

прибыли на 1 голову за опыт на 11474 и 14912 руб. соответственно, или на 35,9 и 46,7%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Радчиков, В. Ф. Совершенствование системы полноценного кормления молодняка крупного рогатого скота / В. Ф. Радчиков. – Барановичи, 2003. – 192 с.
2. Экструдированный обогатитель на основе местных источников сырья при кормлении телят / В. К. Гурин [и др.] // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства : сб. науч. тр. – Горки, БГСХА, 2013. – Вып. 16, ч. 1. – С. 149-156.
3. Протеиновое питание молодняка крупного рогатого скота : моногр. / В. Ф. Радчиков [и др.]. – Жодино : Научно-практический центр НАН Беларуси по животноводству, 2013. – 119 с.
4. Пилюк, Н. В. Рапс в рационах животных / Н. В. Пилюк // Белорусское сельское хозяйство. – 2003. – № 11. – С. 34-35
5. Пилюк, Я. В. Рапс в Беларуси (биология, селекция и технология возделывания) / Я. В. Пилюк. – Мн. : Бизнесофсет, 2007. – 240 с.
6. Пилюк, Я. Универсал – рапс поможет повысить доходы // Поле августа [Электрон. ресурс]. – 2007. – № 8. – Режим доступа : <http://www.avgust.com/newspaper>.
7. Радчиков, В. Ф. Жмых и шрот из рапса сорта «canole» в рационах бычков, выращиваемых на мясо / В. Ф. Радчиков // Материалы междунар. науч.-практ. конф. (4-5 июня 2013 г.). – Волгоград, 2013. – Ч. 1. – С. 63-65.
8. Использование зерна новых сортов крестоцветных и зернобобовых культур в рационах выращиваемых бычков / В. Ф. Радчиков [и др.] // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства : сб. науч. тр. – Горки : БГСХА, 2014. – Вып. 17, ч. 1. – С. 104-113.
9. Рапсовый жмых в составе комбикорма КР-1 для телят / В. Ф. Радчиков [и др.] // Зоотехническая наука Беларуси : сб. науч. тр. – Жодино : Науч.-практический центр НАН Беларуси по жив-ву, 2014. – Т. 49, ч. 2. – С. 139-147.
10. Масло из рапса с пониженным содержанием антипитательных веществ в рационах бычков / Т. Л. Сапсалева [и др.] // Сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства. – Ставрополь, 2014. – Т. 2, № 7. – С. 182-186.
11. Пилюк, Я. Рапс / Я. Пилюк // Поле Августа. – 2007. – № 8. – С. 10.
12. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных : справ. пособие / А. П. Калашников [и др.]. – Москва, 1985. – 352 с.

УДК 637.1.026

К ВОПРОСАМ ОЧИСТКИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ НА ВЫХОДЕ ИЗ РАСПЫЛИТЕЛЬНЫХ СУШИЛОК

Г. Е. Раицкий, И. С. Леонович

УО «Гродненский государственный аграрный университет»
г. Гродно, Республика Беларусь
(Республика Беларусь, 230008, г. Гродно, ул. Терешковой, 28
e-mail: ggau@ggau.by)

Ключевые слова: *Распылительная сушилка, молоко, очистка теплоносителя, циклоны, технологические недостатки.*

Аннотация. Парк сушилок распылительного типа в Республике Беларусь последовательно возрастает. Оборудование закупается за рубежом и относится к разряду самого дорогостоящего. При этом конструктивная проработка задач очистки теплоносителя после сушильной башни не имеет удовлетворительных решений. Традиционно устанавливаемые в системе аспирации циклоны имеют низкий коэффициент полезного действия по выделению из потока теплоносителя дисперсной фазы – молочного порошка. Он составляет по оценкам самих производителей не более 0,7. Существуют рукавные фильтры зарубежного производства. Опыт показывает, что эти дорогостоящие аппараты не способны решать большинство технологических задач. Молочная отрасль несет большие энергетические и материальные потери.

Наука Беларуси должна считать своей обязанностью последовательно исследовать процесс очистки теплоносителя, ставить и решать задачи создания новых технологий и оборудования, более эффективных и менее дорогих.

