

Профессор Л.И. Лыткина, профессор А.А. Шевцов,
доцент Е.С. Шенцова, соискатель О.А. Апалихина
(Воронеж. гос. ун-т инж. технол.) кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского,
макаронного и зерноперерабатывающего производств, тел. (473) 255-38-51

Реализация энергоэффективной технологии комбикормов как системы тепловых и механических процессов

Предложена энергоэффективная технология комбикормов с применением парокомпрессионной холодильной машины. Для реализации технологии как системы тепловых и механических процессов разработан программно-логический алгоритм, позволяющий осуществлять оперативное управление технологическими параметрами.

Proposed energy-efficient technology fodder in applying the vapor compression chiller. To implement the technology as a system of thermal and mechanical processes designed program-logic algorithm that allows us to exercise operational control of process parameters.

Ключевые слова: парокомпрессионная холодильная машина, энергосбережение, управление.

Создание энергоэффективных технологий комбикормов с заданным стабильным составом, отвечающих современным требованиям адекватного питания сельскохозяйственных животных и птицы, базируется на основных положениях системного подхода, посредством которого могут быть выявлены закономерности строения, функционирования и развития технологического потока кормопроизводства как системы тепловых и механических процессов [1, 2].

Показано, что уровень целостности технологической системы производства комбикормов по традиционной технологии [3, 4] лежит в области суммативных систем, в которых недостаточно реализованы возможности экономии теплоэнергетических ресурсов за счет рециркуляционных схем по материальным и энергетическим потокам.

По результатам выполненных исследований перевод технологии комбикормов в область целостных систем стал возможен за счет управления технологическими параметрами и качеством продукции с применением холодильной техники [5, 6].

В частности, применение парокомпрессионной холодильной машины, работающей в режиме теплового насоса, позволило повысить энергетическое совершенство технологии комбикормов как системы тепловых и механических процессов (рисунок 1).

Учитывая положительный эффект от формирования тепловых процессов в технологии комбикормов [6], составлен алгоритм управления технологическими параметрами, устанавливающий логическую последовательность подачи управляющих воздействий, ресурс действия которых определяется системой ограничений с возможностью оперативной коррекции технологических режимов работы оборудования в условиях случайных возмущений [7, 8].

Информация о ходе процесса приготовления комбикормов, подготовки воздуха и пара с помощью датчиков передается в микропроцессор, который по заложенному в него программно-логическому алгоритму осуществляет оперативное управление технологическими параметрами с учетом накладываемых на них двухсторонних ограничений, обусловленных как получением готового продукта высокого качества, так и экономической целесообразностью.

По текущим значениям расхода рассыпного комбикорма и горячих гранул перед их смешиванием микропроцессор устанавливает расход воздуха для охлаждения смеси горячих гранул и рассыпного комбикорма в линии рециркуляции воздействием на мощность регулируемого привода вентилятора.

