

## Література

1. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники [Текст]: учеб. / Л. А. Бессонов. — 6-е изд. — М.: Высш. школа, 1973. — 752 с.
2. СОУ-Н МПЕ 40.1.20.510.:2006. Методика визначення економічно доцільних обсягів компенсації реактивної енергії, яка перетікає між електричними мережами електропередавальної організації та споживача (основного споживача та субспоживача) [Текст]. — Київ, 2006. — 48 с.
3. Ландау Л. Д. Курс общей физики. Механика и молекулярная физика [Текст] / Л. Д. Ландау, А. И. Ахиезер, Е. М. Лифшиц. — М.: Наука; Главная редакция физико-математической литературы, 1969. — 399 с.
4. Дорошенко, О. І. Щодо питання сутності реактивної електроенергії [Текст] / О. І. Дорошенко // Енергетика та електрифікація. — 2007. — № 6. — С. 65–68.
5. Ионкин, П. А. Теоретические основы электротехники, Основы теории линейных цепей [Текст] / П. А. Ионкин. — М.: Высшая школа, 1976. — Т. 1. — 544 с.
6. Чабан, В. Й. Математичне моделювання електромагнітних процесів [Текст] / В. Й. Чабан. — К.: НМК ВО, 1992. — 390 с.
7. Кириленко, О. В. Математичне моделювання в електроенергетиці [Текст]: підручник / О. В. Кириленко, М. С. Сегеда, О. Ф. Буткевич, Т. А. Мазур. — Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2010. — 608 с.
8. Богородицкий, Н. П. Электротехнические материалы [Текст]: учеб. / Н. П. Богородицкий, В. В. Пасынков, В. М. Тареев. — Л.: Энергоатомиздат., 1985. — 7-е изд. — 304 с.
9. Дорошенко, О. І. Про фізику електромагнітного поля електроенергетичної системи [Текст] / О. І. Дорошенко // Матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів, Кременчук, 2–4 листопада 2012 р. — С. 33–35.
10. Дорошенко, О. І. Про математику і фізику електропередачі [Текст] / О. І. Дорошенко // Матеріали X Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Новини наукової думки», 22–30 жовтня 2014 р., Прага. — С. 15–22.
11. Методика визначення нерационального (неэффективного) використання паливно-енергетичних ресурсів [Текст] / Національне агентство України з питань забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів. — Київ, 2009. — 117 с.

## РАЗРАБОТКА ФИЗИЧЕСКОЙ БАЗЫ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Опираясь на физику нормального режима работы электроэнергетических систем, в статье предлагается новый научно-методический подход к определению понятия реактивной мощности электропередачи до систем электроснабжения промышленных и приравненных к ним потребителей. Доказано, что в качестве ее реактивного расчетного значения, вместо амплитудного, необходимо принимать действующее значение.

**Ключевые слова:** электроснабжение, моделирование электропередачи, электроэнергия, активная электроэнергия, реактивная электроэнергия, полная электроэнергия.

*Дорошенко Олександр Іванович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра електропостачання та енергоменеджменту, Одеський національний політехнічний університет, Україна, e-mail: dai1938@yandex.ua.*

*Романюк Олена Вікторівна, кафедра електропостачання та енергоменеджменту, Одеський національний політехнічний університет, Україна, e-mail: romanjukhelen@mail.ru.*

*Борисенко Світлана Олександрівна, керівник проектної групи, ВТВ ПАТ «Одесаобленерго», Одеса, Україна, e-mail: sab1975@list.ru.*

*Дорошенко Александр Иванович, кандидат технических наук, доцент, кафедра электроснабжения и энергоменеджмента, Одесский национальный политехнический университет, Украина.*

*Романюк Елена Викторовна, кафедра электроснабжения и энергоменеджмента, Одесский национальный политехнический университет, Украина.*

*Борисенко Светлана Александровна, руководитель проектной группы, ПТО ЗАО «Одесаобленерго», Одесса, Украина.*

*Doroshenko Oleksandr, Odessa National Polytechnic University, Ukraine, e-mail: dai1938@yandex.ua.*

*Romaniuk Elena, Odessa National Polytechnic University, Ukraine, e-mail: romanjukhelen@mail.ru.*

*Borisenko Svitlana, VET CJSC «Odesaoblenergo», Odessa, Ukraine, e-mail: sab1975@list.ru.*

УДК 621.6

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.47783

**Иванов В. Б.,  
Ситас В. И.,  
Рихтер М.**

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ГИДРОМУФТ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

*В статье рассмотрены вопросы эффективности применения регулируемых гидродинамических приводов для управления производительностью центробежных насосных агрегатов. Приведены примеры расчетов экономии электроэнергии для насосов различной мощности. Проанализированы факторы, оказывающие наиболее существенное влияние на сроки окупаемости при внедрении данной технологии.*

**Ключевые слова:** гидродинамический регулируемый привод, гидромукфта, центробежный насос, энергоэффективность, дроссельное регулирование, потребляемая мощность.

