

УДК 637.1.026

**К ВОПРОСУ БОЛЬШИХ ПОТЕРЬ ПРИ СУШКЕ
МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ
НА РАСПЫЛИТЕЛЬНЫХ СУШИЛКАХ**

Г. Е. Раицкий, И. С. Леонович

УО «Гродненский государственный аграрный университет»,
г. Гродно, Республика Беларусь

(Поступила в редакцию 11.06.2015 г.)

Аннотация. *Существующее оборудование распылительной сушки имеет ряд технологических недостатков. Основным из них необходимо считать большой выброс пылевидного продукта с отработанным теплоносителем в окружающую среду. Системы фильтрации отработанного воздуха, разра-*

ботанные по аналогии с общетехническими рукавными фильтрами, недостаточно надежны и трудоемки в эксплуатации, громоздки и дорого стоят. По этим причинам они практически не используются на молочных предприятиях Республики Беларусь.

В результате научного поиска нами разработана технология, включающая способ и устройства мокрой очистки пылевых выбросов из распылительных сушилок.

Summary. The existing equipment of spray drying has a number of technological shortcomings. The basic needs to be considered big emission of a dust-like product with the fulfilled heat carrier in environment. The systems of filtering of the fulfilled air developed by analogy with all-technical hose filters are insufficiently reliable and labor-consuming in operation, are bulky and cost much. For these reasons are practically not used at the dairy enterprises of Republic of Belarus.

As a result of scientific search we developed the technology including a way and devices of wet cleaning of dust emissions from the spray of dryers.

Введение. Основные принципы и оборудование сушки молочных продуктов в потоке горячего сухого воздуха разработаны в 50-60 гг. прошлого столетия. Достигнутые решения позволяют получить сухие продукты высокого качества по показателям нативности и растворимости. При этом задачи снижения энергоемкости процесса, больших потерь продукта на выходе из сушильной установки с отработанным теплоносителем решались в недостаточной степени. В настоящее время переработчики молока рассматривают указанные недостатки как неизбежную данность. Большие объемы отводимого из сушильной башни теплоносителя определяют использование циклонов с объемно-размерными показателями, не обеспечивающими улавливание пылей размером 20 мкм и менее. В результате в окружающую среду с отработанным воздухом выбрасывается продукт в количественном диапазоне $120 \div 800 \text{ мг/м}^3$, в среднем $240\text{-}250 \text{ мг/м}^3$, при том что используются сушилки с производительностью по воздуху в основном 46 тыс. $\text{м}^3/\text{час}$, часто – 130 тыс. $\text{м}^3/\text{час}$. Таким образом, возникают три острые проблемы: создаются большие потери готового продукта, отработанный воздух не может быть использован в системах рекуперации тепла, загрязняется окружающая среда.

Цель работы: исследовать причины и последствия выбросов продукта из распылительных сушилок с отработанным теплоносителем, оценить известные технологии и устройства на степень их возможности и эффективности использования в составе распылительных установок; разработать способ и устройство улавливания пылей из отработанного теплоносителя, потенциально пригодного для проектирования, изготовления и эксплуатации в Республике Беларусь.

Материал и методика исследования. Материалом исследования являются распылительные сушильные установки, используемые на молочных производствах Республики. Нами исследованы установки фирм «Вздухоторг», (Словакия) типа VR, «Ангидро» с объемом выводимого теплоносителя 40-50 тыс. м³/час, и сушилки фирмы Geo, «Ниро-Атомайзер», – с объемом 130 тыс. м³/час. Сушилки более мелкие (РС-1000, А1-ОРЧ и т.п.) не рассматривались, исходя из того, что решение проблемы обеспыливания их выбросов значительно проще, чем для указанных средних и крупных, и заведомо более легко достижимо использованием предлагаемых способов и устройств.

Цели и задачи исследований определялись путем натурального обследования действующих сушильных установок VR и Geo на ОАО «Беллакт». Исследования существующих и эксплуатирующихся способов и устройств очистки теплоносителя от продукта производились анализом научно-технической, специальной литературы, патентных материалов, статей, диссертаций и т. п.

