

ВЗГЛЯД

НАИЛУЧШИЕ
ДОСТУПНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ
ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

**Перспектива деятельности
унитарных предприятий
ВКХ: реорганизация
или переход в концессию?**



**Эффект внедрения
ГИС и АСУТП
в АО «Водоканал» г. Иваново**



**Приборы автоматического
контроля сбросов: обзор**

**ВОДА
NEWS**
ЭЛЕКТРОННЫЙ КАНАЛ
ОТРАСЛИ ВКХ



**Полезные инструменты
для проектирования
КОМПЛЕКСНЫХ СИСТЕМ
ВОДООТВЕДЕНИЯ**

**Результаты
внедрения
биологической
очистки
на ОСК г. Воронежа**

GRUNDFOS

ОПТИМИЗИРОВАННЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ
Филиал в Москве: (495) 737-30-00, www.grundfos.ru

Как получить максимум от вложений в замену воздухоудувного оборудования



С.В. Доронин¹,
ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ДИРЕКТОР
ООО «Л-СТАРТ»

Коммунальные предприятия, эксплуатирующие очистные сооружения, вынуждены балансировать между постоянным ростом стоимости электроэнергии, с одной стороны, и давлением регулирующих органов, ограничивающих размер тарифов на водоотведение, с другой. В этих условиях снижение удельной стоимости подачи воздуха становится для многих вопросом экономического выживания. В то же время, переход на новые технологии очистки сточных вод наоборот, может привести к увеличению расхода воздуха. В этих условиях использование регулируемых воздухоудувок может стать практически панацеей. Они позволяют снизить затраты за счет регулирования подачи воздуха с учетом суточных, месячных, сезонных колебаний объема и состава сточных вод, а также с учетом меняющихся условий окружающей среды. Статья помогает руководителям и специалистам компаний, эксплуатирующих КОС, понять взаимосвязь и физическую суть процессов, от которых зависит возможность достижения максимального экономического и технологического эффекта от внедрения регулируемых воздухоудувок.

¹ E-mail: doronin@l-start.ru

Одна из основных статей затрат канализационных очистных сооружений (КОС) – плата за электроэнергию, которую потребляют воздуходувки, обеспечивающие подачу воздуха в аэротенки (реже – в усреднители и эрлифты). По разным оценкам, доля затрат электроэнергии для воздуходувок составляет от 50 до 80 % от общего энергопотребления очистных сооружений, в зависимости от состава сточных вод, применяемой технологии очистки, используемого оборудования, стоимости электроэнергии и других факторов.

Отечественные предприятия, эксплуатирующие очистные сооружения, вынуждены балансировать между постоянным ростом стоимости электроэнергии, с одной стороны, и давлением регулирующих органов, ограничивающих размер тарифов на водоотведение, с другой. В этих условиях снижение удельной стоимости подачи воздуха становится для многих вопросом экономического выживания. В то же время, переход на новые технологии очистки сточных вод наоборот, может привести к увеличению расхода воздуха. В этих условиях использование регулируемых воздуходувок может стать практически панацеей. Они позволяют снизить затраты за счет регулирования подачи воздуха с учетом суточных, месячных, сезонных колебаний объема и состава сточных вод, а также с учетом меняющихся условий окружающей среды.

Следует принимать во внимание, что воздуходувки относятся к классу оборудования, которое способно прослужить 20–25 и более лет. Его стоимость также не предполагает быстрой замены, поэтому ошибки при выборе оборудования будут «работать» в течение всего этого периода.

Цель данной статьи – помочь руководителям и специалистам компаний, эксплуатирующих КОС, понять взаимосвязь и физическую суть процессов, от которых зависит возможность достижения максимального эко-

номического и технологического эффекта от внедрения регулируемых воздуходувок.

Говорят, что сапер ошибается только один раз. То же самое можно сказать и о проектах внедрения систем регулируемой подачи воздуха. У подавляющего большинства эксплуатирующих компаний есть, как правило, есть лишь одна попытка внедрить регулируемые воздуходувки и получить (или не получить) максимальный экономический эффект. Это связано, в первую очередь, с размером капитальных затрат на их внедрение и значительным нормативным сроком службы.

Давайте посмотрим, какова цена ошибки. Рассмотрим относительно небольшие очистные сооружения производительностью 22 тыс. м³/сут сточной воды. При среднем значении удельного расхода воздуха 7 м³(воз)/м³ (ст. вод) для обеспечения воздухом процессов биологической очистки необходима воздуходувка, потребляющая в среднем 200 кВт•ч. За год потребление электроэнергии составит 1,75 млн кВт•ч. При текущей стоимости электроэнергии, скажем, 5 руб./кВт•ч и при среднем коэффициенте удорожания электроэнергии 6,8 % в год², затраты на электроэнергию за 25 лет составят чуть больше миллиарда рублей. Если внедренное техническое решение окажется всего на 5 % менее энергозатратным, оно позволит предприятию сэкономить за 25 лет больше 53 млн рублей. И даже эти 5 % позволят многократно окупить данную воздуходувку, вместе с резервной. При этом разница в энергоэффективности в 5 % легко формируется из мелких «погрешностей» технических решений.

