

УДК 620.97

Профессор А.А. Шевцов, аспирант Н.В. Тонких

(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра технологии хлебопекарных, кондитерских, макаронных и зерноперерабатывающих производств. тел. (473) 255-38-51

E-mail: nv-tonkikh@mail.ru

помощник генерального директора Е.А. Острикова

(ОАО «Мукомольный комбинат «Воронежский»). тел. (473) 252-35-40

E-mail: power-of-inspiration@yandex.ru

Professor A.A. Shevtsov, graduate N.V. Tonkikh

(Voronezh state university of engineering technology) Department of technology of bread, confectionery, macaroni and grain-processing production. phone (473) 255-38-51

E-mail: nv-tonkikh@mail.ru

General manager assistant E.A. Ostrikova

(OJSC «Milling plant «Voronezhskii») phone (473) 252-35-40

E-mail: power-of-inspiration@yandex.ru

Резервы энергосбережения в производстве кормовых добавок с заданным гранулометрическим составом

Energy saving reserves in the production of feed additives with the specified granulometric composition

Реферат. В связи с возрастающей необходимостью в замене дорогостоящей кормовой продукции зарубежного производства возникает потребность расширения кормовой базы на рынке РФ. Недостатками существующих линий для приготовления минеральных кормовых добавок являются высокие удельные энергетические затраты, низкая экономическая эффективность и недостаточные условия для обеспечения экологической безопасности. Поэтому на кафедре технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающих производств ВГУИТ разработан энергоэффективный способ производства кормовой добавки на основе цеолита и линия для его осуществления. Использование холодильного агрегата, работающего в режиме теплового насоса, позволяет обеспечить подготовку теплоносителей с максимальной утилизацией вторичных источников теплоты. Отработанный сушильный агент после сушки подается на предварительный нагрев суспензии метионината меди посредством рекуперативного теплообмена, затем на осушение в испаритель холодильного агрегата и далее возвращают в первую секцию двухсекционного конденсатора в режиме замкнутого цикла. Кормовой жир подогревают до 55-60 °С «горячей водой», нагрев которой происходит во второй секции 11 конденсатора до температуры 70-75 °С и подают в рубашку жиротопки, после чего возвращают во вторую секцию конденсатора с образованием контура рециркуляции. Получена кормовая добавка со следующим гранулометрическим составом: крупная фракция 2,8 %, средняя фракция 95,2 %, мелкая фракция 2,0 %, остаток на сите с сеткой № 1,2 2,0 % с влажностью 6,2 %, углом естественного откоса 42 град., распыляемостью 6,9 %, объемной массой 385 кг/м³. Предлагаемый способ производства кормовой добавки на основе цеолита позволяет обеспечить экологическую безопасность производства за счет замкнутых рециркуляционных схем по материальным и энергетическим потокам, снизить энерго- и ресурсозатраты на выработку кормовой добавки, получить высококачественный продукт, обладающий высокой однородностью и низким содержанием влаги.

Summary. Due to the growing need to substitute expensive foreign-made feed products need for expanding food resources in the Russian market appears. The disadvantages of existing technological lines for the preparation of mineral feed additives are high specific energy consumption, low economic efficiency and inadequate conditions for environmental safety insuring. That is why energy-efficient production method for the feed additive based on zeolite and a technological line for its realization was developed at the Department of Technology of bread, pastry, pasta and grain processing industries in VSUET. Application of refrigeration unit operating in heat pump mode allows preparation of heat transfer agents with a maximum utilization of secondary heat sources. After drying the spent drying agent is fed to the preheating methioninate copper suspension through the regenerative heat exchange, then to the dehumidification into the evaporator of refrigeration unit and then it is returned to the first section of the two-part condenser in closed-loop mode. Feed fat is heated to 55 ... 60 °C, by "hot water", heating of which takes place in the second section of the 11th condenser to the temperature of 70 ... 75 °C and is fed into the jacket of fat melting device. Then it is returned to the second capacitor section to form a recirculation loop. We developed a feed additive with the following particle size distribution: a large fraction of 2.8%, the average fraction of 95.2%, the fine fraction of 2.0%, the residue on the sieve with a mesh № 1.2 of 2.0%, with a moisture content of 6.2%, the angle of repose of 42 deg., dispersibility of 6.9%, a bulk density of 385 kg / m³. The proposed method for the production of the feed additive based on zeolite ensures environmental safety of production due to closed recirculation circuits on material and energy flows, helps to reduce energy and resource consumption for the production of the feed additive, to obtain high quality product with high uniformity and low moisture content.

