

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВНЕДРЕНИЯ БЕЗОТХОДНЫХ И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ПРИМЕРЕ ПРОИЗВОДСТВА СУХОГО МОЛОКА

Плотников К.Б., Даниленко М.И.

ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)», Кемерово, Россия (650056, Кемерово, б-р. Строителей, 47), e-mail: office@kemtipp.ru

Проведен анализ существующей линии производства сухого молока, в результате которого было выявлено, что потери сырья после очистки сушильных газов и нерациональное использование удельной энергии на проведение процесса сушки приводят к снижению экономической эффективности производства в целом. Для повышения экономической эффективности линии была предложена двухступенчатая схема очистки сушильных газов с последующим возвращением теплового агента в технологическую линию. В результате обработки данных по пылеулавливанию в роторном аппарате были разработаны предложения по его промышленному использованию. По результатам экспериментов была произведена экономическая оценка данного предложения, рассчитан срок окупаемости капитальных вложений и годовой экономический эффект от внедрения. В результате анализа полученных данных и сравнения их с аналогами была доказана перспективность использования роторного аппарата в качестве второй ступени очистки сушильных газов.

Ключевые слова: роторный аппарат, экономическая оценка, пылеочистка.

ECONOMIC EVALUATION OF INTRODUCTION OF ZERO-EMISSION AND ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES ON THE EXAMPLE OF THE DRIED MILK PRODUCTION

Plotnikov K.B., Danilenko M.I.

FSBEI HVE «Kemerovo Institute of Food Science and Technology», Kemerovo, Russia (650056 Kemerovo, Russia, 47 Stroiteley Boulevard), e-mail: office@kemtipp.ru

The analysis of existent line of the dried milk production pointed that losses over of raw material after cleaning of drying gases and inefficient use of specific energy on realization of drying process brings to the decline of economic efficiency of production on the whole. For the increase of economic efficiency of line the two-level scheme of drying gases cleaning were offered with the subsequent return of thermal agent in a technological line. As a result of data processing on dust catching in a rotor vehicle suggestions were worked out on its industrial use. On results experiments the economic evaluation of this suggestion was produced, the term of recoupment of capital investments and annual economic effect are expected from introduction. As a result of analysis of the obtained data and comparison of them with analogues perspective of the use of rotor vehicle was well-proven as the second stage of drying gases cleaning.

Keywords: rotor vehicle, economic evaluation, dust cleaning.

В условиях экономического кризиса промышленные предприятия перерабатывающих отраслей АПК оценивают эффективность своей хозяйственной деятельности комплексом технико-экономических показателей, характеризующих технический уровень использования оборудования и применения энерго- и ресурсосберегающих технологий.

Сухое молоко представляет собой растворимый порошок, получаемый высушиванием нормализованного пастеризованного коровьего молока. Обычно разводится в теплой воде и употребляется в качестве напитка, при этом сохраняет многие полезные свойства свежего пастеризованного молока. Изготовление сухого молока обусловлено более длительным сроком хранения данного продукта по сравнению с обычным молоком [3].

Многие технологические процессы в пищевой промышленности сопровождаются выделением пыли, которая является основным или одним из главных вредных веществ на

предприятиях отрасли [1]. Пыль способна снижать срок службы технологического оборудования [8]. В некоторых отраслях пищевой промышленности частицы пыли представляют собой готовый продукт, а выброс его в атмосферу с воздухом, кроме всего прочего, уменьшает выпуск товарной продукции [4]. Некоторые виды пыли могут быть возвращены в производство, например, пыль сухого молока, подсырной сыворотки, кормовых дрожжей и т.д. [4]. Кроме санитарно-гигиенического и экологического аспектов, эта проблема имеет и важную экономическую сторону, а именно: снижается рентабельность производства, прибыль, растут издержки вследствие потерь десятков тонн готовой продукции. Применение безотходных и энергосберегающих технологий в данных условиях является конкурентным преимуществом предприятия.

В работе [2] указаны попытки использования теплового потенциала вторичных энергоресурсов, но данное мероприятие дало отрицательные результаты: в течении 2–3 часов работы теплообменные поверхности рекуператора покрывались неуловленным продуктом, и процесс теплообмена практически прекращался. Дальнейшая подача отработанного воздуха превращала рекуператор в сборник продукта, который увеличивал аэродинамическое сопротивление. Решение данной проблемы заключается в проведении следующих мероприятий [2]:

- максимально полная очистка сушильных газов от пыли продукта;
- увеличение влажности воздуха (за счет его влагонасыщения) до 60 %;
- применение рекуператора, обеспечивающего теплообмен также за счет конденсации водяного пара из отработанного теплоносителя.

