на участках по 10 кПа:

$$T_{\omega} = \sum_{i=0}^7 T_{yi}. \tag{18}$$

Все полученные зависимости устанавливают взаимосвязи параметров конструкции и режима работы эжектора с показателями работы вакуумной выпарной установки при условии обеспечения максимального объёмного коэффициента инжекции, что означает минимальный расход энергии на удаление пара и обеспечение требуемого давления в вакуумной выпарной установке. По формуле (18) рассчитывается время понижения давления в котле при работе эжектора при максимальном коэффициенте инжекции на каждом участке шкалы давления (рисунок 3).

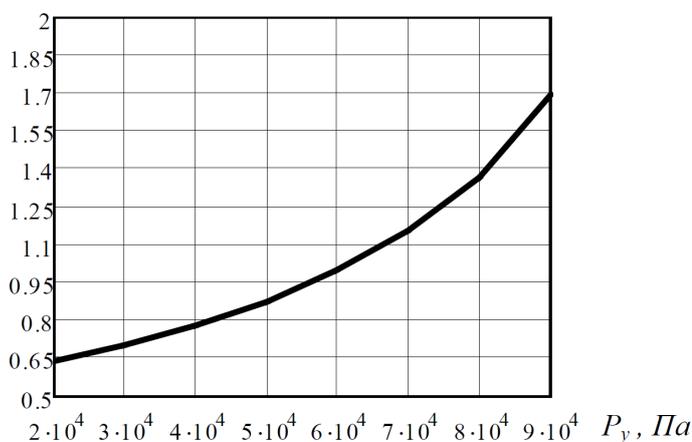


Рисунок 3 – Зависимость максимального объёмного коэффициента инжекции от давления в котле (на каждом участке шкалы давления)

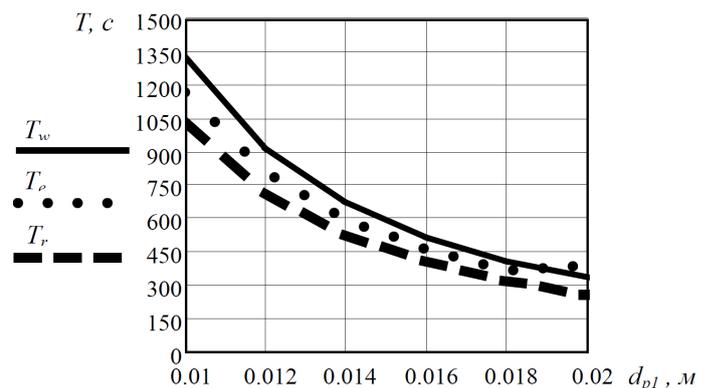
Из рисунка 3 видно, что при понижении давления в котле от атмосферного до 20 кПа максимальный объёмный коэффициент инжекции уменьшается от 1,70 до 0,64. При этом будут обеспечены максимальная производительность эжектора и минимальное время понижения давления. Для этого необходимо обеспечить соответствующее отношение сечений камер смешения и сопла при понижении давления, например, применением эжектора с регулируемой площадью выходного сечения сопла [16, 17]. Для рассматриваемой установки это приведёт к нерациональному усложнению эжектора. В рассматриваемой вакуумной выпарной установке используется эжектор с постоянным отношением сечений камер смешения и сопла, обеспечивающим максимальный коэффициент инжекции в рабочем режиме установки [18]. Максимальный объёмный коэффициент инжекции в рабочем режиме при давлении в котле 20 кПа определяется по формуле:

$$U_8 = 0,85 \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_{p8}}{\Delta P_{c8}}} - 1 \quad (19)$$

Формула (18) для определения времени понижения давления на каждом участке шкалы давления, при подстановке в неё значения максимального объёмного коэффициента инжекции в рабочем режиме, принимает вид:

$$T_{yi} = \frac{W_{\omega} \cdot \rho_n \cdot (P_{ni} - P_{ni+1}) \cdot R_{p\omega} \cdot (273 + t_p)}{P_{n0} \cdot U_8 \cdot f_{p1} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (P_p - P_{ni}) \cdot (P_{ni} - P_{np})}{\rho_p}}} \quad (20)$$

Результаты расчётов по формуле (20) времени понижения давления в котле установки T_{ω} , с, со 100 кПа до 20 кПа представлены на рисунке 4.