### 1. Введение

Центробежные насосы являются одним из наиболее энергоемких видов оборудования, широко представленным в промышленности, энергетике, коммунальном

хозяйстве. Регулирование производительности центробежных насосных агрегатов имеет огромный потенциал экономии электроэнергии. По данным Европейской ассоциации производителей насосного оборудования возможное снижение энергопотребления за счет регулирования

скорости вращения значительно выше, чем суммарный потенциал экономии за счет таких мероприятий как: замена насосов и электродвигателей на их современные аналоги, подрезка и замена рабочих колес, параллельная установка насосов для каскадного регулирования подачи. Кроме того, отказ от широко используемого дросселирования и переход к регулированию производительности агрегата позволяет существенно увеличить сроки службы оборудования, повысить техническую готовность и сократить потери от простоев оборудования.

## 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Вопросы эффективности гидродинамического регулирования производительности рассматривались применительно к различным агрегатам центробежного типа. Потребность в регулировании производительности и потенциал экономии энергетических ресурсов раскрыты в [1]. Опираясь на значительный опыт внедрения гидродинамических приводов в тепловой энергетике, показаны преимущества регулирования скоростью вращения питательных и сетевых насосов теплоэлектростанций [2, 3]. Наряду с анализом эффективности управления насосными агрегатами исследованы вопросы регулирования производительности компрессоров и вентиляторов [4–6]. Ряд работ [2, 7, 8] посвящен сравнительному анализу эффективности альтернативных способов регулирования производительности гидродинамическому и частотно-регулируемому приводам. По результатам внедрения регулируемых гидродинамических приводов на ряде тепловых электростанций СНГ [9, 10] отмечены как преимущества регулируемых гидромуфт, так и необходимые условия успешной реализации проектов. В то же время специалисты, осуществляющие эксплуатацию насосного оборудования, хотели бы знать, какие факторы влияют на эффективность применения регулирующих приводов, от чего зависят сроки окупаемости проектов, как правильно выбрать тип привода, удовлетворяющего условиям конкретного производства.

## 3. Объект, цель и задачи исследования

Объектом исследования является эффективность гидродинамического регулирования производительности центробежных насосов.

Цель исследования — анализ факторов, влияющих на эффективность применения гидродинамических приводов для управления производительностью центробежных насосов.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Проанализировать методы управления производительностью центробежных насосных агрегатов и особенности применения гидродинамических приводов.

2. Рассмотреть основные показатели, характеризующие эффективность гидродинамического управления производительностью насосных агрегатов. Изучить изменение эффективности в наиболее распространенных диапазонах регулирования и выполнить расчеты экономии электроэнергии.

3. Выделить наиболее значимые факторы, определяющих эффективность применения гидродинамических приводов, исследовать их влияние и разработать рекомендации к выбору гидродинамических приводов центробежных насосов.

## 4. Способы регулирования производительности центробежных насосных агрегатов

Сравнивая способы регулирования производительности центробежных насосов следует отметить, что электронное (частотное) регулирование предполагает управление скоростью вращения электродвигателя, в то время, как гидродинамическое состоит в управлении скоростью вращения насоса при неизменной скорости вращения электродвигателя. В качестве механизма, выполняющего функцию управления скоростью вращения насоса используется гидромуфта с изменяющимся уровнем наполнения рабочей камеры. Вопросы сравнения эффективности 2-х приведенных технологий и исследование факторов, влияющих на выбор способа регулирования, рассмотрены в [5]. Значения КПД гидромуфты и частотно-регулируемого привода (ЧРП) при номинальной скорости насоса практически одинаковые и равны 95–96 %. При уменьшении скорости насоса ниже номинальной, КПД ЧРП снижается незначительно — до 92–94 %, а КПД гидромуфты более резко — до минимум 84–85 % при скорости около 2/3 от номинальной (рис. 1).