В работе [2] в качестве второй ступени очистки использовался скруббер Вентури, который обладает достаточно высокой эффективностью, но сравнительно высокими удельными энергозатратами, в этой связи представляет интерес применение роторного аппарата (РА) в качестве второй ступени очистки газов.

Цель работы: 1) определение эффективности работы роторного аппарата; 2) определение экономической целесообразности (эффективности) применения роторного аппарата в качестве второй ступени очистки газа, при возвращении отработанных сушильных газов в технологический поток на примере действующего предприятия по производству сухого молока.

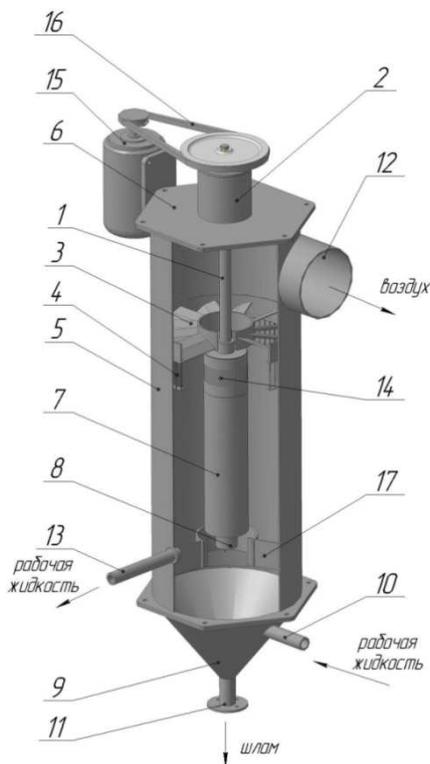


Рис. 1. Роторный аппарат

Объектом исследований является существующая линия производства сухого молока. В качестве второй ступени очистки предлагается использовать роторный аппарат (РА) (рис. 1). Отличительной особенностью РА является многократная циркуляция жидкости внутри аппарата, т. е. способность работать в условиях самоорошения при подпитке свежей жидкостью, необходимой для компенсации уноса влаги с воздухом и с выгружаемым шламом. Подробный принцип работы РА изложен в [5].

РА имел диаметр 0,25м, диаметр распылителя составлял 0,075 м. Жидкость диспергировалась через 6 рядов отверстий с шагом $t=2,5 \cdot d_0$, расположенных в шахматном порядке. По предварительным испытаниям были приняты следующие значения параметров: диаметр диспергирующих отверстий – $d_0=2,2$ мм, скорость жидкости составляла – $U_{ж}=3,5$ м/с, скорость воздуха – $U_{г}=3,8$ м/с, концентрация пыли – $C_{п}=1,85$ г/м³, принята из литературных данных [2].

Предлагаемая схема (рис. 2) работает следующим образом: воздух нагнетается вентилятором в калорифер через фильтр, где происходит нагрев сушильного агента. Затем воздух подается в распылительную сушилку.

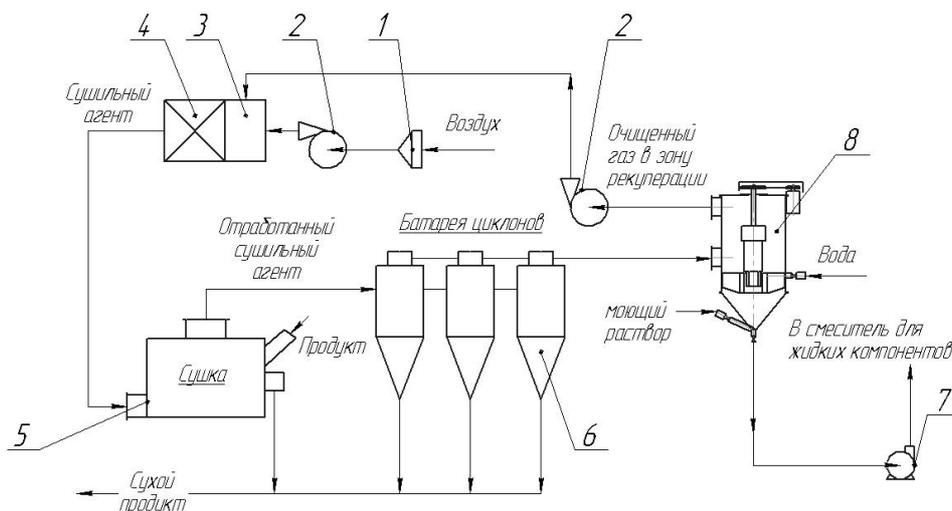


Рис. 2. Принципиальная схема очистки сушильных газов

1 – фильтр; 2 – вентилятор; 3 – зона рекуперации; 4 – калорифер; 5 – сушилка; 6 – батарея циклонов; 7 – насос; 8 – РА.

