

УДК 621.65.004.183

**ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ НАСОСНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА**

*Алексеева Ю.А., асп., Коренькова Т.В., к.т.н., доц.*

*Кременчугский государственный политехнический университет имени Михаила Остроградского  
39614, г. Кременчуг, ул. Первомайская, 20*

*E-mail: saue@polytech.poltava.ua.*

Виконаний аналіз технічного стану і схем управління насосними комплексами комунального господарства. Доведено побудову енергоресурсозберігаючих систем управління насосними станціями. Запропоновано шляхи підвищення керованості насосних комплексів в аварійних режимах роботи.

**Ключові слова:** електропривод, насосний комплекс, енергоресурсозберігаючі системи.

The paper deals with the analysis of the technical state and control circuits of the pumping complexes of the communal service. The construction of energy- and resources-saving control system of the pumping stations is presented. The ways of increasing the controllability of pumping complexes in emergency conditions are offered.

**Key words:** electric driver, pumping complex, energy- and resources-saving systems.

**Введение.** Насосные станции (НС) систем водоснабжения и водоотведения являются жизненно важными объектами жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) страны и представляют собой сложный комплекс взаимосвязанного электрогидравлического оборудования, предназначенного для своевременного обеспечения потребителей водой в требуемом количестве с заданным давлением. К таким технологическим объектам предъявляются повышенные требования по обеспечению надежности их функционирования.

Насосные установки (НУ) – основные потребители электроэнергии в системах городского водоснабжения и водоотведения. В общей стоимости энергоресурсов, потребляемых водопроводно-канализационными предприятиями, 95% составляет электроэнергия, остальные 5% – потребление других энергоносителей. В себестоимости продукции (подача воды и водоотвод) затраты на энергоносители составляют 50-60% [1, 2].

Как следует из ниже приведенных диаграмм (анализ выполнен применительно к КП «Кременчугводоканал»), среднегодовой тариф на электроэнергию за последние 3 года возрос в 1,5 раза (рис. 1); наблюдается тенденция увеличения среднего тарифа на подачу чистой воды и на обеспечение водоотведения приблизительно в 1,7 раза (рис. 2).

НС ЖКХ характеризуются широкими диапазонами изменения напора, производительности, значительными величинами установленной мощности электромеханического оборудования, работающего, как правило, в недогруженных режимах [2, 3]. Электропривод (ЭП) насосов представляет собой нерегулируемый привод с асинхронными короткозамкнутыми и синхронными электродвигателями.

Системы ЭП насосных установок на базе релейно-контакторного принципа управления характеризуются низкой управляемостью режимами работы

технологического оборудования при возникновении различного рода нештатных ситуаций: внезапном отключении электроэнергии НА; резком срабатывании трубопроводной арматуры; возникновении помпажных режимов и др – применяемая трубопроводная арматура не позволяет качественно и надежно реализовать защиту в аварийных режимах работы [2-7].

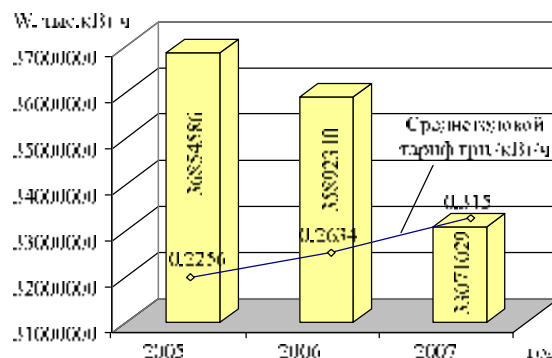


Рисунок 1 – Диаграмма энергопотребления и роста среднегодового тарифа на электроэнергию за 2005-2007 года

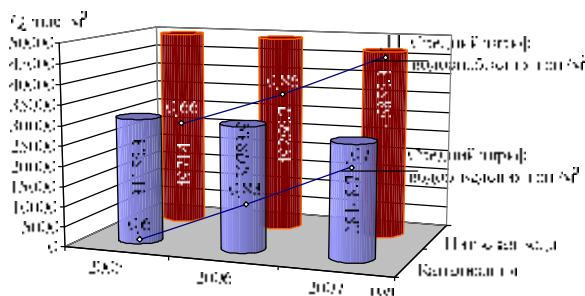


Рисунок 2 – Диаграмма объемов и роста среднегодового тарифа на водоснабжение и водоотведение за 2005-2007 года

В связи с интенсивным развитием преобразовательной техники, информационных технологий, частотно-регулируемый ЭП является основным типом регулируемого ЭП НС коммунального хозяйства, в особенности в системах водоотведения, где используются НА малой и средней мощности. В насосных комплексах (НК) систем водоснабжения внедрение регулируемого ЭП в виду большой установленной мощности электродвигателей насосов ведется медленными темпами. Регулирование подачи НС изменением частоты вращения с использованием средств регулируемого ЭП дает экономию электроэнергии до 50%, воды до 25% [1-3, 8].

