

ТРЕБОВАНИЯ К ПОСТРОЕНИЮ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОУПРАВЛЕНИЯ НАСОСНЫМ КОМПЛЕКСОМ

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

Кременчугский государственный университет имени Михаила Остроградского

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

E-mail: saue@polytech.poltava.ua

Показано, что в основе энергоуправления насосным комплексом должен лежать анализ энергопроцессов во всех звеньях силового контура с учетом реального водоиспользования и меняющихся эксплуатационных характеристик технологического оборудования. Сформулированы требования и обоснована структура критерия оптимальности при построении замкнутой системы энергоуправления насосным комплексом.

Ключевые слова: система энергоуправления, насосный комплекс, энергетический режим.

Введение. Вопрос энергоуправления, как основной составляющей общей проблематики энергоресурсосбережения в технологических комплексах, оборудованных турбомеханизмами (насосами, вентиляторами, компрессорами), является в настоящий момент наиболее актуальным и востребованным для промышленного и коммунального секторов страны. При этом под энергоуправлением следует понимать процесс формирования рациональных, с точки зрения энергопотребления, режимов с помощью технических средств и систем, воздействующих на цепи управления электродвигателя, технологического механизма, потребителя преобразовательными устройствами, питающими эти цепи [1, 2].

Если в электроприводе вопрос энергоуправления поднимался в ряде работ [3-5], то в технологическом комплексе, включающем электромеханическую систему, технологический механизм (например, насосную установку), трубопроводную сеть, систему запорно-регулирующей арматуры, потребителя, этот вопрос не затрагивался.

Для повышения эффективности работы водопроводных гидротранспортных комплексов необходимо осуществлять управление перераспределением потерь с целью минимизации потребляемой электроэнергии во всех звеньях технологической системы путем выбора рационального метода регулирования параметров

насосной станции (НС) с учетом реальных режимов водопотребления и меняющихся эксплуатационных характеристик оборудования. При этом система энергоуправления (СЭУ) насосным комплексом (НК) позволяет не только выбрать рациональный режим работы НС, но и оценить реальное техническое состояние элементов насосного комплекса и принять решение о целесообразности дальнейшей эксплуатации технологического оборудования, тем самым решая вопрос технологической надежности гидротранспортных систем.

Цель работы. Анализ особенностей процессов управления энергетическими режимами и обоснование структуры замкнутой системы энергоуправления насосным комплексом.

Материал и результаты исследований. В основе исследования режимов НК лежит анализ энергетических процессов в электромеханическом преобразователе, технологическом механизме, трубопроводной сети, на которые влияют следующие факторы (рис. 1): режим работы потребителя, метод регулирования технологических параметров (напора и производительности), изменение эксплуатационных характеристик технологического оборудования, особенности режимов эксплуатации, аварийность в работе НК и др. Остановимся подробнее на некоторых моментах.



Рисунок 1 – Факторы, влияющие на энергетические процессы в НК

Режим работы НС систем водоснабжения и водоотведения определяется графиком расходования рабочей среды потребителями (рис. 2), непрерывно меняющимся и зависящим от численности населения, режима работы предприятий, климатических условий, сезона года, дня недели, времени суток и т.д. [6-9]. Для приведения в соответствие режима работы НС и режима водопотребления используют известные в практике методы регулирования [6, 10]: дросселирование, изменение частоты вращения насосного агрегата, ступенчатое регулирование и т.д. Каждый из методов характеризуется своими стоимостными и энергетическими показателями.

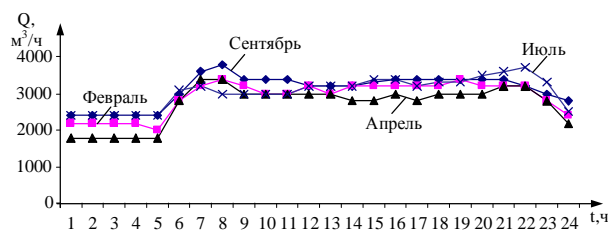


Рисунок 2 – Суточные графики водопотребления НС II-го подъема для разных сезонов года

Несмотря на простоту реализации, дросселирование имеет ряд недостатков: наличие непроизводительных потерь мощности; существенное снижение КПД турбомеханизма; пульсации давления на выходе насосного агрегата (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 и т. п.