Ключевые слова: энергосбережение, кормовые добавки.

Keywords: energy saving, supplementary feeds.

В последнее время в комбикормовой промышленности повышаются требования к качеству комбикормов, модернизации технологии и оборудования, расширяется номенклатура сырья, ассортимент продукции. Поэтому разработка новых и усовершенствование известных технологий с применением принципов энергосбережения остаются в центре внимания специалистов отрасли. В связи с возрастающей необходимостью в замене дорогостоящей кормовой продукции зарубежного производства возникает потребность расширения кормовой базы на рынке РФ.

В современных условиях российской комбикормовой промышленности одним из основополагающих аспектов, оказывающих влияние на технологию получения кормов, является рациональное использование энергоресурсов.

На кафедре технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающих производств ВГУИТ разработан способ производства кормовой добавки на основе цеолита и линия для его осуществления (рисунок 1) [1, 4, 5].

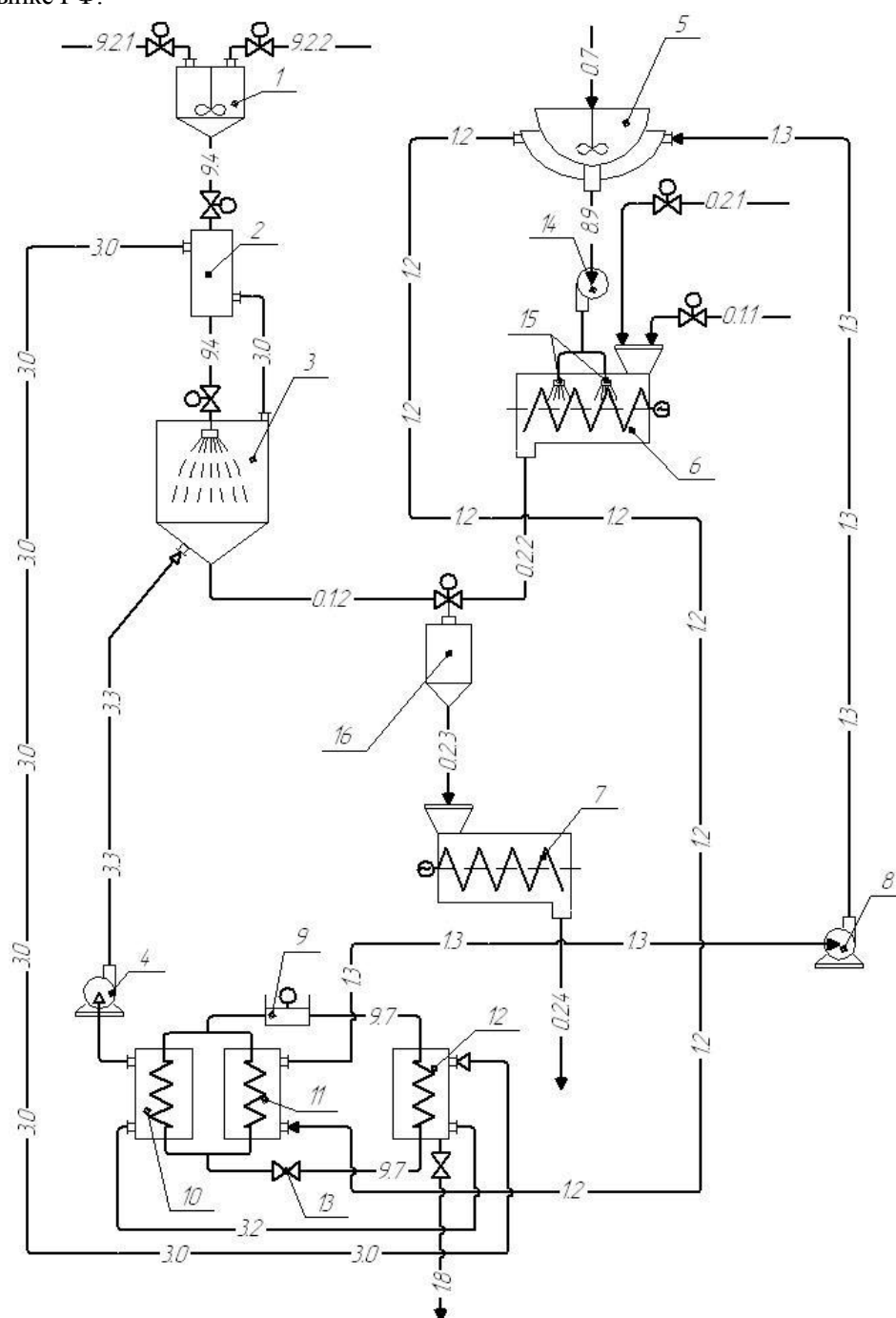


Рисунок 1. Линия для производства кормовой добавки на основе цеолита

Линия содержит реактор 1 с патрубками и мешалкой, теплообменник-рекуператор 2 с патрубками, распылительную сушилку 3, вентилятор 4, жиротопку с паровой рубашкой 5, смесители 6, 7, насосы 8 и 14, компрессор 9, секции двухсекционного конденсатора 10 и 11, выпариватель 12, ТРВ 13, форсунки 15 и бункер-дозатор с предварительным взвешиванием 16; линии материальных потоков: 0.1.1 – антиоксидант, 0.1.2 – хелатное соединение (метионинат меди), 0.2.1 – цеолит, 0.2.2 – предсмесь, 0.2.3 – кормовая добавка перед перемешиванием, 0.2.4 – кормовая добавка после перемешивания, 0.7 – кормовой жир, 1.2 – холодная вода, 1.3 – горячая вода, 1.8 – конденсат, 3.0 – отработанный воздух, 3.2 – осушенный воздух, 3.3 – рециркуляционный воздух, 8.9 – подогретый стабилизированный жир, 9.2.1 – раствор сульфата меди, 9.2.2 – раствор метионина, 9.4 – суспензия метионината меди, 9.7 – хладагент.