**Цель работы** – анализ технического состояния и обоснование построения энергоресурсосберегаю-

щих систем управления насосными станциями со средствами повышения управляемости насосных комплексов в эксплуатационных и аварийных режимах работы.

**Материал и результаты исследования.**

**Структура и техническое состояние НС коммунального хозяйства.** Современная типовая структура НК включает (рис. 3): электроснабжающую сеть; систему электропривода; технологический механизм; гидросеть с трубопроводной арматурой; систему потребителей, характеристики и свойства которых влияют на показатели функционирования всего технологического комплекса в целом.

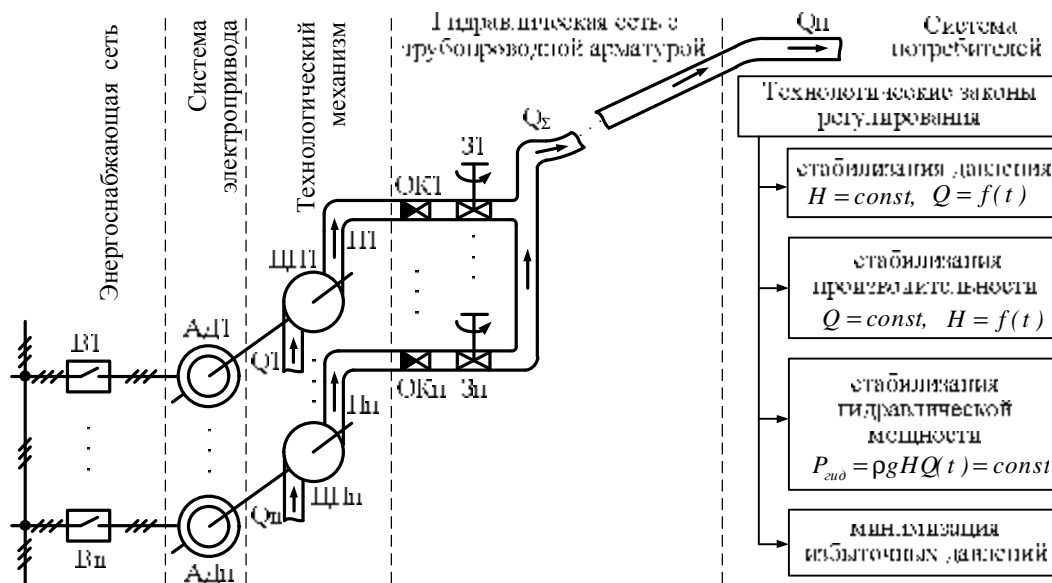


Рисунок 3 – Типовая структура насосного комплекса

Наибольшее распространение в НС ЖКХ получили лопастные насосы: центробежные и осевые. Электродвигатели насосов мощностью до 350 кВт выполняются на напряжение 380-660 В, выше – на 6-10 кВ.

НУ являются групповыми потребителями, где одновременно могут работать несколько НА, включенных параллельно или последовательно на общую трубопроводную систему, которая характеризуется собственными гидродинамическими параметрами (противодавлением, составляющим 20-40% от полного напора, создаваемого насосом, и гидродинамическим сопротивлением, зависящим от протяженности сети, величины поперечного сечения трубопровода, шероховатости стенок, наличия местных сопротивлений) и технологическими законами регулирования, обеспечивающими стабилизацию давления, производительности, гидравлической мощности, минимизацию избыточных давлений и др. (рис. 3).

Одной из особенностей НС коммунального водоотведения является взаимное влияние режимов работы местных (районных) станций перекачки сто-

ков на главные (узловые) НС, а также негативное влияние сточных вод, содержащих взвешенные частицы, на гидросеть.

На большинстве коммунальных НС для управления производительностью НА до сих пор используются самые неэффективные способы изменения технологических параметров – дросселирование, ступенчатое регулирование [1-3].