В практике регулирования производительности насосов диапазон изменения скорости относительно невелик и лишь незначительную часть времени агрегат используется в режимах, где КПД гидромуфт снижается существенно. Так, например, при снижении скорости насоса на 10 % ( $n_2/n_1 = 0,9$ ) подача насоса так же уменьшится на 10 %, напор снизится на 19 %:  $H_2 = H_1 \cdot 0,9^2 = H_1 \cdot 0,81$ , а мощность на валу насоса уменьшится на 27 %:  $P_2 = P_1 \cdot (0,9)^3 = P_1 \cdot 0,73$ . Таким образом, для регулирования напора насоса в широком диапазоне и существенного уменьшения потребляемой насосом мощности достаточно уменьшать скорость насоса в достаточно узком диапазоне при сохранении КПД последней на достаточно высоком уровне (рис. 1).

Вследствие разницы в КПД годовые затраты на электроэнергию собственных нужд для привода насоса, оборудованного гидромуфтой, будут больше чем у аналогичного насоса, оборудованного ЧРП, на величину:

$$\Delta Z_3 = (P^{\text{гм}} - P^{\text{чрп}}) \Phi_3, \quad (1)$$

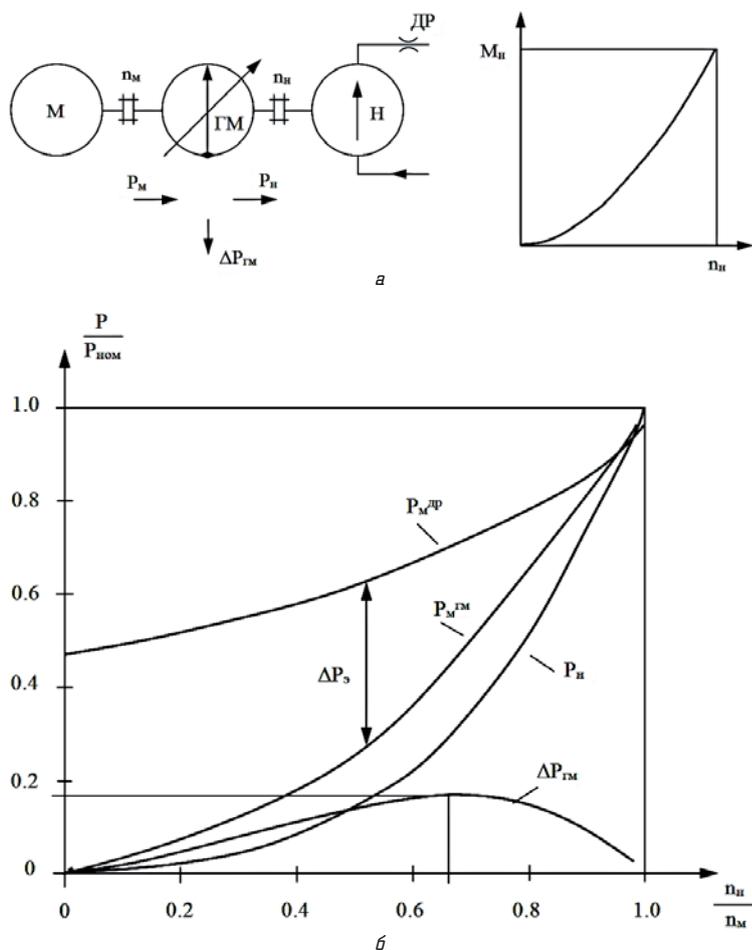
где  $P^{\text{гм}}$  и  $P^{\text{чрп}}$  — годовой расход электроэнергии на привод насоса, оборудованного гидромуфтой или ЧРП;  $\Phi_3$  — тариф на электроэнергию собственных нужд, грн/кВт-ч.

Например, годовой перерасход электроэнергии на привод ПЭНа ПЭ 580-185 при использовании гидромуфты вместо ЧРП составит около 700.000 кВт-ч/год (при разнице средневзвешенных за год значений КПД ЧРП и гидромуфты в размере 6 %). При тарифе на электроэнергию 1,25 грн/кВт-ч перерасход денежных средств на оплату электроэнергии собственных нужд составит 875.000 грн/год.

