

# Сокращение производственных расходов на 40 % благодаря современной технологии пылеочистки

Промышленные рукавные фильтры обладают большими технологическими преимуществами благодаря широким возможностям использования в одноступенчатом процессе пылеочистки даже при большом объемном расходе очищаемых газов и их сильной запыленности. В этом контексте большое значение приобретает сокращение энергопотребления в фильтровальных установках, которые в настоящее время в большинстве случаев относятся к рукавным фильтрам с импульсной продувкой. В данной статье представлены инновации, касающиеся конструкции, контроля и технологии фильтрования, позволяющие сократить удельное энергопотребление в системах пылеудаления, использующих рукавные фильтры с импульсной продувкой.



Рис. 1. Установка для очистки отходящих газов

Для того чтобы удовлетворить предписания законов и повысить степень утилизации материалов, операторы промышленных агрегатов используют различные системы очистки отходящих газов (рис. 1). Для сокращения выбросов твердых частиц применяют сепараторы типа циклонов, скрубберы с водяным орошением, электростатические пылеуловители и рукавные фильтры. Промышленные рукавные фильтры обладают большими технологическими преимуществами благодаря широким возможностям использования в одноступенчатом процессе пылеочистки даже при большом объеме очищаемых газов и их сильной запыленности. Благодаря этим преимуществам все чаще фильтрующие сепараторы, в частности рукавные фильтры, заменяют скрубберы, центробежные и электростатические пылеуловители.

В то же время сохраняется тенденция дальнейшего сокращения энергопотребления во всех отраслях промышленности. Данная тенденция относится и к установкам удаления пыли, используемым для утилизации отходов и очистки отходящих газов. Такие установки рассчитаны на объем-

ные расходы газов от нескольких тысяч до 2 млн. м<sup>3</sup>/ч и обычно работают в непрерывном режиме. С учетом сказанного, уменьшение энергопотребления фильтрующими установками (в настоящее время, как правило, рукавными фильтрами с импульсной продувкой) является важной проблемой.

### Повышение энергетической эффективности рукавных фильтров с импульсной продувкой

Фильтрующие сепараторы конструкции фирмы Intensiv-Filter отличаются поперечной подачей поступающих на очистку газов. Запыленные газы через вводной патрубок, закрепленный на распределительной плите, поступают в корпус сепаратора, где происходит их сепарация и уменьшение скорости потока. Затем поток отходящих газов гомогенизируется и по поперечно направленным каналам движется к рукавным фильтрам. Частицы пыли оседают на поверхности фильтрующего материала или на поверхности фильтрационного кека, сформировавшегося на поверхности

Докт.-инж. Гуннар-Марсель Кляйн, дипл. инж. (FH) Тим Нойхаус, дипл. инж. (FH) Тобиас Даниэль, Астрид Кёгель, фирма **Intensiv-Filter GmbH & Co. KG**, Вельберт-Лангенберг, Германия

Контакт: [www.intensiv-filter.com](http://www.intensiv-filter.com)  
E-mail: [astrid.koegel@intensiv-filter.com](mailto:astrid.koegel@intensiv-filter.com)

рукава. Для обеспечения устойчивых рабочих условий, т. е. стабильного перепада давления на фильтре ( $\Delta p_f$ ), рукавный фильтр очищают через определенные интервалы времени. Сопротивление прохождению газового потока через фильтр складывается из перепада давления в фильтрационном кеке ( $\Delta p_{FC}$ ) и материала фильтра непосредственно после импульсной очистки (остаточный перепад давления  $\Delta p_0$ ). Сопротивление движению газового потока от вводного патрубка отходящих газов до поверхности фильтрационного кека, от падения давления при движении потока внутри рукавного фильтра, от движения очищенного газа от выхода из рукавного фильтра до выводного патрубка объединяются в показатель перепада давления в корпусе сепаратора ( $\Delta p_G$ ).

