

СИСТЕМЫ АКТИВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ НАСОСНЫХ КОМПЛЕКСОВ. ИТОГИ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ

Перекрест А.Л., к.т.н.

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

ул. Первомайская, 20, 39600, г. Кременчуг, Украина

E-mail: pks@kdu.edu.ua

Приведены результаты исследований по системам активного регулирования параметров насосных комплексов. Сформулированы направления развития таких систем.

Ключевые слова: система активного регулирования параметров, гидротурбинный агрегат, насосный комплекс, повышение эффективности, асинхронный генератор.

Введение. В связи с существующей проблематикой энергоресурсосбережения в народном хозяйстве Украины все больше внимания уделяется внедрению мер, способных обеспечить выполнение основных технологических процессов со значительной, сравнительно с существующими традиционными подходами, экономией энергоресурсов. Наиболее актуальным этот вопрос является для систем коммунального и промышленного водоснабжения, оборудованных энергоемкими потребителями – насосными установками (НУ).

Технологические комплексы, оборудованные турбомеханизмами, характеризуются большой энергоемкостью, специфическим характером нагрузки, относительной простотой систем управления [1, 2]. На электропривод (ЭП) насосных установок (НУ) приходится до 30% электроэнергии, которая потребляется электроприводом переменного тока общепромышленных механизмов и машин страны. [1, 2].

Режим работы НУ необходимо изменять в связи с переменным во времени водопотреблением. На практике это достигается путем дросселирования рабочего потока, ступенчатого регулирования изменением числа работающих агрегатов или путем использования регулируемого электропривода, теоретическая база которых рассмотрена в работах Степанова А.И., Лезнова Б.С., Карелина В.Я., Онищенко Г.Б. и др. При этом, первые два способа, несмотря на простоту их технической реализации, сопровождаются нерациональными энергетическими потерями (до 40% от установленной мощности НУ) на регулировочных гидравлических элементах и интенсивным износом электромеханического оборудования [1]. Использование же регулируемого ЭП для снижения частоты вращения насосного агрегата в соответствии с требуемым водопотреблением не учитывает конкретных особенностей технологических комплексов, структуры и расположения объектов народного хозяйства, реальных графиков водопотребления. Кроме того, в связи с тем, что НУ – групповые потребители электроэнергии с несколькими одновременно работающими агрегатами, диапазон регулирования частоты вращения регулируемого насоса составляет всего 10–15% вниз от номинальной для обеспечения необходимого графика водопотребления [3]. С учетом сказанного использование частотно-регулируемого электропривода насосных агрегатов является нецелесообразным в связи со значительными материальными затратами на

внедрение и эксплуатацию и недоиспользованием по своим регулировочным возможностям.

Для повышения эффективности работы насосных станций систем водоснабжения актуальной научно-прикладной задачей является поиск новых альтернативных вариантов энергоэффективного регулирования параметров насосных комплексов (НК), одним из которых является использование электромеханической системы активного регулирования параметров (САРП) на базе дополнительно установленного в трубопроводную магистраль гидротурбинного агрегата (ГТА) с устройством регулирования его мощности. Основной элементной базой САРП для систем водоснабжения являются гидротурбинные агрегаты с установленными на одном валу асинхронными генераторами, которые серийно выпускаются промышленностью с диапазоном мощностей 150–300 кВт и высокими значениями КПД – 90–95%.

Анализ предыдущих исследований. Для оценки возможностей дальнейшего развития систем активного регулирования параметров технологических комплексов городского и промышленного водоснабжения выполнен анализ результатов предыдущих исследований.

В работах [4–15] на основе полученных теоретических и прикладных результатов и их систематизации решена актуальная научно-практическая задача повышения эффективности и экономичности функционирования насосных комплексов за счет использования активных регулировочных устройств, применение которых, в отличие от существующих вариантов регулирования, обеспечивает выполнение необходимых технологических режимов работы потребителя при меньших энергетических и материальных затратах.

