

**ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ, ПОСВЯЩЕННОЙ ЧАСТОТНОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ ПРИВОДА ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА****Е.В. Захарова**zakharovaelenaeng@mail.ru  
SPIN-код: 2807-0467

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

**Аннотация**

Выполнен обзор литературы на тему исследований частотного регулирования привода центробежного насоса. Актуальность данной темы особенно велика в настоящее время, когда остро встает вопрос об экологичности и минимуме затрат энергопотребления продукции современной промышленности. Данная статья будет полезна при поиске информации на затрагиваемую тему, поскольку в ней рассмотрена большая часть источников, посвященных данной проблематике, которые удалось найти на сегодняшний день. В статье также выделены основные моменты публикаций и выполнено их разделение на три условные группы по степени охватывания объекта исследования.

**Ключевые слова**

Гидравлика, гидромашины, центробежный насос, частотное регулирование, обзор литературы, привод насоса, энергопотребление, экономия энергии

Поступила в редакцию 12.03.2018  
© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018

**Введение.** Наличие доступной для потребления энергии всегда было необходимо для удовлетворения потребностей человека, увеличения продолжительности и улучшения условий его жизни.

Ключевыми проблемами нерационального и избыточного потребления людьми энергии для окружающей среды являются изменение климата, уменьшение общего содержания озона, потеря биоразнообразия, наличие в атмосфере тропосферного озона и других фотохимических окислителей, уменьшение ресурсов пресной воды, деградация лесов, проблема утилизации отходов, вопросы экологии городов, химический риск. На сегодняшний день проблема сокращения энергопотребления является одной из важнейших, поскольку использование не только невозобновляемых, но и возобновляемых источников энергии сопряжено с негативным воздействием на окружающую среду.

Ключевое значение приобретают проблемы повышения эффективности использования энергии и соответствующего экономического стимулирования. Для осуществления перехода к рациональному природопользованию требуется подчинить производство общественным потребностям, переориентировать управление технологическим процессом на повышение эффективности и качества.

Согласно статистическим данным, насосное оборудование потребляет около 20 % всей вырабатываемой электроэнергии. Это очень большая часть. Однако

эксплуатируемое насосное оборудование имеет большой потенциал энергосбережения. Самым эффективным способом повышения эффективности энергозатрат насосного оборудования на сегодняшний день является применение частотно-регулируемого привода (ЧРП), о котором и пойдет речь в данной статье.

**Обзор публикаций.** Проблема эффективности и рациональности применения ЧРП была затронута в публикациях [1–6]. Так, В.И. Мрочек, Т.В. Мрочек и А.С. Бураков [1] провели анализ двух способов регулирования — дроссельного и частотного. По результатам испытаний насоса на разработанном стенде была доказана эффективность частотного способа, применение которого позволило снизить энергопотребление в 6–7 раз по сравнению с дроссельным способом, позволяющим уменьшить расход электроэнергии в 2 раза.

Многие авторы доказывают эффективность применения частотного способа регулирования на конкретных примерах. Так, D.-H. Hellmann, H. Rosenberger, E.F. Tusel [2], говоря о применении регулирования скорости вращения для установок опреснения морской воды, на основе данных, полученных при испытаниях установок различного типа, делают выводы, что данный способ регулирования имеет большой потенциал, особенно для высоконапорных установок (RO), и обладает различными преимуществами, к которым можно отнести простой полностью автоматический запуск, легкое отключение, снижение энергии потребления (поскольку насос может всегда работать в оптимальной точке без значительных потерь давления), более длительный срок службы мембран и т. п.

В статье I. Annusa, D. Uibob, T. Koppela [3] авторы сравнивают потребление энергии четырех различных циркуляционных насосов, два из которых соответствуют новым требованиям эффективности. Авторами [3] проведено несколько имитационных испытаний с различными насосами и различной температурой и потоком жидкости, дан обзор производства электроэнергии в Эстонии и проанализированы различные варианты сокращения выбросов CO<sub>2</sub>. В итоге авторы приходят к заключению, что применение насосов с ЧРП является самым лучшим вариантом также для домашних систем отопления.

Исследования эффективности применения регулируемого привода насосов для водоотлива угольного разреза «Восточный», проведенные Е.Е. Семенихиной [4], выявили значительную экономию энергопотребления, которая позволяет за несколько лет окупить затраты на приобретение частотно-регулируемого электропривода.

Помимо этого А.В. Чернов [5] и С.В. Максимов [6] приводят методику оценки эффективности применения ЧРП в составе насосного оборудования. Методики имеют свои особенности и различия, но обе они, несомненно, будут полезны, если возникнет вопрос о целесообразности использования ЧРП.