Циклическую очистку фильтра производят во время операции фильтрации посредством импульсов сжатого воздуха, направляемых через форсунки в открытые рукава фильтров. При таком режиме работы, т. е. в режиме «он-лайн», поток отходящих газов подвергается постоянному фильтрованию. Сразу же после импульсной очистки концентрация частиц пыли вблизи рукавного фильтра резко возрастает. В таких условиях, особенно при очистке от мелкодисперсной пыли, имеющей низкую склонность к агломерации, отфильтрованные ранее частицы вновь попадают на фильтр. Возникающая «внутренняя» циркуляция пыли может составлять значительную часть массы фильтрационного кека и способствовать падению давления ( $\Delta p_{FC}$ ). В качестве основной технической меры повышения энергетической эффективности в газоходах отходящего и/или очищенного газа устанавливают запорные клапаны (поворотные дисковые, шиберные или другие). С помощью этих клапанов на время очистки фильтров приостанавливается поток газа в модулях фильтровальной установки. Такой режим называют «отключенным» («офф-лайн»), или «полуотключенным», если перекрывают только газоход очищенного газа. Данная мера эффективно предотвращает возможное повторное осаждение пыли на фильтрах. В то же время при отключенном режиме работы импульсную очистку фильтров можно

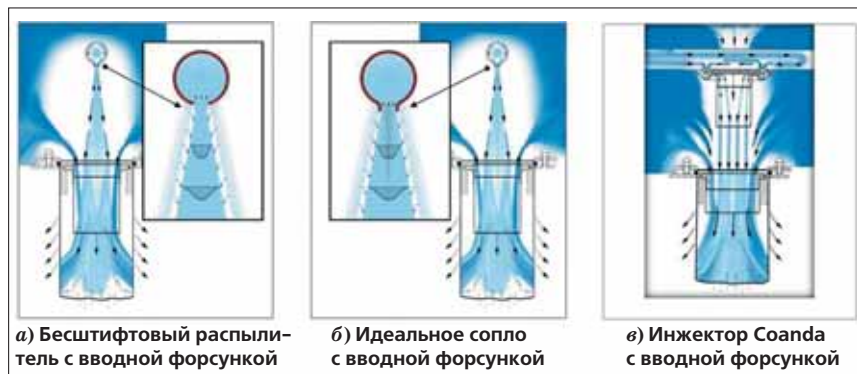


Рис. 2. Сравнение различных инжекторных систем

производить сжатым воздухом низкого давления (давление в резервуаре пневматической системы 0,1–0,3 МПа). В результате, кроме уменьшения перепада давления в фильтрационном кеке, значительно сокращается расход сжатого воздуха.

Моделирование методами вычислительной гидродинамики позволяет прогнозировать газовые потоки, температуру и распределение перепада давления в рукавных фильтрах сложной геометрии. Оптимизация конструкции фильтров с помощью моделирования позволила усовершенствовать отражательные пластины и поворотные дисковые клапаны, установленные на стенках газохода отходящих газов. Благодаря этим мероприятиям удалось уменьшить падение давления в корпусе сепаратора  $\Delta p_H$  более чем на 20 %.

### Система инжекторной очистки Coanda

Одним из основных факторов, определяющих энергетическую эффективность импульсной очистки рукавных фильтров, является система вдувания. В процессе очистки должен полностью удаляться фильтрационный кек по всей длине рукава. В то же время «эффект выбивания ковра», заключающийся в повторном осаждении отфильтрованной среды на фильтре, должен быть сведен к минимуму путем подбора соответствующего профиля кривой изменения давления. Во многих инжекторных системах применяют трубки с обычным высверленным отверстием в качестве бесштифтового распылителя (известного под названием «сопло-инжектор» (рис. 2, а). Эту конструкцию можно

существенно улучшить путем оптимизации геометрии сопла таким образом, чтобы статическая энергия в нагнетающей трубке переходила в направленную струю сжатого воздуха (рис. 2, б). Система очистки, разработанная фирмой Intensiv-Filter под названием «инжектор Coanda», основана на использовании эффекта Coanda, при котором струя сжатого воздуха, выходящая через кольцевую щель, направляется на криволинейную поверхность. В результате поток первичного воздуха следует за граничным слоем, который не отделяется от стенок благодаря геометрии инжектора Coanda. В первой ступени инжектора создается очень высокое отрицательное давление. Это приводит к подосу вторичного воздуха, создавая реактивную струю, характеризующуюся значительно большим расходом воздуха, чем в рассмотренных выше вариантах (рис. 2, в). Воздушно-реактивная струя поступает во вводную форсунку, образуя вторую ступень инжектора, на которой подсасывается еще больший объем вторичного воздуха. По сравнению с другими инжекторами эта система обеспечивает получение максимальных импульсов давления независимо от давления в резервуаре пневматической системы.