TO QUESTIONS OF CLEANING OF THE HEAT CARRIER AT THE EXIT FROM DRYERS OF SPRAYING

G. E. Raitsky, I. S. Leonovich

EI «Grodno State Agrarian University»

(Belarus, Grodno, 230008, 28 Tereshkova st.; e-mail: ggau@ggau.by)

Key words: *Dryer of spraying, milk, cleaning of the heat carrier, cyclones, technologically shortcomings.*

Summary. *The park of spraying dryers types consistently increases in Republic of Belarus. The equipment is bought abroad and belongs to the category of the most expensive. At the same time constructive study of problems of cleaning of the heat carrier after a drying tower has no satisfactory decisions. The cyclones which are traditionally established in system to aspiration have low efficiency on allocation from a stream of the heat carrier of a disperse phase – dairy powder. He makes by estimates of producers no more than 0,7. There are hose filters of foreign production. Experience shows that these expensive devices aren't capable to solve the majority of technological problems. The dairy branch sustains big power and material losses.*

The science of Belarus has to consider the as a duty to consistently investigate process of cleaning of the heat carrier, to put and solve problems of creation of new technologies and the equipment, more effective and less expensive.

(Поступила в редакцию 31.05.2016 г.)

Введение. Распылительные сушилки для сушки молочных продуктов – самые низкоэффективные в энергетическом смысле устройства для обезвоживания продуктов. Имеют показатели на порядок хуже вакуум-выпарных установок и на два и более – мембранных устройств. При этом рекуперация затраченной тепловой энергии невозможна при существующем уровне содержания молочного порошка в воздухе – теплоносителе на выходе из системы аспирации. Выброшенный в окружающую

среду продукт является средоточием большого количества энергии затраченной на процесс производства молока, обработки и переработки его на молочном предприятии. Такой продукт, кроме прямых потерь, является причиной напряженной санитарно-экологической обстановки в зоне работы сушилок. Эксплуатация дополнительных устройств доочистки теплоносителя сопряжена с большими производственными затратами. Тем не менее заводы, имеющие такие устройства, например нормализованные по конструкции и количеству циклоны или фильтры рукавные, положительно оценивают баланс их недостатков и результатов использования и осуществляют мероприятия по увеличению их количества. Таким образом, создание лучших технологий и аппаратов очистки теплоносителя актуально и экономически целесообразно.

Цель работы: исследовать весь спектр используемых на молочных предприятиях Беларуси технологий и устройств очистки теплоносителя на выходе из сушильной башни распылительной сушилки молочного производства с учетом их влияния на сам процесс сушки и гидродинамической обстановки в сушильной башне. Выявить причины низкой эффективности выделения молочного порошка из потока воздуха методом центробежного осаждения. Сформулировать задачи на создание процесса и аппаратуры, существенно повышающих эффективность центробежного осаждения.

Материал и методика исследования. Материалом исследования являются распылительные сушильные установки, используемые на молочных производствах Республики Беларусь. Нами исследованы установки фирм «Воздухоторг» типа VRA, «Ангидро» с объемом выводимого теплоносителя 40-50 тыс. м³/час и сушилки «Geo», «Ниро-Атомайзер» с объемом 130 тыс. м³/час.

Цели и задачи исследований формировались по результатам натурального обследования работающего оборудования в процессе сушки различных молочных продуктов на сушилках VRA и Geo, принадлежащих ОАО «Беллакт». Исследования типоразмерных показателей, гидродинамической обстановки работы оборудования, структуры и свойств молочного порошка в системе аспирации теплоносителя проведены с использованием научной, учебно-методической, нормативной, специальной и общетехнической литературы, патентного фонда НРТБ.

Результаты исследований и их обсуждение. Большие потери сухих молочных продуктов, уносимых в окружающую среду отработанным воздухом-теплоносителем, очевидны при нахождении в радиусе до 1 км от места работы сушильной установки. Молочный порошок замечен на всех поверхностях зоны. Количественная оценка потерь [1] готового сухого продукта, наряду с широким распространением в Рес-

