

УДК 628.144.2:62-824

**Черная В.О.**

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

**Мельник О.Е.**

ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

**Омельченко А.В.**

Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского

## ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И СПОСОБОВ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ В АВАРИЙНЫХ РЕЖИМАХ

*Рассматриваются режимы работы насосных установок коммунального и промышленного водоснабжения и водоотведения. Рассмотрены виды и причины аварийных режимов при функционировании насосных станций. Рассмотрены виды запорно-регулирующей арматуры, используемой на насосных станциях, и способы управления ею. Проанализированы особенности и условия перевода асинхронных электрических машин в режим конденсаторного торможения. Представлены результаты лабораторных исследований особенностей работы насосной установки при внезапном отключении электроснабжения. Подтверждена практическая возможность и целесообразность применения конденсаторного торможения приводного асинхронного двигателя насоса для защиты оборудования насосной станции от последствий отключения электропитания.*

**Ключевые слова:** насосная станция, электротехнический комплекс, аварийный режим, защита, гидравлический удар.

**Постановка проблемы.** Электротехнические комплексы коммунального и промышленного водоснабжения и водоотведения представляют сложные электрогидравлические объекты, надежность работы которых влияет на важные звенья жизнедеятельности населения.

При эксплуатации насосных установок (далее – НУ) различного предназначения возникают режимы аварийного отключения электропитания, приводящие к непредсказуемым последствиям. В системах водоснабжения перерыв в энергопитании НУ сопровождается авариями в водоводах, выходом из строя трубопроводной арматуры, пульсациями давления в трубопроводной сети, повышенными вибрациями технологического оборудования, снижением коэффициента полезного действия насосного агрегата, что приводит к вынужденному простоям оборудования насосной станции (далее – НС).

Как правило, причиной разрушения коммуникационных сетей систем водоснабжения являются гидравлические удары, следующие

непосредственно за аварийным отключением двигателей насосов от электрической сети. Процесс протекания гидроудара зависит от наличия на НС запорно-регулирующей арматуры и условий ее срабатывания, от параметров гидроагрегата и трубопроводной сети [1]. Так, в электротехнических комплексах шахтного водоотлива с большой геодезической глубиной шахт, величина гидроудара, возникающего в результате внезапной остановки насосного оборудования, в десятки, а в некоторых случаях и в сотни раз, превышает максимально допустимые значения.

При этом на большинстве НС отсутствуют средства защиты электромеханического и гидравлического оборудования от аварийных режимов работы. Существующие средства гидрозащиты (обратные и предохранительные клапаны, гасители гидроудара) не являются эффективными, поскольку их срабатывание происходит по факту возникновения аварии, что приводит к повышению давления в трубопроводной системе выше номинального [2,3]. Применение устройств для

обеспечения бесперебойного питания потребителей также не исключает возможность возникновения аварийных ситуаций в энергосистеме.

Таким образом, современные гидротранспортные комплексы характеризуются отсутствием эффективных средств предупреждения развития аварийных режимов при перерывах в электропитании, что обуславливает снижение срока службы технологического оборудования, увеличение времени вынужденного простоя НС, снижение надежности и эффективности функционирования гидротранспортного комплекса в целом.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В [4] представлены результаты анализа основных характеристик запорной арматуры гидротранспортных комплексов и указана необходимость разработки оптимальных законов управления арматурой для повышения надежности функционирования установок.

Для уменьшения величины гидравлического удара и повышения надежности и эффективности работы НУ в [5] предложен оптимальный закон управления запорно-регулирующей арматурой.

В [6] предложен критерий выбора оптимального места установки средств защиты трубопроводных систем от гидроударов.

Анализ существующих на данный момент устройств защиты НК от гидроудара показал, что в большинстве случаев трубопроводная арматура не позволяет в полной мере осуществить защиту технологического оборудования гидротранспортной системы в аварийных режимах, в том числе при внезапном отключении энергопитания на НС.

**Постановление задания.** Цель статьи – лабораторные исследования режимов работы электротехнического комплекса насосной установки и способов защиты электромеханического и гидравлического оборудования от последствий аварийного отключения электропитания.