В научных работах, опубликованных в соавторстве, автору принадлежит: [4] – анализ регулировочных возможностей насосной станции при разных способах регулирования производительности; [5] – определение потерь мощности на задвижке во время дросселирования при разных противодавлениях; [6] – разработка технологических схем насосных комплексов с разным размещением турбинного устройства; [7] – разработка алгоритмов выбора параметров и получение характеристик гидротурбин при разных способах регулирования их мощности; [8] – технико-экономическая оценка использования активных регулировочных устройств для регулирования параметров насосных установок систем городского водоснабжения; [9] – анализ полных ха-

рактических гидромашин в системах активного регулирования параметров насосных комплексов; [10] – разработка структуры и математического описания системы автоматического регулирования параметров насосного комплекса с активным регулированием; [11] – формулирование технологических требований к электроприводу активных регулировочных устройств насосных установок; [12] – обоснование выбора систем электропривода активных регулировочных устройств; [14, 15] – разработка алгоритмов управления насосной станцией с активным регулированием параметров.

Цель работы. Обобщение результатов и формирование направлений развития систем активного регулирования параметров технологических комплексов городского и промышленного водоснабжения.

Материал и результаты исследования. Развитие САРП представляется в использовании системного подхода, при котором необходимо комплексно исследовать систему водоснабжения с активным регулировочным устройством как единое целое, где согласовано функционируют все элементы и подсистемы. При этом, обобщенная последовательность синтеза автоматизированной системы управления (АСУ) насосным комплексом с активным регулировочным устройством показана на рис. 1. В данном

случае АСУ решает задачу стабилизации напора в контрольной точке ($H=\text{const}$) при изменяющемся водопотреблении ($Q_p=\text{var}$).

Принципиально САРП могут осуществлять регулирование режимов работы насосных комплексов тремя вариантами (рис. 2): первый – реализуется за счет включения гидромашин САРП в коммуникационную магистраль насосного комплекса; второй – осуществляет управление насосами насосной установки за счет применения четырехквadrантного преобразователя частоты; третий – реализуется путем одновременного использования первого и второго варианта.

При этом, каждый из трех вариантов построения САРП характеризуется общими признаками: вариантом включения гидравлической машины в технологический контур, типом электропривода и определенным информационным обеспечением.

В качестве вариантов включения ГМ следует рассматривать встречно-параллельное включение ГМ в обводной трубопровод насосного агрегата (установки), параллельно выходной регулировочной задвижке и в трубопроводную магистраль. При этом могут использоваться гидромашин различных типов: радиально-осевые, поворотные-лопастные, пропеллерные, диагональные и т.д.



Рисунок 1 – Обобщенная последовательность синтеза АСУ НК с активным регулированием параметров