### Система JetBus управления очисткой

В настоящее время управление процессом очистки осуществляют с помощью микропроцессорной технологии и промышленных сетей. Система управления фильтрами JetBus Controller®, разработанная фирмой Intensiv-Filter, представляет собой децентрализованную модульную управ-

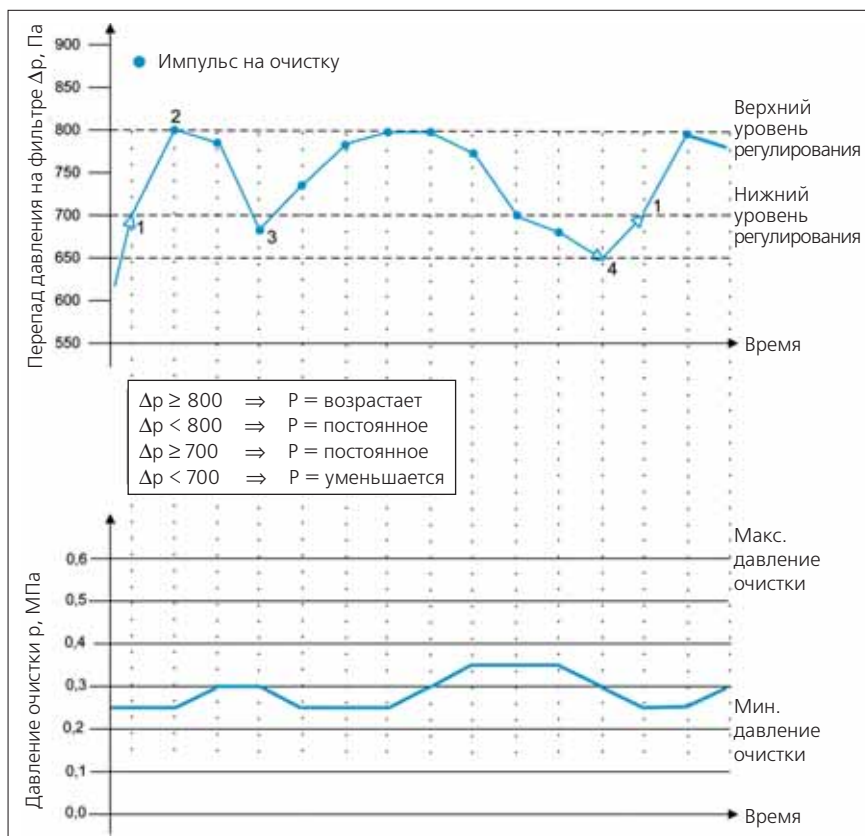


Рис. 3. Характеристики режимов очистки, основанных на контроле давления на входе

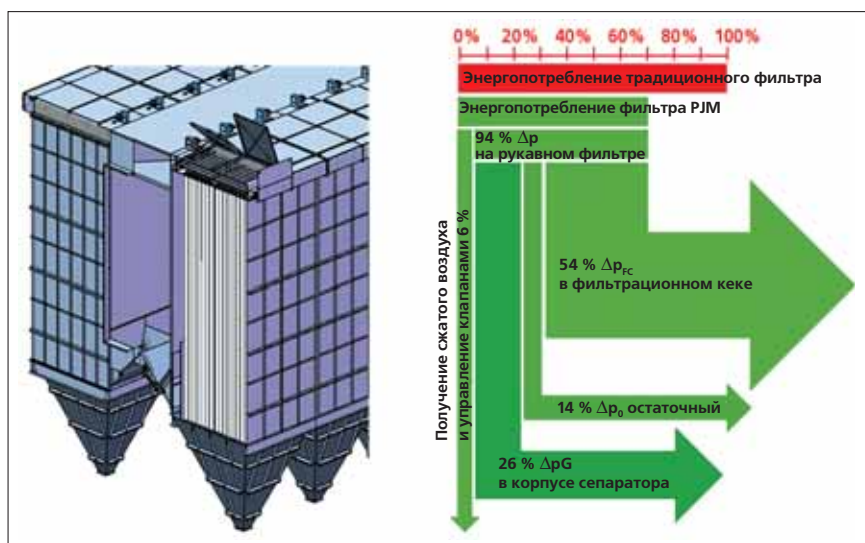


Рис. 4. Конструкция и диаграмма распределения энергии фильтра Projet mega®, работающего в отключенном режиме