**Изложение основного материала исследований.** Одним из эффективных способов защиты НК от превышения давления в трубопроводной системе, возникающего при перерывах энергоснабжения, является способ, основанный на использовании конденсаторных батарей для возбуждения приводного двигателя насоса [1]. Данный способ позволяет исключить возникновение гидравлического удара в гидротранспортной сети, использовать энергию потока жидкости для управления насосным комплексом в послеаварийный период с одновременной рекуперацией энергии в сеть, которая может быть направлена на питание вспомогательных потребителей (например, для

управления электрическим двигателем задвижки, управляемого гидроклапана и т. д.). Таким образом, повышается надежность и эффективность работы гидротранспортных комплексов в целом, а также продлевается срок службы оборудования за счет снижения количества поломок, связанных с аварийными отключениями электропитания.

Как известно, электрические машины, в том числе и асинхронные двигатели, которые являются основным видом электрического привода насосов, обратимы и могут работать как в двигательных, так и в тормозных режимах. Если к валу асинхронной машины (далее – АМ), подключенной к сети, приложить статический момент, то, преодолевая момент сопротивления, двигатель будет работать в двигательном режиме, потребляя мощность из сети. Если момент сопротивления на валу отсутствует, то ротор АМ будет вращаться с синхронной скоростью. При этом энергия, которая потребляется из сети, будет расходоваться на покрытие потерь (электрических и механических). Если с помощью приводного двигателя вращать ротор АМ со сверхсинхронной скоростью, то последний перейдет в генераторный режим, генерируя электрическую энергию в сеть.

Однако особенностью режима конденсаторного торможения является ограниченность зоны торможения [7, с. 18-25]. Самовозбуждение АМ наступает только при частоте, большей, чем величина нижней критической частоты самовозбуждения, а прекращается – при частоте, величина которой больше верхней критической частоты самовозбуждения, выше которой самовозбуждение невозможно. Значения верхней и нижней критических частот самовозбуждения зависят как от параметров двигателя, так и от величины емкости конденсаторной батареи.

Нижняя критическая частота самовозбуждения определяется в соответствии с выражением:

$$\omega_{к.н} \approx \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}, \quad (1)$$

где  $L = L_{1\sigma} + L_{\mu}$  – индуктивность контура статора;  $C$  – емкость конденсаторных батарей.

Верхняя критическая частота самовозбуждения рассчитывается согласно со следующим выражением:

$$\omega_{к.в} \approx \frac{1}{\sqrt{L_{к} \cdot C}}, \quad (2)$$

где  $L_{к} = L_{1\sigma} + L_{2\sigma}$  – полная индуктивность колебательного контура.

Расчет емкости конденсаторных батарей, согласно описанной в [7, с. 27] методике, производится по формуле:

$$C = \frac{1}{2\pi f \cdot x_c}$$

В условиях лаборатории кафедры систем электроснабжения и энергетического менеджмента Кременчугского национального университета имени Михаила Остроградского на базе лабораторной модели гидротранспортной системы (рис. 1) коллективом авторов были проведены экспериментальные исследования режима конденсаторного торможения АМ, в ходе которых были рассмотрены 2 случая:

внезапный останов насоса с последующим перетоком жидкости в подающий трубопровод (рис. 2), т. е. режим неуправляемости комплекса;

аварийное отключение энергоснабжения и подключение конденсаторных батарей (рис. 3).

Для возбуждения и регулирования частоты вращения АМ мощностью 0,55 кВт использованы конденсаторы емкостью  $C1=22$  мкФ и  $C2=24$  мкФ. То есть регулирование скорости может осуществляться в две ступени путем последовательного включения конденсаторов к статорной обмотке двигателя (рис. 1).

Рассмотрим первый случай (рис. 1). После остановки насоса 1 происходит реверс рабочей жидкости, раскручивая агрегат в обратную

сторону. При этом развиваемый насосом напор составляет 5 м. В момент времени 3,2 сек к статорным обмоткам АМ подключают конденсаторные батареи емкостью 22 мкФ, в результате этого происходит самовозбуждение АМ и она генерирует энергию, величина которой составляет 60 В; частота вращения АГ равна 52% номинальной; давление в трубопроводе снижается до величины 4 м; ток, протекающий по обмотке статора, равен 325 мА. В момент времени, равный 5,6 сек, подключается дополнительная емкость 24 мкФ, т.о. суммарная емкость составляет 46 мкФ. При этом наблюдается снижение скорости до величины, равной 35% номинальной; величина генерируемого напряжения составляет 38 В, статорного тока – 311 мА, давление в водоводе существенно не изменяются.