Данный способ реализуется описанным далее образом. Для осуществления химического взаимодействия 0,1 М растворов сульфата меди и метионина в объемном соотношении 1:4 по линиям 9.2.1 и 9.2.2 соответственно, используемые в качестве исходных компонентов кормовой добавки, подаются в реактор 1, оборудованный мешалкой, для получения суспензии метионината меди с содержанием массовой доли влаги 95-98 %. Суспензию подогревают в теплообменнике-рекуператоре 2 до температуры 25-28 °С, после чего проводят сушку в распылительной сушилке 3 и получают порошкообразное хелатное соединение меди с дисперсностью 0,2-0,4 мм, содержанием влаги 3-4 %, температурой 32-35 °С.

Так как применялась распылительная сушилка с дисковым распылителем, была использована формула Фрасера, Эйзенклама и Домбровского, которая позволила определить средний диаметр капель [6]:

$$d_{cp} = 0,55 \left(\frac{G_{M0} v_{ж}}{d_d} \right)^{0,2} \left(\frac{1}{n} \right)^{0,6} \left(\frac{1}{\rho_{M0}} \right)^{0,3} \left(\frac{\sigma_{ж}}{l} \right)^{0,1}, \quad (1)$$

где d_d – диаметр диска; n – число оборотов диска в 1 мин; l – смоченный периметр диска; G_{M0} – расход суспензии, кг/с; $v_{ж}$ – кинематический коэффициент вязкости жидкости, м²/с; ρ_{M0} – плотность суспензии, кг/м³; $\sigma_{ж}$ – коэффициент поверхностного натяжения суспензии, Н/м.

Диаметр распыливающих капель определяли по формуле:

$$d_k = \frac{c \sqrt{\sigma / R \rho}}{\omega}, \quad (2)$$

где R – наружный радиус диска, м; ω – угловая скорость диска, м/с; C – параметр, при расчете среднего диаметра можно принять $C = 2$.

Радиус факела распыления рассчитывали следующим образом:

$$R_{\phi} = 0,33 d_k \frac{\rho}{\rho_2} Re^{0,35} Gu^{-0,4} Ko^{-0,2}, \quad (3)$$

где $Re = \frac{\omega d_k}{\nu}$ – критерий Рейнольдса; ν – кинематическая вязкость газа, м²/с; ρ , ρ_2 – плотность суспензии и сушильного агента, кг/м³;

$Gu = \frac{0,5(t_1 + t_2) - t_m}{273 + t_1}$ – критерий Гухмана; t_1 –

температура сушильного агента перед сушкой, °С; t_2 – температура сушильного агента после сушки, °С; t_m – температура мокрого термометра, °С; $Ko = \frac{[273 + 0,5(t_1 + t_2)]C_2}{r_1(W_1 - W_2)}$ – критерий

Коссевица; r_1 – скрытая теплота парообразования при температуре мокрого термометра, кДж/кг; C_2 – удельная теплоемкость сушильного агента, кДж/кг; W_1 , W_2 – влажность суспензии при входе в сушилку и конечного сухого продукта, %.