Итак, рассмотрим факторы, определяющие энергетическую эффективность систем регулируемой подачи воздуха. На наш взгляд, при выборе следует очень внимательно относиться к следующему:

1. Правильно определить необходимую производительность и набор параметров работы воздуходувки.

² Согласно анализу Российской ассоциации водоснабжения и водоотведения о состоянии отрасли водоснабжения и водоотведения от 10.12.2015, среднее ежегодное удорожание электроэнергии для предприятий ВКХ РФ составляет 6,8 %. – *Примеч. авт.*

2. Выбрать тип воздуходувок, гарантированно обеспечивающих заданные параметры подачи воздуха при оптимальных затратах на электроэнергию за период жизненного цикла.

3. Создать систему автоматизации процесса подачи воздуха.

4. Учесть вопросы технической инфраструктуры.

5. Рассчитать стоимость обслуживания на протяжении 20–25 лет.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ВОЗДУХОДУВОК

Роль воздуходувки в технологическом процессе биологической очистки – подать требуемое количество кислорода для течения микробиологических и химических процессов в аэротенках, обеспечив при этом необходимую подачу воздуха для перемешивания иловой смеси.

При давлении 101 325 Па, температуре 0 °С и относительной влажности воздуха 0 % в 1 м³ воздуха содержится 298 г кислорода. Указанные условия называются *нормальными*, а 1 м³ при таких условиях называется нормальным кубическим метром (Нм³). Принимая во внимание, что при изменении температуры газа меняется его объем, а также тот факт, что атмосферный воздух является смесью газов и содержит помимо прочего

водяной пар, рассмотрим параметры воздуха при различных физических условиях (табл. 1).

Для подачи необходимого количества кислорода в процесс биологической очистки воздуходувное оборудование должно быть рассчитано на подачу значительно больших объемов реального воздуха³, а также иметь запас по мощности с учетом перекачивания водяного пара, содержащегося в воздухе. Учитывая, что необходимое количество кислорода зависит от количества сточной воды и концентрации загрязняющих веществ, которые меняются в течение дня и года, производительность воздуходувок должна рассчитываться на худшие возможные условия для обеспечения качества очистки в любых ситуациях.

В реальных условиях эксплуатации воздуходувок в России параметры окружающей среды изменяются в очень широком диапазоне значений, что требует от покупателей понимания того, насколько предлагаемое им воздуходувное оборудование способно обеспечить потребность технологического процесса в кислороде в различных условиях.

Очень часто при заказе воздуходувок покупатели указывают лишь номинальное значение расхода воздуха, а не требуемые значения производительности в крайних точках необходимого рабочего диапазона. Такой запрос ставит поставщиков воздуходувок в неравные условия. Одни могут предложить

Таблица 1.

ПАРАМЕТРЫ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА, СОДЕРЖАЩЕГО ОДИНАКОВОЕ КОЛИЧЕСТВО КИСЛОРОДА, ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Физические параметры	P = 101 325 Па, T = 0 °С, ОВВ = 0 %	P = 101 325 Па, T = 50 °С, ОВВ = 80 %	P = 101 325 Па, T = 20 °С, ОВВ = 80 %	P = 101 325 Па, T = -10 °С, ОВВ = 80 %
Содержание кислорода, г	1000	1000	1000	1000
Содержание влаги, %	0	6,71	1,17	0,17
Реальный объем воздуха, м ³	3,413	4,471	3,730	3,297
Разница между <i>нормальными</i> (Нм ³) и фактическими м ³	0 %	+31 %	+9,3 %	-3,4 %

³ Пересчет от требуемой массы кислорода к объему воздуха – отдельная специализированная задача, не являющаяся темой данной статьи. – Примеч. авт.

агрегат, формально отвечающий данному запросу, но способный его обеспечить лишь в узком температурном диапазоне, в то время как другие поставщики могут учесть реальные условия эксплуатации и предложить воздуходувку с подходящим диапазоном производительности, но заведомо более дорогую. Не желая подвести покупателя и руководствуясь его долгосрочными интересами, добросовестный поставщик оказывается в проигрышном положении. Поскольку большинство заказчиков не имеет достаточного опыта выбора и эксплуатации регулируемых воздуходувок, на сегодняшний день вероятность ошибок, чреватых реальными финансовыми и технологическими потерями в будущем, высока.

Проблема усугубляется еще и тем, что в мире существуют два стандарта единиц измерения номинальной производительности воздуходувок. Это упомянутые выше нормальные кубические метры и стандартные кубические метры, которые определяются при давлении 10^5 Па и температуре $20\text{ }^\circ\text{C}$. Стоит отметить, что реальная производительность воздуходувок, номинальная производительность которых выражена в нормальных кубических метрах приблизительно на 9 % больше, чем у воздуходувок, номинальная производительность которых указана в стандартных кубических метрах. Усложняет ситуацию еще и тот факт, что ГОСТ 2939-63 «Газы. Условия определения объема» предписывает приводить условия определения объемов к стандартным условиям (температура $20\text{ }^\circ\text{C}$ ($293,15\text{ }^\circ\text{K}$), давление $101\,325\text{ Н/м}^2$, влажность равна 0). При этом «Положение о единицах величин, допускаемых к применению в Российской Федерации» (утверждено постановлением Правительства РФ от 31 октября 2009 г. № 879) допускаемым к применению в Российской Федерации для измерения объема определяет кубический метр. Никаких уточнений относительно условий определения объема газа в этом Положении не содержится. В связи с этим, когда в технических заданиях появляется требование вроде «оборудование должно соответствовать российским ГОСТам и норма-

тивно-технической документации РФ», оно только расширяет зону неопределенности.