Для упрощения анализа достаточно большой объем публикаций по данной тематике лучше подразделить на группы. Таким образом, в исследованиях на тему о минимуме энергозатрат и частотного регулирования для насосного оборудования можно выделить три условных раздела:

– первая группа, в которой подробно рассматривается система, в которой работает насос;

– вторая группа, уделяющая большее внимание электроприводу и насосу;

– третья группа, в которой подробно анализируются и система, и насос.

К первой группе относятся публикации [7–9]. Д.В. Сотников в своей статье [7] затронул проблемы повышения энергоэффективности насосных станций. О.А. Гумеров и К.О. Гумеров [8] провели анализ параметров работы установки электроцентробежного насоса скважин Арланского месторождения, который показал, что при выводе на режим скважин без ЧРП происходит мгновенный разгон установки, который влечет за собой значительный износ рабочих органов, уменьшая срок службы установки. А.С. Козлов и Э.В. Тясто [9] исследуют особенности применения технологии частотного регулирования на водопроводных насосных станциях и отмечают, что эффективность частотного регулирования зависит от динамической характеристики сети (чем больше динамические потери, тем более эффективным будет применение частотного регулирования по характеристике сети); характеристики насосного агрегата (насосный агрегат может быть переразмеренным по мощности, и чем больше он переразмерен, тем выше будет экономия). Задачу определения эффективности частотного регулирования авторы [9] разбивают на следующие этапы: построение расходно-перепадной характеристики гидравлической сети; построение суточного графика нагрузки станции; построение модели насосного агрегата (насоса и электродвигателя); определение суммарной разницы потребляемой насосным агрегатом энергии при номинальной частоте вращения и при частотном регулировании по среднесуточному графику нагрузки сети.

Вторая группа — наиболее крупная из всех, в нее можно включить публикации [10–17]. О.А. Лысенко в своих статьях совместно с Е. М. Кузнецовой [10], О.С. Солодянкиной [13] и А.И. Мирошником [14] делает акцент на математическом моделировании привода и насосного агрегата, составляя структурные схемы исследуемых агрегатов и исследуя их динамические и статические характеристики. В.Н. Костюков, Е.В. Тарасов, В.Н. Тарасов и И.В. Бояркина [15] приводят обоснование энергоэффективных параметров центробежных насосных агрегатов.

В третью группу входят всего две статьи — [18, 19]. К. Сабра и С. Мунзер [18] выделяют особенности работы центробежных насосов с использованием преобразователя частоты вращения. В работе А.В. Кожуховой и К.Н. Рамзанова [19] говорится о целесообразности применения ЧРП при постоянно меняющейся внешней нагрузке.

**Заключение.** Таким образом, эффективность применения ЧРП подтверждена практикой и теорией. И хотя уже проведено множество исследований, потенциал исследований в данной области все еще существует. Отметим, что публикаций на тему зависимости частотной характеристики насоса от числа ступеней центробежного насоса, найти не удалось. Это позволяет сделать вывод о том, что данная тема является недостаточно исследованной, и дает простор для дальнейших изысканий.