Несмотря на простоту реализации первого способа, он имеет ряд недостатков.

- наличие неэффективных потерь мощности. Так, регулирование подачи НС II-го подъема КП «Кременчугводоканал» с использованием дросселирования приводит к потерям мощности до 7 тыс. кВт·ч в сутки, что в год составляет около 800 тыс. грн;
- снижение КПД турбомеханизма – при уменьшении производительности на 50% КПД турбомашин снижается на 30-40% [9];
- пульсации давления на выходе НА при несоблюдении темпа закрытия/открытия дроссельного затвора, что может привести к гидроударам, и как следствие, к сокращению срока службы запорных

устройств, увеличению утечек жидкости через щели и стыки и т. п. [2, 3].

Практически все станции водоотвода работают в повторном или повторно-кратковременном режимах в зависимости от интенсивности заполнения приемных резервуаров. Ступенчатое регулирование, больше используемое в НС водоотведения, характеризуется простотой управления, однако частые пуски/остановы вследствие больших пусковых токов, повышенных динамических нагрузок турбомашин приводят к преждевременному износу насосных агрегатов.

В работе [2, 3] показана высокая аварийность в НК, которая обусловлена, в большей степени, низким техническим состоянием электрогидравлического оборудования водопроводно-канализационных объектов. Анализ показал, что более 50% всего насосного парка имеет 100%-й амортизационный износ; около 30% турбомашин изношены на 50%. Подтверждением сказанному является диаграмма степени износа насосного оборудования в условиях КП «Кременчугводоканал» (рис. 4).

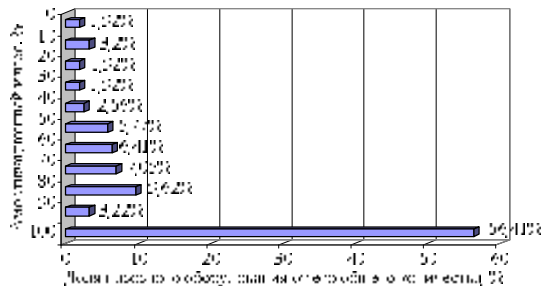
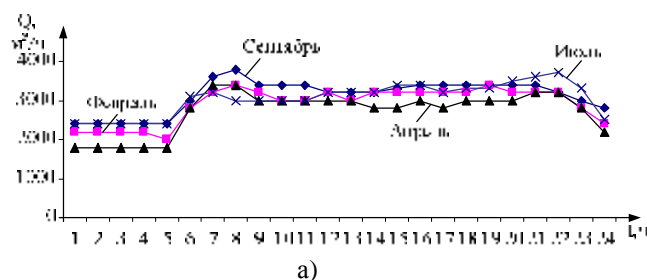


Рисунок 4 – Диаграмма процентного отношения общего количества насосных агрегатов от степени амортизационного износа

Современные системы водоснабжения и водоотведения имеют разветвленную сеть и большое число водопотребителей, расположенных на обширной территории. Протяженность трубопроводных магистралей коммунального хозяйства составляет сотни километров, диаметры трубопроводов – 0,1÷2 м, скорости движения перекачиваемой среды 0,7÷8 м/с для сточных вод и 0,6÷4 м/с для чистой воды.

Техническое состояние трубопроводных сетей и арматуры зачастую относится к аварийному, что объясняется истечением срока их эксплуатации.



Анализ диаграммы (рис. 5), отражающей долю общей протяженности водоводов КП «Кременчугводоканал» от периода ввода их в эксплуатацию, показал, что свыше 70% гидросетей находятся в эксплуатации 70÷30 лет.

Нормативный срок эксплуатации трубопроводной арматуры составляет 5-7 лет; в реальных же условиях – снижается до 2-3 лет, в связи с чем, часто имеют место порывы, свищи, разбалансировка, износ и деформация запорно-регулирующей арматуры [2].

