

РЕЗЕРВЫ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ В СИСТЕМАХ ГАЗООЧИСТКИ И ВЕНТИЛЯЦИИ

**Канд. техн. наук КУЗЬМИН В. В., асп. МИСЮЛЯ Д. И.,
докт. техн. наук, проф. МАРКОВ В. А.**

Белорусский государственный технологический университет

Повышение энергоэффективности является одним из приоритетов развития экономики, причем не только в связи с удорожанием энергоресурсов, но и необходимостью развития общего технического и организационного уровня производства. Достижение этой цели требует, очевидно, детального анализа структуры энергозатрат и учета различных влияющих на их величину факторов. Энергопотребление систем вентиляции и очистки газов достаточно значительно: на вентиляцию затрачивается 10–12 % всей электроэнергии, более 20 % теплоты, вырабатываемой и потребляемой промышленными предприятиями [1]. В то же время в данной области существуют достаточно значительные резервы экономии энергии.

Мощность, затрачиваемая на перемещение газа в системах газоочистки и вентиляции, определяется гидравлическим сопротивлением сети [2, 3]. Полное сопротивление сети складывается из сопротивлений очистного оборудования и соединяющих трубопроводов.

Распространенным видом газоочистного оборудования являются циклоны [4–6]. Отделение дисперсных частиц в этих аппаратах происходит в результате закручивания очищаемого газа, при этом значительная часть затраченной энергии теряется вместе с покидающим пылеуловитель вихревым потоком [7]. Уменьшить эти потери и гидравлическое сопротивление циклона можно путем раскрутки выходящего потока с помощью специальных устройств [8–11]. Такие устройства были предложены в бывшем СССР, однако в силу ряда недостатков [9, 10] распространения они не получили. На основании проведенных авторами исследований может быть рекомендована установка лопастных раскручителей потока в выхлопную трубу циклона, что позволяет снизить сопротивление, например наиболее распространенных циклонов ЦН-15 на 25–30 % без негативного влияния на эффективность очистки [12].

Типовая улитка, рекомендуемая для отвода газа из циклона в сеть с поворотом на 90°, позволяет снизить сопротивление циклонов серии ЦН на 5–10 %, однако увеличивает потери в высокоэффективных спирально-конических циклонах [13]. Для таких циклонов более экономично использование отвода или модифицированной с учетом повышенной осевой составляющей скорости выходящего потока улитки. Существенное снижение сопротивления циклонов с улиткой позволяет установка в нее обтекателя [11].

Утилизация остаточной энергии крутки может осуществляться и с помощью центробежного вентилятора, расположенного непосредственно на выходе из циклонов, вихревых пылеуловителей или других аппаратов, где происходит интенсивное вращение потока (в случае с циклоном ЦН-15 та-

ким способом достигается уменьшение потребляемой вентилятором мощности примерно на 20 %).

Установка завихрителя роторного типа в центробежных пылеуловителях также способствует минимизации удельных энергозатрат: постоянная частота вращения ротора позволяет снижать среднерасходную скорость газа (и гидравлические потери) в аппарате при сохранении и повышении эффективности сепарации [14].

Закрутка потока весьма широко используется не только при очистке газов, но и осветлении жидкостей (в гидроциклонах, центрифугах), при перемешивании, сушке, сжигании топлива (циклонные топки) и т. д., где могут быть реализованы аналогичные способы сбережения.

Многообразие аппаратов мокрой очистки [2, 5, 8–10] также предоставляет широкую возможность выбора оборудования. Согласно энергетическому методу расчета [2, 5] скрубберы (за исключением центробежных) имеют одинаковую эффективность использования энергии. При относительно невысокой (до 85 %) степени очистки газа от частиц размером порядка 5 мкм преимущество имеют центробежные скрубберы ЦВП и СИОТ, обладающие наиболее низким, в пределах 500–700 Па, гидравлическим сопротивлением. В то же время при улавливании крупных, порядка 30–40 мкм, частиц с эффективностью до 90–95 % энергетическим преимуществом обладают пенные скрубберы с провальными тарелками [10]. Такие тарелки предпочтительнее тарелок с переливами в процессах пылеулавливания и с точки зрения надежности работы. Для высокоэффективной очистки газа рационально использование скрубберов Вентури [15]. В центробежных мокрых пылеуловителях, как и в сухих циклонах, эффективность может быть повышена не только увеличением энергозатрат, но и уменьшением диаметра аппарата [8].

