

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ВОЗДУХОДУВНОЙ СТАНЦИИ В СИСТЕМЕ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОАО «СВЕТЛОГОРСКИМВОЛОКНО»

Р. И. Насивалиев

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель А. В. Шаповалов

На большинстве промышленных предприятий сокращение энергетических затрат играет существенную роль. Поскольку доля компрессорных и нагнетательных станций в балансе энергопотребления составляет 25–30 %, а снижение КПД эксплуатируемых центробежных машин за счет износа увеличивает себестоимость сжатого воздуха, следовательно, снижение затрат при его производстве дает ощутимый экономический эффект.

Целью работы является разработка энергетической оценки и технико-экономическое обоснование внедрения новых воздуходувных агрегатов.

Стандартный процесс очистки сточных вод требует затрат электроэнергии, среди которых основная часть приходится на аэрацию иловой смеси.

Обозначим энергозатраты на процессы аэрации комплекса очистки как 100 %, тогда внедрение современных процессов, способов и оборудования позволит сократить энергозатраты на биологическую очистку в соответствии с графиком.

Энергозатраты на процессы очистки и аэрации требуют оптимизации различными путями. Слагаемым энергосбережения комплексного предложения является внедрение управляемых одноступенчатых турбокомпрессоров с двойным регулированием и контролем процесса очистки.

Переоснащение действующей воздуходувной станции посредством использования управляемых одноступенчатых турбокомпрессоров с двойным регулированием и контролем процесса очистки дадут ощутимый эффект более оперативно.

Выбранное оборудование должно удовлетворять основным условиям:

- иметь высокий базовый КПД;
- диапазон управления подачей воздуха должен быть достаточно широк;
- КПД в диапазоне подач воздуха должен сохранять высокие величины.

Суть энергосбережения заключается в разнице потребляемой электроэнергии для управляемого и неуправляемого режимов подач воздуха в аэротенки.

Количество сэкономленной электроэнергии – есть разница между двумя «кривыми» – синей и красной.

График, является реальным и типичным для суточной неравномерности колебаний технологической нагрузки.

Главный вопрос – насколько повысится эффективность работы воздухоподводящей станции? Ведь режим работы изменяется посуточно и посезонно. Величины плотности воздуха зависят от его температуры и давления. Суточные и сезонные колебания температуры воздуха воздействуют на объемы воздуха, требуемые для биологической очистки на станциях аэрации. С другой стороны, величины плотности воздуха увеличиваются с повышением давления воздуха, следовательно, следует также учитывать барометрическое давление или высоту над уровнем моря.

Закон идеального газа соотносит изменения плотности воздуха с изменениями температуры и давления:

$$pV = nRT, \quad (1)$$

где p – давление воздуха (Па); V – объем воздуха (м^3); n – количество молей газа (мол); R – универсальная газовая постоянная ($\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$); T – температура (К).

Таким образом, масса воздуха, перекачиваемая компрессором в любую единицу времени, зависит от объема, температуры и давления.

Плотность воздуха, ρ ($\text{кг}/\text{м}^3$) – это масса воздуха, m (кг), на единицу объема, V (м^3), или массовый расход \dot{m} ($\text{кг}/\text{ч}$), поделенный на объемный расход, V ($\text{м}^3/\text{ч}$).

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{\dot{m}}{\dot{V}}. \quad (2)$$

Величина энергосбережения может быть представлена расчетом, который базируется на суточных изменениях технологических нагрузок по сезонам года, с описанием расчетных зависимостей системой уравнений:

$$\bar{V} = \left(\frac{m}{\rho_n} \right) \times \frac{1,013T_{in}}{(P_{bar} - (0,001R_h)P_{sat})273,15}; \quad (3)$$

$$h_i = c_p T_{in} \left(\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-i}{k}} - 1 \right); \quad (4)$$

$$P = \frac{h_{is} \bar{m}}{\eta 3600}, \quad (5)$$

где V – объемный расход воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$; h_{is} – удельный политропный напор, $\text{Дж}/\text{кг}$; P – мощность воздухоподводки без внешних потерь, Вт; \dot{m} – массовый расход воздуха, $\text{кг}/\text{ч}$; ρ_n – плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$, при 1 атм. 0°C , 0 % относительной влажности; P_{sat} – давление насыщенного пара, бар; R_h – относительная влажность, %, T_{in} – температура воздуха на входе, К; c_p – удельная теплоемкость при постоянном давлении, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$, p_1 и p_2 – давление на входе и выходе; k – отношение между удельной теплоемкостью при постоянном давлении и удельной теплоемкостью при постоянном объеме; η – политропный КПД для центробежного сжатия (характеристика принятого воздухоподводителя).