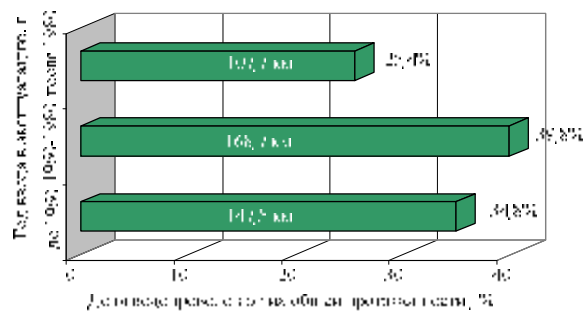


Рисунок 5 – Диаграмма процентного отношения общей протяженности водопроводов от периода ввода в эксплуатацию

Режим работы всех элементов системы городского водоснабжения и водоотведения, определяется графиком расходования рабочей среды потребителями, который зависит от ряда факторов: численности населения; режима работы предприятий; климатических условий; сезона года; дня недели; времени суток; бытового характера и т.д. [4, 5, 10, 11].

На рис. 6 приведены суточные графики водопотребления НС II-го подъема КП «Кременчугводоканал» рабочего дня для различных сезонов года (рис. 6, а) и дней недели – рабочего и выходного (рис. 6, б)). В рабочие дни график водопотребления более равномерный, тогда как в воскресенье наблюдаются характерные участки снижения водопотребления, обусловленные изменением режима и числа работающих предприятий, социально-бытовых организаций и т. п. В летнее время, по сравнению с зимним периодом, количество водопотребления незначительно больше.

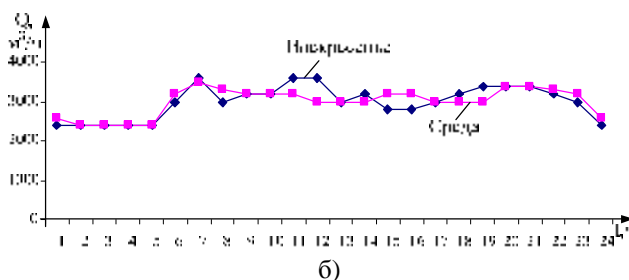


Рисунок 6 – Суточные графики водопотребления НС II-го подъема для разных: а) сезонов года; б) дней недели

Влияние вышеуказанных факторов на режим водопотребления различно. Например, чем больше численность населения, тем более пологим будет суточный график распределения воды; круглосуточная работа промышленных предприятий также ведет к более равномерному водопотреблению; при значительном числе предприятий, работающих в одну смену, графики расходования воды будут более контрастными и т.д.

Таким образом определение и прогноз водопотребления – отдельный важный вопрос при построении энергоэффективных систем управления НК.

**Особенности построения существующих систем автоматизации НС.** Визуальный контроль за состоянием технологического оборудования и ручное управление агрегатами не могут обеспечить достаточной надежности и экономичности работы НС.

Для автоматического управления работой НА широко применяют электрические релейно-контактные схемы управления, основным принципом работы которых является определенная последовательность срабатывания отдельных ее элементов, зависящая от гидромеханической схемы, типа электроприводов и принятых для них схем пуска и т. п.

К системам водоснабжения и водоотведения предъявляется ряд требований: высокая надежность функционирования технологического и электрического оборудования; энергетическая безопасность; реализация автоматического и ручного регулирования; достаточная степень резервирования основного оборудования; возможность увеличения производительности при развитии ЖКХ [7, 10, 11].

В качестве контролируемых параметров в системах автоматизированного управления работой насосов I-го подъема принимают уровень воды на очистных сооружениях НС или в водосборном резервуаре; для насосов II-го подъема – напор в заданной точке распределительной сети, уровень воды в баке водонапорной башни или давление в напорном коллекторе НС; для канализационных НС – допустимый уровень воды в приемном резервуаре [4-7, 10, 11].

Согласно применяемым на практике системам управления НС, к основным автоматизируемым процессам относятся: регулирование технологических параметров насосов; управление основным и вспомогательным электромеханическим оборудованием, трубопроводной арматурой, заливом насосов и т.п.

Для реализации контроля, защиты и управления в автоматизированных системах управления НА применяют: датчики уровня, электроконтактные манометры, струйные, термические, промежуточные, аварийные реле, реле времени, напряжения, вакуум-реле.

В качестве примера на рис. 7 приведена релейно-контактная схема управления районной станцией

перекачки стоков СП-22 КП «Кременчугводоканал», где используются три центробежных насоса (2 рабочих, 1 резервный) с параметрами: подачей  $Q_1 = 216 \text{ м}^3/\text{с}$ ,  $Q_2 = Q_3 = \text{м}^3/\text{с}$ ; напором  $H_1 = 22 \text{ м}$ ,  $H_2 = H_3 = 40 \text{ м}$ ; мощностью электродвигателей  $P_1 = 17 \text{ кВт}$ ,  $P_2 = P_3 = 37 \text{ кВт}$ ; частотой вращения  $n_{01} = 3000 \text{ об/мин}$ ,  $n_{02} = n_{03} = 1500 \text{ об/мин}$ .