ляющую систему. Помимо регулирования мембранных клапанов, система управляет работой пневматических или электрических приводов заслонок в газоходах отходящих и очищенных газов, а также воспринимает сигналы датчиков, например, «детекторов разорванного рукава». При циклической подаче импульсов сжатого воздуха система дифференцирует режимы работы с фиксированным ци-

клом и регулируемой продолжительностью цикла. Система JetBus Controller® обеспечивает возможность такого регулирования параметров, которое позволяет производить очистку фильтров по мере необходимости. Непрерывно регулируя давление сжатого воздуха, используемого для очистки, можно приспособить его расход к конкретным рабочим условиям. Перепад давления на фильтре служит пе-

ременным параметром при управлении процессом очистки с регулируемым давлением.

На рис. 3 представлены характеристики управления процессом очистки путем контроля давления вдуваемого сжатого воздуха. В данном случае необходимое давление в резервуаре пневматической системы определяется рабочими характеристиками фильтра. Верхняя диаграмма на рис. 3 показывает перепад давления на фильтре, а нижняя — давление воздуха в резервуаре (давление очистки). Включение системы очистки происходит в точке 1. По мере развития процесса перепад давления может, например, возрасти. При достижении дифференциального давления верхнего предела (800 МПа) или его превышении давление очистки возрастает (точка 2). В результате перепад давлений снижается до допустимых пределов, и давление очистки поддерживается постоянным на уровне 0,3 МПа. При такой настройке дифференциальное давление постепенно снижается ниже уровня нижнего предела (700 МПа), и в этот момент давление очистки снова уменьшается (точка 3). Если дифференциальное давление опускается ниже минимального допустимого уровня и продолжает снижаться (точка 4), то система отключает процесс очистки. Только после возвращения дифференциального давления к минимальному нижнему допустимому уровню (700 МПа) процесс очистки рукавных фильтров возобновляется. Если система очистки фильтров остается отключенной из-за малого перепада давления на фильтре, то чтобы избежать большого скопления пыли в рукаве может быть применена принудительная очистка. Таким образом, рабочие характеристики рукавных фильтров постоянно поддерживаются на необходимом уровне; одновременно обеспечивается минимальный расход сжатого воздуха.

## Преимущества новых серий фильтров

Сочетание описанных выше операций, выполняемых в отключенном режиме («офф-лайн»), с высокоэффективными инжекторами Coanda и контроллерами JetBus Controller®, позво-



# Естественно CONCAST

**SMS  
CONCAST**  
SMS group

► Интегрированные технологические решения  
для металлургических мини-заводов

Так устойчиво, как дух природы для непрерывности!

Лидерство в непрерывной разливке благодаря качеству, инновации и „ноу-хау“ процесса.

**SMS Concast AG**

Tödistrasse 9  
8027 Zurich, Switzerland

Phone: +41 44 2046511  
Fax: +41 44 2046921

E-Mail: [sales@sms-concast.ch](mailto:sales@sms-concast.ch)  
Internet: [www.sms-concast.ch](http://www.sms-concast.ch)

