

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОЗДУХОДУВНЫХ МАШИН

Николова Р.А.¹, Лозиенко К.П.²

¹ *Одесская государственная академия строительства и архитектуры,
г. Одесса Украина*

² *Начальник станции биологической очистки «Северная» г.Одесса, со-
искатель кафедры ВиГ ОГАСА*

Биологические методы очистки сточных вод основываются на естественных процессах жизнедеятельности гетеротрофных микроорганизмов. Микроорганизмы, как известно, обладают целым рядом особых свойств, которые широко используются для целей очистки. Процессы биохимического окисления у гетеротрофных микроорганизмов делят на три группы, в зависимости от того, что является конечным акцептором водородных атомов или электронов, отщепляемых от окисляемого субстрата. Если акцептором является кислород, то этот процесс называют клеточным дыханием; если акцептор водорода – органическое вещество, то процесс окисления называют брожением; а когда акцептором водорода является неорганическое вещество типа нитратов, сульфатов и пр., то процесс называют анаэробным дыханием [6].

Наиболее полным является процесс аэробного окисления, т.к. его продукты – вещества, не способные к дальнейшему разложению в микробной клетке и не содержащие запаса энергии, которая могла бы быть высвобождена обычными химическими реакциями.

В аэрационных сооружениях микробная масса пребывает во взвешенном в жидкости состоянии в виде отдельных хлопьев, представляющих собой скопления микроорганизмов (черви, личинки насекомых, коловратки), а также водных грибов и дрожжей. Этот биоценоз организмов, развивающихся в аэробных условиях на органических загрязнениях, содержащихся в сточной воде, получил название **активного ила**. Эффективность работы аэрационных сооружений оценивается такими показателями, как степень очистки по БПКполн (ХПК), *прирост ила, остаточные концентрации в очищенной воде БПКполн, азота аммонийного, нитритов и нитратов, соединений фосфора, взвешенных веществ после отделения ила.*

Эта оценка проводится на основе лабораторных анализов по определению качества воды до и после биологической очистки по всем показателям, а также по концентрации растворенного кислорода.

Но работа аэрационных сооружений оценивается также энергетическими показателями, как расход электроэнергии на снятие единицы массы загрязнений, например кВт·ч на 1 кг БПКполн (или ХПК); расход энергии или воздуха на очистку 1м³ сточной воды.

Однако, следует иметь ввиду, что эти показатели зависят также от эффективности подачи в аэротенк и распределения в нем воздуха (или кислорода), перемешивания всего содержимого бассейна и пр., что, строго говоря, не относится к биохимическим аспектам процесса очистки сточных вод (СВ) в аэрационных сооружениях. Поэтому при оценке экономических показателей работы аэротенков, требуется более детальный, анализ работы системы аэрации иловой смеси в них.

Схема реализации биологического процесса очистки СВ в проточном режиме в аэротенках с возвратом ила из вторичных отстойников и выведением избыточного ила на обработку получила название классической аэрации. Эта схема включает множество сооружений и коммуникаций, а также подачу воздуходувками по воздуховодам и распределение воздуха в аэротенках. Иловая смесь протекает от входа к выходу из него при постоянном перемешивании и обеспечении кислородом воздуха. Расчет воздуховодов состоит в подборе диаметров трубопроводов и определении потерь напора в них. В целях экономии металла необходимо стремиться к уменьшению диаметров труб, но в тоже время потери напора в них не должны быть слишком большими во избежание, излишнего расхода электроэнергии.

Интенсивность аэрации не должна быть ниже определенного предела с тем, чтобы обеспечить надлежащее перемешивание содержимого аэротенка независимо от потребности в кислороде. Минимальная интенсивность должна быть в пределах 48 м³/(м²·ч) при глубине погружения аэратора $h_a=0,5\text{м}$ и 2,5 м³/(м²·ч) при $h_a=6\text{м}$. С другой стороны интенсивность аэрации не должна превышать определенных значений, т.к. из-за повышенного содержания воздуха фактическая эффективность аэрации понизится по сравнению с расчетным ее значением. Максимальные ее значения зависят от отношения площади аэраторов к площади дна аэротенка, т.е. от f_{ar}/f_{at} и изменяются от 5 м³/(м²·ч) при $f_{ar}/f_{at} = 0,05$ до 100 м³/(м²·ч) при $f_{ar}/f_{at} = 1,0$.