публике Беларусь процессов сушки молочных продуктов, большой энергоемкостью этих процессов, убедительно указывает на необходимость рассмотрения проблемы в свете и структуре существующей государственной программы энергосбережения. Решению подлежат следующие задачи: исследование причин потерь готового продукта при нормативной по техническим показателям работе сушильных установок, с выявлением нарушений в техническом состоянии узлов, агрегатов, определяющих некоторую часть таких потерь; разработка мероприятий, способов, устройств постадийно снижающих потери. На первой стадии следует добиться эффективности пылеулавливания, декларируемой для циклонов высокой эффективности – 84,2% [2]. На второй – до уровня возможности использования теплоносителя в рециркуляционном цикле. Доступность положительных результатов возможна при учете определяющих параметров технологии аспирации сушильных башен. В первом ряду таких параметров следует рассматривать дисперсную фазу отработанного теплоносителя, ее размерные, массовые, теплотехнические, адгезионные характеристики во взаимосвязи с гидродинамическими условиями перемещения на участке «сушильная башня – основное оборудование очистки – вентилятор – дополнительное оборудование доочистки – окружающая среда». Здесь необходимо отметить, что существующее в производственной эксплуатации оборудование аспирации в целом и оборудование осаждения молочного (или других сухих молочных продуктов) порошка предназначено в целом для вывода всего объема поступающего в сушильную башню сухого нагретого воздуха, с обеспечением беспрепятственного движения основного объема продукта от зоны распыления до вывода из сушильной башни, без создания перепада гидродинамического напора по объему башни (рис. 1). Решению этой важной составляющей процесса сушки подчинены все другие параметры работы системы аспирации. По этой причине не решаются задачи изменения направления потока падающего внутри башни порошка вблизи зоны забора воздуха из башни во всасывающий коллектор. Считается, что по центральной части объема башни падает самый «мелкий» порошок, не выведенный центробежными силами к ее внутрицилиндрической периферии. Этим объясняется незначительное количество относительно крупных частиц порошка в удаляемом теплоносителе, имеющих размеры 10-15 мкм [2] и эффективно затем улавливаемых существующими циклонами. В то же время мелкие, субмикронные частицы центробежному осаждению в используемых циклонах не подвержены вообще и, за редкими исключениями, уносятся с потоками воздуха в окружающую среду.

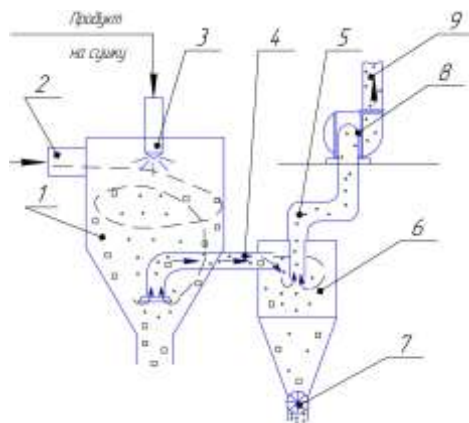


Рисунок 1 – Схема сушильной башни и системы аспирации распылительной сушилки:

1 – башня сушильная; 2 – воздуховод сухого горячего теплоносителя;
3 – распылитель центробежный; 4 – всасывающий коллектор вывода отработавшего теплоносителя; 5 – всасывающий патрубок циклона; 6 – циклон;
7 – шлюзовой затвор; 8 – вентилятор центробежный привода системы аспирации; 9 – труба вывода теплоносителя в окружающую среду

условные обозначения:

□□□□ – крупные частицы сухого продукта ($10 \text{ и } > \text{ мкм}$),

..... – мелкие частицы сухого продукта ($< 10 \text{ мкм}$).

Это в частности объясняет большие потери сухой сыворотки, состоящей из мелких частиц. Таким образом, уже в сушильной башне потоки падающих сухих частиц продукта в значительной степени классифицируются на относительно крупные и мелкие, которые в значительном количестве попадают во всасывающий коллектор и далее в циклоны.

В подавляющем большинстве сушильных установок сушильная башня оснащена двумя циклонами. Существует достаточно большое количество конструкций циклонов. В работе [3] представлены технико-экономические показатели циклонов средней эффективности (65,3%), высокой эффективности (84,2%), батарейные циклоны (93,8%), мокрые циклоны (91%) и др. Циклонами высокой эффективности считаются устройства конструкции НИИОГаза. Схема оптимальных соотношений размерных характеристик представлена на рис. 2.

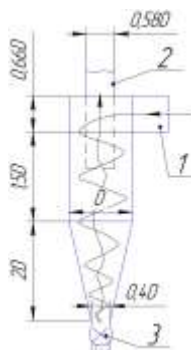


Рисунок 2 – Циклон НИИОГаза

Диаметр D такого циклона, являющийся базовым размером, не может быть больше 1,2 м.