Однако инвестиционные расходы на внедрение ЧРП будут больше чем для гидромуфты на величину:

$$\Delta Z_k = (k^{\text{чрп}} - k^{\text{гм}}) N_n, \quad (2)$$

где  $k^{\text{чрп}}$ ,  $k^{\text{гм}}$  — удельные капитальные затраты на внедрение гидромуфты или ЧРП, грн/кВт;  $N_n$  — номинальная мощность на валу насоса, кВт.



**Рис. 1.** Баланс мощностей насосного агрегата с гидромuftой и дросселем: *а* — схема регулируемого насосного агрегата с гидромuftой; *б* — зависимость потребляемой мощности насосного агрегата от скорости его вращения и способа регулирования; М — мотор, Н — насос, ГМ — гидромuftа, ДР — дроссель,  $n_M$  — скорость двигателя;  $n_H$  — скорость насоса,  $P_H$  — теоретическая кривая насоса,  $P_{M,ГМ}$  — мощность на валу электродвигателя при регулировании гидромuftой,  $P_{M,ДР}$  — мощность на валу электродвигателя при дроссельном регулировании,  $\Delta P_{ГМ}$  — потери в гидромuftе,  $\Delta P_3$  — разница электрических мощностей при регулировании гидромuftой и дроссельном регулировании

Например, дополнительные капиталовложения в установку ЧРП вместо гидромuftы на ПЭН типа ПЭ 580-185 составят около 3.500.000 грн. В таком случае, дополнительные инвестиции при установке ЧРП вместо гидромuftы увеличивают срок окупаемости проекта на  $T_H$  лет:

$$\Delta T_H = \Delta Z_K / \Delta Z_3. \quad (3)$$

Для выше рассмотренного примера с ПЭНом ПЭ 580-185, срок окупаемости при внедрении ЧРП вместо гидромuftы увеличивается на 4 года.

Следует отметить, что помимо более высокой стоимости ЧРП по сравнению с гидромuftой, он оказывает также негативные воздействия на электродвигатель, сеть и окружающее оборудование, высокочастотные помехи и электромагнитные излучения, перенапряжение на клеммах двигателя, возникновение бегущих токов, разрушающих подшипники, наложение гармоник на основной сигнал сети, его искажение и возникновение перегрузок. Для размещения ЧРП требуются

дополнительные площади, их содержание и обслуживание требует привлечение квалифицированных специалистов сторонних организаций. Напротив, гидродинамические приводы не оказывают какого-либо влияния на окружающее оборудование, более компактные и дешевые, просты в эксплуатации. Они также обладают существенно более высокими показателями надежности: срок службы — 30 и более лет, наработка на отказ — более 200 тыс. часов, коэффициент технической готовности — 99,83 %. Гидромuftы отличаются от ЧРП также несравненно более высокой ремонтопригодностью. Все работы могут выполняться силами ремонтных подразделений ТЭС, которые с периодичностью 5–6 лет производят замену уплотнений, подшипников и смену масла. Стоимость комплекта запчастей на 5 лет составляет 3...5 тыс. евро. При этом запчасти доступны в течение всего срока службы. В качестве масел используются широко применяемые в СНГ ТП 22с или ТП 30.

Множество проектов, реализованных в России, Украине, Белоруссии и других странах СНГ подтверждают сделанные выводы о высокой эффективности применения гидродинамического регулирования производительности центробежных насосов с высоковольтными приводами. Экономия электроэнергии при внедрении регулируемых гидродинамических приводов составляет от 15 до 30 % по сравнению с дроссельным регулированием. Только в тепловой энергетике СНГ в приводах питательных и сетевых насосов установлено более 400 энергосберегающих гидромuft VOITH, в т. ч. на Запорожской, Кураховской (рис. 2) и Старобешевской ТЭС, Киевских ТЭЦ-5 и ТЭЦ-6, станциях теплоснабжения Киевэнерго.



**Рис. 2.** Гидромuftа VOITH 682 SVNL 336 в приводе питательного насоса ПЭ 720-185 на Кураховской ТЭС

Отметим, что все гидромuftы были установлены в период 1980–2014 г.г. и практически все находятся в активной эксплуатации до настоящего времени. Для всех проектов получены приемлемые сроки окупаемости,

которые, как правило, составляют 2–3 года только за счет снижения энергопотребления. При этом на всех объектах отмечается также увеличение ресурса оборудования (электродвигателей, насосов, трубопроводов, клапанов и задвижек) благодаря разгруженному пуску электродвигателей, плавному ускорению и остановам насосов, демпфированию нагрузок и колебаний, отсутствию гидроударов.