В фильтрационных пылеуловителях к росту гидравлических потерь и одновременно снижению эффективности улавливания, в частности мелкодисперсных частиц [9], приводит повышение удельной производительности фильтровальной перегородки. Высокая скорость газа способствует также уплотнению слоя отложившейся пыли с увеличением ее гидравлического сопротивления. Сопротивление войлочных фильтровальных материалов (фетров) ниже, чем тканых при более высоком сроке службы [16]. Регулирующие сопротивление фильтра режимы и способы регенерации также существенно влияют на величину потерь. Учитывая более богатый опыт и достижения развитых зарубежных стран в области энерго-сбережения, целесообразно ориентироваться на наиболее распространенный [2] импульсный способ регенерации фильтров. Поскольку частота и способ регенерации определяют долговечность недорогих фильтровальных материалов, рационально предварительное уменьшение запыленности газа в других типах пылеуловителей, например циклонах, гидравлическое сопротивление которых, напротив, уменьшается с ростом запыленности [9, 17].

При абсорбционной очистке расход энергии на перемещение газа и орошающей жидкости, как и эффективность, зависит от среднерасходной скорости газа и плотности орошения, возрастая вместе с ними, в то время как размеры аппарата преимущественно уменьшаются [2, 15]. Оп-

тимизацию параметров следует выполнять на основании технико-экономического расчета, учитывая при этом, что в наиболее распространенных насадочных и барботажных абсорберах важным влияющим фактором является выбор контактных устройств, определяющих и гидравлическое сопротивление, и размеры аппарата [8, 15, 18]. В частности, в насадочных аппаратах уменьшения обоих этих параметров можно добиться подбором насадки с максимально возможным соотношением удельных поверхности и объема. Современные высокоэффективные разновидности насадок имеют в несколько раз меньшее сопротивление по сравнению с широко применяемыми кольцами Рашига при более высокой эффективности и производительности [2, 8].

Важнейшим фактором минимизации энергопотребления системы газоочистки в целом является выбор ее оптимальной структуры, поскольку удельные энергозатраты на процесс очистки зависят сложным образом от типа используемых аппаратов, концентрации загрязнений, размера частиц и т. д. [2, 5, 8–10]. Вместо часто практикуемой установки дополнительной ступени очистки в случае превышения допустимых норм выброса более экономически и энергетически выгодным может оказаться повышение эффективности первой ступени. В случае с циклонами, в основном используемыми на первой, зачастую единственной стадии очистки, это может быть достигнуто соблюдением нормативных условий работы (например, минимизацией подсосов газа [19]), организацией рециркуляции части газа [11], увеличением (в определенных пределах) условной скорости и уменьшением диаметра, заменой более эффективными модификациями, в частности спирально-коническими, батарейными циклонами, аппаратами со встречным потоком [5, 8, 15–17, 20] и т. д.

В настоящее время существует большое разнообразие конструкций центробежных пылеуловителей, при этом эффективность очистки в них, удельные энерго- и металлоемкость существенно различаются. Например, вынос пыли из современного высокоэффективного циклона СЦН-40 в 2,5 раза меньше по сравнению с циклоном ЦН-15 и в 1,5 раза меньше по сравнению с циклонами СК-ЦН-34 и УЦ-38 при равных энергозатратах [20]. Однако примерно в два раза меньшая рабочая скорость в этом циклоне по сравнению с ЦН-15 соответственно увеличивает его габаритные размеры и металлоемкость. Высокую экономичность обеспечивают и мало распространенные пока вихревые пылеуловители, в частности ВЗП, имеющий при одинаковой с циклоном ЦН-15 эффективности примерно в три раза меньший коэффициент гидравлического сопротивления, но и несколько более сложную конструкцию [17].

Выбор типа циклона, как и в целом аппаратов газоочистки, не на основе традиционно сложившихся предпочтений, минимальности габаритных размеров или стоимости аппарата, а на основе сравнительного анализа их энергоэффективности, технико-экономических расчетов [21] обеспечит не только минимальность затрат на очистку газа, но и в условиях высоких цен на электроэнергию будет способствовать выделению и широкому применению более энергоэффективного оборудования. Это также явилось бы одним из экономических механизмов, стимулирующих повышение эффективности использования энергоресурсов, развитие и совершенствование

которых является одним из приоритетных направлений Республиканской программы энергосбережения.