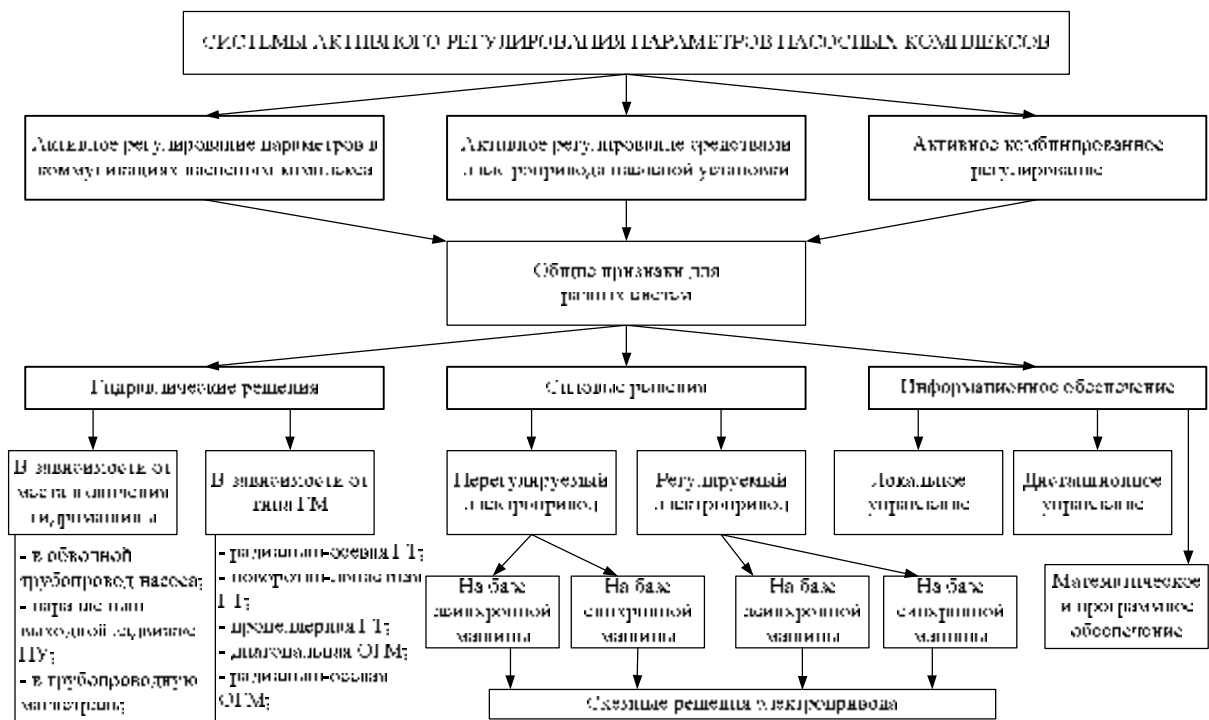


Рисунок 2 – Классификация САРП

Электропривод САРП реализуются различными вариантами нерегулируемых и регулируемых электроприводов. При этом, в качестве электрических машин электропривода САРП могут быть использованы асинхронные и синхронные с различными силовыми схемами преобразования энергии.

Информационное обеспечение САРП включает локальное и дистанционное управление, а также математическое и программное обеспечение.

С точки зрения структурной организации в автоматизированных системах управления гидротранспортными комплексами с активным регулированием параметров можно выделить *отдельные элементы* (насосная станция, САРП, выходная регулировочная задвижка, трубопроводная магистраль, потребитель), *задающие* (требуемое давление в диктующей точке), *возмущающие* (расход в сети потребителя) и *управляющие* воздействия (рис. 3).

Так, для реализации принципа активного регулирования в коммуникациях насосного комплекса структура (рис. 3) включает схему САРП, которая может включаться как непосредственно возле регулировочных элементов насосной станции, так и в трубопроводную магистраль ГТК.

Целесообразность включения САРП в трубопроводную магистраль поясняется следующими факторами. В системах городского водоснабжения неизбежно возникают избыточные напоры как следствие пониженных геодезических отметок разных потребителей, неравномерного водопотребления жилых и промышленных районов, дефицитов воды у отдельных потребителей и перерасходов у других. Указанные проблемы на практике решаются путем перераспределения водопотоков по районам водопроводной сети без изменения режимов работы насосных станций [16, 17].

Для практической реализации перераспределения водопотоков используются ступенчатое регулирование группой задвижек (рис. 4), зонирование систем водоснабжения и заполнение/опорожнение промежуточных резервуаров.

При первом способе параллельное соединение задвижек 31-33 разного диаметра обеспечивает ступенчатое изменение водопотока путем их закрытия и открытия с помощью электроприводов ЭП1-ЭП3, сигналы управления на которые передаются от АСУ через блоки приема-передачи БПП и управления БУ [16]. К недостаткам такого способа относятся значительный объем строительных работ, необходимость применения герметизированных электроприводов задвижек (возможны периодические затопления таких точек регулирования), потери мощности в самих задвижках.

Зонирование производится путем разделения системы водоснабжения на зоны при значительной разнице в геодезических отметках обслуживаемой территории. К недостаткам зонирования относятся необходимость установки дополнительных насосных станций на каждую зону при последовательном зонировании и увеличенная длина водоводов при параллельном зонировании [17]. В трубопроводных сетях с промежуточными резервуарами в ночное время при ограничении водопотребления происходит заполнение резервуаров, а в дневное – их срабатывание.