### 5. Эффективность применения гидромуфт для регулирования производительности насосных агрегатов

Представляет интерес анализ факторов, влияющих на эффективность применения гидромуфт, выполненный на основе полученной информации о реализованных проектах и опыте их эксплуатации. Наряду с факторами, определяющими общие экономические условия или среду, в которой реализуется проект, такими как статус проекта (новое строительство, реконструкция, модернизация), величина тарифа на электроэнергию, индекс инфляции, стоимость кредитных ресурсов и др., следует выделить и проанализировать факторы, характеризующие сам объект внедрения и определяющие выбор оборудования и его стоимость. К таким факторам относятся:

- номинальная мощность и скорость вращения насоса;
- коэффициент использования насосного агрегата;
- режимы загрузки насосного агрегата.

Технические параметры центробежного насоса (мощность и скорость вращения) в решающей степени влияют на выбор типоразмера гидромуфты и, следовательно, на величину инвестиционных расходов. С другой стороны, потенциал экономии электроэнергии также зависит, прежде всего, от мощности насоса и если исходить из условия одинакового в процентном отношении сокращения энергопотребления за счет гидродинамического регулирования, то оснащение регулируемым приводом насосов большей мощности обеспечит и большую экономию электроэнергии. Условно характер изменения инвестиционных затрат в зависимости от мощности и скорости вращения насоса показан на рис. 3.

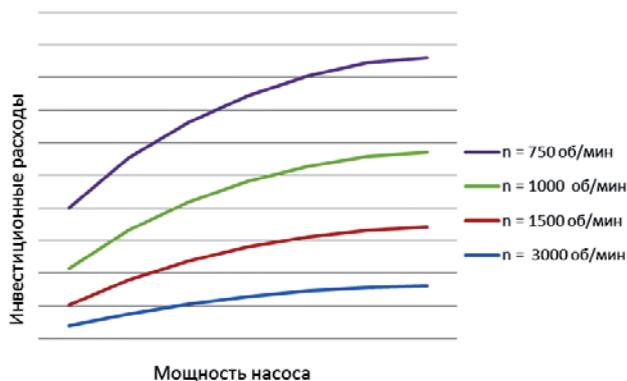


Рис. 3. Изменение потребности в инвестициях при внедрении регулируемых гидромуфт в приводах насосов различной мощности и скорости вращения

Как видно из рис. 3, зависимость величины необходимых инвестиций от мощности насосов указывает на значительное снижение темпов роста инвестиционных затрат по мере увеличения мощности привода. Напро-

тив, для частотно-регулируемых приводов характерна обратная тенденция – увеличение темпов роста затрат по мере повышения мощности насосов. Кривые, приведенные на рис. 3, иллюстрируют также значительный рост необходимых инвестиций при уменьшении скорости насосов, что объясняется кубическим характером зависимости мощности от скорости вращения. В этом случае, для передачи определенной мощности с уменьшенной скоростью требуется значительно увеличивать крутящий момент, а, следовательно, диаметр колес, размеры и стоимость конструкции.

Соотношение величин потребляемой электроэнергии при дроссельном управлении расходом и гидродинамическом регулировании производительности насоса, а также экономии электроэнергии в различных рабочих точках демонстрирует рис. 4, полученный на основе расчетов, выполненных для гидродинамического привода питательного насоса ПЭ 720-185, установленного на Кураховской ТЭС.

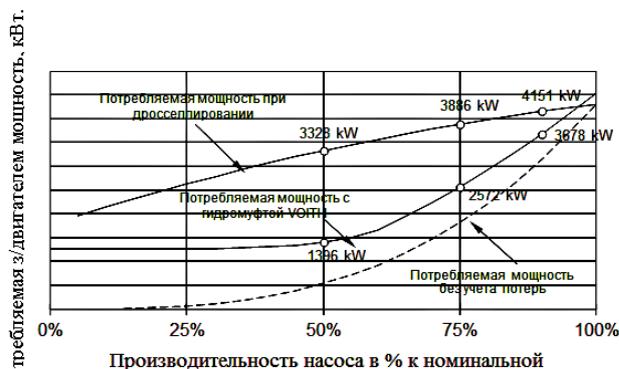


Рис. 4. Изменение потребляемой мощности при различных методах регулирования производительности центробежного насоса