Рассмотрим второй случай (рис. 3). До момента времени 4,5 сек. насос работает в номинальном режиме, после чего происходит отключение привоного двигателя насоса от сети, имитируя потерю энергоснабжения. Вследствие малой инерции вращающихся масс насосного агрегата останавливается в течение короткого промежутка времени, который составляет 0,3 сек. В трубопроводной сети наблюдается повышение давления. Далее опыт повторяется, однако после отключения элек-

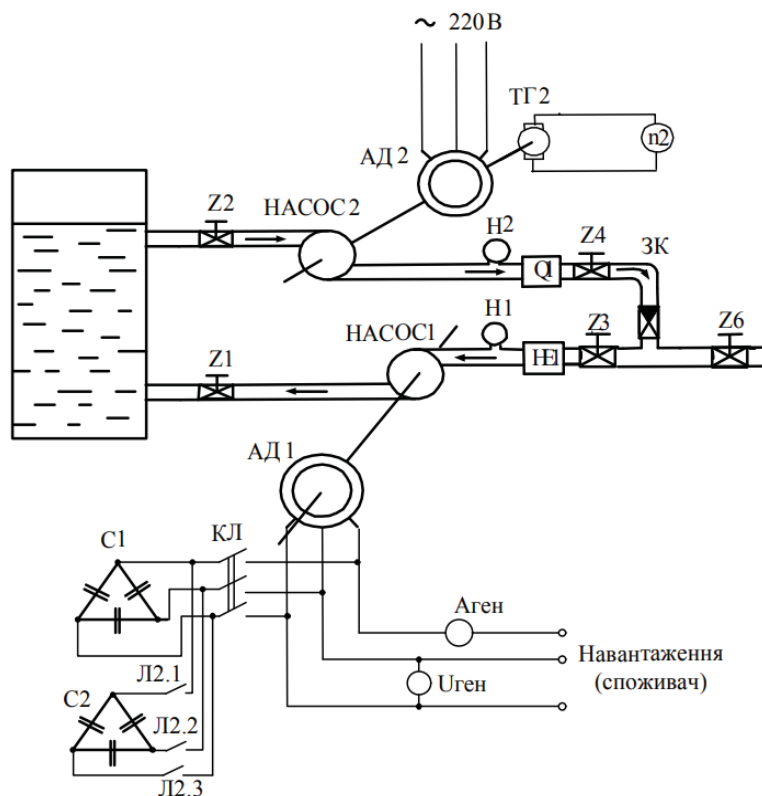
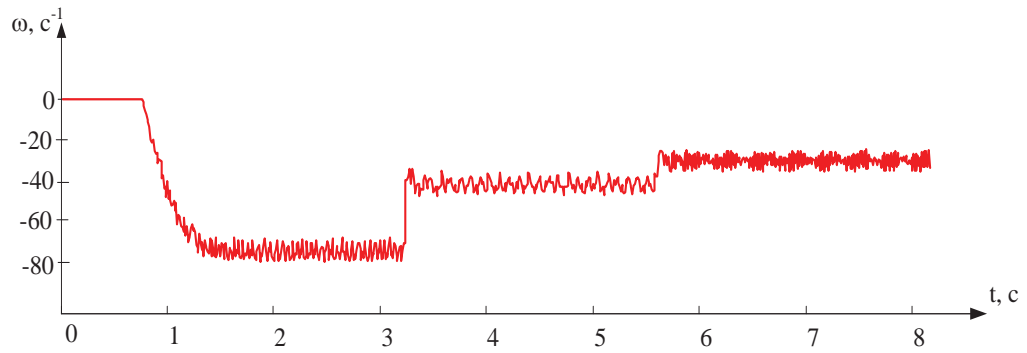
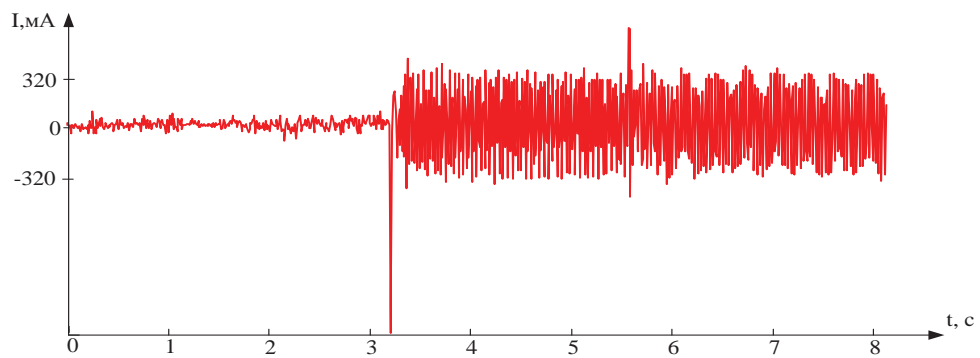