Сушильный агент уносит с собой мелкодисперсные частицы продукта. Для удаления частиц из потока на выходе из сушилки установлена батарея циклонов, но эффективность

улавливания циклонами частиц менее 5 мкм составляет 80–90 % [1], поэтому после батареи циклонов предложено установить РА для тонкой очистки сушильных газов. После РА очищенный воздух подается в зону рекуперации для нагрева вновь поступающего воздуха. Это должно привести к следующему положительному эффекту: 1 – снизится унос продукта, и, следовательно, улучшится санитарно-гигиеническое состояние производства и предприятия в целом; 2 – снизятся энергозатраты из-за повторного использования теплоносителя; 3 – дополнительный нагрев теплоносителя, который происходит в РА при очистке газа за счет выделения тепла при конденсации.

Методика исследования эффективности аппарата была согласована с [7]. Концентрацию пыли на входе в аппарат определяли через расход воздуха и производительность дозатора. Отбор проб очищенного воздуха из воздуховода после РА осуществлялся пылезборной трубкой в течение 10–15 мин. Расчет эффективности пылеулавливания вели по концентрации пыли в воздухе до поступления в аппарат и на выходе из него. Для определения количества пыли, которая не уловилась в аппарате, использовались водостойкие фильтры АФА-ВП-20-1, которые сушились в эксикаторе 24 часа и взвешивались до и после эксперимента. Вязкость шлама определяли, используя стеклянный капиллярный вискозиметр типа ВПЖ-2.

Результаты исследования и их обсуждение

При улавливании растворимых пылей наблюдается рост вязкости шлама, сопровождающийся уменьшением поверхности контакта фаз, что снижает КПД пылеулавливания. В диапазоне изменения вязкости (1–2,3) мПа·с (рис. 3) наблюдается устойчивая работа РА при снижении КПД пылеулавливания от 99 до 98 % (частиц размерами менее 5 мкм).

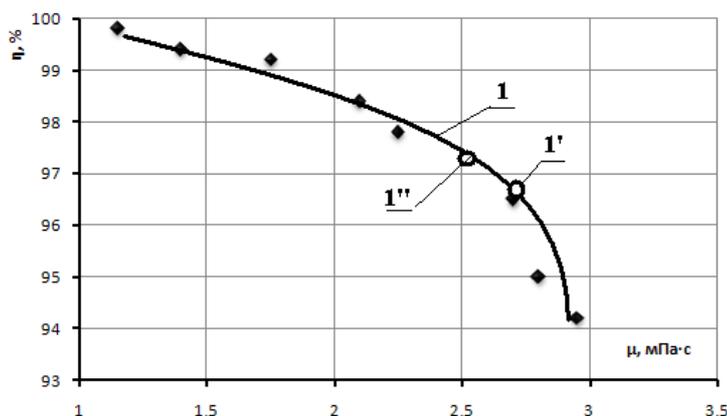


Рис. 3. Зависимость КПД пылеулавливания от вязкости шлама

При достижении вязкости равной 2,7 мПа·с (точка 1' на рис. 3) происходит резкое снижение КПД пылеулавливания аппарата. Это объясняется следующими факторами. При продолжительной работе с подпиткой лишь на испарение и унос жидкости наблюдается рост

вязкости шлама, а также увеличивается количество агломератов, нерастворенных в воде частиц пыли. Рост вязкости шлама приводит к тому, что напора для подъема более тяжелой рабочей жидкости по транспортирующему цилиндру становится недостаточно для обеспечения устойчивой работы РА.

Увеличение числа агломератов приводит к забиванию диспергирующих отверстий. Основываясь на зависимости (рис. 3), можно сделать вывод, что РА способен достаточно долго работать без подпитки рабочей жидкостью, и при этом будет наблюдаться высокая эффективность пылеулавливания, следовательно, воздух, прошедший в нем очистку может быть возвращен в рекуператор без оседания на пластинах неуловленного продукта. При сравнении результатов исследования с другими аппаратами мокрой очистки газов [1, 7, 8] наблюдается высокая конкурентоспособность РА при улавливании растворимых пылей размерами менее 5 мкм.