Улучшение водообеспеченности потребителей, уменьшение избыточных напоров в сети, уменьшение затрат на подъем воды, исключение затрат на укладку дополнительных водоводов без изменения режимов работы насосных станций возможно с применением САРП, гидравлическое оборудование которой может быть установлено вместо регулировочной задвижки или группы задвижек.

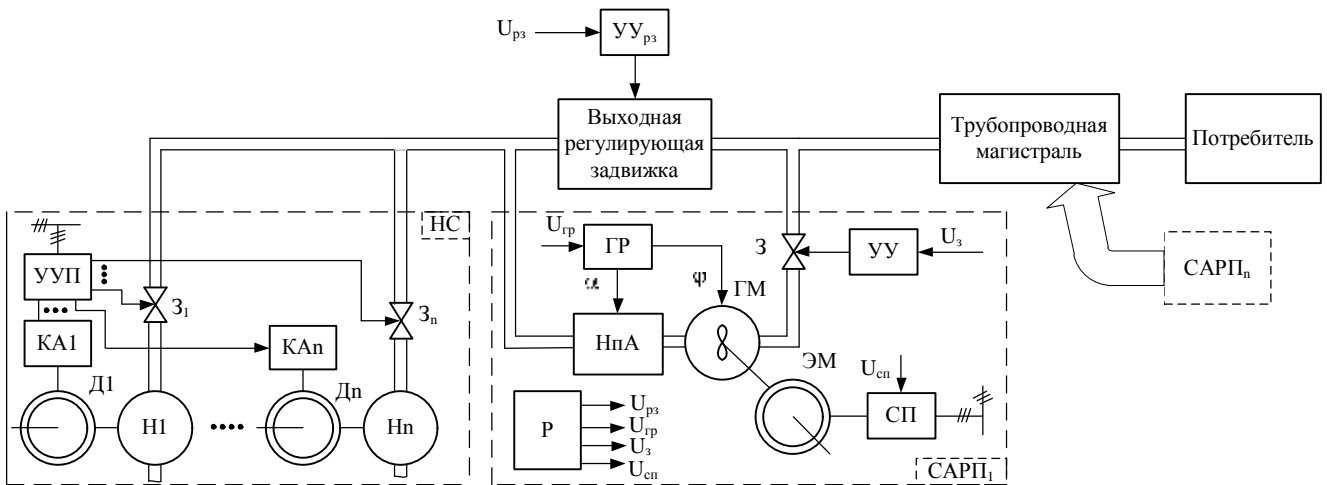


Рисунок 3 – Структура АСУ НК с САРП:

УУП – устройство управления энергопотоками; КА1-КАn – контактная аппаратура; Д1-Дn – двигатели насосов; УУ, УУрз – устройства управления задвижками; САРП1-САРПn – системы активного регулирования параметров; ГР – гидравлический регулятор; НпА – направляющий аппарат; ГМ и ЭМ – гидравлическая и электрическая машина САРП; Р и СП – регулятор и силовой преобразователь САРП; З – задвижка

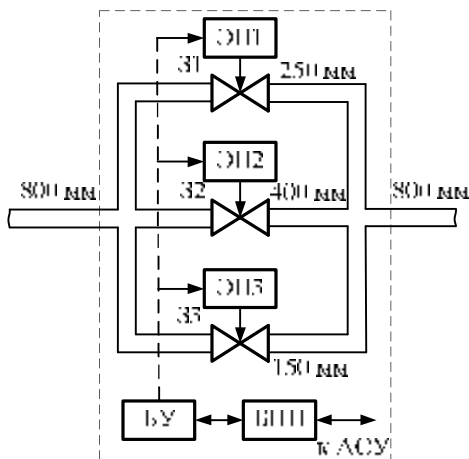


Рисунок 4 – Схема дроссельного регулирования расхода в водопроводной сети:

ЭП1-ЭП3 – электроприводы задвижек;
З1-З3 – задвижки; БУ – блок управления;
БПП – блок приема-передачи

Выводы. Выполненные исследования позволяют констатировать следующее:

1. Для насосных установок с групповым включением агрегатов использование существующих способов и технических решений для регулирования их параметров является неэффективным в связи со значительными потерями мощности при дросселировании и недоиспользованием по регулировочным возможностям и существенными материальными затратами при частотному регулировании.