Ступенчатое регулирование характеризуется большими динамическими нагрузками насосных агрегатов при частых пусках/остановах технологических механизмов, что приводит к преждевременному выходу из строя оборудования.

Метод регулирования изменением частоты вращения наиболее энергоэффективен, так как во всех режимах работы напор насоса равен сопротивлению сети, отсутствуют непроизводительные потери в системе насос-гидросеть [10, 11].

Анализ показал, что такие подходы к регулированию технологических параметров позволяют решить частные задачи повышения эффективности работы НК воздействием либо на двигатель, либо на насос и не рассматривают гидротранспортную систему как единый сложный комплекс взаимосвязанного оборудования.

Совместное влияние факторов (рис. 1) приводит к отклонению параметров электрогидравлического оборудования от номинальных, изменению эксплуатационных характеристик (рис. 3, кривые 2).

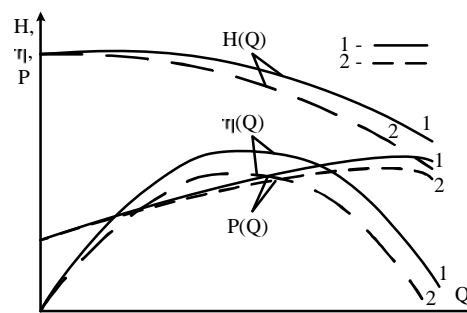


Рисунок 3 – Паспортные (1) и эксплуатационные (2) характеристики центробежного насоса: $H(Q)$, $P(Q)$, $\eta(Q)$ – зависимости напора, мощности и КПД от подачи

От снижения подачи происходит несоответствие параметров насосной установки и сети, что сопровождается повышением потерь мощности НС до 40-50 % [9, 12-15], ростом затрат электроэнергии на транспортировку жидкости (рис. 4), снижением КПД НК, изменением показателей надежности системы (наработка на отказ, интенсивность отказов, ресурс работы).

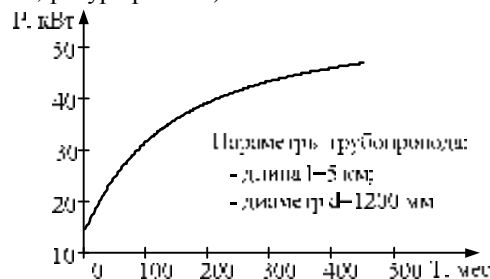


Рисунок 4 – Зависимость мощности на транспортировку жидкости от времени эксплуатации

При облегченных режимах эксплуатации (плавный пуск, эксплуатация НА в рабочей зоне и т.д.) интенсивность отказов ниже (рис. 5, кривая 2), чем при тяжелых (прямой пуск на открытую задвижку, несоответствие характеристик НА и гидросети) (рис. 5, кривая 1) [16]. Анализ показал, что продолжительность наработки насосов на отказ в значительной мере определяется износом вращающихся частей, вибрацией, разбалансировкой и коррозией.

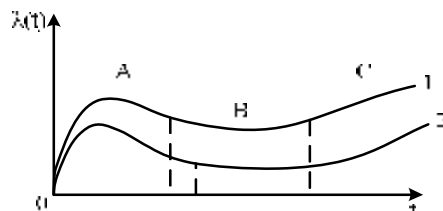


Рисунок 5 – Интенсивность отказов при различных условиях эксплуатации:

A – зона от начала пуска до передачи в эксплуатацию; B – зона нормальной эксплуатации; C – зона износа и старения

Трубопроводные сети и арматура являются неотъемлемой частью структуры НК. Подавляющее большинство коммунальных сетей систем городского водоснабжения и водоотведения имеет значительный физический износ: средний возраст стальных трубопроводов составляет 20-25 лет, чугунных – 35-40 лет; 10-15 % трубопроводов имеет срок эксплуатации, превышающий 30 лет. Все это является причиной весьма низкого уровня надежности трубопроводной системы.