Если расчетное значение илового индекса превышает максимально допустимое значение, необходимо увеличивать площадь аэрируемой

зоны. *Если J_d меньше минимально допустимого значения, то следует увеличивать расход воздуха.*

Из сказанного следует, *что правильная работа воздуходувной станции и управление подачей воздуха является экономически выгодным мероприятием и по энергосбережению, и по окупаемости инвестиций в сфере водоотведения.* Существенная неравномерность (суточная и сезонная) поступления СВ на очистку, а также при нынешнем глобальном потеплении на планете колебания температуры воздуха, идущего на аэрацию, *предопределяют огромную выгоду от регулирования подачи воздуха.* Потенциал ее, с учетом повсеместной недостаточной нагрузки на очистные сооружения, по мнению С.Е.Березина [1] огромен.

Прежде чем перейти к вопросу интенсификации работы воздуходувных машин коротко остановимся на их режиме работы. Рабочие характеристики некоторых нагнетателей, как и насосов лабильные, т.е. неустойчивые (в зоне малых подач имеют максимум на напорной характеристике). Это означает, что в определенных случаях работа некоторых насосов, является неустойчивой: подача резко изменяется от наибольшего значения до нуля «0», а напор колеблется в значительных пределах, наблюдаются гидравлические удары, шум и сотрясение всей машины и трубопроводов. Это явление называется помпажем. Помпаж происходит практически у всех воздуходувок, имеющих кривую напоров с западающей левой ветвью. В системах воздухоподачи может возникнуть неустойчивая работа (явление попмажа), которое обусловлено рядом причин и крайне нежелательно при параллельной работе нескольких турбовоздуходувок. Нарушение постоянства рабочего режима системы особенно опасно ввиду резкого скачкообразного повышения давления в потоке и как следствие увеличения давления в воздуховоде и в рабочих узлах установки.

Опыт эксплуатации турбовоздуходувок и нагнетателей на станции биологической очистки сточных вод «СЕВЕРНАЯ» г. Одессы показывает, что при постоянстве режима работы установок потребителей воздуха - помпаж редко наблюдается. Проведенные исследования и наблюдения в течение длительного времени показали, что уровень воды в аэротенках, куда подается воздух, сравнительно постоянный и поэтому объем и давление подаваемого воздуха не изменяется в больших пределах. Это создает для турбовоздуходувки или нагнетателя постоянный режим работы системы и при надлежащем выборе режимной точки работы и правильной эксплуатации исключает возможность возникновения помпажа. Однако, заводы-изготовители поставляют вместе с воздуходувками так называемое противопомпажное устрой-

ство, представляющее собой сбросные клапаны, автоматически открывающиеся при повышении давления более критического. На СБО «СЕВЕРНАЯ» г. Одессы принято устройство для защиты от возникновения помпажа для всей системы в целом. Эти устройства также состоят из сбросного патрубка с быстродействующей задвижкой на его конце. Можно устанавливать и выпускной клапан, обеспечивающий сброс избыточного количества воздуха при достижении воздуходувкой критического давления. Как нам известно, процесс биологической очистки СВ происходит за счет микроорганизмов, для жизнедеятельности которых в слой жидкости подается по системе трубопроводов через аэраторы воздух. Именно высотой этого слоя жидкости определяется напор воздуходувной установки, т.к. потери в воздуховодах практически отсутствуют из-за их большого сечения и незначительной протяженности. Поэтому на графике параллельной работы трех-четырех воздуходувок характеристика воздуховода описывается почти горизонтальной линией с постоянным значением по оси ординат, равным гидростатическому напору (давлению), требующемуся на преодоление столба жидкости в аэротенке.