**PASSION for PROCESS**

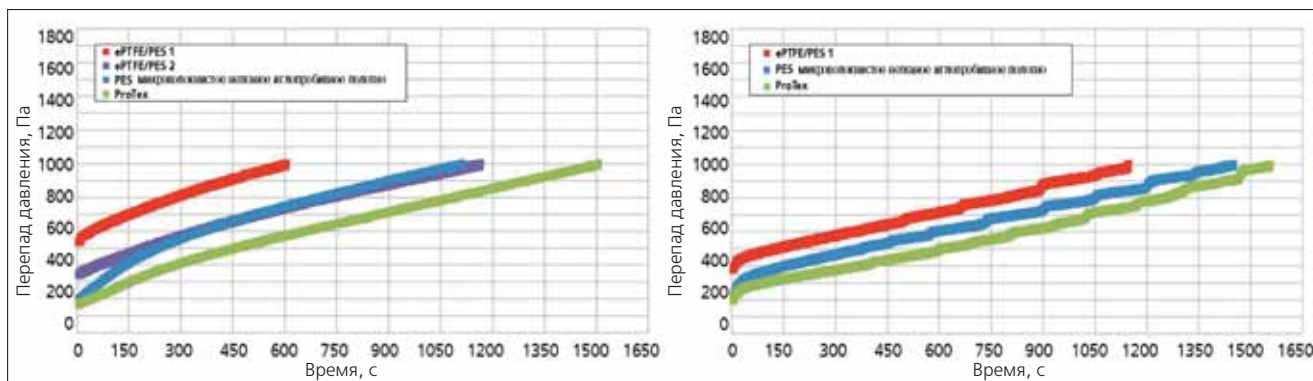


Рис. 5. Кривые перепада давления для различных фильтрующих материалов и разной продолжительности цикла

ляет снизить удельное энергопотребление на 30 %. В новой разработанной серии фильтров ProJet mega® использованы все перечисленные способы повышения энергетической эффективности. Эти фильтры имеют модульную конструкцию, собраны из стандартных узлов и деталей и применимы для широкого диапазона объемных расходов очищаемых от пыли газов. Их применяют как во вспомогательных пылеочистителях, так и на крупных фильтровальных агрегатах. На рис. 4 показан фильтр ProJet mega® и диаграмма распределения энергии в сравнении с рукавным фильтром с импульсной продувкой традиционной конструкции.

### Энергосберегающая технология в фильтровальных установках, работающих в режиме «он-лайн»

После усовершенствования инжекционной системы, системы управления процессом очистки и работы в отключенном режиме фирма Intensiv-Filter обратила внимание на разработку собственного фильтрующего материала. Основным требованием, предъявляемым при разработке фильтровальных систем, является сочетание способности эффективно задерживать загрязняющие частицы с низкими ремонтными и эксплуатационными расходами. Для удовлетворения этих требований важную роль играет материал фильтров. Перепад давления, обусловленный материалом фильтров и фильтрационным кеком, в конечном счете оказывает большое влияние на энергозатраты. В связи с этим были

проведены исследования, направленные на уменьшение перепада давления, в ходе которых было создано новое поколение фильтрующих материалов ProTex.

Материал ProTex, в отличие от традиционных фильтрующих материалов, имеет микроволоконную структуру с титром  $\leq 1,5$  децитекс на входной стороне (между поступающим на очистку отходящим газом и тканевой подложкой). Такая структура фильтрующего материала позволяет получать значительно меньший градиент на кривой перепада давления в первый момент фильтрования после импульсной очистки фильтра (рис. 5). Только эта эффективная мера позволяет значительно снизить перепад давления на протяжении всего цикла фильтрования.

Характеристики материала ProTex были сопоставлены с характеристиками других фильтровальных материалов и проверены на соответствие нормам испытаний VDI 3926. Испытания проводили на нетканом иглопробивном полотне с многослойной мембраной ePTFE, традиционном микроволоконном нетканом иглопробивном полотне и новом фильтрующем материале ProTex PES. В качестве загрязнителей при испытаниях использовали Pural SB и цемент. Особое внимание уделяли кривым перепада давления, остаточному перепаду давления и концентрации очищенного газа.

На рис. 5 представлены кривые перепада давления на фильтре после одного цикла фильтрования (критерий прерывания испытаний — дифференциальное давление 1000 Па) в