Еще одно обстоятельство, влияющее на эффективность работы воздуходувки – высота места их установки над уровнем моря. Как известно, плотность воздуха и давление падают с увеличением высоты над уровнем моря. Чем выше расположен объект, тем больший объем воздуха должна подавать воздуходувка, чтобы обеспечить требуемую массу кислорода. На каждые 10,5 м подъема над уровнем моря атмосферное давление падает на 133,3 Па, т.е. при высоте над уровнем моря свыше 81 м разница давления превышает 1 %. К слову, города, например, уральского региона находятся на высоте 200–250 м над уровнем моря.

Таким образом, при определении параметров работы требуемой воздуходувки рекомендуется:

1. Определить необходимые расходы воздуха с учетом содержания кислорода в 1 м^3 воздуха при крайних значениях диапазона температуры воздуха на входе в воздуходувку. Особенно важными являются требуемые значения при максимально высоких температурах.

2. Учитывать реальный диапазон регулирования подачи воздуха, принимая во внимание сочетание суточных и сезонных колебаний объема поступающих сточных вод и возможных концентраций загрязняющих веществ.

3. Корректировать расчет производительности с учетом высоты объекта над уровнем моря.

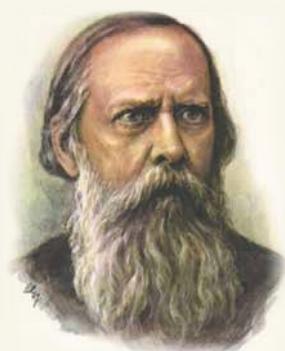
Стоит упомянуть аспект, связанный со способом подтверждения параметров воздуходувки. Корректно это можно сделать только на специальных заводских стендах, где соблюдены условия измерения и в полном объеме используется необходимое измерительное оборудование. Многие поставщики воздуходувок не указывают в своих предложениях, на каких принципах и стандартах измерения и с какой погрешностью определены указываемые в технических предложениях параметры работы воздуходувок. Фактическое отсутствие ответственности поставщика за обеспечение заявленных па-

ВЫБОР РЕШЕНИЯ

раметров работы поставляемого оборудования оставляет возможность манипулировать предоставляемыми данными об энергопотреблении и производительности, что для покупателя чревато теми самыми процентами реальной энергоэффективности, выливающимися за годы эксплуатации в значительные суммы финансовых потерь.

**«СТРОГОСТЬ
РОССИЙСКИХ
ЗАКОНОВ
СМЯГЧАЕТСЯ
НЕОБЯЗАТЕЛЬНОСТЬЮ
ИХ ИСПОЛНЕНИЯ.»**

М.Е. Салтыков-Щедрин



дачи, а также с учетом физических особенностей и ограничений каждого типа воздуходувок. Не последнее значение имеет и фактор стоимости оборудования, однако его все-таки стоит рассматривать не отдельно, а с позиций затрат в течение жизненного цикла – суммы капитальных вложений и эксплуатационных затрат в течение всего срока эксплуатации.

Во избежание возможных споров хочу сразу сказать, что нет заведомо «идеальных» воздуходувок. Каждый тип имеет свои преимущества, ограничения, недостатки и сферу применения. Основные типы воздуходувок, используемых на очистных сооружениях, представлены на рис. 1.

Винтовые и роторные воздуходувки целесообразно применять на технологических задачах с малыми значениями расходов воздуха. Их использование в качестве основных для решения задач с расходом воздуха свыше 5 тыс. м³/ч экономически нецелесообразно, поскольку меньшая стоимость этих воздуходувок за 1,5–3 года перекрывается более высокими эксплуатационными затратами в сравнении с воздуходувками с динамическим сжатием. Последние не только имеют, как правило, существенно более высокий (на 12–15 %) КПД, но и требуют меньших затрат на обслуживание и ремонты.

ВЫБОР ТИПА ВОЗДУХОДУВОК

Выбор типа воздуходувок определяется исходя из соотношения целей и ограничений решаемой технологической и технической за-