В статье [5] рассматриваются 3 метода регулирования подачи воздуха, однако *метод прямого дросселирования воздушного потока* не рассматривается как экономичный по ряду причин изложенных выше.

Второй способ с *использованием частотно-регулируемого привода* стал чаще применяться с появлением сверхскоростных воздуходувок на воздушных или магнитных подшипниках. Эти машины привлекают многими преимуществами: бесшумностью работы, эргономичностью, компактностью, плавным регулированием в широком диапазоне, а также экономичностью, обусловленной отсутствием трения между валом и подшипниками. Но нельзя не учитывать и контраргументы: сверхскоростные воздуходувки пока *неприменимы при напряжении выше 660В, а потому ограничены в производительности до 16 тыс. м³/ч.* и нередко требуют трансформатора, понижающего напряжение и входную мощность согласно данным [5]. И, кроме того, характеристики воздуходувок данного типа имеют зону помпажа, что сужает диапазон регулирования производительности машин.

На СБО «Северная» установлено 5 нагнетателей типа *H1200*, мощностью *1000 кВт* и напряжением *6000 В*. Поэтому в данный момент замена существующих воздуходувок на другие, второго типа не приемлема. Многолетние исследования кафедры Водотведения МГСУ не только подтвердили возможность *введения периодической аэрации*, но и позволили разработать рекомендации по ее инженерному оформлению, защищенные патентами РФ. По сравнению с непрерывной

аэрацией периодическая аэрация позволяет уменьшить затраты электроэнергии на 25-30%. Но проведенные нами исследования на СБО показали, что этот метод приемлем только при воздуходувках малой и средней производительности. Для крупных нагнетателей, как у нас,

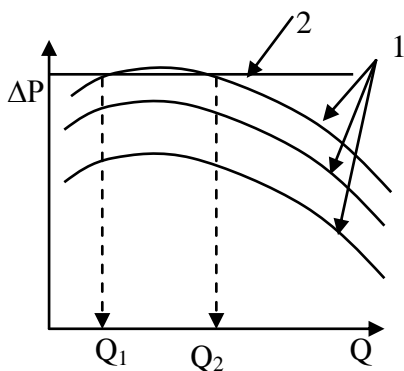


Рис.1 Характеристика нагнетателя Н1200 (1) и воздуховодка (2)

при каждом пуске увеличивается переменнопеременная нагрузка на систему аэрации (аэраторов), тем самым снижая ее прочность и срок службы и нанося вред процессу. Характеристика отечественного нагнетателя представляет собой кривую (Рис.1) с восходящей и ниспадающей ветвями. Только по оси ординат откладывают, как правило, не напоры, а разность давлений нагнетания и всасывания ΔP .

Как было сказано выше, характеристика воздуховодка представляет прямую линию параллельную оси абсцисс. И при наложении характеристики нагнетателя, они пересекаются в двух точках Q_1 и Q_2 . Воздуходувка при одном и том же напоре будет работать с разной подачей. Данный неустойчивый режим называется помпажем и эксплуатировать машину в нем нельзя.

На канализационных очистных сооружениях электроэнергия используется на освещение, перекачку сточных вод, ила, аэрацию и обработку осадка. По данным [1] С.Е.Березина затраты электроэнергии только на аэрацию составляют около 65% общего энергопотребления СБО. На СБО «Северная» нагнетатели недогружены на 40-50% и вместо 4-х рабочих работает 1 или 2, потому что оборудование подбиралось с учетом на перспективу, а приток СВ в г.Одессе неуклонно снижается по многим причинам: люди экономнее используют воду (установлены счетчики), не работают большинство заводов и т.д. И в этой ситуации действительно требуется регулирование подачи воздуха в сторону уменьшения. Кроме того температура воздуха также неуклонно растет, а плотность воздуха и содержание в нем кислорода существенно зависят от температуры. **На основании изложенного можно сделать вывод, что подача воздуха на аэрацию с учетом температуры – это существенный потенциал экономии энергии.** В течение суток приток СВ существенно меняется, а подача воздуха этими мощ-

ными нагнетателями напряжением 6000 В и мощностью 1000 кВт постоянно.