T_w – давление после эжектора $P_c = 130$, кПа;
 T_e – давление после эжектора $P_c = 120$, кПа;
 T_r – давление после эжектора $P_c = 110$, кПа

Рисунок 4 – Зависимость времени понижения давления в котле T_{ω} , с, от 100 до 20 кПа от диаметра рабочего сопла d_{p1} , м и давления после эжектора P_c , кПа, при максимальном объёмном коэффициенте инжекции 0,64 в рабочем режиме

Из рисунков 3 и 4 видно, что время понижения давления, рассчитанное при максимальном объёмном коэффициенте инжекции 0,64 в рабочем режиме, на 30...35% больше времени, рассчитанного при максимальном объёмном коэффициенте инжекции на каждом участке шкалы давления. Полученные значения времени понижения давления при выходе установки на рабочий режим используются при

расчёте продолжительности цикла повышения концентрации суспензии в вакуумной выпарной установке периодического действия и её производительности.

Выводы. 1. При условии обеспечения максимального объёмного коэффициента инжекции получены зависимости для определения диаметров рабочего сопла и камеры смешения эжектора. В диапазоне рабочего абсолютного давления в котле вакуумной выпарной установки 20...28 кПа рационально обеспечить давление воды перед рабочим соплом 250...350 кПа при отношении сечения камеры смешения и рабочего сопла 4...6, а скорость истечения воды из рабочего сопла 20...25 м/с.

2. При давлении после эжектора $P_c=110$ кПа и диаметре рабочего сопла 5 мм время понижения давления в котле от атмосферного до рабочего – 181 с, при диаметре рабочего сопла 10 мм время понижения давления – 45 с.

3. Результаты расчётов времени подтверждены экспериментом и используются при определении производительности вакуумной выпарной установки. Полученные результаты исследования могут использоваться при повышении концентрации жидких кормовых добавок.

Список источников

1 Фоминых А. В., Миколайчик И.Н., Овчинникова Ю.И., Овчинников Д.Н. Совершенствование технологий и технических средств производства комбикормов и БМВД для сельскохозяйственных животных и птицы // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2017. № 7. С. 46-48.

2 Грехова И.В. Влияние гуминовых препаратов на жизнедеятельность растений // Актуальные вопросы развития отраслей сельского хозяйства: теория и практика: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Ростов-на-Дону, 2019. С. 27-33.

3 Грехова И.В., Гильманова М.В. Влияние сырья на эффективность действия гуминовых препаратов // Перспективы использования инновационных форм удобрений, средств защиты и регуляторов роста растений в агротехнологиях сельскохозяйственных культур: материалы научно-практической конференции. Анапа, 2018. С. 68-70.

4 Грехова И.В., Куртова А.В., Федотова О.В. Реакция культур на применение гуминовых препаратов // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2018. № 4. С. 18-22.

5 Александрова С.С., Прокопьев Л.Н., Садвокасова А.А. Использование гумата натрия «Росток» в рационах телят // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 10. С. 83-85.

6 Александрова С.С. Гумат натрия "Росток" в рационах ремонтных телок // Аграрный вестник Урала. 2016. № 11 (153). С. 8-12.

7 Симакова И.В., Васильев А.А., Корсаков К.В., Гуляева Л.Ю. Влияние различных концентраций гуминовых кислот на формирование безопасности и товароведно-технологических качеств мяса цыплят-бройлеров // Хранение и переработка сельхозсырья. 2018. № 3. С. 73-82.

8 Безуглова О.С., Зинченко В.Е. Применение гуминовых препаратов в животноводстве (обзор) // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 2. С. 89-93.

9 Фоминых А.В., Чумаков В.Г., Ковшова Н.А., Ездин Д.П., Костомахин М.Н. Выбор вакуумной выпарной установки для повышения концентрации гуминового геля // Главный зоотехник. 2021. № 4 (213). С. 53-61.

10 Ездин Д.П. Обоснование и разработка технических средств для повышения концентрации гуминовой суспензии: дис. канд. техн. наук. Курган, 2021. 139 с.

11 ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. 30 с.