Анализ показал, что действие внешних, дестабилизирующих работу трубопровода факторов (глубина залегания трубопровода, наличие подземных вод над уровнем лотка трубы, собственная масса трубы, величина внутреннего давления воды в трубопроводе, состояние грунтового свода и др.), способствует снижению срока службы трубопроводов.

Трубопроводная арматура также характеризуется ухудшением эксплуатационных характеристик, вызванных пульсациями давления в трубопроводе, гидроударами, коррозионным износом и трением соприкасающихся поверхностей подвижных соединений [17].

Обобщая вышеизложенное, можно заключить, что при построении системы энергоуправления необходимо учитывать реальные режимы водопотребления, картину распределения энергопотерь в технологическом объекте, меняющиеся во времени эксплуатационные характеристики оборудования.

Для эффективного управления насосными станциями разработана функциональная схема системы энергоуправления НК (рис. 6), которая обеспечивает:

- требуемый технологический закон регулирования – стабилизацию давления в диктующей точке (ДТ) при изменении графика водопотребления для снабжения потребителя рабочим продуктом в нужном объеме под заданным давлением;

- функции прогноза водо- и энергопотребления насосной станции для различных вариантов регулирования технологических параметров, а также при изменении различных факторов (дня недели, температуры воздуха, давления в диктующей точке и др.), влияющих на водопотребление, что позволяет рационально управлять и планировать потребление электроэнергии на необходимый промежуток времени для эксплуатируемых НС, а также при проектировании их или реконструкции;

- анализ энергетических режимов работы и технико-экономических показателей насосного комплекса для выбора рационального метода регулирования, оценки состояния технологического оборудования

и др.

Сигналом задания СЭУ НК является кривая водопотребления, описываемая выражением [7, 8]:

$$Q(t) = K + a_1 p_{дт}(t) + a_2 K_ч(t) + a_3 K_{дн}(t) + a_4 T(t) + a_5 p_0(t),$$

где K – постоянный коэффициент модели; $a_1 - a_5$ – коэффициенты регрессии; $p_{дт}$ – давление в диктующей точке, атм; $K_ч$ – коэффициент часов суток; $K_{дн}$ – коэффициент дня недели; T – температура воздуха, °С; p_0 – атмосферное давление, мм. рт. ст.

Анализ энергетической эффективности НК при работе центробежного насоса типа Д2000-100 с параметрами: производительность $Q=2000$ м³/с, напор $H=100$ м, мощность $P=800$ кВт, номинальная скорость вращения $n_n=980$ об/мин, коэффициенты аппроксимации $A_2=118$, $B_2=20,384$, $C_2=-94,888$ – показал, что при регулировании производительности в пределах 80% вниз от номинальной изменением частоты вращения энергопотребление насосной установки на 20 % ниже, чем дросселированием потока жидкости на выходе насоса.

Для НС с одиночной работой насоса на трубопроводную сеть при изменении производительности в широких диапазонах рациональным является применение частотно-регулируемого электропривода. При работе насосов с глубиной регулирования производительности в пределах 10% вниз от номинальной целесообразным является использование дросселирования ввиду недоиспользования ПЧ по своим функциональным возможностям, превышения нормативного срока окупаемости системы с частотно-регулируемым электроприводом [18].

При исследовании энергетических процессов в гидротранспортной системе учет меняющихся во времени эксплуатационных характеристик осуществляется уточненными коэффициентами аппроксимации напорно-расходной характеристики насоса [19]:

$$H(t) = A_2 v^2(t) + B_2 v(t) Q(t) + C_2 Q^2(t),$$

где $A_2=118$, $B_2=-34,772$, $C_2=-60,383$ – уточненные коэффициенты аппроксимации с учетом износа насоса.