2. Целесообразно для изменения параметров насосных комплексов применять активные регулировочные устройства на базе дополнительно устанавливаемого в трубопроводную магистраль гидротурбинного агрегата или оборотной гидромашин с устройством регулирования мощности. При этом, используемые и выпускаемые промышленностью гидротурбинные агрегаты характеризуются высокими КПД (до 95 %) и значительно меньшей стоимостью, чем преобразователи частоты в качестве электропривода основных на-

сосов.

3. В качестве исходных данных для определения параметров гидротурбинного агрегата САРП выступают потери мощности при дросселировании и необходимый диапазон изменения расхода, которые обусловлены режимами работы НУ на сеть потребителя. Для водопроводной НУ с установленной мощностью 1300 кВт города Кременчуг для реализации активного регулировочного устройства необходима гидротурбина мощностью 180 кВт, что обеспечивает изменение расхода в диапазоне $\Delta Q = 40\%$.

4. Существующие способы описания характеристик гидроагрегатов не учитывают переменные во времени параметры потребителя и насосных установок. Автором впервые получены напорно-расходные, механические и энергетические характеристики гидротурбин и предложен математический аппарат для них описания при переменных открытиях направляющего аппарата и частоте вращения.

5. Разработаны блок-схемы включения активного регулировочного устройства в технологический контур насосного комплекса, которые позволяют обеспечить расширение регулировочных возможностей путем использования турбинных режимов работы гидромашин. Определены условия перехода гидромашин и ее ЭП в турбинный и генераторный режимы соответственно для обеспечения рекуперации энергии во время изменения направления движения жидкости.

6. Обоснованы на основе анализа общих режимов работы комплекса «насосная установка – система активного регулирования – трубопроводная магистраль – потребитель» энергоэффективные границы использования гидромеханического и электрического способов регулирования мощности гидротурбин разных типов. Доказано, что при использовании гидротурбины поворотно-лопастного типа с гидромеханическим способом регулирования мощности для изменения подачи НУ в диапазоне 40 % вниз от номинального значения ее КПД уменьшается на 15 % от максимальной величины; при тех самых условиях использования гидротурбины радиально-осевого типа сопровождается 35 % уменьшением КПД.

7. Сформулированы требования к электромеханической части САПР, которые базируются на необходимости реализации генератором гидротурбины изменения направления вращения для обеспечения рекуперации энергии в электросеть и формировании закона частотного управления преобразователя частоты асинхронного генератора для уменьшения энергопотребления насосного комплекса.

8. Разработаны рекомендации по выбору генераторных систем активных регулировочных устройств с разными вариантами регулирования мощности. Так, целесообразно применять асинхронный генератор с емкостным возбуждением и гидромеханическим регулированием для установок малых мощностей, предназначенных для работы на изолированного потребителя; для установок средних мощностей при работе параллельно с энергосетью – систему асинхронный генератор – преобразователь частоты.

9. Разработана структура и математический аппарат системы автоматического регулирования параметров гидротранспортного комплекса с активным регулирующим устройством, которая обеспечивает изменение технологических параметров насосного комплекса в необходимых границах с одновременной рекуперацией электроэнергии в сеть – до 12 % от установленной мощности НУ.

10. Обоснован в качестве составляющего критерия оптимальности системы регулирования отклонение напора в сети потребителя как такого, который обеспечивает соизмеримые значение потребляемой мощности в сравнении с критерием, учитывающий одновременно отклонения по напору, расходу и потребляемую мощность.