Диаметр сушильной камеры:

$$D = (2,2 \div 2,4) R_{\phi}. \quad (4)$$

Высота сушильной камеры:

$$H = 1,37 d_{max} Re^{0,252} K^{0,462}, \quad (5)$$

где d_{max} – максимальный диаметр частиц, м; $K = r v_r / \lambda \Delta t$; r – удельная теплота парообразования, Дж/кг; λ – коэффициент теплопроводности сушильного агента, Вт/(м·°С); Δt – разность температур между сушильным агентом и каплей, °С.

В соответствии с предлагаемым способом производства осуществляется смешивание цеолита с кормовым жиром. Цеолит, крупность частиц которого характеризуется остатком на сите с сеткой № 1,2 не более 5 % и содержанием влаги не более 10 %, подают в смеситель 6. Цеолит, стабилизированный антиоксидантом «Эндокс» в количестве 10 мг/кг жира, подвергается смешиванию с кормовым жиром в количестве 4,5-5,5 % от массы кормовой добавки, который вводится посредством форсунок 15 в смеситель 6. Жир подогревается в жиротопке с паровой рубашкой 5, снабженной мешалкой, до температуры 55-60 °С и подается по линии 8.9 в смеситель 6 насосом 14. Добавление жира повышает адгезионную способность цеолита, уменьшает заряд статического электричества и снижает пылеобразование. Из бункера-дозатора с предварительным взвешиванием 16 получен-

ная предсмесь направляется в смеситель 7, куда также вносится сыпучее хелатное соединение меди в соотношении 85:15. Полученная продукция по линии 0.2.4 отводится в виде кормовой добавки, гранулометрический состав которой представлен в таблице 1.

Для достижения однородности хелатного соединения меди в цеолитсодержащей добавке были определены значения степени неоднородности r_i и коэффициента вариации R_i по формуле:

$$R_i = r_i \cdot 100 = \frac{100}{\bar{N}_i}, \quad (6)$$

где $\bar{N}_i$ – среднее количество частиц любого i -го компонента кормовой добавки в рационе, содержащего хелатное соединение.

При известных диаметрах частиц d_i рассчитывалось среднее количество $\bar{N}_i$ носителя i -го компонента в рационах массой M_p :

$$\bar{N}_i = \frac{6 M_p C_n C_{in}}{100 \rho_i C_i d_i^3}, \quad (7)$$

где ρ_i – плотность сырьевого компонента, C_n – содержание добавки в рационе, C_i, C_{in} – содержание i -го соединения микроэлементов в i -ом сырьевом компоненте и в добавке соответственно.

Коэффициент вариации R_i распределения хелатного соединения меди в цеолитсодержащей добавке составляет 6,7 %, что свидетельствует о высокой однородности полученной продукции.

Т а б л и ц а 1

Показатели эффективности производства добавки и ее качественные характеристики

Показатели	Значение показателя
Гранулометрический состав кормовой добавки %:	
Крупная фракция	2,8
Средняя фракция	95,2
Мелкая фракция	2,0
Содержание влаги, %	6,2
Остаток на сите с сеткой № 1,2, %	2,0
Угол естественного откоса, град.	42
Распыляемость, %	6,9
Объемная масса, кг/м ³	385
Удельные энергозатраты, кВт/т	0,58
Затраты энергии в единицу времени, кВт/ч	2,40

Особенностью предлагаемой линии является использование холодильного агрегата, работающего в режиме теплового насоса. В состав холодильного агрегата входит компрессор 9, двухсекционный конденсатор с параллельно соединенными секциями 10 и 11, терморегулирующий вентиль 13, испаритель 12, работающие по замкнутому термодинамическому циклу.

В секции 10 конденсатора осуществляется нагрев сушильного агента до температуры 35-40 °С, с которой он подается вентилятором 4 по линии 3.3 на сушку суспензии метионината меди в распылительную сушилку 3. Сначала отработанный сушильный агент после сушки по линии 3.0 подается на предварительный нагрев суспензии метионината меди в теплообменник-рекуператор 2, затем на осушение в испаритель 12 холодильного агрегата и далее по

линии 3.2 возвращается в первую секцию 10 конденсатора в режиме замкнутого цикла [3].