Анализ энергопроцессов в НК при регулировании производительности изменением частоты вращения насосного агрегата показал, что при снижении напора на 10 % в результате смещения рабочей точки на $Q-H$ – характеристике насоса потери мощности в насосной установке увеличились на 19 %, а энергопотребление – на 11 % [19].

Для реализации необходимых функций и управления энергетическими режимами СЭУ НК представляет собой двухконтурную систему управления, где в качестве управляющего воздействия используется изменение частоты вращения рабочего колеса HA $v(t)$ или дросселирование потока жидкости на выходе насоса $R_3(t)$; управляемые параметры – давление на выходе насосной станции $p_{вых}(t)$, давление в диктующей точке $p_{дт}(t)$, производительность насосной станции $Q_n(t)$, мощность, потребляемая насосной станцией $P_1(t)$; возмущающие воздействия – суточная неравномерность водопотребления $Q(t)$,

техническое состояние турбомеханизма $Z(t)$, труб $S(t)$, запорно-регулирующей арматуры $V(t)$.

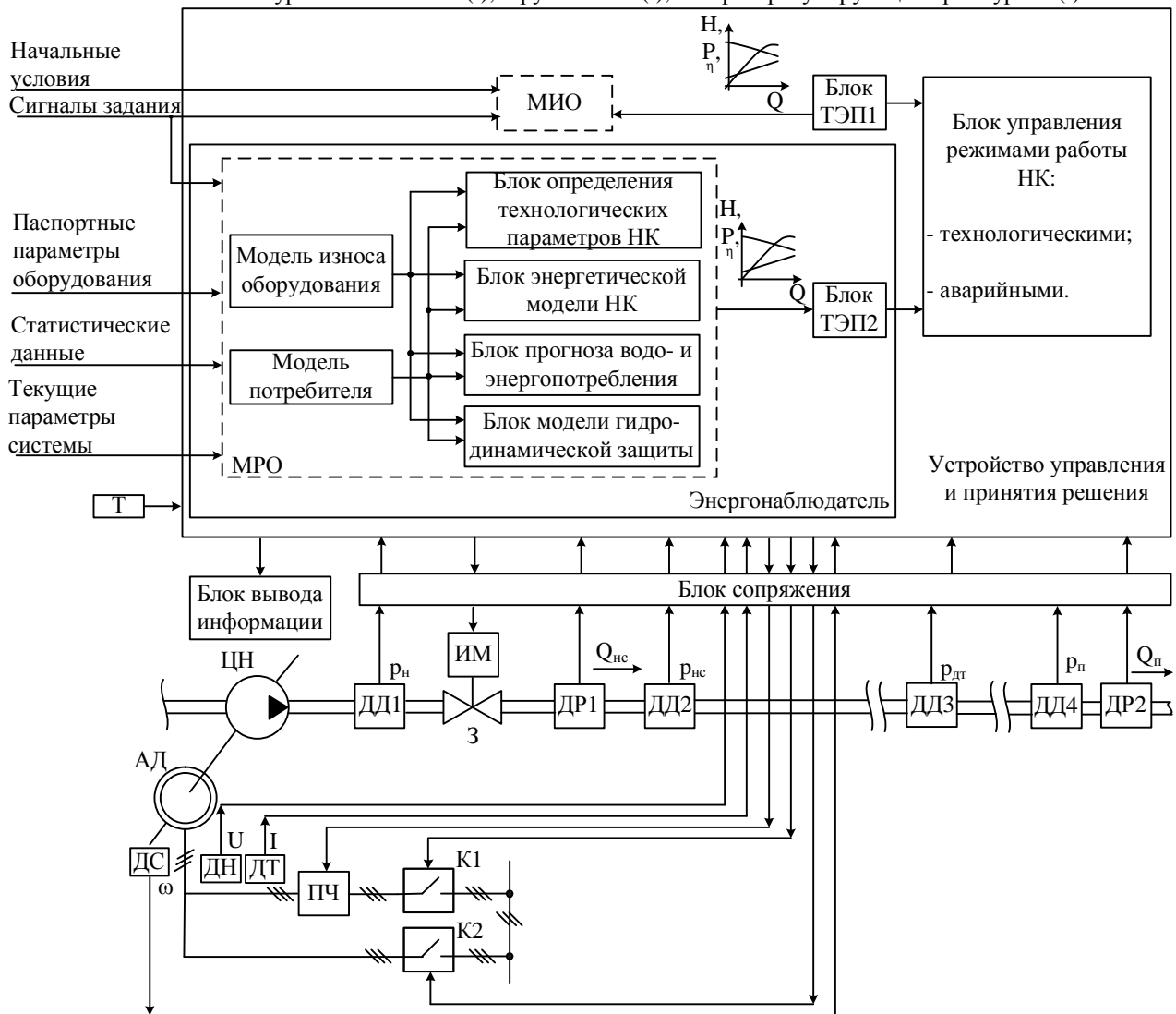


Рисунок 6 – Функциональная схема системы энергоуправления насосным комплексом:

АД – асинхронный двигатель; ЦН – центробежный насос; ПЧ – преобразователь частоты; 3 – электрифицированная задвижка; ИМ – исполнительный механизм; К1, К2 – ключи; ДН, ДТ, ДС – датчики напряжения, тока, скорости соответственно; ДД1 – датчик давления на выходе насоса; ДР1, ДД2 – датчик расхода и давления на выходе насосной станции соответственно; ДД3 – датчик давления в диктующей точке; ДР2, ДД4 – датчик давления, расхода у потребителя; БЗ1 – блок задания паспортных и расчетных параметров насоса, двигателя, гидросети и технико-экономических параметров; БЗ2 – блок задания коэффициентов регрессии модели водопотребления; Т – таймер; МИО, РО – модели идеального и реального объектов; ТЭП – блок расчета технико-экономических параметров