Результаты исследований и их обсуждение. Из существующих технологий обеспыливания промышленных газов нами выбраны в качестве потенциально пригодных три: очистка в циклонах, очистка газов фильтрованием через ткани и нетканые материалы, очистка газов в потоке орошающей жидкости. Использование электрофильтров не рассматривалось по причине большой взрывоопасности в системе дорогостоящего оборудования. Следует заметить имеющуюся аналогичную опасность фильтрования через тканые и нетканые, натуральные и искусственные материалы из-за необходимости проведения исчерпывающих мероприятий по нейтрализации статического электричества и его разрядов, с использованием специальных лицензированных технологий и сторонних организаций. Нами произведен анализ возможностей циклонного оборудования, во взаимосвязи с объемами очищаемого теплоносителя на сушильных установках [1, 2].

Успешно очищать пыли могут циклоны с ограниченным диаметром цилиндрической части. Максимальное значение не может превышать 1200 мм, в противном случае твердые частицы, входящие в объем циклона через тангенциально направленный впускной патрубок, не все могут достичь стенки и будут выброшены из циклона вместе с потоком газа (воздуха). Наши исследования показывают, что все частицы сухого молока с размерами менее 20 мкм улавливаются методом циклонирования не будут, даже при рекомендуемых размерных характеристиках циклонов, а при существующей практике установки циклонов с диаметром цилиндрической части до 3000 мм (Ниро-Атомайзер) речь идет о больших потерях частиц с размерами в микронном диапа-

зоне. Так, в соответствии с исследованиями Самсонова В. Н. [3], во взаимосвязи со степенью регулированности (скорость потока, герметичность, чистоты внутренних поверхностей, перепада давления) с отработанным теплоносителем из сушильной установки в окружающую среду при сушке обезжиренного молока на сушилках производительностью 1000 кг испаренной влаги в час выбрасывается $10 \div 23$ кг/час сухого продукта, для сыворотки эта величина может быть равной 36,8 кг/час.

В системе выпускающихся и эксплуатируемых сушильных установок, такие заведомо не приемлемые габариты циклонов применяют, исходя из компромиссного технического предположения, что установка циклонов малых размерных значений резко ухудшает гидродинамическую обстановку движения потока отработанного воздуха, создавая большое гидравлическое сопротивление, а установка большого количества групповых или батарейных циклонов приводит к значительному усложнению воздухопроводов и не гарантирует их работоспособность на протяжении процесса сушки, что чревато необходимостью остановки процесса, прочистки всей системы. Тем не менее именно по этому пути идут некоторые производители сушильных установок. Так, фирма «Ангидро» устанавливает на сушилки средней мощности (1-2 тыс. кг испаренной влаги в час) 8 циклонов. На установке А1-ОР2Ч ставят 4 циклона, добиваясь при этом значительного улучшения процесса очистки. Тем не менее циклонирование не позволяет поднять уровень очистки отработанного воздуха до приемлемых значений. При всех попытках улучшения на путях усложнения конструкций, принципы осаждения очевидно не имеют перспектив, особенно при решении проблем рекуперации тепла, выводимого из сушилки.

Фильтрация отработанного воздуха позволяет достичь хороших результатов по степени очистки – до 98%. В системе сушильных установок оно может быть использовано, исходя из невысокой степени содержания твердого материала – $170-800$ мг/м³, при том что рукавное фильтрование допустимо при наличии 60 г/м³. Трудности использования фильтрования заключаются в невозможности очистки сухой сыворотки, продуктов, содержащих липкие адгезирующие составные, в недостаточной степени отделяемые от фильтровального материала в процессе регенерации его встряхиванием или продувкой. Специальная литература [4] рекомендует нагрузку по очищаемому воздуху не более 3 м³/м² фильтра в минуту. При этом основным способом регенерации фильтровальных поверхностей признана импульсная продувка их сжатым воздухом, что определило эффективное значение диаметра фильтровального рукава – 180 мм. Эти обстоятельства делают практически

невозможным использование рукавного фильтрования для установок с большим расходом воздуха – теплоносителя. Речь идет о сотнях, более тысячи рукавов в составе одного фильтра, что делает его конструкцию громоздкой, трудно обслуживаемой и регулируемой. Примером может служить система послещиклонного фильтрования «энергосэкономной» сушилки «Ангидро», практически неработоспособной в реальном производстве. Именно поэтому фирма пытается решить задачу на путях очистки воздуха системой групповых циклонов, заведомо отказавшись от высокой степени очистки в пользу относительной простоты конструкции и работоспособности.