Принимая приведенные на графике данные о потребляемой мощности и исходя из информации о распределении суточного режима использования насоса (50 % – 9 час., 75 % – 2 час., 90 % – 13 час.) рассчитаем экономию электроэнергии в сутки при переходе от дроссельного регулирования к регулированию с помощью гидромуфты:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{\text{сут}} &= (3328 - 1396) \times 9 + (3886 - 2572) \times 2 + \\ &+ (4151 - 3678) \times 13 = 26165, \text{ кВт}\cdot\text{ч}. \end{aligned}$$

Если принять коэффициент использования насосного оборудования 0,90, то годовая экономия электроэнергии составит 8595202 кВт·ч.

В табл. 1 приведены результаты расчетов годовой экономии электроэнергии при замене дроссельного регулирования на гидродинамическое для насосов различной мощности при типовых режимах нагрузки: 90 %, 75 % и 50 % номинальной производительности и коэффициенте использования оборудования – 0,90.

Принимая условие, что насосы различной мощности работают в одинаковых режимах нагрузки и с одинаковым уровнем использования, можно получить кривые изменения удельной экономии электроэнергии на единицу инвестиционных затрат кВт·ч/грн (рис. 5). Их характер показывает значительный рост инвестицион-

ной привлекательности проектов по мере увеличения мощности приводов, а также предпочтительность установки гидромуфт в приводах насосов с более высокой скоростью вращения (1500; 3000 об/мин).

Таблица 1

Расчетная годовая экономия электроэнергии (кВт-ч) за счет установки регулируемых гидромуфт при различных режимах эксплуатации насосов

Производительность насоса в % к номинальной	Потребляемая мощность насоса при номинальном режиме работы, кВт				
	1000	1600	2500	3400	4300
90 %	938 196	1 434 888	2 175 984	2 948 398	3 729 132
75 %	2 483 460	3 800 088	6 031 260	8 199 360	10 359 576
50 %	3 476 844	5 566 104	8 853 732	12 046 752	15 231 888

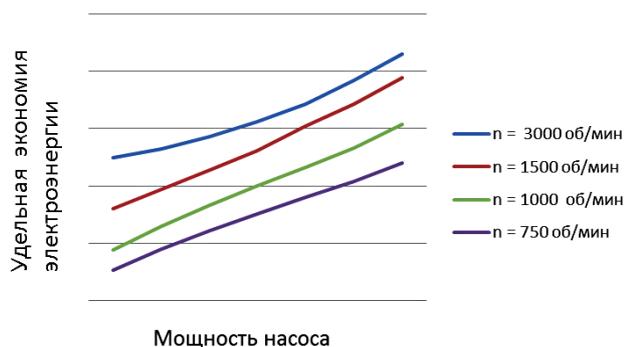


Рис. 5. Изменение удельной экономии электроэнергии на единицу инвестиционных затрат (кВт-ч/грн) в зависимости от мощности насосов

При построении графиков использованы данные об удельных инвестиционных затратах, полученные на основе информации о реализованных проектах с установкой регулируемых гидромуфт VOITH в приводах сетевых и питательных насосов в СНГ. Рассматривались наиболее широко применяемые типоразмеры гидромуфт: 422 SVTL 22, 562 SVTL 12.1, 866 SVTL 22-12, 620 SVNL 33G, 682 SVNL 33G.

## 6. Выводы

Анализ методов управления производительностью насосных агрегатов показывает целесообразность использования гидродинамического способа регулирования производительности. Преимущества данной технологии по сравнению с частотно-регулируемым приводом состоят в экономии инвестиционных затрат, высокой надежности и технической готовности, существенно больших сроках службы, способности защищать все компоненты привода от динамических нагрузок, отсутствии негативного воздействия на окружающее оборудование, простоте обслуживания и доступности запасных частей.

Данная технология является энергоэффективной в типичном диапазоне изменения скорости вращения насоса (80–100 % от номинальной скорости), где КПД гидродинамического привода достаточно высок и сопоставим с КПД частотно-регулируемого.

Основными факторами, влияющими на эффективность применения гидродинамических приводов, и обеспечивающими быструю окупаемость проектов, являются:

- большая мощность насосных агрегатов, что характерно для питательных, сетевых, шламовых, нефтяных и насосов централизованного водоснабжения;
- высокая скорость вращения приводящих электродвигателей (от 1000 об/мин. и более);
- значительная доля времени работы в режимах неполной загрузки;
- большая интенсивность эксплуатации насосных агрегатов.