В соответствии с расчетным режимом массовый расход можно переводить в объемный (3) при заданной температуре, барометрическом давлении и влажности.

Энергопотребление центробежных воздухонагнетателей при аэрации можно рассчитать на основе воздушного потока, сжатия и внешних потерь. При расчете энергопотребления необходимо учесть два условия: массовый расход воздуха и политропный напор.

Удельный политропный напор (4), h_{is} (Дж/кг) – это напор, необходимый для политропного сжатия газа от общего давления и общей температуры на входе до общего давления на выходе.

Массовый расход и политропный напор определяют фактическую мощность, необходимую при конкретных условиях по давлению и температуре, за исключением потерь.

Удельная работа воздухонагнетателя – это фактическая мощность, включающая потери от редуктора, двигателя, подшипников, частотно-регулируемых приводов, термической и вязкой диссипации. Отношение между фактической мощностью и политропным напором представляет собой политропный КПД, η_{is} , за исключением тепловых потерь, при постоянной энтропии.

$$\eta_{is} = \frac{h_{is}}{h_o},$$

где h_o – удельная работа.

Энергопотребление компрессора без внешних потерь можно рассчитать на основе политропного напора, массового расхода и КПД (5).

Анализируя уравнения (3)–(5), легко заметить, что объемный расход воздуха V , удельный политропный напор h_{is} и мощность воздухоудовки P зависят от сезонных изменений температуры воздуха T_{in} . ΔP между рассматриваемыми вариантами выразит количество сэкономленной электроэнергии.

Массовый расход воздуха m (для нормальных условий) в приведенной системе уравнений зависит от суточных колебаний технологической нагрузки: расходов, концентраций сточных вод. Кроме того, он зависит от процентного содержания кислорода в подаваемом воздухе в соответствии с сезоном года.

Графический анализ представлен в относительных единицах от проектных величин.

Исследования свидетельствуют о значительном снижении энергопотребления при регулировании скорости подачи воздуха в соответствии с суточными и сезонными колебаниями технологических нагрузок (по расходам и концентрациям), температуры и политропного напора.

Регулирование объема подачи воздуха позволяет регулировать интенсивность аэрации в соответствии с необходимостью.

Без управления процессами аэрации объем подачи воздуха сохраняется постоянным, в то время как энергопотребление изменяется в соответствии с массовым расходом и политропным КПД. Максимальное расчетное энергопотребление наблюдалось у нерегулируемого воздухонагнетателя в зимний период, минимальное – у управляемого воздухонагнетателя в зимний период. Таким образом, снижение энергопотребления было максимальным в зимний период и минимальным – в летние месяцы.

Наиболее эффективным решением будет установка одноступенчатых центробежных воздухонагнетателей Siemens, основными преимуществами которых являются: регулируемый расход от 100 до 45 % при постоянной частоте вращения; низкие эксплуатационные расходы из-за очень высокого КПД по всему регулируемому

промежутку, независимо от изменения внешних условий (температуры и давления); низкий уровень шума без пульсаций позволяет не устанавливать сбросной глушитель, в воздух не попадает масло.

Компрессор тип *SV*, в дополнение к управляемой системе диффузоров, позволяет устанавливать систему предварительной закрутки потока. В дополнение к контролю потока (тип *S*), контролируется напор поворотом *I3* направляющих лопаток на входе. При этом достигается сверхвысокая эффективность по всему диапазону регулирования, а также при изменении внешних условий.

Регулируемый диффузор позволяет управлять подачей компрессора, меняя угол установки и, соответственно, площадь сечения диффузора. Для этого предусмотрена 21 поворотная лопатка диффузора. Лопатки имеют оптимизированный асимметричный аэродинамический профиль, что позволяет менять площадь сечения диффузора при поддержании высочайшей эффективности во всем рабочем диапазоне подач компрессора. Лопатки установлены радиально вокруг крыльчатки.

Лопатки входного направляющего аппарата управляют углом атаки входного потока на лопатках крыльчатки. Тем самым регулируется относительная скорость воздушного потока. Благодаря этому можно регулировать подачу компрессора и оптимизировать энергопотребление в зависимости от меняющихся эксплуатационных параметров – температуры воздуха на входе, выходного давления и пр.

Вывод: самым энергоэффективным мероприятием является внедрение регулируемых воздуходувных агрегатов. Значительные суточные и сезонные неравномерности притока сточных вод и температур воздуха обуславливают целесообразность регулирования подачи воздуха на аэрацию.