Рассматривая возможность мокрой очистки теплоносителя распылительных сушилок следует заметить, что опыт такой очистки уже имеется. Сушильные установки, производимые Калиновским заводом Винницкой области (Украина), с максимальным расходом теплоносителя 25 тыс. м³/ч, А1-ОРЧ и её модификации выпускались с различным оборудованием очистки воздуха на выходе: циклоны, фильтры тканевые и скруббер. При этом фильтры и скруббер устанавливались после циклонов, рассматриваясь как оборудование доочистки. На сушилке А1-ОРЧ-01 использовали скруббер Я9-ОМП-1, представляющий собой емкость сопоставимых с сушильной башней размеров, в которой в качестве орошающей жидкости использовано собственно молоко, направляемое после орошения на сгущение, без рециркуляции в системе скруббера. Большой объем емкости скруббера определен необходимостью сохранения низкого суммарного гидравлического сопротивления системы движения пылевого потока. Достаточную плотность орошения в этих условиях с использованием форсуночных распылителей молока достигнуть не удалось, что определило невысокую степень очистки – 90-96%. Высокую степень очистки пылей обеспечивают скрубберы Вентури. Они эффективно улавливают микронные (до 2 мкм) частицы, обеспечивая очистку до 99% твердых включений. Недостатком оборудования является конструктивная особенность образования смачивающего потока в диффузорах (или конфузорах) с большим местным сопротивлением. В результате скруббер имеет гидравлическое сопротивление 15-35 кПа, что исключает их использование в системе распылительных сушилок даже малых и средних. С учетом рассмотренных способов и устройств осаждения, фильтрования и улавливания твердых включений из потока теплоносителя, больших его объемов, нами сделан вывод о целесообразности разработки способа и устройства мокрой очистки потока воздуха, обеспечивающих низкое регулируемое гидравлическое сопротивление путем использования активного рабочего ротора с регулируемой скоростью вращения.

обеспечивающего высокую плотность орошения на уровне скруббера Венгури и получения в результате растворения сухой молочной пыли в горячей воде продукта с показателями, позволяющими его сушку без промежуточного выпаривания.

Нами разработаны способ и устройство мокрой очистки отработанного теплоносителя, направленные на обеспечение возможности эффективного обеспыливания больших потоков воздуха на выходе из распылительных сушилок, составляющих 40 тыс. м³/час и более, повышение эффективности очистки, снижение гидравлического сопротивления процесса обеспыливания, использование в качестве орошающей жидкости воды, с доведением концентрации восстановленного молока до значений, позволяющих непосредственную сушку без сгущения на вакуум-выпарной установке.

Технологический результат достигается тем, что воздух после выхода из сушильной установки последовательно обеспыливается при контакте со смоченной поверхностью, орошением капельно-пленочными потоками горячей воды и восстановленного молочного продукта, выводится в центробежный циклонный каплеотделитель и далее в окружающую среду, при этом орошение осуществляется с использованием роторного устройства, обеспечивающего низкое гидравлическое сопротивление процесса обеспыливания в малогабаритном аппарате, а концентрация и консистенция восстановленного с использованием роторного устройства и насоса диспергатора молочного продукта доводятся до показателей, позволяющих его непосредственную сушку без предварительного выпаривания.

Способ осуществляется следующим образом. Очищаемый воздух из сушильной башни и циклонов предварительной очистки по вертикальному воздуховоду с площадью поперечного сечения, равную площади поперечного сечения напорного воздуховода вытяжного вентилятора сушилки, поступает в скруббер, где по инерции ударяется о смоченную горячей водой контактную поверхность. С учетом большого объема поступающего воздуха при этом смачивается только небольшая часть его. После этого поток поступает к ротору, воздействуя на его верхнюю половину в тангенциальном направлении, что позволяет использовать энергию этого потока для снижения затрат электроэнергии на вращение ротора. Здесь достигается большая плотность орошения воздуха каплями и жидкостными пленками, образующимися ротором из подводимой от насоса диспергатора к центру его вращения жидкости. После этого поток воздуха снова направляется на контактную смоченную поверхность скруббера по другую сторону от ротора и выходит в

циклон-каплеотделитель, а далее, в зависимости от места установки аппарата, в окружающую среду или в вытяжной вентилятор сушилки.