Первый контур управления осуществляет стабилизацию технологического параметра в ДТ с обратной связью по давлению $p_{дт}$. Второй контур осуществляет оценку состояния элементов гидротранспортного комплекса и принятие решения о целесообразности дальнейшей эксплуатации оборудования.

На основании реализуемых функций при построении замкнутой СЭУ НК система должна отвечать следующим требованиям.

1. Реализация требуемых технологических законов регулирования – стабилизация давления в диктующей точке при изменении режима работы

насосной станции. При этом должны быть минимизированы отклонения по напору $\Delta p_{дт}$ в ДТ.

2. Обеспечение минимума потребляемой электроэнергии насосной станцией, что соответствует минимальному значению потерь мощности во всех звеньях насосного комплекса – учет относительных потерь мощности ΔP .

3. Обеспечение минимального количества отказов элементов технологического оборудования ДТ.

С учетом сказанного предложен критерий оптимальности замкнутой системы вида:

$$I = \int_0^t (\Delta P_{\text{дт}}(t) + K_P \Delta P(t) + K_T \Delta T(t)) dt \Rightarrow \min,$$

где

$$\Delta P_{\text{дт}}(t) = \left| \frac{P_{\text{п.треб.}} - P_{\text{п.тек.}}}{P_{\text{нс.ном.}}} \right|, \quad \Delta P(t) = \frac{\Delta P_{\Sigma\text{н}} - \Delta P_{\Sigma\text{тек.}}}{\Delta P_{\Sigma\text{н}}},$$

$$\Delta T(t) = \left| \frac{\Delta T_{\text{норм.}} - \Delta T_{\text{факт.}}}{\Delta T_{\text{норм.}}} \right|,$$