## Литература

1. Костенко, Д. А. Регулируемые приводы: возможности, затраты, эффективность [Текст] / Д. А. Костенко, В. Б. Иванов // ТЭК. — 2008. — № 4. — С. 30–33.
2. Ситас, В. И. Гидромурфта Фойт — конкурентоспособный регулируемый привод для энергетики [Текст] / В. И. Ситас, А. Пёшк, М. Рихтер // Энергетик. — 2005. — № 2. — С. 45.
3. Ситас, В. И. Применение регулируемых гидромуфт для уменьшения расхода электроэнергии на собственные нужды электростанций [Текст] / В. И. Ситас, А. Пёшк, Р. М. Фаткуллин // Электрические станции. — 2003. — № 2. — С. 61–65.
4. Рихтер, М. Регулируемые приводы VOITH в электростанциях комбинированного типа и магистральных газопроводах [Текст] / М. Рихтер, В. Б. Иванов, В. И. Ситас // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2010. — № 3/3(45). — С. 57–59. — Режим доступа: \www/URL: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/2798>
5. Костенко, Д. А. Перекачка газа должна быть экономной [Текст] / Д. А. Костенко, В. Б. Иванов // ТЭК. — 2007. — № 6. — С. 114–117.
6. Иванов, В. Б. Применение гидродинамических приводов VOITH в системах транспорта нефти и газа [Текст] / В. Б. Иванов, Д. А. Костенко // Энергополитика. Нефть и газ. — 2011. — № 3. — С. 61–64.
7. Иванов, В. Б. К вопросу о сравнительной эффективности механического и частотно-регулируемого приводов [Текст] / В. Б. Иванов, М. Рихтер, В. И. Ситас // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2012. — № 3/10(57). — С. 32–35. — Режим доступа: \www/URL: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/4180>
8. Alas, P. Electro Compression a Challenging Alternative: How and Why to Choose a Gas Turbine or an Electric Motor to Drive a Centrifugal Compressor [Text] / P. Alas, E. Noulette // Proceedings of ASME Turbo Expo 2013: Turbine Technical Conference GT 2013, June 3–7, 2013, San Antonio, Texas, USA. — ASME International, 2013. — 9 p. doi:10.1115/gt2013-94163
9. Фаткуллин, Р. М. Об экономической эффективности применения регулируемого привода на питательных насосах ТЭЦ с поперечными связями [Текст] / Р. М. Фаткуллин, О. В. Зайченко, В. Э. Кремер // Энергетик. — 2004. — № 4. — С. 9–11.
10. Фардиев, И. Ш. О целесообразности и опыте применения гидромуфт на вспомогательном оборудовании ТЭС с поперечными связями [Текст] / И. Ш. Фардиев, А. А. Салихов, Р. М. Фаткуллин // Энергетик. — 2004. — № 5. — С. 15–18.

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ГІДРОМУФТ ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ

У статті розглянуті питання ефективності застосування регульованих гідродинамічних приводів для управління продуктивністю відцентрових насосних агрегатів. Наведені приклади розрахунків економії електроенергії для насосів різної продуктивності. Проаналізовані фактори, що мають найбільший вплив на строки окупності при впровадженні вказаної технології.

**Ключові слова:** гідродинамічний регульований привід, гидромурфта, відцентровий насос, енергоефективність, дросельне регулювання, споживана потужність.

**Иванов Вадим Борисович**, кандидат технических наук, доцент, ведущий специалист, ООО «Фойт Турбо», Киев, Украина, e-mail: [vadim.ivanov@voith.com](mailto:vadim.ivanov@voith.com).

**Ситас Виктор Иванович**, кандидат технических наук, доцент, глава представительства, Московское представительство «Фойт Турбо», Россия, e-mail: [Victor.Sitas@voith.com](mailto:Victor.Sitas@voith.com).

**Рихтер Мартин**, региональный менеджер проектов в странах России и СНГ, Компания «Фойт Турбо ГмБХ & Ко.КГ», Крайльсхайм, Германия, e-mail: [Martin.Richter@voith.com](mailto:Martin.Richter@voith.com).