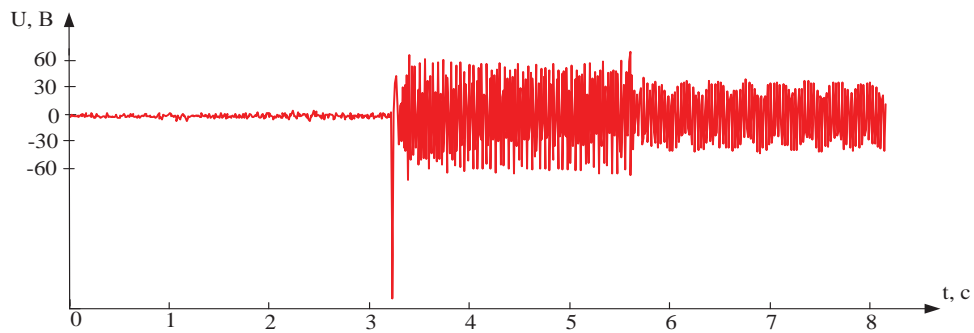
Рис. 1. Участок технологической схемы лабораторной установки



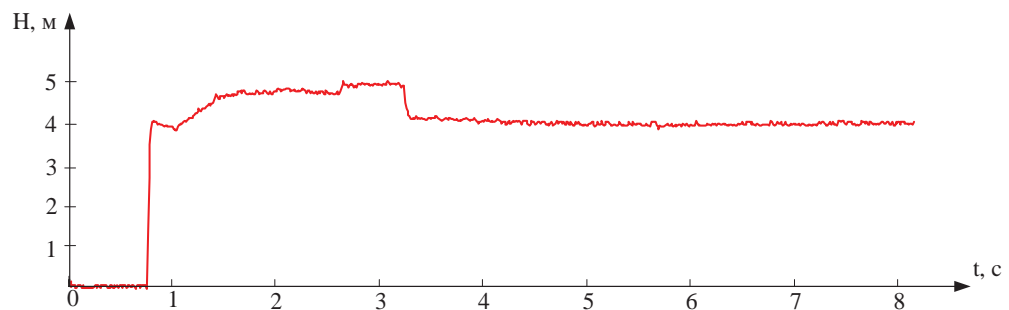
а)



б)