Кормовой жир подогревается до 55-60 °С «горячей водой», нагрев которой происходит во второй секции 11 конденсатора теплового насоса до температуры 70-75 °С и подается в рубашку жиротопки, после чего возвращается во вторую секцию конденсатора с образованием контура рециркуляции.

Таким образом, предлагаемый способ производства кормовой добавки на основе цеолита позволяет обеспечить экологическую безопасность производства за счет замкнутых рециркуляционных схем по материальным и энергетическим потокам, снизить энерго- и ресурсозатраты на выработку кормовой добавки, получить высококачественный продукт, обладающий высокой однородностью и низким содержанием влаги 6,2 % [2].

ЛИТЕРАТУРА

1 Пат. № 2484640, RU, МПК А23К 1/00. Способ производства кормовой добавки на основе цеолита и линия для его осуществления / Шевцов А.А., Шенцова Е.С., Острикова Е.А., Дранников А.В., Руш А.К., Шатунова Н.В. № 2012101744/13; Заявл. 18.01.12; Опубл. 20.06.13, Бюлл. № 17.

2 Шевцов А.А., Шенцова Е.С., Острикова Е.А., Шатунова Н.В. Оценка эффективности использования кормовой добавки на основе цеолита в животноводстве // Кормопроизводство. 2013. № 9. С. 38 – 39.

3 Лыткина Л.И., Шевцов С.А., Тонких Н.В. Расчет времени переключения рабочей секции испарителя теплового насоса на регенерацию // Материалы ЛII отчетной научной конференции за 2013 год, Воронеж: ВГУИТ, 2014. Ч.2. С. 38-39.

4 Шевцов А.А., Шенцова Е.С., Шатунова Н.В. Технология получения комбикормовой продукции на основе цеолитов // Материалы конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Инженерные технологии XXI века», Воронеж: ВГУИТ, 2013. С. 41-45.

5 Шевцов А.А., Шенцова Е.С., Тонких Н.В. Производство цеолитсодержащей добавки для комбикормов // Материалы международной научно-технической конференции «Новое в технологии и технике функциональных продуктов питания на основе медико-биологических воззрений» / Воронеж: ВГУИТ, 2013. С. 283-285.

6 Лыков М.В., Леончик Б.И. Распылительные сушилки. М.: Машиностроение, 1966. 332 с.

REFERENCES

1 Shevtsov A.A., Shentsova E.S., Ostrikova E.A., Drannikov A.V., Rush A.K., Shatunova N.V. Sposob proizvodstva kormovoi dobavki na osnove tseolita i liniya dlya ego osushchestvleniya [Feed additive production method based on zeolite and a line for its implementation]. Patent RF, № 2484640, 2013. (In Russ.).

2 Shevtsov A.A., Shentsova E.S., Ostrikova E.A., Shatunova N.V. Efficiency evaluation of supplementary feed based on zeolites in livestock farming. *Kormoproizvodstvo* [Feed production], 2013, no. 9, pp. 38 – 39. (In Russ.).

3 Lytkina L.I., Shevtsov A.A., Tonkikh N.V. Time switching calculation of the working section regeneration of the heat evaporation pump. *Materialy LII otchetnoi nauchnoi konferentsii za 2013 god, Voronezh: VGUIT* [Materials LII reporting scientific conference in 2013], Voronezh, 2014, part 2, pp. 38-39. (In Russ.).

4 Shevtsov A.A., Shentsova E.S., Shatunova N.V. Animal feed production technology based on zeolite. *Materialy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh «Inzhenernye tekhnologii XXI veka», Voronezh: VGUIT* [Proceedings of the Conference of Students and Young Scientists "Engineering Technologies of XXI Century"], Voronezh, 2013. pp. 41-45. (In Russ.).

5 Shevtsov A.A., Shentsova E.S., Tonkikh N.V. Zeolite-contained additive for animal feed production. *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii «Novoe v tehnologii i tekhnike funktsional'nykh produktov pitaniya na osnove mediko-biologicheskikh vozzrenii»* [Proceedings of the international scientific conference "Innovations in technology and engineering of functional foods on the basis of Biomedical views " Voronezh: VGUIT], Voronezh, 2013, pp. 283-285. (In Russ.).

6 Lykov M.V., Leonchik B.I. Raspylitel'nye sushilki [Spray dryers]. Moscow, Mashinostroenie, 1966. 332 p. (In Russ.).