K_P , K_T – весовые коэффициенты по мощности, количеству отказов; $P_{\text{п.треб.}}$ – требуемое значение давления в сети потребителя (задается диспетчером или автоматически); $P_{\text{п.тек.}}$ – текущее значение давления в сети потребителя, контролируемое датчиком давления; $P_{\text{нс.ном.}}$ – номинальное значение давления на выходе насосной станции; $\Delta P_{\Sigma\text{н}} = \Delta P_{\text{Ад}} + \Delta P_{\text{ТМ}} + \Delta P_{\text{ТР}}$ – номинальные суммарные потери мощности НС; $\Delta P_{\text{Ад}}$, $\Delta P_{\text{ТМ}}$, $\Delta P_{\text{ТР}}$ – потери мощности в асинхронном двигателе, турбомеханизме, трубопроводе; $\Delta P_{\Sigma\text{тек.}}$ – текущие потери мощности НС; $\Delta T_{\text{норм.}}$ – нормативный показатель количества отказов; $\Delta T_{\text{факт.}}$ – фактическое количество отказов элементов НК.

Принципиально такая задача оптимизации решается с помощью поисковой экстремальной системы автоматического управления, при этом может использоваться один из детерминированных методов поиска экстремума [20, 21].

Таким образом, замкнутая система энергоуправления с учетом реальных режимов водопотребления и меняющихся эксплуатационных характеристик оборудования позволит выбрать рациональный режим работы насосных станций и обеспечить технологическую надежность насосных комплексов.

Выводы. Обоснованы требования к построению системы энергоуправления насосным комплексом, которая должна обеспечивать:

- стабилизацию давления в диктующей точке при изменении режима работы насосной станции;
- минимум значения потерь мощности во всех звеньях насосного комплекса;
- минимум количества отказов элементом технологического объекта.

Сформулирован критерий оптимальности системы энергоуправления насосным комплексом, отвечающий предъявленным требованиям к построению системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Родькин Д. И. Особенности повышения качества электроэнергии при использовании современных преобразовательных систем / Д. И. Родькин // «Проблемы создания новых машин и технологий» – Вып. 1/1999 (6). – Кременчуг: КГПИ, 1999. – С. 49-59.

2. Закладной А. Н. Энергосбережение средствами промышленного электропривода / А. Н. Закладной, А. В. Праховник, А. И. Соловей. – К.: ДИЯ, 2001. – 343 с.

3. Сыромятников И. А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей / И. А. Сыромятников. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 240 с.

4. Онищенко Г. Б. Электропривод турбомеханизмов / Г. Б. Онищенко, М. Г. Юньков. – М.: Энергия, 1972. – 240 с.

5. Сандлер А. С. Автоматическое частотное управление АД / А. С. Сандлер, Р. С. Сарбатов. – М.: «Энергия», 1972. – 321 с.

6. Карелин В. Я., Минаев А. В. Насосы и насосные станции / В. Я. Карелин, А. В. Минаев. – М.: Стройиздат, 1986. – 320 с.

7. Алексеева Ю. А. К вопросу построения модели водопотребления в гидротранспортных комплексах / Алексеева Ю. А., Коренькова Т. В. // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Зб. наук. пр. КДПУ. – Вип. 4/2008(51). – Ч. 1 – Кременчук: КДПУ, 2008. – С. 136-139.

8. Алексеева Ю. А. Модель водопотребления в системе энергоуправления насосным комплексом / Ю. А. Алексеева, Т. В. Коренькова, В. Н. Сидоренко // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. Кременчук: КДПУ, 2008. – Вип. 3-4/2008 (4). – С. 54-58.

9. Петросов В. А. Устойчивость водоснабжения / В. А. Петросов. – Харьков: Фактор, 2007. – 357 с.

10. Лезнов Б. С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках / Б. С. Лезнов. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 360 с.

11. Алексеева Ю. А. Энергетическая эффективность регулируемого насосного агрегата при стабилизации технологического параметра / Ю. А. Алексеева, Т. В. Коренькова // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Зб. наук. пр. КДПУ. – Вип. 3/2007(44). – Ч. 2 – Кременчук: КДПУ, 2007. – С. 107-111.

12. Алексеева Ю. А. Техническое состояние и технологии управления насосными комплексами коммунального хозяйства / Ю. А. Алексеева, Т. В. Коренькова // Вісник КДПУ: Зб. наук. пр. КДПУ. – Вип. 3/2008(50). – Ч. 1 – Кременчук: КДПУ, 2008. – С. 135-141.