Рис. 1. Типы воздуходувок для использования на очистных сооружениях

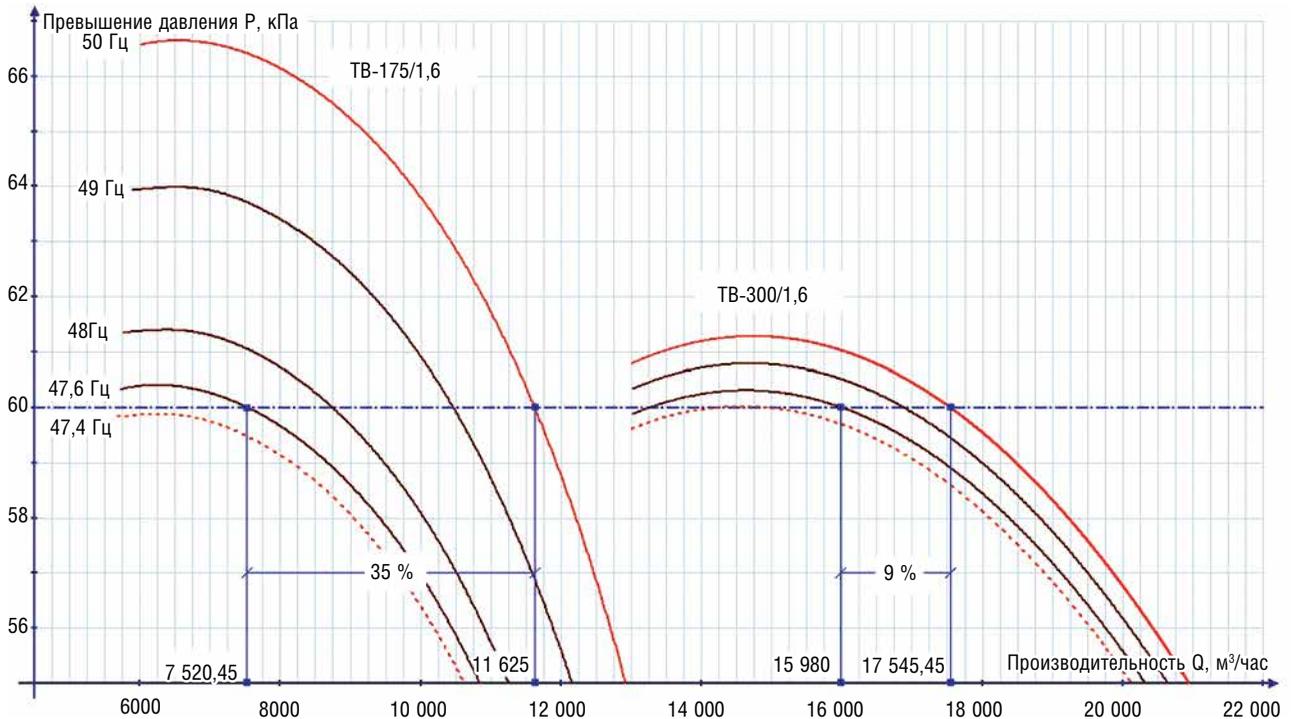


Рис. 2. Газодинамические характеристики нагнетателей ТВ-175/1,6 и ТВ-300/1,6 при регулировании частоты вращения вала (при стандартных условиях, на основании информации из технического паспорта)

Сфера применения *многоступенчатых воздуходувок с одним валом* – задачи с небольшим необходимым диапазоном регулирования (менее 20 %) или в качестве нерегулируемых воздуходувок, работающих совместно с регулируемыми воздуходувками на очистных сооружениях с расходом воздуха свыше 50 тыс. м³/ч. Этот вариант имеет смысл рассматривать для некоторого снижения капитальных затрат.

Одноступенчатые центробежные турбовозهوудувки обладают наибольшими значениями КПД и наиболее широким диапазоном регулирования. Для более подробного знакомства с особенностями работы центробежных воздуходувок рекомендую недавно вышедшую книгу⁴.

Несколько слов стоит сказать о способах регулирования расхода воздуха. Все воздуходувки, в которых изменение расхода воздуха

достигается за счет изменения скорости вращения вала при помощи *частотно-регулируемого привода (ЧРП)*, имеют принципиальные технические и физические ограничения. Основное ограничение связано с тем, что при изменении частоты вращения вала двигателя газодинамическая характеристика воздуходувки смещается вверх или вниз – меняется не только расход, но и давление (см. рис. 2).

Поскольку давление на выходе воздуходувки должно быть достаточным для преодоления статического давления столба воды и сил упругости мембранных аэраторов, уменьшать давление при частотном регулировании можно лишь в весьма ограниченных пределах (см. рис. 2). Диапазоны регулирования определяются характеристиками аэротенков, диффузоров, воздухопроводов, а также конструкцией и техническими особенностями конкретных моделей воздуходувок.

⁴ Березин С.Е., Баженов В.И. Воздуховые станции с регулируемыми центробежными компрессорами. Симферополь, ИТ «АРИАЛ», 2019 – 188 с.

Можно увеличить диапазон регулирования выбором воздуходувки с заведомо большим запасом по давлению, но недостатком этого подхода является существенное снижение энергоэффективности, связанное с такой «переразмеренностью» воздуходувки.

Еще одна принципиальная особенность воздуходувок с частотным регулированием связана с наличием системных «мертвых» зон при параллельной работе нескольких воздуходувок. Эта проблема проявляется и должна быть должным образом учтена в переходных режимах при расходах, требующих вывода из работы или включения дополнительной воздуходувки (см. рис. 3).

Проблема решается средствами системы управления, в которой это явление должно быть учтено и алгоритмы управления должны предусматривать особые режимы прохождения этих зон. При неправильном решении этой задачи возможно попадание оборудования в режим помпажа, чреватый авариями и повреждениями.