Расчет экономии от возвращения теплоносителя в зону рекуперации

Исходные данные для расчета экономической эффективности РА представлены в таблице 1.

Таблица 1

Производительность сушильной установки, кг (по испаренной влаги)	700
Подача воздуха в установку, кг/ч	24000
Выход отработанного воздуха после сушилок, кг/ч (P_r)	29000
В том числе от пневмотранспорта	5000
Температура воздуха, °С	
Атмосферного	17,6
После калорифера	175
После сушки	80
После очистки в РА	55
После рекуператора	40
Расход пара на подогрев воздуха от 20 до 175 °С, кг/ч ($G'_{\text{пара}}$)	1650

Методика расчета экономии пара (\mathcal{E}_1) при установке секции рекуперации изложена в [2]. При нормативном режиме работы сушильной установки 5000 часов/год общая экономия пара составит 1031,25 т/год. Учитывая, что для испарения 1 кг воды необходимо затратить 2671 кДж тепла, то для получения 1 тонны пара необходимо 60 м³ (М) природного газа (4,4·10⁷ кДж/м³). При цене за газ 5151,8 руб./1000 м³ получаем:

$$\mathcal{E}_1 = G_{\text{пара.общ.}} \cdot M = 1031,25 \cdot 60 = 61865, \quad \text{м}^3/\text{год} \quad (1)$$

$$\mathcal{E}_1 = 61865 \cdot 5,152 = 318721, \text{руб}/\text{год}$$

Технико-экономическая оценка предлагаемой схемы

Для определения экономической целесообразности (эффективности) применения роторного аппарата в качестве второй ступени очистки газа определим оптовую цену РА и общие капитальные затраты на модернизацию существующей схемы очистки газа; условно-годовую экономию от внедрения нового оборудования; экономический эффект и срок окупаемости капитальных затрат.

Наиболее важными критериями выбора аппарата для второй ступени очистки, помимо прочих характеристик (параметров пыли и жидкости, расхода жидкости и газа, гидравлического сопротивления и др.), являются величина первоначальных капитальных затрат, текущие расходы на эксплуатацию и эксплуатационная надежность. Эти критерии при ограниченных суммах прибыли и инвестиций, направляемых на техническое перевооружение и модернизацию, особенно актуальны в современных экономических условиях.

Нами был произведен расчет оптовой цены роторного аппарата и суммарных капитальных вложений на модернизацию существующей схемы очистки сушильных газов (второй ступени) в линии производства сухого молока для РА диаметром 0,25м, диаметр распылителя составлял 0,075м. Оптовая цена аппарата, при условии изготовления его на машиностроительном предприятии, составила около 180 тыс. рублей в ценах конца 2014 года. Суммарные капитальные вложения на модернизацию схемы очистки сушильных газов составят порядка 252 тыс. рублей.

Общая сумма текущих эксплуатационных расходов в данном случае складывается из стоимости электроэнергии, затрачиваемой на работу системы «мокрой» очистки, стоимости орошающей жидкости (если она отводится со шламом), затрат на амортизацию, текущий ремонт и профилактическое обслуживание очистного оборудования (в том числе содержание шламового хозяйства). При условии утилизации шлама, т.е. многократном использовании орошающей жидкости в аппарате или технологии, наибольший удельный вес среди эксплуатационных расходов имеют энергозатраты на работу пылеуловителя.

Расход энергии на обработку определенного объема газа в единицу времени включает три составляющие [7]: энергию газового потока; энергию жидкостного потока и механическую энергию вращающихся элементов. Механическая энергия в роторных газопромывателях включает в себя затраты не только на вращение ротора, но и на перемешивание жидкости, передачу части энергии на протягивание газов через аппарат, на создание поверхности межфазового контакта. Основываясь на данных расчетов, выполненных в работе [6], суммарные затраты энергии на работу анализируемого роторного аппарата составляют 1,163–2,442 кВт/час или 5815-12210 кВт/год (при условии работы

линии 5000 часов в год). В денежном эквиваленте при стоимости электроэнергии 4 руб./кВт-час дополнительные затраты на работу РА составят 23260–48840 рублей. Для дальнейших расчетов возьмем среднее значение – 36050 руб./год. Дополнительные расходы на амортизацию (15 % от капитальных вложений) и текущий ремонт и профилактическое обслуживание очистного оборудования (в том числе содержание шламового хозяйства) (5 % от капитальных вложений) составят 50,4 тыс. рублей. Расчет экономии от возвращения теплоносителя в зону рекуперации бал произведен выше. Экономия составила 318721 руб.