11. На основе разработанного поискового алгоритма условной двумерной оптимизации определен рациональный закон управления гидротурбинным агрегатом в системе автоматического регулирования параметров насосного комплекса с регулированием его мощности одновременным изменением частоты вращения и открытия направляющего аппарата, который обеспечивает стабилизацию давления в магистрали с точностью 1% от $N_{необх}$ при соответствующему изменении расхода.

12. На экспериментальной модели насосной установки подтверждена эффективность использования активных регулировочных устройств для регулирования технологических параметров гидротранспортных комплексов. Доказано на основе анализа технико-экономических показателей работы насосного комплекса с параллельным включением насосов на сеть потребителя, что наиболее оправданным вариантом регулирования производительности в сравнении с частотно-регулируемым электроприводом основного насоса является использования активных регулировочных устройств – экономический эффект в 5...5,8 раза больше, чем при использовании системы частотно-регулируемого ЭП насоса. При этом срок окупаемости САПР составляет 1,6 года для системы с направляющим аппаратом и 1,8 года – для системы с преобразователем частоты.

13. Разработана классификация САПР, которая учитывает:

– место расположения и тип гидравлического оборудования активного регулировочного устройства в трубопроводной схеме насосного комплекса в зависимости от требуемого технологического закона;

– тип электрической машины и силовые схемы преобразования рекуперированной мощности в зависимости от требований к электрической нагрузке;

– информационные решения при практической реализации САПР в зависимости от требований к местному или распределенному (диспетчерскому) управлению.

Направления исследований.

Отмеченные в данной работе результаты являются основой для разработки общей методологии построения АСУ НК с активным регулированием параметров как комплекса подходов, методов и средств для повышения эффективности функционирования технологических комплексов коммунального и городского водоснабжения. Решение указанной проблемы связано с решением следующих задач.

1. Идентификация элементов НК с САПР по графическим изображениям их характеристик.

2. Оценка возможностей использования турбинных режимов основных насосов для расширения регулировочных возможностей насосного комплекса.

3. Анализ возможных мест включения ГМ САПР в НК. Обоснование мощности оборудования.

4. Разработка обобщенных требований к электроприводу активных регулировочных устройств, обеспечивающих генерирование энергии требуемого качества в зависимости от вида потребителя.

5. Разработка оптимального метода регулирования параметров НК с использованием САПР в функции технологической задачи.

6. Оценка потенциала использования принципа активного регулирования для систем вентиляции, теплоснабжения, при производстве сжатого воздуха, при распределении газа.

7. Разработка типовых технических решений САПР для городского и оборотного водоснабжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый электропривод в насосных и воздуховодных установках / Б.С. Лезнов. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 360 с.

2. Браславский И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод / И.Я. Браславский. – М.: Академия, 2004. – 256 с.

3. Коренькова Т.В. Рациональный электропривод насосных станций мѣського водопостачання: дис. канд. техн. наук: 05.09.03 «Електротехнічні комплекси та системи» / Т.В. Коренькова. – Київ, 2001. – 224 с.

4. Перекрест А.Л. Обоснование возможности регулирования турбомеханизмов активным воздействием на коммуникации / А.Л. Перекрест, В.Н. Соломаха // Проблемы создания новых машин и технологий. – 2001. – № 10. – С. 186–189.

5. Перекрест А.Л. Особенности энергопотребления турбомеханизмов при активном воздействии на

внешние коммуникации / А.Л. Перекрест, В.Н. Соломаха, Д.А. Михайличенко // Проблемы создания новых машин и технологий. – 2001. – № 11. – С. 130–133.

6. Коренькова Т.В. О коррекции энергетики группового электропривода насосов активными регулирующими устройствами / Т.В. Коренькова, А.Л. Перекрест // Вісник Національного технічного університету ХП. – 2002. – Т. 2, № 12. – С. 514–516.

7. Коренькова Т.В. Характеристики гидротурбины в системе активного регулирования производительности насосных станций / Т.В. Коренькова, А.Л. Перекрест, Д.А. Михайличенко, А.М. Кравец // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2004. – № 25. – С. 21–27.