Батарейные циклоны имеют еще меньшие размеры модулей и состоят из большого количества этих модулей. С учетом ранее указанного условия использования циклонов совместно с сушильной башней по сохранению гидродинамики потока в башне, циклоны не должны иметь значительного гидравлического сопротивления. Следовательно, необходимо ставить значительное количество циклонов подобных НИИОГаза, что усложняет систему воздухопроводов на входе и выходе из циклонов. Тем не менее по такому пути пошла компания «Ангидро», и в общем обеспечила эффективность очистки воздуха, поступившего в систему аспирации, до 80-85%.

В подавляющем большинстве современные установки комплектуют циклонами средней эффективности очистки с диаметром цилиндрической части $2 \div 3$ м, что обеспечивает при длине, сопоставимой с высотой сушильной башни, гидравлическое сопротивление прохода отработанного теплоносителя $900 \div 1000$ Па. Габаритные размеры каждого из двух циклонов установки VRA-4, наиболее широко представленной в Республике Беларусь составляют: диаметр цилиндрической части 2,0 м, высота цилиндрической части 1,5 м, общая высота циклона 5,8 м, площадь входного патрубка $0,32 \text{ м}^2$, диаметр выводного патрубка 0,130 м. Расчетная скорость входа теплоносителя в циклон составляет около 25 м/с, что близко к оптимальному показателю для процесса циклонирования и обеспечивается установкой двух циклонов. Другие показатели: длина пути частицы до соприкосновения с циклоном, соотношение диаметров собственно циклона и выводного патрубка значительно отличается от оптимальных. Соотношение фактических раз-

мерных показателей (рис. 3), при том что D не должно превышать 1,2 м, приводит к тому, что собственно процесса циклонирования не происходит, хотя скорость входа теплоносителя, являясь основным параметром центробежного осаждения, близка к оптимальной. Следует иметь ввиду, что масса частиц, особенно субмикронных размеров, очень мала и инерционная составляющая движения их в циклоне невысока. Частицы не в состоянии преодолеть влекущую силу потока теплоносителя и соприкоснуться со стенкой циклона, удерживаясь на ней за счет адгезии. Следует думать, что именно по этой причине размеры циклонов так велики. При входе в большой объем (характеризующийся площадью поперечного сечения), скорость потока резко снижается, пропорционально отношению площадей поперечного сечения цилиндрической части и входного патрубка $3,14/0,32 = 9,81$ раз., соответственно $25/9,81 = 2,55$ м/с.

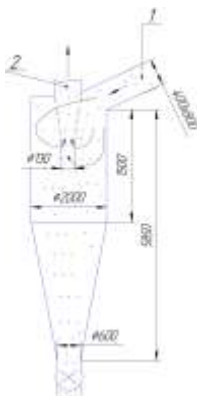


Рисунок 3 – Схема работы и размеры циклона сушильной установки VRA-4

Выходной патрубок из циклона имеет резко уменьшенную, по сравнению с оптимальной, площадь сечения. Нужно рассматривать такое сочетание конструктивных и динамических показателей, как создание возможности гравитационного осаждения в объеме циклона частиц, не попавших в зону всасывания выходного патрубка. Рассмотрим здесь схему движения частиц в циклоне высокой эффективности НИИОГаза (рис. 2). Поток газа входит в тангенциально врезанный в цилиндрическую часть циклона патрубок 1. Если движение обеспечивается за счет напора газа, созданного в патрубке нагнетающим вентилятором, то поток совместно с частицами продукта совершает спиральные движения с общим направлением вниз. Частицы при сопри-

косновении с внутренними стенками осаждаются на них и далее совершают движение вниз, отставая от газового потока, и попадают в выводящий из циклона шлюзовой затвор 3. Поток очищенного газа при соприкосновении с затвором образует восходящий вихрь и выводится через осевой выходной патрубок 2.

Исходя из ранее изложенных соображений, касательно используемых на распылительных установках циклонов средней эффективности и направления движения теплоносителя в соответствии с рис. 1, рассмотрим работу такого циклона (рис. 3).