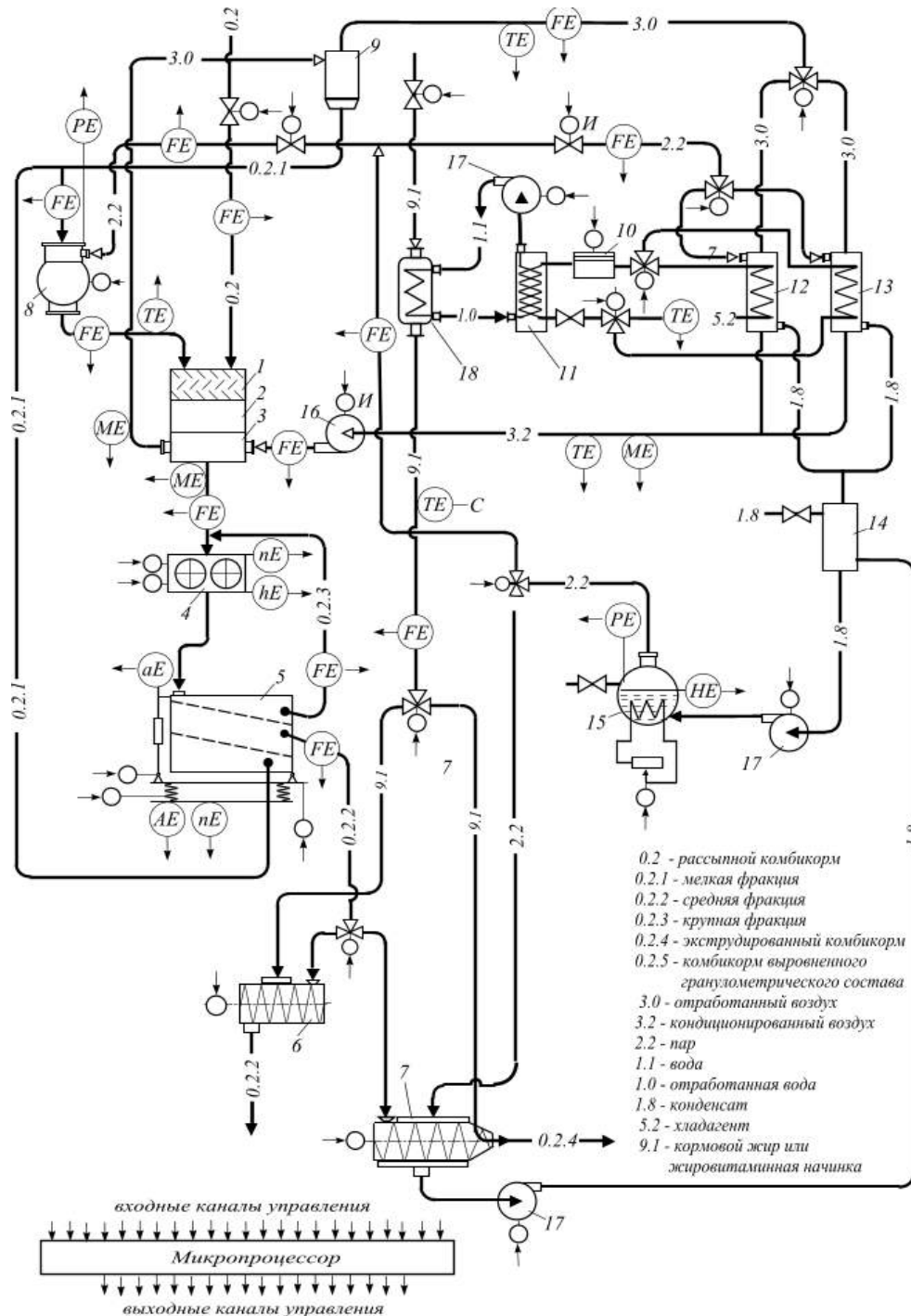


Рисунок 1 - Технологическая схема способа производства и управления качеством комбикормовой продукции с применением ПКХМ:

гравитационный смеситель 1; теплообменник 2; охладитель 3; измельчитель 4; просеивающую машину 5; пресс-гранулятор 6; смеситель 7; смеситель-экструдер 8; циклон 9; компрессор 10; конденсатор 11; секции испарителя 12, 13; сборник конденсата 14; парогенератор 15; вентилятор 16; насос 17; нагреватель жира 18; датчики: FE – расхода, TE – температуры, PE – давления, ME – влажности и влагосодержания, nE – частоты вращения, hE – расстояния между валками измельчителя, αE – угла наклона сит, AE – амплитуды колебания сит, HE – уровня.

По информации датчиков о расходах смеси рассыпного комбикорма и гранул и крупной фракции в линии возврата на доизмельчение устанавливают производительность измельчителя, изменяя частоту вращения валков с помощью

датчика. По текущей влажности смеси гранул и рассыпного комбикорма оцениваются структурно-механические свойства продукта, подаваемого на измельчение, в зависимости от которых устанавливается расстояние между валками.