Аналогичные соображения можно высказать и по поводу режимов работы газоочистного оборудования, оптимальных нагрузок по очищаемому газу в циклонах, скрубберах, фильтрах и других аппаратах, определяющих затраты на процесс очистки. К примеру, подбор циклонов сегодня осуществляют на основе единых для всех условий эксплуатации значений условной скорости газа [5, 15–17, 20], принятых в качестве оптимальных еще в 70–80-е гг. прошлого века. Но, с одной стороны, произошедшее относительное изменение стоимости электроэнергии [22], сдвинувшее оптимум скорости вниз, в сторону снижения энергопотребления, а с другой – существенная зависимость этого оптимума от конкретных условий эксплуатации требуют корректировки и уточнения рекомендаций в соответствии с современными условиями. Не будучи оптимальными для Беларуси в настоящее время, устаревшие рекомендации могут привести к завышенным экономическим и энергетическим затратам. В частности, выгодное сегодня во многих случаях снижение условной скорости с традиционно рекомендуемой (для наиболее распространенных циклонов ЦН-15 и ЦН-11) величины 3,5 до 2,5 м/с позволяет снизить энергопотребление процесса очистки почти в два раза. Также снижение скорости газа является одновременно весьма эффективным способом минимизации абразивного износа циклона, пропорционального ей в третьей степени [23].

При перемещении по газопроводу запыленного газа требуется поддерживать достаточно высокие скорости (до 30 м/с [9]) во избежание выпадения частиц пыли в газоходе. Поскольку гидравлические потери, пропорциональные квадрату скорости, при этом резко возрастают, то более рациональной может оказаться установка вблизи источника выброса компактных и простых инерционных пылеуловителей, например пылевых мешков или экранных пылеуловителей, имеющих незначительное (в пределах нескольких десятков или сотен Па) гидравлическое сопротивление [6, 8, 9]. Выделение в них наиболее крупных частиц позволит, с одной стороны, снизить скорость газа и энергозатраты на его транспортировку, а с другой – уменьшить абразивный износ элементов газохода.

Для создания более комфортных условий работы вытяжного вентилятора (с целью предотвращения износа рабочего колеса, уменьшения потребляемой энергии) его рекомендуется устанавливать после пылеуловителей. Если при этом выход газа осуществляется непосредственно в атмосферу, то потери энергии с выходящим потоком могут быть весьма велики (до 20–30 % и более потребляемой вентилятором мощности [3]). Однако установкой диффузора на выходе из сети часто пренебрегают, а иногда можно наблюдать и сужение выходного сечения газохода. Использование «факельного» выброса [19] для увеличения высоты подъема газов не представляется экономически и энергетически оправданным вследствие быстрого затухания факела и подверженности его влиянию ветровой нагрузки.

Существенное влияние на величину энергозатрат оказывает КПД вентиляторного агрегата. При выборе вентилятора (газодувки) сегодня, оче-

видно, следует особо обращать внимание на эту характеристику, существенно различную у разных конструкций, учитывая, в частности, существенно меньший КПД центробежных машин с загнутыми вперед лопатками, нежелательность их использования для перемещения запыленных газов. К уменьшению КПД вентилятора приводит и нарушение нормального входа потока и выхода из него [3, 24].

Максимальная энергоэффективность вентилятора достигается при номинальном режиме работы, отклонение же от него влечет за собой уменьшение КПД и одновременно может уменьшить КПД приводного электродвигателя. Как известно [22, 25], наиболее простой и распространенный способ регулирования подачи путем дросселирования является одновременно наиболее неэкономичным, а наиболее энергоэффективным способом является регулирование параметров работы вентилятора изменением частоты вращения его рабочего колеса. Использование для этой цели частотно регулируемого электропривода перспективно также с точки зрения автоматизации процессов, плавный пуск и останов с его помощью позитивно сказываются на ресурсе оборудования. Оценочно применение регулируемого электропривода в системах вентиляции дает 50%-ю экономию электроэнергии [22].

Значительная доля потребляемой промышленностью теплоты расходуется на отопительно-вентиляционные нужды, на нагрев воздуха. Большая часть ее теряется с воздухом, выбрасываемым из помещений системами вытяжной вентиляции. Утилизация тепловой энергии – экономически оправдана даже при сравнительно низкой температуре удаляемого воздуха, позволяя окупать теплообменные устройства-утилизаторы за два-три года [6, 26].