Пуск двигателей – прямой, включение/выключение осуществляется автоматически по сигналам поплавковых датчиков уровня. Насосы находятся под заливом, их запуск производится на открытую задвижку. СП-22 может работать как в автоматическом, так и ручном режимах работы.

Основным командным аппаратом является поплавковое реле, которое в зависимости от уровня в приемном резервуаре (ВУ1, ВУ2, НУ1, НУ2 – верхние и нижние уровни 1-го и 2-го уровней, АУ – аварийный уровень), подает импульс на включение или отключение двигателя, схема управления обеспечивает необходимую последовательность срабатывания аппаратуры контроля, защиты и управления НА.

Противоток перекачиваемого продукта при внезапной остановке насоса предотвращается обратными клапанами, установленными на выходных (напорных) патрубках каждого насоса.

Защита электродвигателя от перегрузок осуществляется тепловым реле; от провала (падения) напряжения и токов коротких замыканий – автоматическими выключателями (QF1 – QF5) и магнитными пускателями (K1, K2, KM1, KM2).

График  $L_{\text{СП-22}}(t)$  (рис. 8) отображает режимы работы НА в зависимости от интенсивности поступления сточных вод в приемный резервуар для районной СП-22 – количество включений/выключений одного НА составляет 25÷30 раз в сутки.

Для сравнения, кривая  $L_{\text{СП-1}}(t)$  (рис. 8) отражает режимы работы НА узловой станции перекачки стоков СП-1, которая осуществляет перекачку сточных вод от трех районных НС на канализационные очистные сооружения в ручном режиме работы. Включение и отключение НА производится при достижении аварийного (а) и нижнего уровней (н) соответственно. На протяжении суток попеременно работают два насосных агрегата: 13 часов – НА №3 мощностью 160кВт и 6 часов – НА №5 мощностью 132 кВт. Частота включения каждого турбомеханизма достигает 15÷20 раз в сутки.

Таким образом, недостатками релейно-контакторных схем управления НК являются:

- большая частота включений/выключений насосных агрегатов – до 50÷60 раз в сутки;
- реализация прямого неуправляемого пуска/останова электродвигателей, приводящего к износу оборудования, разбалансировке механических частей НА, выходу из строя подшипниковых узлов, коммутационной аппаратуры, перегреву статорных и роторных обмоток электродвигателей, повышенной вибрации оборудования;

- запуск на открытую задвижку приводит к значительным динамическим нагрузкам в гидротранспортной системе, связанных с резким увеличением гидродинамического момента на валу одновременно с возрастанием производительности, что характерно для центробежных насосов;
- неуправляемая трубопроводная арматура (предохранительные и обратные клапаны, клапаны-гасители, глухие диафрагмы, водонапорные колонны и пр.) не позволяет качественно и надежно реализовать защиту от гидроударов в виду следующих

особенностей: срабатывание аппаратуры происходит по факту возникновения аварии; открывание предохранительного клапана начинается лишь после того, как давление поднимается выше нормального (для пружинных клапанов) и при падении давления ниже статического (для гасителей удара); выпускаемое клапаном количество воды недостаточно для полного гашения удара; поочередное открывание и закрывание устройств защиты способствует поддержанию в системе ударного давления [2, 3].