Микропроцессор непрерывно оценивает качество процесса сортирования полученных в просеивающей машине продуктов измельчения, осуществляя коррекцию режима просеивания при отклонении соотношения расходов крупной и средней фракций

По измеренным значениям влагосодержания воздуха до и после охлаждения смеси в охладителе 3 и его расходу определяется количество водяных паров в отработанном воздухе по формуле:

$$U = (x_{\text{вых}} - x_{\text{вх}}) \rho_{\text{св}} V, \quad (1)$$

где $x_{\text{вх}}$, $x_{\text{вых}}$ - влагосодержание воздуха на входе и выходе из охладителя, кг/кг; $\rho_{\text{св}}$ - плотность сухого воздуха, кг/м³; V - объемный расход воздуха, м³/ч, в соответствии с которым устанавливается расход хладагента в рабочую секцию 12 испарителя воздействием на мощность привода компрессора 10 холодильной машины.

Процесс охлаждения отработанного воздуха в рабочей секции испарителя 12 ПКХМ на поверхности ее охлаждающего элемента сопровождается конденсацией влаги из воздуха в «снеговую шубу». В результате снижается коэффициент теплопередачи от хладагента к воздуху через стенку охлаждающего элемента, а нарастающая во времени толщина «снеговой шубы» снижает интенсивность охлаждения воздуха, используемого для охлаждения смеси горячих гранул и рассыпного комбикорма.

Непрерывно вычисляется текущее значение коэффициента теплопередачи по формуле

$$k = \frac{Q}{F \Delta t_{\text{ср}}}, \quad (2)$$

где $Q = V c \rho (t_1 - t_2)$ - количество теплоты, подаваемой отработанным воздухом в рабочую секцию испарителя холодильной машины, кДж/ч; c , ρ - средние значения теплоемкости, кДж/(кг·К), плотности, кг/м³, воздуха; V - объемный расход воздуха, м³/ч; F - площадь поверхности охлаждающего элемента испарителя, м²; $\Delta t_{\text{ср}} = (t_1 - t_2) / \ln[(t_1 - t_3) / (t_2 - t_3)]$ - среднелогарифмический температурный напор, °С; t_1 , t_2 - температура воздуха на входе и выходе из рабочей секции охладителя, °С; t_3 - температура хладагента на входе в рабочую секцию испарителя, °С

По сигналу отклонения текущего значения коэффициента теплопередачи от заданного интервала значений воздействуют на соотношение

расходов «воздух – хладагент» путем изменения расхода хладагента в линии рециркуляции.

Если увеличение расхода хладагента не позволяет вывести текущее значение коэффициента теплопередачи на заданный интервал значений, то микропроцессор отключает рабочую секцию 12 из линии рециркуляции хладагента и подключает резервную секцию 13.

Одновременно осуществляется переключение направления движения потока воздуха в резервную секцию 13 испарителя ПКХМ, которая из режима регенерации переключается на рабочий режим конденсации (охлаждения воздуха).

Заданное давление насыщенного пара в парогенераторе 15 поддерживается в установившемся режиме воздействием на мощность электронагревательных элементов. При этом достигается заданная производительность парогенератора, контроль за которой обеспечивается датчиком расхода пара.

По текущей величине давления пара в прессе-грануляторе 8 устанавливается его расход в пресс-гранулятор с коррекцией по температуре горячих гранул в линии их отвода из пресса-гранулятора 8 в гравитационный смеситель 1. Таким образом, количество отводимой части насыщенного пара из общего потока зависит от его давления в прессе-грануляторе 8 и температуры горячих гранул.

Оставшаяся часть перегретого пара подается на размораживание резервной секции испарителя 13, работающей в режиме регенерации, которая отключается из контура рециркуляции хладагента парокомпрессионной холодильной машины с помощью исполнительных механизмов. Поток пара направляется в секцию испарителя ПКХМ, которая переключается с режима конденсации на режим регенерации.

В микропроцессор передается информация о текущем значении уровня конденсата в парогенераторе 15. При изменении уровня конденсата осуществляется двухпозиционное регулирование приводом питающего насоса 17: питающий насос включается при достижении уровня конденсата в парогенераторе нижнего заданного значения и отключается при достижении верхнего заданного значения.