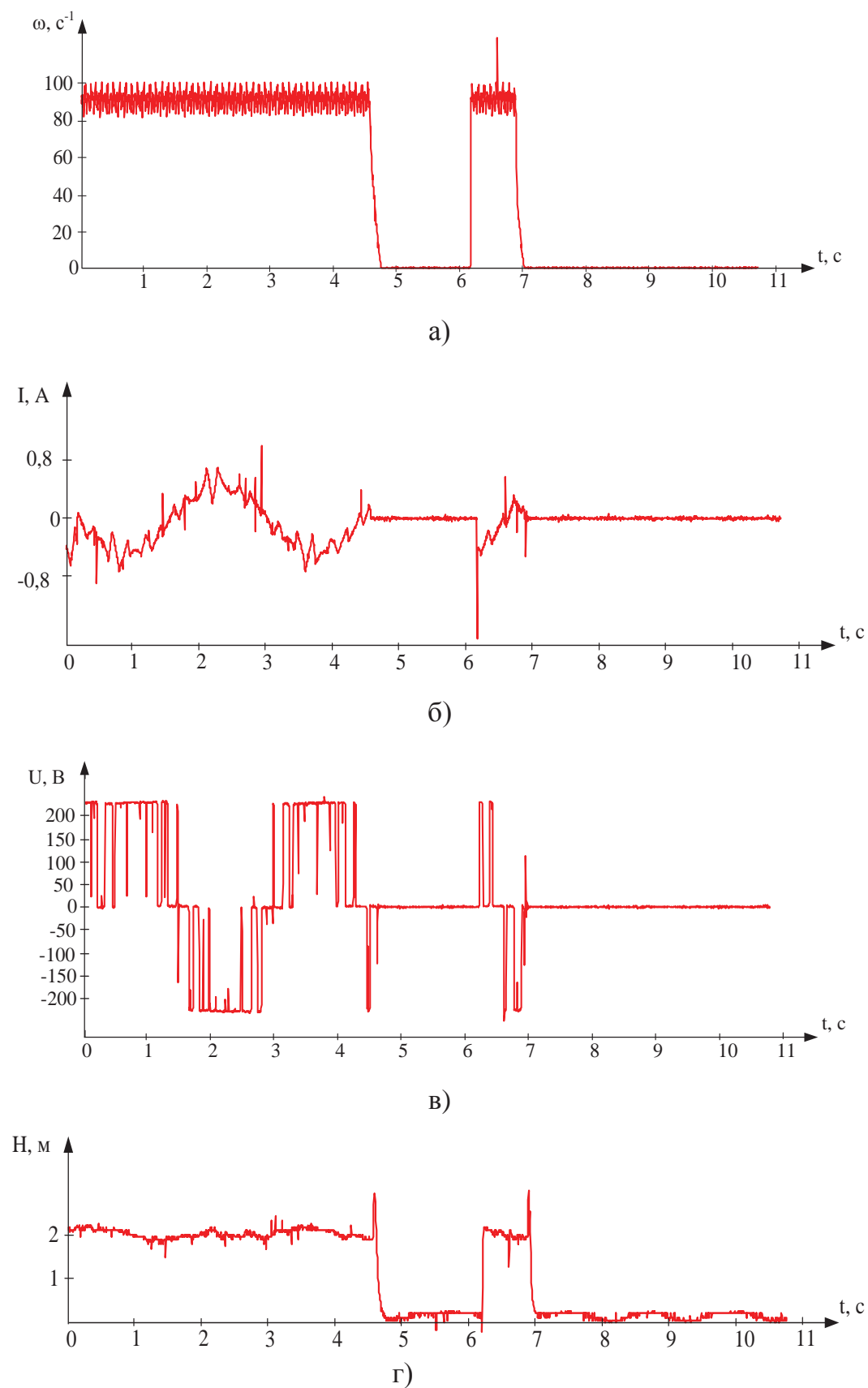


в)



г)

**Рис. 2. Графики изменения частоты вращения (а), тока статора (б), напряжения АМ (в) и давления на выходе насоса (г) при внезапной остановке насоса и реверсе жидкости**



**Рис. 3. Графики изменения частоты вращения (а), тока статора (б), напряжения АМ (в) и давления на выходе насоса (г) при аварийном отключении электроэнергии и подключении конденсаторных батарей**

тродвигателя происходит подключение конденсаторов емкостью 22 мкФ, которые обеспечивают самовозбуждение АМ. В результате этого на валу насосного агрегата создается тормозной момент, что приводит к интенсивному снижению скорости двигателя в течение 0,15 с. Вследствие существования нижней критической скорости самовозбуждения происходит потеря возбуждения, процесс генерирования энергии прекращается.

Анализ полученных результатов свидетельствует о возможности использования режима конденсаторного торможения для управления насосным комплексом в послеаварийный период. В случае аварийного отключения электроснабжения электромеханическая система исполняет роль управляющего органа, полностью или частично снижая воздействия гидравлических ударов, пульсаций давления, возникающих в трубопроводной системе (давление в трубопроводе не превышает допустимого значения). А подключенные к двигателю конденсаторы обеспечивают снижение реверсивной частоты вращения насосного агрегата и одновременное генерирование элек-

трической энергии, которая может быть использована для питания потребителей, например, управляемой задвижки. В свою очередь, повышается надежность и эффективность функционирования гидротранспортного комплекса в целом.