12 Фоминых А.В., Фомина С.В., Стрекаловских Н.С. Установка повышения концентрации жидких кормовых добавок // Вестник Курганской ГСХА. 2017. № 3 (23). С. 75-77.

13 Фомина С.В., Стрекаловских Н.С. Повышение концентрации жидких кормовых добавок при низких температурах кипения // Техническое обеспечение технологий производства сельскохозяйственной продукции: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Курган, 2017. С. 131-135.

14 Фомина С.В., Стрекаловских Н.С. Система удаления пара в установке для повышения концентрации жидких кормовых добавок // Научное обеспечение реализации государственных программ АПК и сельских территорий: материалы Международной научно-практической конференции. Курган, 2017. С. 465-468.

15 Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты. 3-е изд., перераб. М.: Энергоатомиздат, 1989. 352 с.

16 Спиридонов Е.К. Якубов Г.Г., Хабарова Д.Ф. Гидроструйный эжекционный гидрометатель сыпучих материалов. Метод расчета

// Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. 2020. Т. 20. № 2. С. 19-26.

17 Спиридонов Е.К., Якубов Г.Г. Агрегат питания с регулируемым струйным насосом // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. 2019. Т. 19. № 3. С. 53-59.

18 Ездin Д.П., Ездина А.А., Фомина С.В., Ковшова Н.А., Фоминых А.В. Определение конструкционных параметров эжектора с использованием программного пакета *solidworksflowsimulation* для вакуумной выпарной установки // Вестник Курганской ГСХА. 2021. № 1 (37). С. 61-68.

References

1 Fominykh A.V., Mikolaichik I.N., Ovchinnikova Yu.I., Ovchinnikov D.N. Sovershenstvovanie tehnologij i tehniceskikh sredstv proizvodstva kombikormov i BMVD dlja sel'skohozjajstvennyh zhivotnyh i pticy [Improvement of technologies and technical means for the production of mixed fodder and BMVD for agricultural animals and poultry]. Feeding of agricultural animals and feed production. 2017; (7): 46-48. (In Russ).

2 Grekhova I.V. Vlijanie guminovyh preparatov na zhiznedejatel'nost' rastenij [Influence of humic preparations on the vital activity of plants]. Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference "Topical issues of the development of agricultural sectors: theory and practice". Rostov-on-Don; 2019: 27-33. (In Russ).

3 Grekhova I.V., Gilmanova M.V. Vlijanie syr'ja na jeffektivnost' dejstvija guminovyh preparatov [Influence of raw materials on the effectiveness of humic preparations]. Materials of a scientific and practical conference "Prospects for the use of innovative forms of fertilizers, means of protection and plant growth regulators in agrotechnologies of agricultural crops". Anapa; 2018: 68-70. (In Russ).

4 Grekhova I.V., Kurtova A.V., Fedotova O.V. Reakcija kul'tur na primenenie guminovyh preparatov [The reaction of crops to the use of humic preparations]. Vestnik Bashkir State Agrarian University. 2018; (4): 18-22. (In Russ).

5 Aleksandrova S.S., Prokopiv L.N., Sadvokasova A.A. Ispol'zovanie gumata natrija «Rostok» v racionah teljat [The use of sodium humate "Rostok" in the diets of calves]. Achievements of Science and Technology of AIC. 2015; (29-10): 83-85. (In Russ).

6 Aleksandrova S.S. Gumat natrija "Rostok" v racionah remontnyh telok [Sodium humate "Ros-

tok" in the diets of replacement heifers]. Agricultural Bulletin of the Ural. 2016; (11-153): 8-12. (In Russ).

7 Simakova I.V., Vasiliev A.A., Korsakov K.V., Gulyaeva L.Yu. Vlijanie razlichnyh koncentracij guminovyh kislot na formirovanie bezopasnosti i tovarovedno-tehnologicheskikh kachestv mjasa cypljat-brojlerov [Influence of various concentrations of humic acids on the formation of safety and commodity-technological qualities of broiler chicken meat]. Storage and Processing of Farm Products. 2018; (3): 73-82. (In Russ).

8 Bezuglova O.S., Zinchenko V.E. Prime-nenie guminovyh preparatov v zhivotnovodstve (obzor) [The use of humic preparations in animal husbandry (review)]. Achievements of Science and Technology of AIC. 2016; (30-2): 89-93. (In Russ).

