

ЛИТЕРАТУРА

1. Sengupta, S., Nawaz, T., Beaudry, J. Nitrogen and Phosphorus Recovery from Wastewater // *Curr. Pollution Rep.* – 2015. – Vol. 1. – P. 155–166.
2. The list of critical raw materials for the EU [Электронный ресурс] Режим доступа: – <https://rmis.jrc.ec.europa.eu/?page=crm-list-2020-e294f6> – Дата доступа 30.01.2021.
3. Clift R., Shaw H. An industrial ecology approach to the use of phosphorus // *Procedia Engineering.* – 2012. – Vol. 46. – P. 39–44.
4. Испытания различных режимов сбрасывания сточных вод Минской очистной станции на полупромышленной пилотной установке / В. Н. Марцуль [и др.] // *Передовые технологии в системах водоотведения населенных мест: материалы Международной научно-практической конференции, Минск, 12-13 февраля 2020 г.* – Минск : БГТУ, 2020. – С. 119–122.

УДК 628.3(0.75.8)

И.В. Войтов, проф., д-р техн. наук; В.Л. Еловик, асп.
(БГТУ, г. Минск)

ВЛИЯНИЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ТОЧЕК КОНТРОЛЯ ДАВЛЕНИЯ НА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Вопросы, касающиеся рационального использования энергетических ресурсов, особенно в условиях постоянного роста стоимости энергоносителей, приобретают с каждым годом все большую и большую актуальность. Доля затрат на энергоносители, в частности на электроэнергию, в структуре себестоимости конечной продукции неуклонно стремятся к росту. Благодаря этому в производственных процессах все большее и большее распространение получают энергосберегающие технологии и оборудование. Так в качестве одной из потенциальных энергосберегающих технологий, за последние 15-20 лет, получили довольно широкое внедрение частотно регулируемые приводы (ЧРП) насосных агрегатов, предназначенных для производственного водоснабжения. Поскольку вода является универсальным ресурсом для многих отраслей промышленности, то и рассматриваемая в данной статье проблематика является общей для всех предприятий, использующих в больших количествах воду на технические и технологические нужды.

Частотное регулирование режимов работы насосных агрегатов позволяет в идеале насосному агрегату подавать в производственную сеть именно столько воды и с таким давлением, сколько требуется для конкретного техпроцесса. Тем самым за счет ликвидации излишнего

давления (неизбежно образующегося при стандартных способах регулирования) в теории достигается экономия электроэнергии. Но для достижения ожидаемого эффекта недостаточно лишь одного внедрения ЧРВ в систему подачи воды (насосный агрегат, насосную установку или станцию). Без увязки с системой распределения воды (водопроводной сетью предприятия) невозможно добиться сколько-либо значимого эффекта. Не редки случаи, когда внедрение ЧРП не только не позволяло получить ожидаемое снижение потребления электроэнергии, но и приводило к ее увеличению.

Для достижения максимального эффекта от внедрения ЧРП помимо соответствующего оснащения насосных агрегатов необходимо предусматривать оптимизацию системы автоматического управления с обоснованием размещения точек контроля давления в водопроводной сети предприятия. Очевидно, что затраты электроэнергии на транспортирование воды будут минимально возможными, если у всех потребителей в водопроводной сети предприятия будет давление, соответствующее требованиям технологического регламента. Не больше и не меньше. Однако, согласно элементарным законам гидравлики, такие условия труднодостижимы по экономическим соображениям – слишком велики капитальные затраты. Поддерживать заданное давление возможно только в определенных точках водопроводной сети называемых диктующими. С точки зрения режима управления подачей воды в водопроводную сеть под диктующей точкой подразумевается такое место водопроводной сети, поддерживая заданное давление, в котором автоматически обеспечивается давление не менее требуемого в остальной водопроводной сети. Как правило диктующей точкой является наиболее гидравлически удаленная точка сети и давление у потребителей между диктующей точкой и насосной станцией будет выше требуемого в сторону возрастания к насосной станции. Таким образом, при поддержании требуемого давления $H_{ст}$ в диктующей точке, обеспечивается оптимальный режим работы регулируемого насоса подающего воду в водоразборную сеть, когда все режимные точки при переменном водопотреблении от минимального q_{min} до максимального q_{max} лежат на гидравлической характеристике водоразборной сети $Q-H$ кривая 1-3 (рисунок 1). При этом напор, развиваемый регулируемым насосом H , складывается из непосредственно обеспечения требуемого давления в диктующей точке $H_{ст}$ и давления на компенса-

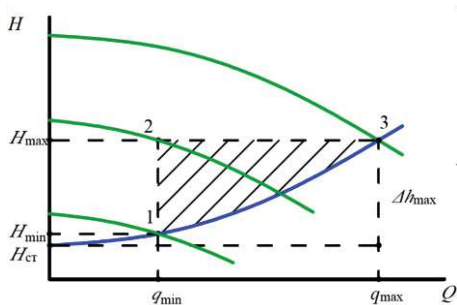


Рисунок 1 – Зона превышения давления

чивается оптимальный режим работы регулируемого насоса подающего воду в водоразборную сеть, когда все режимные точки при переменном водопотреблении от минимального q_{min} до максимального q_{max} лежат на гидравлической характеристике водоразборной сети $Q-H$ кривая 1-3 (рисунок 1). При этом напор, развиваемый регулируемым насосом H , складывается из непосредственно обеспечения требуемого давления в диктующей точке $H_{ст}$ и давления на компенса-

цию гидравлических сопротивлений водопроводной сети Δh при водопотреблении q от q_{min} до q_{max} .

$$H = H_{ст} + \Delta h, \quad (1)$$

где

$$\Delta h = S \cdot q^2 \quad (2)$$

S – коэффициент гидравлического сопротивления водоразборной сети.

Таким образом при регулировании режимов работы насоса система подачи воды автоматически адаптируется под состояние системы распределения воды обеспечивая оптимальные затраты на подаче и распределение воды по водопотребителям.

Несомненно, определение диктующей точки сопряжено с необходимостью гидравлического расчета водоразборной сети, анализа распределения водопотребления, определение распределения водопотребления по времени (часовое, посменное, суточное, годовое). Вероятно именно этот факт, в дополнение к неочевидности преимуществ в регулировании по давлению в диктующей точке водоразборной сети, послужил тому, что все чаще и чаще при проектировании и разработке схем АСУ работой насосного оборудования с ЧРП допускается упрощение в виде управления режимами регулируемого насоса по давлению на напорном коллекторе насосной станции.

При регулировании режимов работы насосного оборудования по давлению в напорном коллекторе напор развиваемый насосом с ЧРП H_k задается постоянным и равным сумме требуемого давления в диктующей точке $H_{ст}$ и давления на компенсацию гидравлических сопротивлений водопроводной сети Δh_{max} при максимальном водопотреблении q_{max} .

$$H_k = H_{ст} + \Delta h_{max} \quad (3)$$

Таким образом режимные точки регулируемого насоса при переменном водопотреблении от минимального q_{min} до максимального q_{max} лежат на горизонтальном отрезке 2-3 (рисунок 1). Область, образованная отрезками 1-2, 2-3 и кривой 1-3 ограничивает зону избыточного давления и соответственно избыточного расхода электроэнергии. При этом легко определить, что потенциал экономии электроэнергии пропорционально зависит от отношения максимально развиваемого напора регулируемым насосом H_k к требуемому давлению в диктующей точке $H_{ст}$. Чем больше данное отношение, тем выше потенциал экономии электроэнергии при регулировании режимов работы насоса с ЧРП по давлению в диктующей точке.