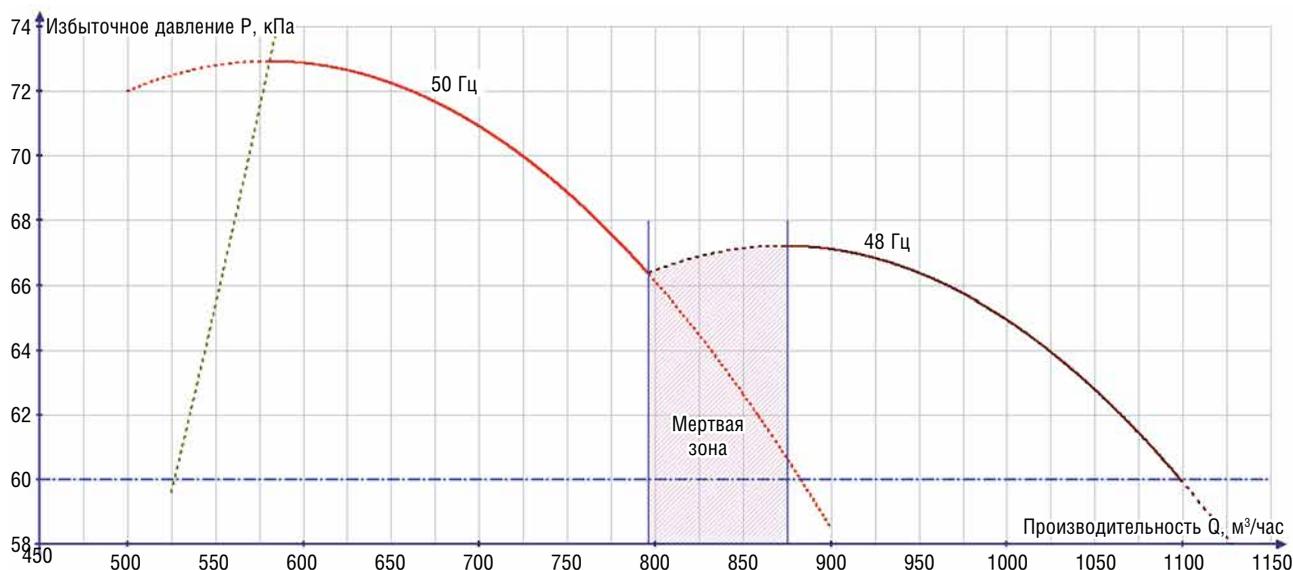
Отметим, что такому явлению, как помпаж, и мерам защиты от него, должно быть уделено должное внимание. Большинство про-

изводителей современных воздуходувок имеют антипомпажные системы, но иногда их недостаточно, если в общем техническом решении не предусмотрены меры, позволяющие исключить переход воздуходувок в режимы помпажа.

Врезка: Помпажом (от фр. *pompage* – накачка) называют режим нестабильной работы воздуходувки, при котором наблюдается пульсация потока до и после импеллера, повторяющаяся с частотой в несколько герц. Смена режимов нарастания и падения давления приводит к режиму автоколебаний. Это приводит к большим динамическим нагрузкам на всю конструкцию, обратным выбросам воздуха и разрушению или серьезным поломкам воздуходувок.

С риском помпажа связано и то, что реальный диапазон регулирования расхода воздуходувок часто оказывается меньше декларируемого. Заявляемые некоторыми производителями диапазоны регулирования в 50–65 % физически достижимы и часто даже могут быть продемонстрированы в контролируемых условиях испытаний на заводских стендах. Однако, в реальных условиях, для исключения выхода

Рис. 3. «Мертвые» зоны при работе нескольких воздуходувок в регулируемых режимах. Штриховкой показан интервал, который уже не обеспечивается одной воздуходувкой и ещё не обеспечивается параллельной работой двух воздуходувок