8. Коренькова Т.В. Обоснование целесообразности использования альтернативных способов регулирования параметров насосных станций / Т.В. Коренькова, А.Л. Перекрест, А.М. Кравец // Праці Луганського відділення Міжнародної Академії інформатизації. – 2005. – № 1. – С. 136–144.

9. Перекрест А.Л. Характеристики турбомеханизмов в двигательном и тормозном режимах электропривода / А.Л. Перекрест, Т.В. Коренькова // Электромашиностроение та електрообладнання. Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика». – 2006. – № 66. – С. 180–183.

10. Перекрест А.Л. Структура системы регулирования параметров насосной станции с активным регулирующим устройством / А.Л. Перекрест, Т.В. Коренькова // Збірник наукових праць ДДТУ. Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика». – 2007. – С. 267 – 272.

11. Перекрест А.Л. Требования к системе электропривода турбомеханизмов с повышенной управляемостью технологическими режимами / А.Л. Перекрест, Т.В. Коренькова // Вісник Криворізького технічного

університету. – 2008. – № 21. – С. 123 – 128.

12. Перекрест А.Л. Системы электропривода активных регулировочных устройств насосных комплексов / А.Л. Перекрест, Т.В. Коренькова // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – 2008. – 51, ч.1. – С. 28-31.

13. Перекрест А.Л. Об эффективности законов управления активным регулировочным устройством в замкнутой системе регулирования насосного комплекса / А.Л. Перекрест // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – 2008. – № 53. ч. 2. – С. 26 – 30.

14. Декларацийний патент на винахід 62490 А, Україна, F04D27/00. H02P7/74. Спосіб управління насосною станцією та пристрій для його реалізації / Коренькова Т.В., Перекрест А.Л., Родькін Д.Й., Живора В.Ф., Костюк С.М. – № 2003042862; заявл. 02.04.03; опубл. 15.12.03, Бюл. № 12.

15. Декларацийний патент на винахід 68238 А, Україна, F04D27/00. H02P7/67. Спосіб регулювання продуктивності турбомеханізму та пристрій для його реалізації. / Коренькова Т.В., Родькін Д.Й., Перекрест А.Л., Михайличенко Д.А., Сердюк О.О., Живора В.Ф. – № 20031110657; заявл. 25.11.03; опубл. 15.07.04, Бюл. № 7.

16. Эгильский И.С. Автоматизированные системы управления технологическими процессами подачи и распределения воды / И.С. Эгильский. – Л.: Стройиздат, 1988. – 2106 с.

17. Абрамов Н.Н. Водоснабжение / Н.Н. Абрамов. – М.: Стройиздат, 1974. – 480 с.

Стаття надійшла 17.03.2011 р.

Рекомендовано до друку д.т.н., проф.
Родькіним Д.Й.

СИСТЕМИ АКТИВНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ НАСОСНИХ КОМПЛЕКСІВ. ПІДСУМКИ Й НАПРЯМКУ РОЗВИТКУ

Перекрест А.Л., к.т.н.

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

вул. Першотравнева, 20, 39600, м. Кременчук, Україна

E-mail: pks@kdu.edu.ua

Наведені результати досліджень по системах активного регулювання параметрів насосних комплексів. Сформульовані напрями розвитку таких систем.

Ключові слова: Система активного регулювання параметрів, гідротурбінний агрегат, насосний комплекс, підвищення ефективності, асинхронний генератор.

ACTIVE REGULATION SYSTEM PARAMETERS PUMP COMPLEXES. RESULTS AND DEVELOPMENT TRENDS

Perekrest A., Cand. of Sc. (Tech.)

Kremenchug Mykhailo Ostrogradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, 39600, Kremenchuk, Ukraine

E-mail: pks@kdu.edu.ua

The result of system of active regulation parameters of pumping complexes has been presented. The development directions of these systems are formulated.

Key words: active regulation system of parameters pump complex, hydraulic turbine, pumps complex, increase efficiency, asynchronous generator.