9 Fominykh A.V., Chumakov V.G., Kovshova N.A., Ezdin D.P., Kostomakhin M.N. Vybor vakuumnoj vyparnoj ustanovki dlja povyshenija koncentracii guminovogo gelja [The choice of a vacuum evaporator to increase the concentration of humic gel]. Glavnyi zootekhnik. 2021; (4-213): 53-61. (In Russ).

10 Ezdin D.P. Obosnovanie i razrabotka tehniceskikh sredstv dlja povyshenija koncentracii guminovoj suspenzii [Substantiation and development of technical means for increasing the concentration of humic suspension]: dissertation of a candidate of technical sciences. Kurgan; 2021. (In Russ).

11 GOST 12038-84. Semena sel'skohozjajstvennyh kul'tur. Metody opredelenija vshozhesti [Seeds of agricultural crops. Germination methods]. Moscow: IPK Standards Publishing House; 2004. (In Russ).

12 Fominykh A.V., Fomina S.V., Strekalovskikh N.S. Ustanovka povyshenija koncentracii zhidkih kormovyh dobavok [Installation for increasing the concentration of liquid feed additives]. Vestnik Kurganskoy GSKhA. 2017; (3-23): 75-77. (In Russ).

13 Fomina S.V., Strekalovskikh N.S. Povyshenie koncentracii zhidkih kormovyh dobavok pri nizkikh temperaturah kipenija [Increasing the concentration of liquid feed additives at low boiling temperatures]. Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference "Technical support of technologies for the production of agricultural products". Kurgan; 2017: 131-135. (In Russ).

14 Fomina S.V., Strekalovskikh N.S. Sistema udalenija para v ustanovke dlja povyshenija koncentracii zhidkih kormovyh dobavok [Steam removal system in an installation for increasing the concentration of liquid feed additives]. Materials of the International Scientific and Practical Conference "Scientific support for the implementation of

state programs for the agro-industrial complex and rural areas". Kurgan; 2017: 465-468. (In Russ).

15 Sokolov E.Ya., Zinger N.M. Strujnye apparaty [Inkjet devices]. 3rd ed., revised. Moscow: Energoatomizdat; 1989. (In Russ).

16 Spiridonov E.K., Yakubov G.G., Khabarova D.F. Gidrostrujnyj jezhekcionnyj gidrometatel' sy-puchih materialov. Metod rascheta [Hydrojet ejection hydrothrower of loose materials. Method of calculation]. Bulletin of the South Ural State University. Series «Mechanical Engineering Industry». 2020; (20-2): 19-26. (In Russ).

17 Spiridonov E.K., Yakubov G.G. Agregat pitaniya s reguliruemym strujnym nasosom [Power supply unit with adjustable jet pump]. Bulletin of the South Ural State University. Series «Mechanical Engineering Industry». 2019; (19-3): 53-59. (In Russ).

18 Ezdin D.P., Ezdina A.A., Fomina S.V., Kovshova N.A., Fominykh A.V. Opredelenie konstrukcionnyh parametrov jezhektora s ispol'zovaniem programmnoho paketa solidworksflowsimulation dlja vakuumnoj vyparnoj ustanovki [Determination of the structural parameters of the ejector using the solidworksflowsimulation software package for a vacuum evaporator]. Vestnik Kurganskoy GSKhA. 2021; (1-37): 61-68. (In Russ).

Информация об авторах

A.V. Фоминых – доктор технических наук, профессор; AuthorID 686533.

A.A. Ездина – кандидат технических наук; AuthorID 686533.

Д.П. Ездин – AuthorID 1065807.

Н.А. Ковшова – AuthorID714259.

Information about the authors

A.V. Fominykh – Doctor of Technical Sciences, Professor; AuthorID 686533.

A.A. Ezdina – Candidate of Technical Sciences; AuthorID 686533.

D.P. Ezdin – AuthorID 1065807.

N.A. Kovshova – AuthorID714259.

Статья поступила в редакцию 10.02.2022; одобрена после рецензирования 6.03.2022; принята к публикации 26.05.2022.

The article was submitted 10.02.2022; approved after reviewing 6.03.2022; accepted for publication 26.05.2022.