В случае технологических и аварийных сбоев в работе парогенератора, связанных с возможным увеличением давления насыщенного водяного пара в его рабочем объеме, предусмотрен предохранительный клапан.

Предлагаемый методологический подход в разрешении «узла» технических противоречий

в технологии комбикормов на основе структуризации тепловых объектов позволил создать высокоэффективную технологию с расширенными функциональными возможностями.

Способ управления процессом приготовления комбикормов с применением ПКХМ реализован для поточной линии, установленной на Воронежском экспериментальном комбикормовом заводе для производства комбикормов заданной крупности с различными кормовыми добавками производительностью по готовому продукту 12,9 ... 16,1 т/ч.

Линия состоит из гравитационного смесителя У21 – ДСП, контактного теплообменника, охладителя Б6 – ДГВ – II, валкового измельчителя Б6 – ДГВ – III, просеивающей машины У3 – ДМП, пресса-гранулятора Б6–ДГВ –I. Процесс осуществляется со следующими техническими характеристиками:

Производительность смесителя, т/ч	30...50
Расход охлаждающего воздуха, м³/т	1300...1500
Влажность смеси перед измельчением, %	13,0...14,5
Частота вращения валков, об/мин	180...330
Расстояние между валками измельчителя, мм	1,0...1,5
Амплитуда колебаний сит, об/мин	9...11
Частота колебаний сит, об/мин	420...450
Угол наклона сит к горизонту, град	8...10
Давление пара, кг/см² (МПа)	0,2...0,5
Расход пара, кг/т	50...60
Влажность гранул после пресса-гранулятора, %	15...18
Номинальная мощность привода пресса-гранулятора, кВт	131,9

В технологической линии для повышения энергетической эффективности использовался компрессорно-конденсаторный агрегат, работающий в режиме теплового насоса, с характеристиками:

Компрессор одноступенчатый двухцилиндровый	ФВ – 4/4,5;
Хладагент (фреон-12)	R12;
Холодопроизводительность, кВт	15...20;
Диапазон температур кипения, °С	–25...0;
Конденсатор воздушный, ребристый, м²	15;
Площадь охлаждающей поверхности испарителя, м²	20;

Допустимые пределы изменения коэффициента

теплопередачи, Вт/м²	К.3,8...5,0;
Температура хладагента на входе в испаритель, К	263...273.

Низкотемпературные режимы охлаждения смеси рассыпного комбикорма и горячих гранул с пониженным влагосодержанием воздуха приводят к интенсивной конденсации осмотически связанной влаги на поверхности частиц продукта в виде капельной жидкости или «тумана» и ее уносу из рабочей зоны охладителя с отработанным воздухом, быстро достигающим «точки росы».

Воздух после испарителя парокомпрессионной холодильной машины с влагосодержанием 0,005 кг/кг подается в охладитель на охлаждение смеси рассыпного комбикорма и горячих гранул, а на выходе из охладителя влагосодержание отработанного воздуха составляет 0,014 кг/кг.

Расход охлаждающего воздуха на 1 т продукта составляет 1500 м³. Значит, количество влаги, унесенной отработанным воздухом с поверхности частиц продукта из камеры охлаждения при производительности линии 16 т/ч, определяется следующим образом:

$$U = (x_{\text{вых}} - x_{\text{вх}}) \rho_{\text{св}} G_{\text{кк}} v = (0,014 - 0,005) \cdot 1,0 \cdot 16 \cdot 1500 = 216 \text{ кг/ч}, \quad (3)$$

где $G_{\text{кк}}$ – производительность поточной линии по исходному рассыпному комбикорму, т/ч; v – удельный расход охлаждающего воздуха, м³/т.