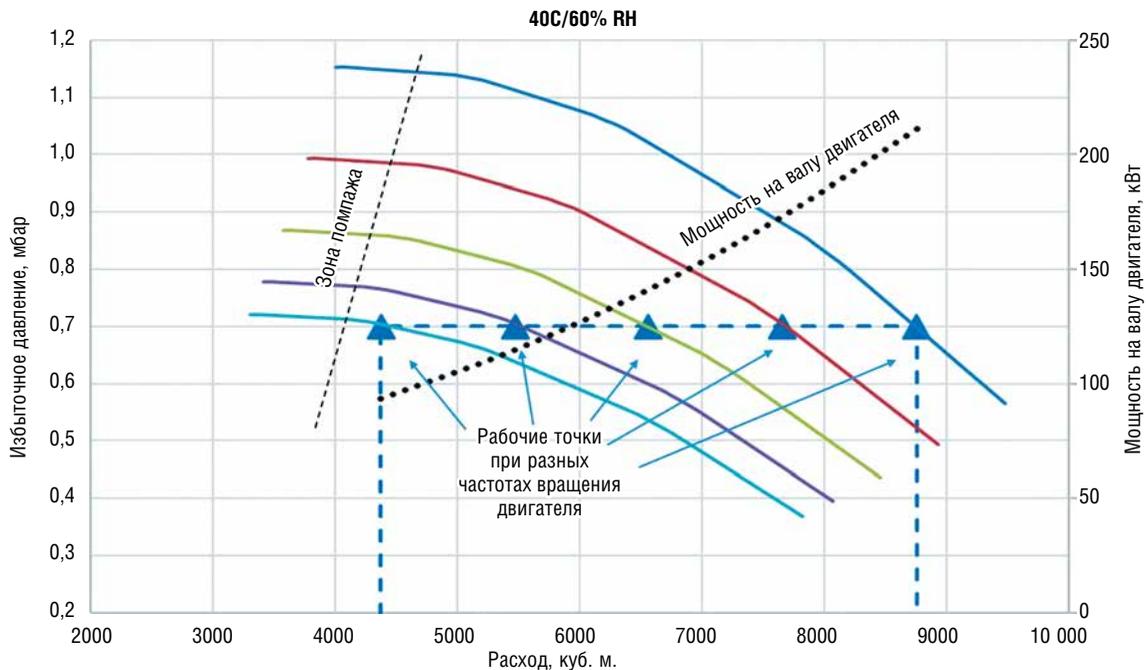


Рис. 4. Приближение к зоне помпажа на 0,0217 бар при 50 % диапазоне регулирования на примере турбовоздуховки ABS HST20

оборудования в помпаж, диапазон регулирования ограничивается уставками срабатывания клапанов сброса давления. На рис. 4 показано на примере газодинамических характеристик воздуховодки ABS HST20, насколько близко приближается давление к точке помпажа при снижении производительности до 50 %. В случае возникновения небольшого (0,0217 бар) перепада давления воздуховодка может перейти в помпаж, который способен распространиться на несколько параллельно работающих на один воздуховод агрегатов.

Еще один практический аспект связан с тем, что срок службы частотных преобразователей в 2–4 раза меньше, чем у самой воздуховодки, что увеличивает затраты в среднесрочной и долгосрочной перспективе.

Регулирование расхода воздуха с помощью поворотных лопаток на входе и поворотно-лопастных диффузоров на выходе при постоянных оборотах вала позволяет поддерживать высокую стабильность и управляемость процесса, а также гарантированно

но обеспечить изменение расхода воздуха в широком диапазоне (40–100 %).

Безредукторные высокоскоростные воздуховодки с прямым приводом на воздушных и магнитных подшипниках, безусловно, привлекательны своей относительной простотой, отсутствием трущихся поверхностей и необходимости смазки, меньшей стоимостью по сравнению с редукторными воздуховодками с регулируемым направляющими лопатками. При этом, они имеют вышеописанные недостатки, связанные с использованием частотного регулирования. Кроме того, необходимо принимать во внимание тот факт, что эффективность воздуховодок с прямым приводом, использующих для охлаждения двигателя входящий воздух, снижается за счет происходящего в результате этого повышения температуры воздуха на входе. Об этом факте поставщики часто умалчивают.

Мнение о том, что воздуховодки с прямым приводом имеют наибольший КПД, является мифом, поддерживаемым их про-

ВЫБОР РЕШЕНИЯ

Таблица 2. Сравнение КПД элементов одноступенчатых центробежных воздуходувок с регулируемыми направляющими лопатками и с высокоскоростным прямым приводом

Элемент воздуховодки	Значение КПД, %	
	Регулируемые направляющие лопатки	Высокоскоростной прямой привод
Двигатель	96	94
Преобразователь частоты	100 (отсутствует)	98
Масляные насосы и подшипники	97,5	100 (отсутствуют)
Редуктор	99,5	100 (отсутствует)
Общий КПД	93,1	92,1

изготовителями и продавцами. Для полноценного сравнения необходимо учитывать все потери воздуходувок. В табл. 2 приведен пример сравнения КПД воздуходувок с регулируемыми направляющими лопатками и с высокоскоростным прямым приводом.

В зависимости от особенностей конструкции воздуходувок различных производителей значения могут отличаться, но принципиаль-

но можно сказать, что КПД одноступенчатых центробежных воздуходувок этих двух типов приблизительно одинаковы.

Прямоточные воздуховодки имеют двигатели особой конструкции с использованием постоянных магнитов, их КПД несколько уступает КПД асинхронных двигателей с давно отработанной и оптимизированной конструкцией и технологией изготовления.