На выходе газового потока из сети теряется его кинетическая энергия, пропорциональная квадрату скорости. Конструктивным параметрам выхода во многих случаях (возможно, вследствие отсутствия достаточных рекомендаций по данному вопросу [3, 6, 15–19, 24]) уделяется мало внимания, в то время как потери на этом участке могут достигать значительной величины. Например, коэффициент гидравлического сопротивления высокоэффективных циклонов СК-ЦН-34, СДК-ЦН-33 при работе на выхлоп в атмосферу повышается на 80–100 единиц [8, 9], что эквивалентно дополнительным потерям давления примерно в 200–240 Па. Эти потери – следствие высокой, порядка 20 м/с, скорости выхода очищенного газа, в связи с чем при эксплуатации этих циклонов, безусловно, актуальна необходимость использования диффузоров. Скорости газа на выходе циклонов серии ЦН примерно в два раза ниже, но, поскольку такими циклонами оборудована большая часть газоочистных систем, и здесь существует значительный ресурс экономии энергии в масштабах государства.

Устанавливаемые на выходе из сети вспомогательные устройства обычно дополнительно увеличивают потери на этом участке. На практике существует значительное разнообразие высоты установки и формы дождевого колпака («зонта»), что влияет на его коэффициент гидравлического сопротивления: при низкой установке (0,1–0,2 диаметра газохода) этот коэффициент достигает нескольких единиц [27], т. е. в разы увеличивая потери на выходе.

ВЫВОД

Анализ и учет различных факторов, влияющих на энергопотребление систем газочистки и вентиляции при их проектировании, комплексное использование существующих способов сбережения позволят минимизировать как энергетические, так и экономические затраты на эксплуатацию этих систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Луговской, С. И. Совершенствование систем промышленной вентиляции / С. И. Луговской, Г. К. Дымчук. – М.: Стройиздат, 1991. – 133 с.
2. Машиностроение. Энциклопедия / ред. совет: К. Ф. Фролов [и др.]. – Т. IV-12: Машины и аппараты химических и нефтехимических производств / М. Б. Генералов [и др.]; под общ. ред. М. Б. Генералова. – М.: Машиностроение, 2004. – 832 с.
3. Вентильяция. Оборудование и технологии: учеб.-практ. пособие. – М.: НТС «Стройинформ», 2007. – 424 с.
4. Завьялов, С. В. Новое газоочистное и пылеулавливающее оборудование в Республике Беларусь: справ.-информ. материал / С. В. Завьялов, Д. Н. Абрамович. – Минск: БелНИЦ «Экология», 2003. – 94 с.
5. Ладыгичев, М. Г. Зарубежное и отечественное оборудование для очистки газов: справ. / М. Г. Ладыгичев, Г. Я. Бернер. – М.: Теплотехник, 2004. – 696 с.
6. Вентильяция, кондиционирование и очистка воздуха на предприятиях пищевой промышленности / Е. А. Штокман [и др.]; под общ. ред. Е. А. Штокмана. – М.: АСВ, 2007. – 632 с.
7. Первов, А. А. К вопросу о потерях давления в циклоне / А. А. Первов // Промышленная очистка газов и аэродинамика пылеулавливающих аппаратов: сб. науч. ст. / НИИОГАЗ. – Ярославль, 1975. – С. 15–19.
8. Тимонин, А. С. Инженерно-экологический справочник. Т. 1 / А. С. Тимонин. – Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2003. – 917 с.
9. Справочник по пыле- и золоулавливанию / С. В. Биргер [и др.]; под ред. А. А. Русанова. – М.: Энергия, 1983. – 312 с.
10. Коузов, П. А. Очистка от пыли газов и воздуха в химической промышленности / П. А. Коузов, А. Д. Мальгин, Г. М. Скрябин. – Л.: Химия, 1982. – 256 с.
11. Янковский, С. С. Основные пути совершенствования аппаратов инерционной очистки газов / С. С. Янковский, Л. Я. Градус // Обзорная информация «Промышленная и санитарная очистка газов». Серия ХМ-14. – М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1985. – 46 с.
12. Мисюля, Д. И. Устройство для снижения энергопотребления циклонов / Д. И. Мисюля, В. В. Кузьмин, В. А. Марков // Экология и промышленность России. – 2010. – № 9. – С. 20–22.
13. Красовицкий, Ю. В. Обеспыливание промышленных газов в фаянсовом производстве / Ю. В. Красовицкий, А. В. Малинов, В. В. Дуров. – М.: Химия, 1994. – 272 с.
14. Кузьмин, В. В. Энергоэффективность применения ротора в циклонном пылеуловителе / В. В. Кузьмин // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2004. – № 5. – С. 79–82.
15. Зиганшин, М. Г. Проектирование аппаратов пылегазоочистки / М. Г. Зиганшин, А. А. Колесник, В. Н. Посохин. – М.: Экопресс ЗМ, 1998. – 505 с.
16. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов: справ. изд. / Г. М.-А. Алиев [и др.]. – М.: Металлургия, 1986. – 544 с.
17. Лазарев, В. А. Циклоны и вихревые пылеуловители: справ. / В. А. Лазарев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Н. Новгород: ОЗОН-НН, 2006. – 320 с.
18. Ветoshкин, А. Г. Процессы и аппараты газоочистки: учеб. пособие / А. Г. Ветoshкин. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2006. – 202 с.
19. Свистунов, В. М. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха объектов агропромышленного комплекса и жилищно-коммунального хозяйства / В. М. Свистунов, Н. К. Пушняков. – СПб.: Политехника, 2007. – 423 с.