Условно-годовая экономия, ($\mathcal{E}_{\text{уг}}$), определяется как разность между суммой статей экономии и дополнительного расхода. Условно-годовая экономия, таким образом, равна 232271 руб. (318721–36050–50400).

Годовой экономический эффект от внедрения новой техники определяется по формуле (2):

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = \mathcal{E}_{\text{уг}} - E_{\text{н}} \cdot K, \text{ руб./год} \quad (2)$$

где K – дополнительные капитальные затраты, руб.; $E_{\text{н}}$ – нормативный коэффициент экономической эффективности.

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = 232271 - 0,35 \cdot 252000 = 194071$$

Срок окупаемости капитальных вложений, $T_{\text{ок}}$, год, показывающий время, в течение которого капитальные вложения окупят себя за счет дополнительной прибыли или экономии от снижения себестоимости, определяется по формуле (3):

$$T_{\text{ок}} = K / \mathcal{E}_{\text{уг}} \quad (3)$$

$$T_{\text{ок}} = 252000 / 232271 = 1,08$$

Выводы

1. В результате проведенных исследований эффективности пылеулавливания в РА в условиях длительного самоорошения был установлен высокий КПД пылеочистки, а также была установлена зависимость эффективности РА от вязкости шлама. По результатам исследования было установлено верхнее предельное значение вязкости, при котором наблюдалась высокая эффективность, при превышении этого значения происходит активный рост отложений на пристенном каплеотбойнике и снижение КПД в зоне удара капель, что снижает эффективность аппарата в целом.

2. Экономический эффект мокрого пылеулавливания в качестве второй ступени очистки сушильных достигается не только за счет улавливания частиц пыли, которые могут быть возвращены в производство, но, в большей степени, за счет тонкой очистки и увлажнения сушильных газов, которые можно использовать для рекуперации воздуха, поступающего в калорифер. Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений за счет экономии тепловой энергии при возвращении теплоносителя в зону рекуперации

составит 1,08 года. Данное техническое решение позволит улучшить санитарно-гигиеническое состояние производства, решить экологическую проблему, связанную с загрязнением окружающей территории выбросами мелкодисперсной пыли сухого молока, повысить рентабельность производства, прибыль, сократить издержки. Применение безотходных и энергосберегающих технологий в данных условиях будет серьезным конкурентным преимуществом предприятия.

Список литературы

1. Бергман М.Х. Очистка газа от органических примесей / М.Х. Бергман, А.А. Лиховский // Охрана окружающей среды и природопользование. – 2010. – № 3. – С. 51-53.
2. Бурыкин А.И. Экономические предпосылки модернизации сушильного оборудования [текст] / А.И. Бурыкин, А.М. Ветров, Н.В. Панкратов и др. // Молочная промышленность. – 1999. – № 4. – С. 31-33.
3. Кузнецов В.В. Технологическое оборудование предприятий молочной промышленности. – М.: ДеЛи Принт, 2008. – 552 с.
4. Орловский М.А. Оборудование сушильных производств / М.А. Орловский, Т.И. Кукушкина. – Москва: Агропромиздат, 1973. – 238 с.
5. Пат. № 229610 Российская Федерация. МПК7 В 01 D 47/16. Роторный пылеуловитель / А.Ф. Сорокопуд, Н.М. Горячкина, И.Е. Бельдяев; заявитель и патентообладатель Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – № 2005110312/15; заявл. 08.04.05; опубл. 10.04.07, Бюл. № 23. – 5 с.
6. Плотников К.Б. Исследование эффективности пылеулавливания и массоотдачи в роторном аппарате с внутренней циркуляцией жидкости: дис. ... канд. техн. наук. – Кемерово, 2015. – 150 с.
7. Ужов В.Н. и др. Очистка газов мокрыми фильтрами. – М.: Химия, 1972. – 248с.
8. Штокман Е.А. Очистка воздуха от пыли на предприятиях пищевой промышленности / Е.А. Штокман. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1989. – 312 с.

Рецензенты:

Ашванян С.К., д.э.н., ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)», г. Кемерово;

Зотов В.П., д.э.н., ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)», г. Кемерово.