В настоящее время на рынке появились одноступенчатые центробежные турбокомпрессоры [1] с более высоким КПД и с поворотными лопатками на входе и выходе, а так же с валом на магнитных или «воздушных» подшипниках. Их стали выпускать сравнительно недавно фирмами «ABS», «Neugos», «Siemens». И они довольно дороги. Одноступенчатые нагнетатели воздуха, с поворотными лопатками обладают наивысшим КПД и способны сохранять его в широком диапазоне регулирования от 100 до 40-45% по номиналу. По данным [4] при замене многоступенчатых нагнетателей двумя регулируемыми одноступенчатыми агрегатами производительностью 30 тыс. м³/ч (Горводоканал г. Могилев, Белоруссия) годовой экономический эффект составил 3,07млн.руб, а срок окупаемости – 2 года. Таким образом, в современной технической литературе, посвященной энергосбережению в насосных установках в тени остались важные факторы, от которых зависит энергетическая эффективность работы очистных сооружений при использовании воздуходувок с регулируемыми лопатками на входе и выходе, а также замена нагнетателей одноступенчатыми турбокомпрессорами. По данным работы [1], при параллельных испытаниях одноступенчатая воздуходувка потребляла примерно на 40% меньше электроэнергии, чем многоступенчатая. А в штате Флорида, США на станции аэрации Cape Coral многоступенчатая воздуходувка потребляла 5089 кВт·ч/сут, а одноступенчатая – всего 2928 кВт·ч/сут. Срок возврата инвестиций на регулирование воздуходувки составил 2-2,5 года.

Выводы

1.Неравномерность притока сточных вод и колебания температуры воздуха предопределяют целесообразность регулирования подачи воздуха на аэрацию и значительное энергосбережение.

2.Потенциал его с учетом постоянной недогрузки очистных сооружений в связи с уменьшением водопотребления достигает 50% и более. Поэтому управление подачей воздуха является одним из наиболее экономически выгодных мероприятий по энергосбережению и по окупаемости инвестиций в сфере водоотведения

3.Среди применяемых методов регулирования изменение угла атаки потока воздуха на входе и выходе турбомашин наиболее адекватно подходит для аэрации.

4. При высоких тарифах и затратах на электроэнергию на канализационных очистных сооружениях целесообразно применять управляемые одноступенчатые турбокомпрессоры.

Summary

Uneven wastewater inflow and temperature fluctuations determine the advisability of regulating air for aeration and significant energy savings. Potential given its constant underload treatment facilities due to the reduction of water consumption reaches 50% or more. Therefore, the air control is by far one of the most cost-effective energy efficiency measures and the return on investment for wastewater biological treatment of wastewater.

Литература

1. Березин С.Е. Управление воздухоудувками – действенная мера энергосбережения в инфраструктуре водоотведения// Водоснабжение и санитарная техника 2013, №3 стр. 55

2. Данилович Д.А. Энергосбережение и альтернативная энергетика на очистных сооружениях канализации//Водосн.и сан.тех.,2011№1

3.Лезнов Б.С. Энергосбережение в насосных и воздухоудувных установках М.:Энергоатомиздат.2006г.

4. Палагин А.Г. Комплексный подход к решению проблем предприятия «Горводоканал»г. Могилева //Водяной.2011 №7-8.

5.С.Е.Березин Выбор способа регулирования воздухоудувок для аэрации сточных вод //Водоснабжение и санитарная техника, 2011 №11

6.С.В.Яковлев Ю.В.Воронов Водоотведение и очистка сточных вод/Учебник для вузов:-М.:АСВ,2004-704с.