Это количество влаги необходимо сконденсировать на поверхности охлаждающего элемента рабочей секции испарителя в виде «снеговой шубы», предельно допустимая толщина которой не должна превышать 15 мм. В процессе конденсации влаги отработанный воздух охлаждается до температуры 7 °С, что соответствует интервалу значений коэффициента теплопередачи от хладагента к воздуху через стенку охлаждающего элемента 3,8...5,0 Вт/м²·К. Микропроцессор переключает рабочую секцию испарителя с режима конденсации на режим регенерации, а резервную секцию с режима регенерации на режим конденсации при снижении коэффициента теплопередачи ниже заданного интервала значений (ниже 3,8 Вт/м²·К). Конденсат, образовавшийся при размораживании секции испарителя, работающей в режиме регенерации, используется для получения пара в парогенераторе.

На процесс гранулирования мелкой фракции в установившемся технологическом

режиме работы линии производства комбикормов в пресс-гранулятор подается насыщенный пар под давлением 0,2 МПа, что соответствует 120 °С и удельному объему пара 0,892 м³/кг. При норме удельного массового расхода пара 50 кг на 1 тонну мелкой фракции, составляющей 12 % от расхода рассыпного комбикорма, объемный расход пара составит 85,6 м³/ч.

Для размораживания секции испарителя, работающей в режиме регенерации, необходимо установить расход пара 100 м³/ч, тогда с учетом общего потребления пара на гранулирование в прессе-грануляторе и на размораживание резервной секции испарителя производительность парогенератора должна поддерживаться на уровне 190 м³/ч путем воздействия на мощность электронагревательных элементов парогенератора.

Таким образом, предлагаемый способ позволяет не только обеспечить точность и надежность управления процессом приготовления комбикормов, но и создать условия для реализации безотходной технологии в непрерывном режиме эксплуатации основного и вспомогательного оборудования.

Дополнительные технологические приемы позволяют реализовать предлагаемую технологию как энергосберегающую и экологически безопасную. Обеспечивается охлаждение воздуха с применением парокомпрессионной холодильной машины в замкнутом контуре рециркуляции. При этом решается несколько задач: снижается окисление продукта кислородом воздуха (технологическая задача), устраняется выброс пылевидной фракции комбикорма с отработанным воздухом в атмосферу (экологическая задача), используется рекуперация теплоты конденсации хладагента в конденсаторе холодильной машины для нагрева жира или жировитаминной начинки (задача энергосбережения).

Реализация энергоэффективной технологии комбикормов как системы тепловых и механических процессов за счет точности и надежности управления технологическими параметрами позволяет повысить производительность линии на 15 % и стабилизировать температурный режим охлаждения смеси горячих гранул и рассыпного комбикорма в области заданных значений. При этом обеспечиваются необходимые структурно – механические показатели качества продукта перед измельчением; снижаются затраты электроэнергии на тонну вырабатываемого комбикорма выровненного гранулометрического состава на 10...15 %. Кроме этого

повышается питательность комбикорма, в частности, обменная энергия за счет ввода кормового жира; обеспечивается экологически чистая технология комбикорма выровненного гранулометрического состава.

ЛИТЕРАТУРА

1 Шевцов А.А. Совершенствование теплотехнологических процессов в производстве комбикормов / А.А. Шевцов, Л.И. Лыткина, Е.С. Шенцова, Р.М. Маджидов; Воронеж. гос. технол. акад. – Воронеж, 2007. – 188 с.

2 Лыткина Л.И. Техника и технология тепловых и механических процессов в задачах энергосбережения на комбикормовых заводах / Л.И. Лыткина, А.А. Шевцов, А.В. Дранников, А.И. Клейменов. – Воронеж: ВГТА, 2011. – 304 с.

3 Шевцов А.А. Экспериментально-статистическая оценка точности и устойчивости теплотехнологической системы производства комбикормов и подход к ее развитию [Текст] / А.А. Шевцов, Л.И. Лыткина, Р.М. Маджидов, А.В. Пономарев, Л.В. Бугакова // Известия вузов. Технологии производства продуктов питания, 2008. - № 2 - 3. - С. 87 - 91.

4 Панфилов, В.А. Технологические линии пищевых производств (теория технологического потока) [Текст] / В.А. Панфилов. – М.: Колос, 1993. – 288 с.