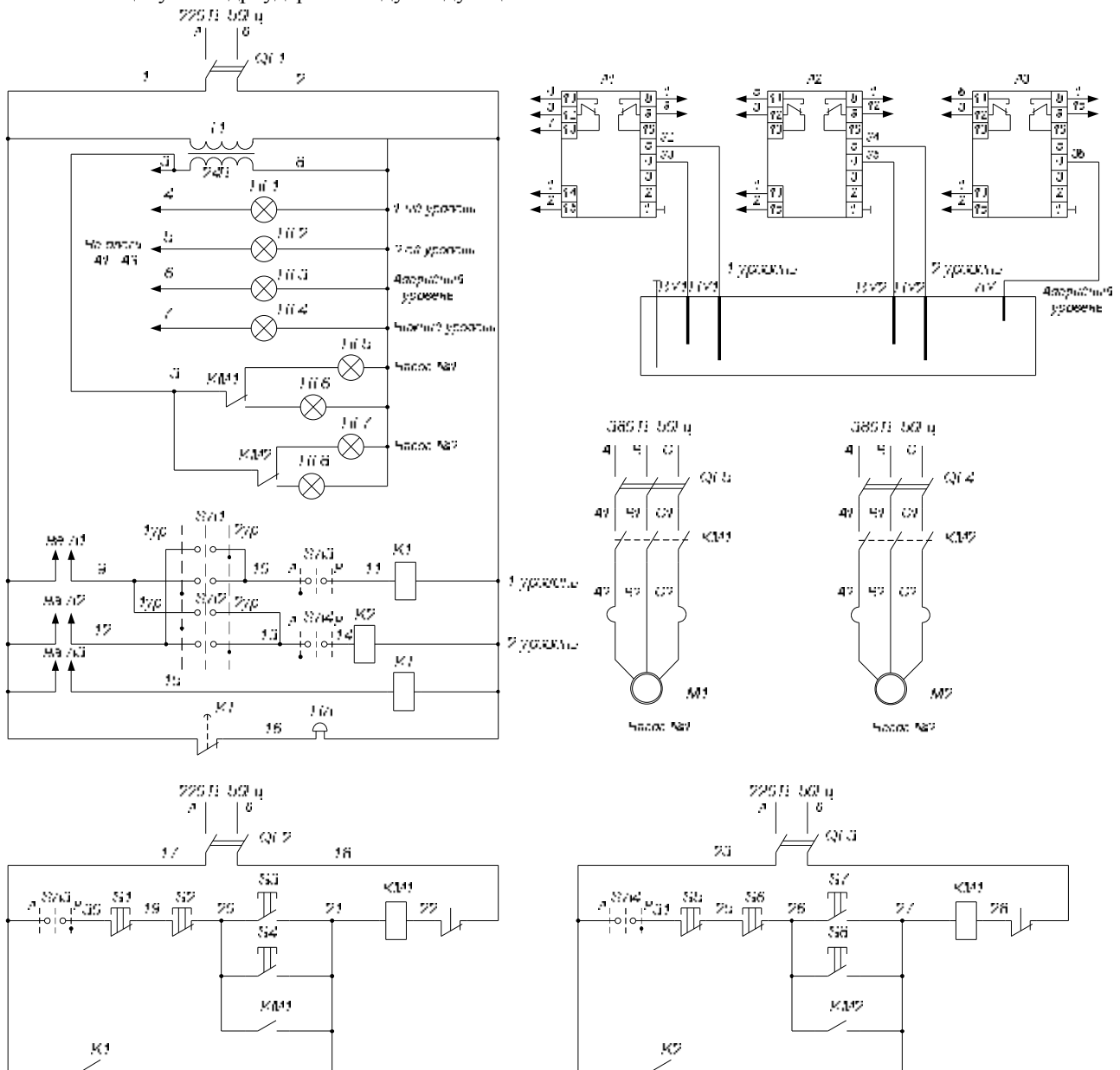


Рисунок 7 – Схема электрическая принципиальная системы автоматического управления откачкой стоков СП-22 КП «Кременчугводоканал»