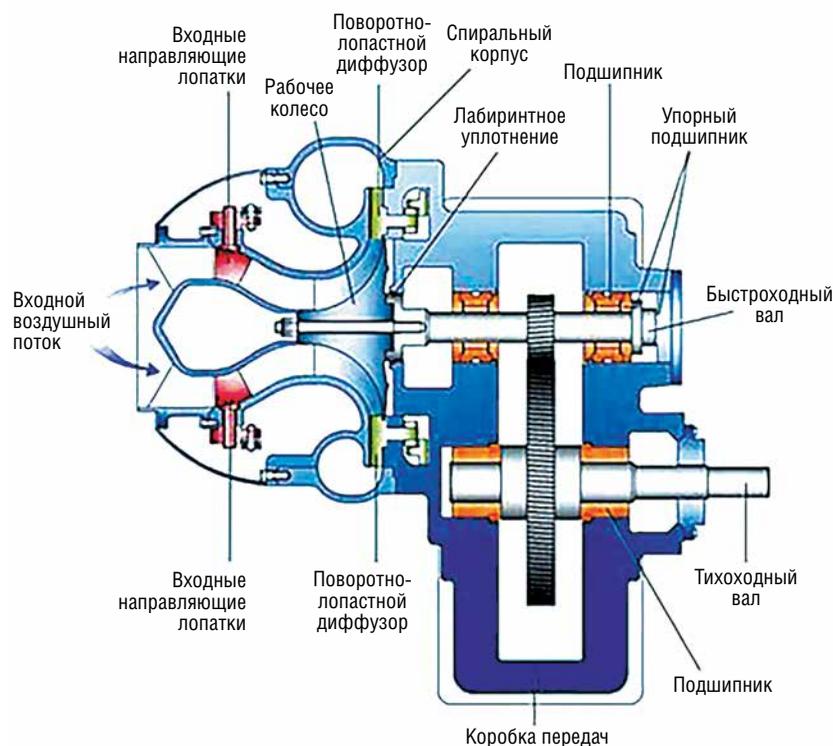


Рис. 5. Принципиальное устройство турбовоздуходувок с регулируемыми направляющими лопатками

ЧЕМ РУКОВОДСТВОВАТЬСЯ ПРИ ВЫБОРЕ ТИПА ВОЗДУХОДУВК

Так, чем же руководствоваться при выборе типа воздуходувок? На мой взгляд, наиболее правильным подходом является построение графика времени работы воздуходувок в различных режимах в течение года с последующим анализом необходимого количества воздуходувок, режимов переключения, потребляемой электроэнергии, стоимости обслуживания, капитальных затрат для разных типов воздуходувок. Основная сложность такого подхода состоит в обоснованности графика времени работы в различных режимах и его соответствия действительности. Далек не все предприятия имеют качественную исходную информацию и накопленную статистику. В случае отсутствия фактических данных необходимо смоделировать этот график на основании расчетов и обоснованных предположений. На этапе проектирования такую работу могут (и должны) проделать технологи проектной организации.

Следует отметить, что в некоторых случаях, например, при наличии усреднителей или других особенностей КОС, приводящих к высокой равномерности стоков, потенциал глубокого регулирования может быть не востребован. В таких случаях совокупный анализ факторов может привести к выводу о целесообразности приобретения более дешевых нерегулируемых воздуходувок с подбором их параметров и изменением количества работающих машин при необходимости различных режимов подачи воздуха.

Автоматизация процесса подачи воздуха

Сама по себе замена старых воздуходувок может дать лишь незначительный эффект, который будет обусловлен более высоким КПД новых воздуходувок. Максимальный выигрыш, с точки зрения снижения затрат на электроэнергию, может составить в среднем от 5 до 12 % в зависимости от физического состояния старых воздуходувок и выбранного типа новых воздуходувок.

Для получения более значительного эффекта необходимо создать условия для использования потенциала регулируемых воздуходувок, заключающегося в возможности изменять объем подачи воздуха в зависимости от объема и качества поступающей сточной воды или кислородного режима в аэротенках. Сделать это можно разными способами.

При отсутствии средств или иных возможностей для создания полноценной системы автоматизации получить дополнительную экономию можно путем разработки технологом КОС регламента изменения подачи воздуха с учетом повторяющихся режимов поступления сточной воды и задания параметров работы воздуходувок по часам суток, осуществляемой оператором вручную с местного или выносного пульта управления воздуходувками.

Более «продвинутым» вариантом может оказаться создание минимальной автоматизации процесса, при которой создается относительно недорогая система управления на базе контроллера, в который закладываются некоторые часто повторяющиеся базовые шаблоны или сценарии режимов требуемой подачи воздуха, основанные на статистике и расчетах технолога. Далее, в соответствии с регламентом, оператор выбирает тот или иной шаблон, который должен указывать на условия и критерии, при которых тот или иной сценарий должен вводиться в работу. При реализации такого подхода необходимо предусмотреть возможность для технолога редактировать сценарии путем изменения режимов расхода воздуха и времени работы в тех или иных режимах. Совершенствование сценариев с учетом анализа статистики может заметно увеличить объем сэкономленной электроэнергии.

Наибольший эффект можно получить путем создания полноценной системы автоматизации, которая требует установки датчиков параметров работы очистных сооружений (например, датчиков растворенного кислорода и иных аналитических приборов с учетом особенностей технологического процесса), установки регулируемой запорной арматуры, расходомеров воздуха, алгоритмов

управления, системы мониторинга параметров технологического процесса. Стоимость создания подобных систем бывает значительной, но при правильном подходе с учетом сопоставления затрат и получаемого эффекта, эти затраты быстро окупаются. Вопрос создания системы автоматизации процесса подачи воздуха требует специального освещения за рамками данной статьи.

ИНФРАСТРУКТУРА

Воздуходувки являются лишь одним из элементов технологического комплекса очистных сооружений и должны рассматриваться с точки зрения взаимосвязи со всей окружающей технической и технологической структурой КОС.