5 Шевцов, А.А. Эксергетический анализ технологии комбикормов выровненного гранулометрического состава [Текст] / А.А. Шевцов, Л.И. Лыткина, А.В. Пономарев, Р.М. Маджидов // Изв. вузов. Пищевая технология. – 2009. – № 3, – С. 83 – 88.

6 Шевцов А.А. Энергосберегающие технологии комбикормов и система управления качеством [Текст] / А.А. Шевцов, Л.И. Лыткина, Р.М. Маджидов, И.Б. Чайкин // Известия вузов. Пищевая технология, 2008. - № 1. - С. 94 – 97.

7 Пат. № 2352185 РФ, МПК⁷ А 23 N 17/00. Способ управления процессом приготовления комбикорма [Текст] / А.А. Шевцов, Л.И. Лыткина, А.В. Дранников, Е.С. Шенцова, Р.М. Маджидов; заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. технол. акад. – №2007143726 / 13; заявл. 26.11.2007; опубл. 20.04.2009, Бюл. № 11.

8 Пат. № 2363235 РФ, МПК⁷ А 23 К 1/00. Способ управления процессом приготовления комбикормов [Текст] / А.А. Шевцов, Е.С. Шенцова, А.В. Дранников, Л.И. Лыткина, А.В. Пономарев; - заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. технол. акад. - № 2008114776/13; заявл. 15.04.2008; опубл. 10.08.2009, Бюл. № 22.

REFERENCES

- 1 Shevtsov A.A. Improving teplotekhnologicheskikh processes in feed production / A.A. Shevtsov, L.I. Lytkina, E.S. Shentsova, R.M. Madjidov; Voronezh. State. tehnol. Acad. - Voronezh, 2007. - 188.
- 2 Lytkina L.I. Technique and technology of thermal and mechanical processes in problems of energy saving feed mills / L.I. Lytkina A.A. Shevtsov, A.V. Drannikov, A.I. Kleimenov. - Voronezh: VSTA 2011. - 304.].
- 3 Shevtsov A.A. Experimental and statistical evaluation of the accuracy and stability of the system teplotekhnologicheskoy feed production and the approach to its development [Text] / A.A. Shevtsov, L.I. Lytkina R.M. Majidov A.V. Ponomarev, L.V. Bugakova //Proceedings of the universities. Food Technology, 2008. - № 2 - 3. - S. 87 - 91.
- 4 Panfilov, V.A. Process lines of food production (theory of the process stream) [Text] / V.A. Panfilov. - Moscow: Kolos, 1993 . - 288
- 5 Shevtsov, A.A. Exergy analysis technology fodder aligned particle size distribution [Text] / A.A. Shevtsov, L.I. Lytkina, A.V. Ponomarev, R.M. Madjidov / / Math. universities. Food technology . - 2009 . - № 3 - S. 83 - 88.
- 6 Shevtsov A.A. Energy-saving technologies and fodder quality management system [Text] / A.A. Shevtsov, L.I. Lytkina, R.M. Majidov, I.B. Chaykin // Proceedings of the universities . Food Technology , 2008 . - № 1. - S. 94 - 97.
- 7 Pat . Number 2352185 RF MPK7 A 23 N 17/00 . Control method of the preparation of feed [Text] / A.A. Shevtsov, L.I. Lytkina, A.V. Drannikov, E.S. Shentsova, R.M. Madjidov; applicant and patentoobladatel Voronezh State. tehnol. Acad. - № 2007143726 /13; appl . 26.11.2007 , publ . 20.04.2009 , Bull . Number 11.
- 8 Pat. Number 2363235 RF MPK7 A 23 K 1/00 . Control method of the preparation of mixed fodders [Text] / A.A. Shevtsov, E.S. Shentsova, A.V. Drannikov, L.I. Lytkina, A.V. Ponomarev - applicant and patentee Voronezh. State. tehnol. Acad. - № 2008114776/13; appl. 15.04.2008, publ. 10.08.2009, Bull. Number 22.