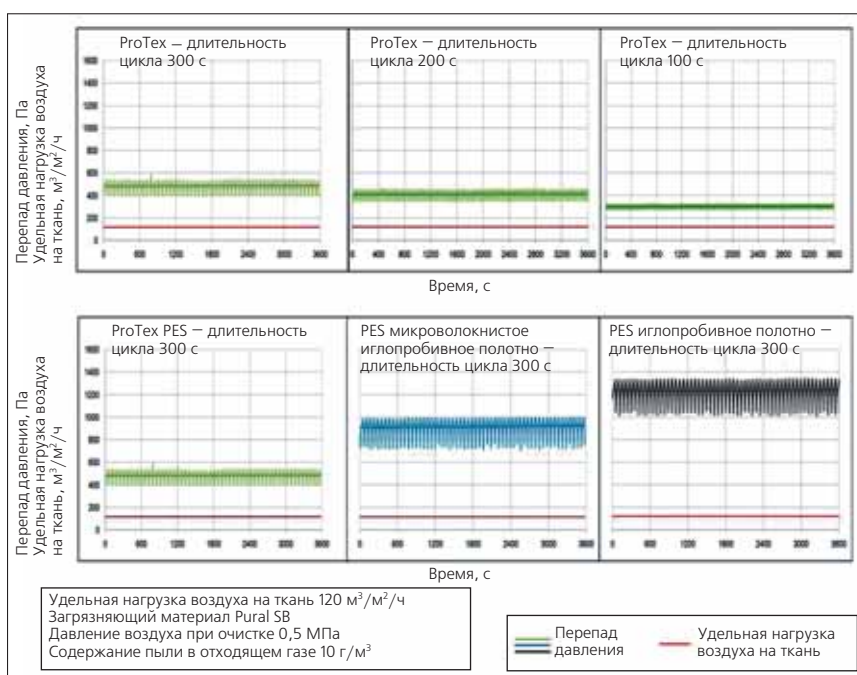


Рис. 6. Перепады давления, измеренные на применяемых фильтрах

# АНДРИТЦ МЕТАЛЗ

## агрегаты оцинкования, нанесения покрытий и отжига.



Линии непрерывного оцинкования и нанесения покрытий фирмы АНДРИТЦ сконструированы для производства продукции с высокой добавленной стоимостью с антикоррозионным покрытием для автомобилестроения и строительной промышленности. Наши установки отличаются самым современным, надежным оборудованием для производства высококачественной

продукции, включая сортамент автостроительной стали и передовые марки стали повышенной прочности. Комплексное механическое оборудование, автоматизация и печи от одного поставщика. АНДРИТЦ МЕТАЛЗ занимается проектированием и сооружением комплектов линий для производства и дальнейшей переработки холодного проката углеродистой и нержавеющей стали, а также плоского

проката цветных металлов. АНДРИТЦ МЕТАЛЗ является одним из немногих поставщиков в мире, способных предоставить полный технологический процесс в рамках производства стальной полосы (механическое, технологическое и электрическое оборудование, автоматизация и сервисное обслуживание на срок службы).

**АНДРИТЦ АГ**  
Айбесбруннергассе 20  
1120 Вена, Австрия  
Тел.: +43 (1) 81195 0  
Факс: +43 (1) 81376 45  
welcome.at@andritz.com

**АНДРИТЦ Селас С.А.С.**  
4, авеню Лоран Сели, здание А  
92600 Аньер-сюр-Сэн, Франция  
Тел.: +33 (1) 4080 3400  
Факс: +33 (1) 4080 3438  
welcome.selas@andritz.com

**Сундвиг ГмБХ**  
Штефанопелер Штрассе 22  
58675 Хемер, Германия  
Тел.: +49 (2372) 54 0  
Факс: +49 (2372) 54 200  
sundwig\_welcome@andritz.com

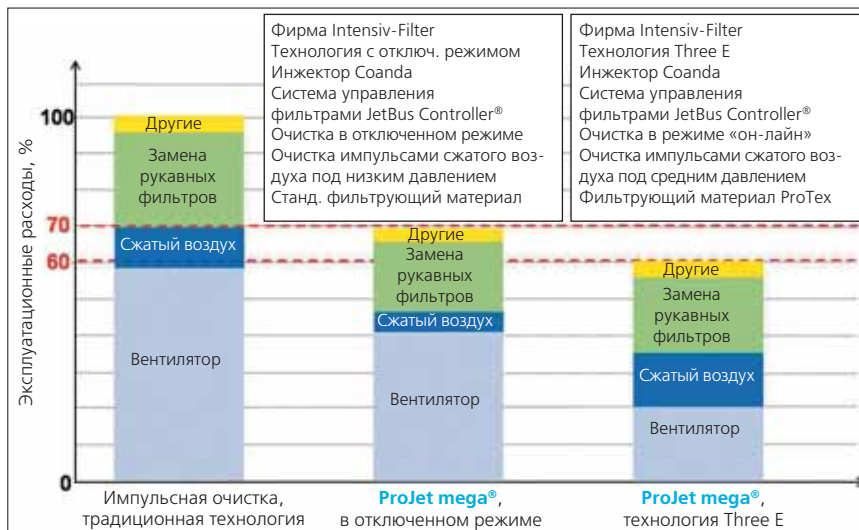
**ООО АНДРИТЦ МЕТАЛЗ**  
Профсоюзная 73  
117342 Москва, Россия  
Тел.: +7 (499) 940 4182  
Факс: +7 (499) 940 4186  
ruthner.at@andritz.com