**Выводы:**

1) проанализированы особенности работы гидротранспортного комплекса при отключении электропитания, а также несовершенство существующих средств защиты оборудования от аварийных режимов;

2) Предложена методика расчета емкости конденсаторных батарей для перевода асинхронного двигателя насоса в режим конденсаторного возбуждения в случае обрыва электропитания и обратного тока жидкости;

3) Проведены лабораторные исследования, доказывающие возможность применения конденсаторного торможения АМ при перерывах электроснабжения гидротранспортного комплекса и обратном токе жидкости, а также эффективность защиты технологического оборудования от последствий обрыва электропитания.

**Список литературы:**

1. Коренькова Т.В., Михайличенко Д.А., Черная В.О. Расширение функциональных возможностей электроприводов насосных установок при аварийном отключении энергопитания. Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. 2007. Вип. 7(44). Ч. 2. С. 30–34.
2. Михайличенко Д.А., Коренькова Т.В. К созданию систем управления насосными станциями при аварийных режимах работы. Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. 2004. Вип. 3(26). С. 89–95.
3. Коренькова Т.В., Алексеева Ю.А., Михайличенко Д.А. Система защиты насосной установки от гидроудара с емкостным накопителем в силовом контуре. Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. 2005. Вип. 6(35). С. 68–72.
4. Коренькова Т.В., Кравец А.М. Особенности динамических режимов в гидротранспортных системах с управляемой трубопроводной арматурой. Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. 2007. Вип. 3(44). Ч. 2. С. 162–167.
5. Кравец А.М., Коренькова Т.В. Особенности частотного управления электроприводом трубопроводной арматуры в гидротранспортном комплексе. Вісник Кременчуцького державного університету імені Михайла Остроградського. 2010. Вип. 3(62). Ч. 1. С. 18–21.
6. Кононенко А.П., Овсянников В.П., Оверко М.В. Программное дросселирование как метод защиты водоотливной установки от гидравлического удара. Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Гірничо-електромеханічна». 2013. Вип. 1. С. 96–103.
7. Кашкалов В.И. Конденсаторное торможение асинхронных двигателей. Москва, 1977. 120 с.

## ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА СПОСОБІВ ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ НАСОСНОЇ УСТАНОВКИ В АВАРІЙНИХ РЕЖИМАХ

*Розглядаються режими роботи насосних установок комунального і промислового водопостачання і водовідведення. Розглянуто види та причини аварійних режимів при функціонуванні насосних станцій. Розглянуто види запірно-регулюючої арматури, що використовується на насосних станціях, і способи управління нею. Проаналізовано особливості та умови переведення асинхронних електричних машин в режим конденсаторного гальмування. Представлено результати лабораторних досліджень особливостей роботи насосної установки у разі раптового відключення електропостачання. Підтверджено практичну можливість та доцільність застосування конденсаторного гальмування приводного асинхронного двигуна насоса для захисту обладнання насосної станції від наслідків відключення електроживлення.*

**Ключові слова:** насосна станція, електротехнічної комплекс, аварійний режим, захист, гідравлічний удар.

## RESEARCH OF MODES OF FUNCTIONING AND METHODS OF PROTECTION OF ELECTRICAL ENGINEERING COMPLEX OF PUMPING UNIT IN EMERGENCY REGIMES

*The modes of operation of pumping installations for municipal and industrial water supply and sanitation are considered. The types and causes of emergency regimes in the operation of pumping stations are considered. Types of shut-off and control valves used at pumping stations and methods of controlling it are considered. The features and conditions for the transfer of asynchronous electric machines to the regime of capacitor braking are analyzed. The results of laboratory studies of the operation modes of a pumping unit are presented in the event of a sudden power failure. The practical possibility and purposefulness of the application of the capacitor braking of the drive asynchronous pump motor to protect the pumping station equipment from the consequences of switching off the electric power was confirmed.*

**Key words:** pumping station, electrical complex, emergency mode, protection, capacitor electric braking.