**Иванов Вадим Борисович**, кандидат технических наук, доцент, провідний фахівець, ТОВ «Фойт Турбо», Київ, Україна.

**Сітас Віктор Іванович**, кандидат технічних наук, доцент, глава представництва, Московське представництво «Фойт Турбо», Росія. **Ріхтер Мартін**, регіональний менеджер проектів в країнах Росії та СНД, Компанія «Фойт Турбо ГмБХ & Ко.КГ», Крайльсгайм, Німеччина.

**Ivanov Vadim, Ltd.** «Voith Turbo», Kyiv, Ukraine, e-mail: [vadim.ivanov@voith.com](mailto:vadim.ivanov@voith.com).

**Sitas Viktor**, Moscow Representation «Voith Turbo», Russia, e-mail: [Victor.Sitas@voith.com](mailto:Victor.Sitas@voith.com).

**Richter Martin**, Voith Turbo GmbH & Co. KG, Crailsheim, Germany, e-mail: [Martin.Richter@voith.com](mailto:Martin.Richter@voith.com)

УДК 697.244; 697.328

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.47791

Никольский В. Е.

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АППАРАТОВ ПОГРУЖНОГО ГОРЕНИЯ С МНОГОКРАТНОЙ ИНВЕРСИЕЙ ФАЗ

В данной работе приведены результаты исследований явления многократной инверсии фаз для восходящих газожидкостных потоков в аппаратах погружного горения (АПГ). Впервые показано, что организация многократной инверсии контактирующих фаз газ — жидкость в прямоточных АПГ установкой по высоте сепарационных решеток или клапанных тарелок интенсифицирует теплообмен и выгодно отличает их от барботажных аппаратов аналогичного назначения.

**Ключевые слова:** теплообмен, аппараты погружного горения, барботаж, инверсия фаз, энергоэффективность, контактно-модульная система, сепарационная зона.

### 1. Введение

В связи с повышением стоимости природного газа в Украине и введением режима его экономии во всех отраслях народного хозяйства, включая коммунально-бытовую сферу, большое значение приобретают исследования, связанные с разработкой нового и усовершенствованием действующего энергетического оборудования.

Контактный теплообмен двух сред (газ — жидкость) является высокоэффективным процессом, поскольку отсутствует термическое сопротивление, обусловленное наличием разделительной стенки между двумя теплоносителями. В аппаратах погружного горения (АПГ) интенсивность контактного теплообмена определяется барботажем высокотемпературных продуктов сгорания через слой жидкости. Достоинством АПГ является совмещение в одном процессе и устройстве функций генератора тепловой энергии и побудителя движения, перемешивания жидкости (циркуляционного насоса) [1, 2].

В государственном высшем учебном заведении «Украинский государственный химико-технологический университет» совместно с Институтом газа НАН Украины разработана контактно-модульная система (КМС) на основе низкоэмиссионных аппаратов погружного горения (АПГ) для газового обогрева промышленных, гражданских зданий и сооружений, а также для их использования в химической, металлургической, машиностроительной и других отраслях народного хозяйства.

В таких установках камера сгорания частично погружена под воду, а ее срез расположен в воде на глубине 400–500 мм. Продукты сгорания находятся непосред-

ственно в контакте с водой, что обеспечивает интенсивный теплообмен и позволяет уменьшить габариты теплообменного агрегата. При этом нагреваемая жидкость выступает в качестве охлаждающей среды для камеры сгорания, что имеет особое значение для цельно-металлических устройств.

КМС обладает всеми преимуществами децентрализованных систем отопления, позволяющими уменьшить расходы за счет:

- уменьшения стоимости получаемого тепла;
- точного регулирования температуры в помещениях в зависимости от погодных условий;
- уменьшения температуры в помещениях в нерабочее время и в выходные дни.

Помимо вышесказанного экономия при использовании КМС возможна еще за счет преимуществ, присущих только этому классу аппаратов:

- высокому коэффициенту полезного действия (более 100 % по отношению к низшей теплоте сгорания);
- возможности работы в режиме «нагрев-охлаждение», более экономичном, чем работа в режиме поддержания постоянной температуры в отопительных приборах;
- возможности отключать установку и выводить ее на номинальный режим работы за короткое время (3–5 минут);
- отсутствие необходимости в водоподготовке — установка работает на неподготовленной воде, без образования накипи на поверхности нагрева;
- работа установки при атмосферном давлении.

Перечисленные преимущества позволяют снизить расход природного газа на обогрев на 10–20 %.