**Рис. 7.** Диаграмма энергетических потоков

квазистационарном состоянии, причем материал фильтров был предварительно подвергнут 10000 циклам импульсной очистки. Фильтр из многослойной мембраны ePTFE имел минимальный градиент на кривой перепада давления сразу же после очистки, но очень высокий остаточный перепад давления, объясняемый неустраняемым осаждением пыли в порах мембраны. Для традиционного микрофибрильного материала характерен сравнительно низкий остаточный перепад давления, но очень крутой подъем кривой перепада давления сразу после очистки. В результате уровень перепада давления, достигнутый в конце цикла, оказывается примерно таким же, как при использовании многослойной мембраны ePTFE. Разработанный новый фильтрующий материал ProTex продемонстрировал малый градиент на кривой перепада давления и небольшой остаточный перепад давления для обоих испытанных загрязняющих материалов. Отклонения от линейного характера кривых в ходе испытаний с цементной пылью в роли загрязнителя (повышение перепада давления по мере утолщения фильтровального кека) можно объяснить возрастающим уплотнением кека.

Испытания, проведенные на десятирукавной пилотной промышленной установке, подтвердили высокий потенциал фильтрующего материала ProTex с точки зрения уменьшения перепада давления (рис. 6). На первой серии диаграмм показаны кривые



**Рис. 8.** Сравнение эксплуатационных расходов и потенциал экономической эффективности

дифференциального давления на протяжении периода измерений при использовании фильтров из ProTex PES, традиционного микрофибрильного полотна и стандартного иглопробивного полотна с циклом очистки 300 с. При использовании фильтрующего материала ProTex средний перепад давления (измеренный на входе отходящего газа в фильтр и на выходе очищенного газа) может быть снижен более чем на 40 % по сравнению с традиционным микрофибрильным материалом. Сравнение полученных результатов с результатами для фильтров, использующих PES, иглопробивное полотно (без микрофибрил) показало снижение уровня дифференциального давления на 60 %.

Вторая серия диаграмм на рис. 6 показывает характеристики перепада давления при использовании фильтрующего материала ProTex с сокращенной продолжительностью цикла (100 и 200 с). При уменьшении длительности цикла до 100 с фильтрующий материал ProTex позволяет достигать среднего дифференциального давления, которое в четыре раза ниже, чем при базовом варианте (иглопробивное полотно и длительность цикла 300 с).

При использовании в фильтрах традиционного иглопробивного полотна наблюдаемый уровень выбросов лежит в пределах 10–20 мг/м<sup>3</sup>, что свидетельствует о большом проникновении частиц через пористую структуру фильтра. Общая концентрация пыли в очищенном газе оказывалась ниже этого уровня в случаях

применения традиционных микрофибрильных фильтров и фильтров ProTex на пилотной установке. Следовательно, оба этих фильтрующих материала легко могут обеспечить соблюдение уровня предельных загрязнений, обусловленного TA Luft (Германскими нормами очистки воздуха). Эти нормы соблюдались даже при сокращении продолжительности цикла до 100 с.

## Результаты

На рис. 7 приведена диаграмма энергетических потоков фильтра ProJet mega® с фильтрующим материалом ProTex, использующего технологию Three E (оптимальную систему регулирования очистки) в режиме «он-лайн». В данной статье сопоставлены эксплуатационные расходы для традиционных фильтровальных установок и для новых разработок, а именно: для установок ProJet mega® в отключенном режиме и ProJet mega® с фильтрующим материалом ProTex и технологией Three E — в режиме «он-лайн» (рис. 8). Сравнение показало экономическую целесообразность применения новой технологии. В настоящее время новую технологию фильтрования внедряют для ряда применений. В то же время фирма Intensiv-Filter работает в направлении расширения сферы применения фильтрующих материалов ProTex на область высокотемпературных процессов. ■