Первая и самая значительная технологическая взаимосвязь, которую следует принять во внимание – это взаимосвязь параметров работы воздуходувок и системы аэрации. Эффективная, правильно спроектированная система аэрации с применением диффузоров с высокими ($> 6 \text{ \%}/\text{м}$) значениями SSOTE⁵ позволяет снизить необходимый объем воздуха. Совокупный эффект снижения энергозатрат за счет внедрения регулируемых воздуходувок и замены диффузоров на эффективные достигает 45 %. Принимая во внимание, что воздуходувки с прямым приводом у большинства производителей рассчитаны на питание от сети 380 В и ограничением на сегодняшний день их производительности 24 000 м³/час, для очистных сооружений большой производительности использование таких воздуходувок может потребовать дополнительных капитальных затрат на модернизацию системы электроснабжения, а также, возможно, на расширение помещения для их размещения. В случае, когда предприятие имеет трансформаторы, понижающие напряжение с 10 или 6 кВ до 380 В, для полноты кар-

тины энергетических потерь следует учесть потери электроэнергии на этих трансформаторах. Эти потери зависят от исходного напряжения, мощности трансформатора, его конструкции, температуры и могут достигать 2–3 %.

Стоит также, по возможности, уделить внимание такому вопросу, как разделение контуров воздухоснабжения в случаях, когда есть несколько потребителей воздуха с различными параметрами, а также рассмотреть вопрос о размещении воздуходувного оборудования ближе к аэротенкам или иным потребителям для снижения потерь в воздуховодах. Такие меры в некоторых случаях могут дать 1–2 % экономии электроэнергии.

ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ ВОЗДУХОДУВОК

Как и любое иное оборудование воздуходувки требуют затрат на техническое обслуживание и ремонты. Прежде всего, следует принять все технические меры для исключения режимов и ситуаций, способных привести к возникновению помпажа. Эти ситуации приводят к полному выходу оборудования из строя или к необходимости проведения серьезных ремонтных работ, затраты на которые сравнимы со стоимостью покупки нового оборудования. Для некоторых конструкций воздуходувок следует также исключить возможность возникновения ситуаций, приводящих к обратному вращению вала, которое ведет к значительным повреждениям оборудования.

При расчете стоимости жизненного цикла следует обратить внимание на срок службы компонентов воздуходувок – подшипников, преобразователей частоты, элементов электроники и др. Например, срок службы воздуходувки может составлять 15–20 лет, а срок службы входящего в его состав преобразователя частоты (ПЧ) – 6–8 лет, после чего ПЧ необходимо менять.

⁵ SOTE (Standard Oxygen Transfer Efficiency) – коэффициент эффективности передачи кислорода. Характеристика диффузоров, определяющая долю кислорода, который переходит из воздушных пузырьков в воду при подъеме пузырька до поверхности. Определяется для чистой воды (без растворенных веществ) в стандартных условиях (при температуре 20 °С, давлении 1 атм.) и при отсутствии кислорода в жидкости на момент начала определения. Измеряется в % и в %/м (SSOTE – удельное SOTE).

Стоит также учесть возможность обновления производителями электроники и преобразовательной техники своих продуктов, что может привести к необходимости дополнительных затрат на адаптацию и включение в систему новых элементов взамен исходных.

Не стоит пренебрегать и регулярным регламентным техническим обслуживанием, которое хотя и требует затрат, в долгосрочной перспективе перекрывает их эффектами от бесперебойной и экономичной работы оборудования.

Проведение части технического обслуживания проводится силами эксплуатирующего персонала заказчика, однако есть

виды работ, которые должны осуществлять специально обученные сотрудники производителя или уполномоченного сервисного центра. Затраты на возможное привлечение иностранных специалистов, на простой оборудования на время возможных затяжных ремонтов надо также учесть при расчете стоимости жизненного цикла воздуходувок.

Итак, для получения максимального эффекта от внедрения регулируемых воздуходувок, необходимо подходить к этому вопросу комплексно, уделять ему внимание и вкладывать усилия, как минимум, пропорциональные доле этого оборудования в структуре затрат очистных сооружений.

Выводы

1. Воздуходувное оборудование имеет высокую стоимость и длительный срок эксплуатации, поэтому ошибки, заложенные в технические решения при выборе основного и сопутствующего оборудования, в течение всего этого срока будут увеличивать затраты предприятия.

2. Чтобы избежать ошибок, необходимо правильно определить необходимые параметры работы воздуходувки, выбрать тип оборудования с учетом условий эксплуатации, обеспечить работу системы автоматизации для регулирования подачи воздуха, а также организовать регулярное сервисное и техническое обслуживание.

3. Правильный расчет, подбор воздуходувного оборудования, учет всех аспектов его работы в составе технологической системы, каковой являются современные очистные сооружения – задача, требующая наличия специализированного знания, опыта, комплексного понимания физических, технических и технологических факторов работы системы воздухообеспечения КОС. Далеко не каждая проектная компания сегодня располагает необходимой экспертизой и квалификацией, поскольку в нашей стране процесс внедрения регулируемых воздуходувок и иного оборудования, влияющего на эффективность технологического процесса биологической очистки сточных вод, только начинается. Количество же успешных, с экономической и технологической точек зрения, проектов пока исчисляется единицами. Тем, кто хочет получить максимальный технологический и экономический эффект от вложения средств в воздуходувку, стоит обращаться к поставщикам, которые способны не только продать оборудование, но и вложить в проекты опыт и знания. ●