Патрубок 2 подключен к всасывающему воздуховоду вентилятора 9 (рис. 1). Поток из сушильной башни по воздуховоду 1 (рис. 3) входит в циклон под действием разряжения, создаваемого в патрубке 2. Инерционность потока, обусловленная высокой скоростью в патрубке 1, приводит к тому, что на входе в цилиндрическую часть циклона он начинает совершать движения вдоль криволинейной цилиндрической поверхности. Но скорость в объеме циклона резко снижается и спирального движения по всей внутренней поверхности не происходит. Образуется генеральный поток теплоносителя в верхней части циклона, направленный к выходному патрубку 2. Частицы продукта, не попавшие в этот поток, падают в объеме циклона и выводятся шлюзовым затвором. Остальные потоком выводятся из циклона через патрубок 2 и вентилятор 9 (рис. 1) в окружающую среду. Таким образом, решая задачу снижения гидравлического сопротивления циклонов в системе аспирации сушильной башни за счет увеличения их объема и соответственно основных размеров, процесс центробежного осаждения частиц молочного порошка превращен в инерционно-гравитационный, а большое количество микронных и субмикронных частиц попадает в зону выходного всасывающего патрубка и поступает в вентилятор и далее в окружающую среду. С учетом малой массы большинства частиц, поступивших из сушильной башни в большие циклоны системы аспирации, такое техническое решение рационально, но не решает проблему качества очистки и больших потерь сухого продукта.

Заключение. В результате анализа условий аспирации теплоносителя в системе сушилок VRA-4 выявлена основная причина больших потерь продукта – несоответствие конструкции циклона и организации движения потока теплоносителя после сушильной башни.

1. Мелкие и субмикронные частицы не могут быть центрифугированы в циклонах большого диаметра и смонтированных до вентиляторов.

2. Нормативная технология сушки по показателям гидродинамической обстановки, исправности всех узлов и агрегатов, не определяют

качество очистки в процессе циклонирования. Следует выделить только состояние шлюзовых затворов на циклонах. При недостаточной плотности они значительно увеличивают потери.

3. Следует дополнительно исследовать качество очистки теплоносителя при изменении места расположения вентилятора – между сушильной башней и циклонами.

4. Обеспечение эффективности очистки до уровня циклонов высокой эффективности возможно при создании новых способов и устройств их обеспечения, направленных на изменение режима движения потока теплоносителя в целом и твердых включений в нем в частности.

5. Для достижения уровня очистки теплоносителя, соответствующего рециркуляции теплоносителя, следует искать технологическую альтернативу осаждению фильтрованием и циклонированием. Нам она представляется в виде использования активных рециркуляционных скрубберов. Необходимо учитывать возможность использования выведенного из потока воздуха порошка, как полноценного продукта, например, по показателям микробного обсеменения. Задачи непростые, требующие дальнейших исследований, затратной опытно-конструкторской работы, но не имеющие альтернативы. Условно пригодные для задач доочистки теплоносителя фильтрующие системы стоят около 250 тыс. евро и не могут быть использованы при сушке жиросодержащих молочных продуктов, т.е. могут быть использованы только при производстве обезжиренного сухого молока. Но опыт эксплуатирующих их производств показывает, что объемы отфильтрованного продукта очень велики (до 500 кг в сутки). Необходимо определиться, следует ли и далее закрывать глаза на существующие проблемы, решать их путем традиционных покупок за рубежом или разрабатывать и создавать свои, отечественные, с перспективой получения экспортного высоколиквидного оборудования, пригодного для реализации в т.ч. за рубежом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Раицкий Г. Е. К вопросу больших потерь при сушке молочных продуктов на распылительных сушилках / Раицкий Г. Е., Леонович И. С. //Сельское хозяйство – проблемы и перспективы: сб. науч. тр. / УО «ГГАУ». – Гродно, 2015. Т.31: Зоотехния. – С. 182-191.
2. Леонович И.С. Эффективность очистки отработанного воздуха циклонами на примере распылительных сушилок молочной промышленности / Леонович И.С., Раицкий Г.Е.// Современные технологии сельскохозяйственного производства: м-лы XVIII международной научно-практической конференции/ УО «ГГАУ». Гродно, 2015. – С. 267-269.
3. Паршинцев В. Н. Разработка и научное обоснование способа очистки теплоносителя в рециркуляционных сушилках: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12 / Паршинцев В. Н.– Воронеж, 2003. – 128 с.