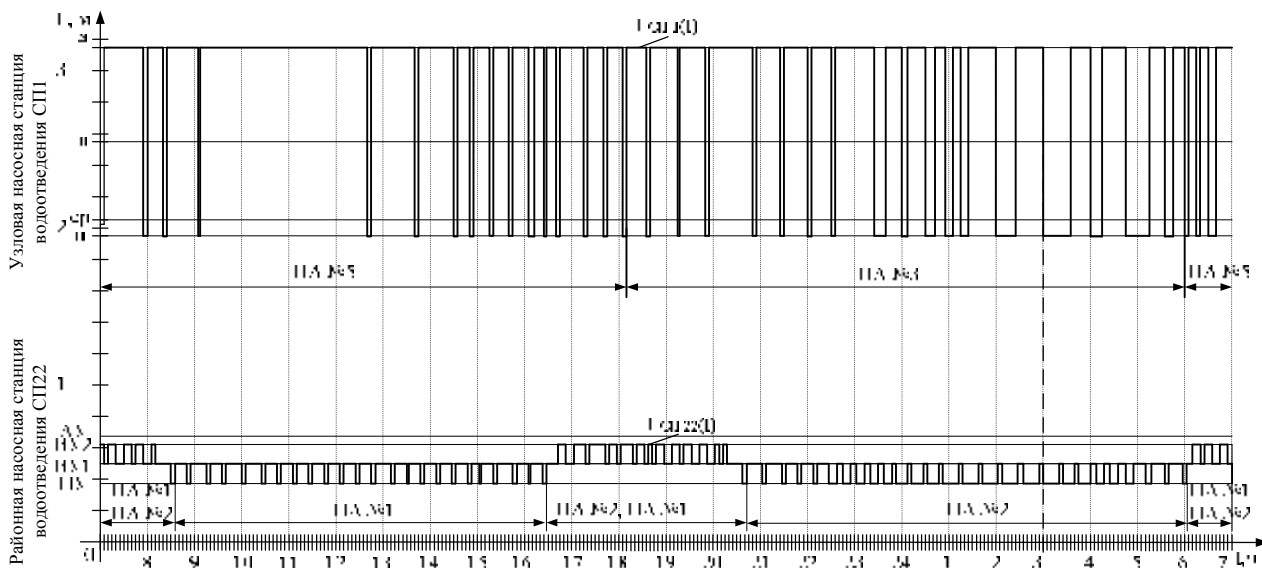


Рисунок 8 – Суточные графики работы насосных агрегатов СП-1, СП-22 системы городского водоотведения

**Пути повышения управляемости НК.** Основным направлением повышения эффективности функционирования НК является внедрение регулируемого электропривода насосов и трубопроводной арматуры в состав системы автоматизированного управления процессами водоснабжения и водоотведения.

Выбор схемы регулируемого ЭП насосов зависит от технологической схемы НС, числа работающих НА, параметров гидродинамической системы, режима водопотребления, что влияет на величину диапазона регулирования частоты вращения. Так, анализ параллельной работы НА показал, что возможный диапазон регулирования скорости составляет не более 10% вниз от номинальной, а с увеличением числа работающих турбомашин и при увеличении параметров трубопроводной системы значительно сужается – до нескольких процентов [12]. При последовательной работе НА, необходимый технологический диапазон регулирования скорости турбомеханизма с целью изменения величины напора от максимального значения до нуля составляет 60-70% вниз от номинальной частоты вращения [12]. Таким образом, в одних случаях рациональной схемой ЭП является использование устройств плавного запуска, в других – частотно-регулируемый ЭП или системы ТРН-АД [3].

Применение регулируемого ЭП для управления трубопроводной арматурой позволяет формировать требуемые темпы перемещения ее рабочего органа, что приводит к снижению динамических нагрузок в гидротранспортной системе.

Использование регулируемого ЭП характеризуется не только снижением потерь электроэнергии в НК, но и позволяет уменьшить потери мощности на транспортировку рабочего продукта.

Величина скорости потока рабочего продукта определяет режим течения жидкости. При ламинарном течении потери напора на трение возрастают

пропорционально расходу в первой степени, при переходе к турбулентному течению наблюдается более интенсивное нарастание величины потерь, близкое к параболе второй степени [13-15].

Так, применительно к СП-1 для поддержания заданного уровня в водосборнике средствами регулируемого ЭП с глубиной регулирования производительности до 20% вниз от номинальной, соответствующей регулированию частоты вращения насоса в пределах 980÷784 об/мин, потери мощности на транспортировку рабочей среды снижаются в 2 раза.

Использование регулируемого ЭП лежит в основе построения гидродинамической защиты НУ, где при возникновении перегрузок по давлению в трубопроводе или снижении производительности до минимально допустимой, производится изменение частоты вращения вала электродвигателя насоса, таким образом, чтобы исключить неустойчивые режимы в гидросети (помпаж, кавитацию, гидроудары) [16].

Одним из способов повышения управляемости НК в аварийных режимах, особенно при провале напряжения электроснабжающей сети, является использование емкостных накопителей в силовом контуре НА, что позволяет при внезапном отключении электропитания осуществить плавный останов технологического механизма с одновременным закрытием дроссельной заслонки на напорном коллекторе без недопустимых пульсаций давления и расхода [17].

Установка в гидросети активных гасителей энергии на базе гидротурбинных агрегатов со средствами регулирования мощности, позволяет эффективно использовать энергию гидротока путем последующей ее рекуперации в промышленную энергосеть [17].