20. Расчет пылеуловителей: в 3 ч. – Ч. 1: Расчет циклонов и рукавных фильтров / А. Е. За-
мураев, В. Б. Пономарев. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2006. – 50 с.
21. Кузьмин, В. В. Снижение энергетических и экономических затрат при исполь-
зовании циклонов НИИОГАЗ / В. В. Кузьмин, Д. И. Мисюля, В. А. Марков // Энергоэффек-
тивность. – 2011. – № 2. – С. 14–16.
22. Лисиенко, В. Г. Хрестоматия энергосбережения: справ. изд-е: в 2 т. / В. Г. Ли-
сиенко, Я. М. Щелоков, М. Г. Ладьгичев; под ред. В. Г. Лисиенко. – М.: Теплотехник, 2005. –
Т. 2.
23. Циклоны НИИОГАЗ. Руководящие указания по проектированию, изготовлению,
монтажу и эксплуатации. – Ярославль, 1970. – 96 с.
24. Ананьев, В. А. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика /
В. А. Ананьев, Л. Н. Балуева, В. П. Мурашко. – М.: Евроклимат, изд-во «Арина», 2008. –
504 с.
25. Черкасский, В. М. Насосы, вентиляторы, компрессоры / В. М. Черкасский. –
М.: Энергоатомиздат, 1984. – 416 с.
26. Экономическая эффективность энергосбережения в системах отопле-
ния, вентиляции и кондиционирования воздуха: учеб. пособие / А. И. Еремкин [и др.]. – М.:
Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2008. – 184 с.
27. Проектирование промышленной вентиляции: справ. / Б. М. Торговников,
В. Е. Табачкин, Е. М. Ефанов. – Киев: Будівельник, 1983. – 256 с.

Представлена кафедрой процессов
и аппаратов химических производств

Поступила 07.07.2011

УДК 620.75

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ

Доктора техн. наук КАРПУНИН И. И., КУЗЬМИЧ В. В., инж. БАЛАБАНОВА Т. Ф.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время актуальным вопросом промышленности является экономия энергетических ресурсов. Необходимо широкое внедрение альтернативных источников энергии, которое тормозится экономическими и социальными проблемами. Важное значение для воспроизводства энергии может найти использование отходов растительного сырья.

Беларусь располагает значительными сырьевыми ресурсами, остающимися после лесоразработки. При этом добыча топливных ресурсов в суммарном количестве составляет 15 млн т у. т. [1]. Отходы лесоразработок, местные природные ресурсы должны использоваться для обеспечения республики топливом. Этот резерв в энергетическом балансе страны позволит снизить зависимость от стран, поставляющих углеводородное сырье.

При разработке леса образуется значительное количество древесных отходов, которые не находят должного применения как дополнительный источник энергии. Это имеет особое значение, так как лес в отличие от нефти и природного газа – возобновляемое растительное сырье. Однако требуются многие десятилетия, прежде чем древесина достигнет спелого