13. Кутуков С. Е. Информационно-аналитические системы магистральных трубопроводов / С. Е. Кутуков. – М.: СИП РИА, 2002. – 324 с.

14. Карелин В. Я. Изнашивание лопастных насосов / В. Я. Карелин. – М.: Машиностроение, 1983. – 168 с.

15. Найманов А. Я. Надежность насосных станций / А. Я. Найманов, Ю. В. Гостева. // Вісник Донбаської національної академії будівництва та

архітектури. – Вип. 2009-2(76). – Донецьк, 2009. – С. 3-8.

16. Справочник по расчетам гидравлических и вентиляционных систем / [Грачев И. Г, Пирогов С. Ю, Савищенко Н. П., Юрьев А. С.]. – С.-Пб.: АНО НПО Мир и семья, 2001. – 1154 с.

17. Коренькова Т.В., Алексеева Ю.А. Обоснование необходимости повышения управляемости насосных комплексов / Т. В. Коренькова,

Ю. А. Алексеева. // Вісник КДПУ: Зб. наук. пр. КДПУ. – Вип. 3/2006(38). – Ч. 1. – Кременчук: КДПУ, 2006. - С. 87-90.

18. Alekseeva J. Power forecast system in pumping complex in technological parameters regulating / J. Alekseeva, T. Korenkova // Вісник Кременчуцького державного університету ім. М. Остроградського:

Зб. наук. пр. КДУ. – Вип. 3/2010(62). – Ч. 1 – Кременчук: КДУ, 2010. – С. 108-111.

19. Алексеева Ю. А. Энергетические процессы в гидротранспортной системе с меняющимися эксплуатационными характеристиками насосного оборудования / Ю. А. Алексеева, Т. В. Коренькова // Вісник Кременчуцького державного університету ім. М. Остроградського: Зб. наук. пр. КДУ. – Вип. 3/2010(62). – Ч. 2 – Кременчук: КДУ, 2010. – С. 83-85.

20. Власов К. П. . Специальный курс по теории автоматического управления / К. П. Власов. – Харьков.: Политехнический институт имени В. И. Ленина, 1974. – 198 с.

21. Иващенко Н. Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем: Учебник для вузов / Н. Н. Иващенко. – М.: Машиностроение, 1978. – 736 с.

ВИМОГИ ЩОДО ПОБУДОВИ СИСТЕМИ ЕНЕРГОКЕРУВАННЯ НАСОСНИМ КОМПЛЕКСОМ

Алексеева Ю.О., асист., Коренькова Т.В., к.т.н., доц.

Кременчуцький державний університет імені Михайла Остроградського

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

E-mail: saue@polytech.poltava.ua

Показано, що в основі енергокерування насосним комплексом повинен лежати аналіз енергопроцесів в усіх ланцюгах силового контуру з урахуванням реального водокористування й мінливих експлуатаційних характеристик технологічного обладнання. Сформульовані вимоги й обґрунтована структура критерію оптимальності при побудові замкненої системи енергокерування насосним комплексом.

Ключові слова: система енергокерування, насосний комплекс, енергетичний режим.

REQUIREMENTS FOR CONSTRUCTION SYSTEMS ENERGY CONTROL PUMP COMPLEX

Alekseeva J.A., assist., Korenkova T., Cand. of Sc. (Tech.), Assoc. Prof.

Kremenchuk Mykhaylo Ostrogradskiy State University

Pershotravneva St., 20, 39600, Kremenchuk, Ukraine

E-mail: saue@polytech.poltava.ua

It is shown that the basis for a complex pumping energy resources should be based on an analysis energoprotssosov at all levels of the power circuit based on actual water use and changing the operational characteristics of the technological equipment. The requirements and justify the structure of an optimal criterion for the construction of a closed system of energy control pump complex.

Key words: energy control, pump set, power mode.