Достаточно перспективным является применение четырехкватрных частотно-регулируемых ЭП, позволяющих управлять потоками энергии, как в

двигательных, так и тормозных режимах, что весьма важно при возникновении аварийных ситуаций, связанных с реверсом жидкости и частоты вращения НА, имеющих место при внезапном перерыве в электроснабжении НС.

**Выводы.** Анализ технического состояния насосных станций коммунального хозяйства показал, что больше половины электромеханического и гидравлического оборудования изношено на 70-100%; отсутствуют достоверные подходы определения и прогноза реального водопотребления; насосные агрегаты и трубопроводная арматура характеризуются низкой управляемостью и надежностью функционирования в эксплуатационных и аварийных режимах.

Наиболее широко распространенные системы управления насосными станциями на базе релейно-контакторных схем характеризуются большой частотой включения/выключения турбомашин, неуправляемыми прямыми пусками/остановами насосных агрегатов, неэффективностью средств защиты в аварийных режимах, особенно, при внезапном исчезновении электроснабжения насосного комплекса.

В работе доказано, что в основе построения энергоресурсосберегающих систем управления насосными станциями для стабилизации технологического параметра, формирования гидродинамических защит лежит использование регулируемого электропривода. Такой подход позволяет обеспечить минимизацию потерь мощности во всех звеньях электрогидравлического комплекса и повысить управляемость и надежность функционирования технологического оборудования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лезнов Б.С. Экономия электроэнергии в насосных установках. М., Энергоатомиздат, 1991. – 144 с.
2. Коренькова Т.В., Алексеева Ю.А. Обоснование необходимости повышения управляемости насосных комплексов // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Зб. наук. пр. КДПУ. – Вип. 3/2006 (38). Ч.1 – Кременчук: КДПУ, 2006. – С.87-90.
3. Коренькова Т.В. Управляемость как категория технического совершенства и технологического соответствия электромеханических систем гидротранспортных комплексов // Науково-дослідний журнал «Технічна електродинаміка» Тематичний випуск. Проблеми сучасної електротехніки. Ч.7.: Київ, 2006. – С. 49-52.

4. Абрамов Н.Н., Водоснабжение. – М.: Стройиздат, 1967. – 532 с.
5. Яковлев С.В., Карелин Я.А., Жуков А.И., Колобанов С.К. Канализация. -М.: Стройиздат, 1975. - 632 с.
6. Шаповалов Б.Т. Электрооборудование насосных станций. – М.: «Высшая школа», 1974. -320 с.
7. Попкович Г.С., Гордеев М.А. Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения: Учеб. Для вузов. – М.: Высш. шк., 1986. – 392 с.
8. Ильинский А.Ф. Электропривод в современном мире Труды V-международной (XVI – Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу Санкт-Петербург, 2007. – С. 17-23.
9. Алексеева Ю.А., Коренькова Т.В. Энергетическая эффективность регулируемого насосного агрегата при стабилизации технологического параметра // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Зб. наук. пр. КДПУ. – Вип. 3/2007 (44). Ч.2 – Кременчук: КДПУ, 2007. – С. 107-111.
10. СНиП 2.04.02-84 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.
11. СНиП II.04.32-74 Канализация. Наружные сети и сооружения.
12. Коренькова Т.В., Качала И.Ю. Определение диапазона регулирования скорости в групповых насосных установках водоснабжения // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Зб. наук. пр. КДПУ. – Вип. 1 (12). – Кременчук: КДПУ, 2002. – С. 228-232.
13. Башта Т. М., Руднев С.С., Некрасов Б. Б. и др. Гидравлика, гидромашини и гидроприводы. М., Машиностроение, 1982. – 423 с.
14. Справочник по гидравлике / Под ред. д.т.н. проф. В.А. Большакова. – К.: «Вища школа», 1977. – 280 с.
15. Жабо В.В., Уваров В.В. Гидравлика и насосы. М., Энергия, 1976. – 280 с.
16. Спосіб гідродинамічного захисту насосної установки та пристрій для його реалізації Деклараційний патент України на винахід 71355 А, МКИ F04D27/00, H023 7/00, 15.11.2004р., Бюл. №11.
17. Коренькова Т.В., Алексеева Ю.А. Система защиты насосной установки от гидроудара с емкостным накопителем в силовом контуре Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Зб. наук. пр. КДПУ. – Вип. 6 (35). – Кременчук: КДПУ, 2005. – С.68-72.

Стаття надійшла 14.04.2008 р.  
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.  
Родькіним Д.Й.