Орошающая вода вместе с поглощенными частицами молочной пыли стекает через щели между контактной смоченной поверхностью и стенками скруббера в его поддон и в нижнюю часть циклона-каплеотделителя, откуда по трубопроводам поступает в насос диспергатор, где эффективно растворяется молочная пыль и эмульгируются жирные составляющие при их наличии. Насос диспергатор закачивает полученные раствор и эмульсию в ротор, где они под действием лопастей образуют капельно-пленочную субстанцию, смачивают объем перекачиваемого ротором воздуха и контактную поверхность скруббера. В результате в растворе последовательно повышается концентрация сухих веществ. При достижении массовой доли сухого вещества 35-50%, в зависимости от типа распылительной сушилки, раствор самотеком поступает в буферную емкость, и далее подается на распылитель сушилки. Процесс работы скруббера при этом не прерывается. При достижении нижнего уровня в поддоне скруббера самотечный слив раствора прекращается и в емкости аппарата до рабочего уровня, установленного в поддоне скруббера, нагнетается чистая горячая вода. Температура воды находится в интервале 63,5-65°C, что соответствует температурному режиму долговременной пастеризации. С учетом того, что температура воздуха, поступающего в скруббер из сушилки, составляет 65-72°C, в процессе работы аппарата поддерживаются условия, препятствующие жизнедеятельности микроорганизмов, поэтому раствор восстановленного молочного продукта пригоден для непосредственной сушки. Для особых условий может быть предусмотрена транспортировка раствора до входа в сушильную башню через трубчатый пастеризатор.

Реализация способа поясняется рис. 1, где изображена технологическая схема последовательности операций жидкостной очистки воздуха на выходе из распылительной сушильной установки 1 после её вытяжного вентилятора 3. Двухпозиционный шибер 5 направляет поток воздуха в воздуховод 6, расположенный в зоне блокирования с скруббером 7 вертикально. Поток ударяется о смоченную поверхность контактной пластины 18 и, направляемый пластиной 17, поступает к верхней половине ротора 8, где эффективно смачивается каплями и жидкостными пленками, образующимися лопастями ротора из жидкости, подаваемой к центральной оси его вращения насосом диспергатором 14. В качестве смачивающей жидкости используется чистая горячая вода, заполняющая аппарат до начала работы по показаниям датчика рабочего уровня (РУ) 19, установленного с учетом возможности повышения

уровня до верхнего (ВУ) 20 по мере растворения молочного порошка. Поток смоченного воздуха ротором направляется снова на контактную пластину 18 и под давлением выходит в тангенциально расположенное к корпусу окно циклона-каплеуловителя 10. Здесь происходит центробежное отделение жидкости от воздуха, который выходит в окружающую среду через верхнюю трубу 9.

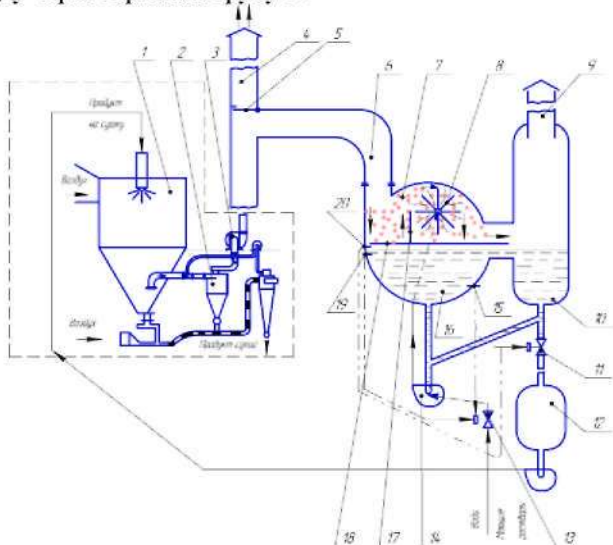


Рисунок 1 – Способ жидкостной очистки воздуха на выходе из распылительной сушильной установки:

- 1 – сушильная установка; 2 – циклон; 3 – вытяжной вентилятор;
- 4, 6 – воздуховоды; 5 – двухпозиционный шибер; 7 – скруббер;
- 8 – ротор; 9 – труба; 10 – циклон-каплеуловитель; 11, 13 – вентили;
- 12 – буферный бак; 14 – насос диспергатор; 15 – датчик нижнего уровня;
- 16 – поддон; 17, 18 – пластины; 19 – датчик рабочего уровня;
- 20 – датчик верхнего уровня

Жидкость, поступившая на контактную пластину 18, стекает с неё через щели у корпуса скруббера 7 в его поддон 16. Процесс продолжается до повышения уровня восстановленного жидкого молочного продукта до датчика верхнего уровня (ВУ) 20, место установки которого согласуется с достижением заданной концентрации раствора (35-50%). После этого автоматически открывается запорный орган вентиля 11 и раствор (восстановленный молочный продукт) самотеком поступает в буферный бак 12 сушильной установки, откуда подается на распылитель сушиль-

ной башни, где производится его сушка. По достижению нижнего уровня (НУ) 15 истечение восстановленного молочного продукта в буферный бак 12 прекращается перекрытием вентиля 11. Автоматически открывается вентиль 13 и емкости поддона 16 скруббера 7 и нижней емкостной части циклона-каплеуловителя 10 заполняются водой до достижения датчика рабочего уровня (РУ) 19, после чего вентиль 13 прекращает наполнение. Процесс очистки воздуха продолжается без остановки.

Установка аппарата после вытяжного вентилятора 3 сушильной установки 1 целесообразна в случае сушки кормовых молочных смесей (ЗЦМ). В этом случае после окончания сушки на сушильной башне и циклонах предварительной очистки воздуха 2 осуществляется штатная работа по обметанию, чистке, техническому обслуживанию. При этом двухпозиционный шибер 5 перекрывает воздуховод 6, одновременно открывая воздуховод 4, куда нагнетается выходящий из сушилки воздух. Аппарат очистки воздуха в это время моется с использованием моющих растворов, поступающих через вентиль 13 в соответствии с программой мойки.

В случае сушки пищевых продуктов аппарат следует размещать в разрыве между циклонами предварительной очистки 2 и вытяжным вентилятором 3 с локализацией процесса мойки аппарата от циклонов и включением в этот процесс вытяжного вентилятора и его воздуховодов.

Заключение. Эксплуатирующиеся на молочных заводах Беларуси распылительные сушилки не имеют удовлетворительных технологий очистки отработанного воздуха от пылевидных включений продукта. В окружающую среду выбрасывается большое количество готового сухого продукта. С учетом того, что сушилки для таких заводов являются основным технологическим оборудованием и работают в год около 5000 ч, суммарные потери для средней сушилки (1000 кг испаренной влаги в час) составят, во взаимосвязи с техническим состоянием, регулированностью 27÷90 т по сухому молоку, 135÷180 т по сухой сыворотке или сухим продуктам переработки сыворотки. С учетом того, что сухое молоко по массе составляет 9-12,5% от сырья, а сухая сыворотка (белковый концентрат) около 6%, необходимо знать, что каждая такая сушильная установка ежедневно бесцельно перерабатывает удой стада 80-297 коров с удоем 5000 кг за год. Результаты работы по организации стада, его содержанию, доению, переработке молока на заводе уходят в небо, загрязняя окружающую среду и резко снижая энергоэффективность всего цикла производства.

Предложенная технология и оборудование позволяют решить эту задачу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Леонович И. С., Раицкий Г. Е. 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.
2. Леонович И. С., Раицкий Г. Е. Оценка потерь продукта при работе сушилок распылительного типа / Леонович И. С., Раицкий Г. Е. // Современные технологии сельскохозяйственного производства: м-лы XVIII международной научно-практической конференции/ УО ГГАУ, Гродно.
3. Самсонов, В. Н. Совершенствование процесса использования теплоты отработанного воздуха на примере сушильных установок молочной промышленности: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12 / Самсонов Владимир Николаевич. – М., 2003. – 174 с.
4. Штокман Е. А. Очистка воздуха от пыли на предприятиях пищевой промышленности.-М.: Агропромиздат, 1989. – 311 с.