---

**Литература**

- [1] Мрочек В.И., Мрочек Т.В., Бураков А.С. Исследование центробежных насосов и способов регулирования их подачи. *Вестник Белорусско-Российского университета*, 2012, № 2, с. 50–56.
- [2] Hellmann D.-H., Rosenberger H., Tusel E.F. Saving of energy and cost in seawater desalination with speed controlled pumps. *Desalination*, 2001, vol. 139, no. 1–3, pp. 7–19.
- [3] Annusa I., Uibob D., Koppela T. Pumps energy consumption based on new EU legislation. *Procedia Engineering*, 2014, vol. 89, pp. 517–524.
- [4] Семенихина Е.Е. Эффективность применения регулируемого привода насосов для водоотлива угольного разреза «Восточный». *Горный информационно-аналитический бюллетень*, 2010, т. 12, № 2, с. 197–200.
- [5] Чернов А.В. Частотный преобразователь как экономия средств. *Международный научно-исследовательский журнал*, 2013, № 5–2(13), с. 7–10.
- [6] Максимов С.В. Методика оценки эффективности применения частотных регуляторов в составе оборудования гидросооружений. *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*, 2010, № 82, с. 87–95.
- [7] Сотников Д.В. Повышение энергетической эффективности насосных станций. *Вестник Тамбовского университета. Сер. Естественные и технические науки*, т. 18, № 5–3, 2013, с. 2954–2956.
- [8] Гумеров О.А., Гумеров К.О. Опыт применения частотно-регулируемого привода для повышения эффективности эксплуатации установки электроцентробежного насоса на Арланском месторождении. *Нефтегазовое дело*, 2014, т. 12, № 4, с. 24–34.
- [9] Козлов А.С., Тясто Э.В. Особенности применения технологии частотного регулирования на водопроводных насосных станциях, определение эффективности.
- [10] Лысенко О.А., Кузнецов Е.М. Энергоэффективные режимы работы установок центробежных насосов. *Вестник Югорского государственного университета*, 2012, № 2(25), с. 79–86.
- [11] Кожухова А.В., Худокормов В.В. Применение частотного регулирования электродвигателя для привода исполнительного оборудования. *Символ науки*, 2016, № 11–3, с. 92–94.
- [12] Ветлицын Ю.А., Ветлицын А.М. О минимуме затрат энергии для работы центробежных насосов. *Вестник ПсковГУ. Сер. Естественные и физико-математические науки*, 2008, № 6, с. 135–145.
- [13] Лысенко О.А., Солодянкин А.С. Исследование динамических характеристик электромеханического комплекса: центробежный насос — асинхронный двигатель. *Омский научный вестник*, 2010, № 2(90), с. 148–151.
- [14] Лысенко О.А., Мирошник А.И. Режимы энергосбережения электромеханического комплекса: центробежный насос — асинхронный двигатель. *Омский научный вестник*, 2011, № 2(100), с. 171–176.
- [15] Костюков В.Н., Тарасов Е.В., Тарасов В.Н., Бояркина И.В. Обоснование энергоэффективных параметров центробежных насосных агрегатов. *Омский научный вестник*, 2016, № 2(146), с. 9–13.
- [16] Лысенко О.А. Режимы энергосбережения установок центробежных насосов с асинхронными двигателями. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*, 2014, т. 325, № 4, с. 133–141.

- [17] Мубаракшин Н.Н., Елпидинский А.А. Разработка методики расчета и планирования удельного расхода электроэнергии насосными агрегатами, оборудованными частотно-регулируемым приводом. *Вестник технологического университета*, 2017, т. 20, № 13, с. 61–63.
- [18] Сабра К., Музер С. Особенности работы центробежных насосов с использованием преобразователя частоты вращения. *Природообустройство*, 2013, № 5, с. 64–67.
- [19] Кожухова А.В., Рамазанов К.Н. Применение ЧРП для повышения энергоэффективности насосной установки. *Символ науки*, 2016, № 11–3, с. 95–97.

**Захарова Елена Валерьевна** — магистрант кафедры «Гидромеханика, гидромашины и гидропневмоавтоматика», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Научный руководитель** — Протопопов Александр Андреевич, ассистент кафедры «Гидромеханика, гидромашины и гидропневмоавтоматика», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

---

## REVIEW OF THE LITERATURE DEVOTED TO THE FREQUENCY REGULATION OF THE ROTARY VANE PUMP DRIVE

E.V. Zakharova

zakharovaelenaeng@mail.ru  
SPIN-code: 2807-0467

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

**Abstract**

The article carries out literature review on the subject of studying the frequency regulation of the rotary vane pump drive. The relevance of this topic is particularly significant nowadays, when the issue of the environmental compatibility and minimum costs of power consumption by the modern industry production is becoming urgent. This article will be useful in the search for the information on the topic considered, since it examines a great part of the sources devoted to this range of problems that we managed to find to date. We highlight the major points of the publications and divide them into three tentative groups according to the degree of covering the object of research.

**Keywords**

Hydraulics, fluid machines, rotary vane pump, frequency regulation, literature review, pump drive, power consumption, energy saving

© Bauman Moscow State Technical University, 2018

---

**References**

- [1] Mrochek V.I., Mrochek T.V., Burakov A.S. Research on centrifugal pumps and ways of regulation their delivery protected. *Vestnik Belorussko-Rossiyskogo universiteta*, 2012, no. 2, pp. 50–56.
- [2] Hellmann D.-H., Rosenberger H., Tusel E.F. Saving of energy and cost in seawater desalination with speed controlled pumps. *Desalination*, 2001, vol. 139, no. 1–3, pp. 7–19.
- [3] Annusa I., Uibob D., Koppela T. Pumps energy consumption based on new EU legislation. *Procedia Engineering*, 2014, vol. 89, pp. 517–524.
- [4] Semenikhina E.E. Efficiency of using pump adjustable speed drive for “Vosrochny” surface mine dewatering. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining Informational and Analytical Bulletin], 2010, vol. 12, no. 2, pp. 197–200.
- [5] Chernov A.V. Inverter as savings. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International Research Journal], 2013, no. 5–2(13), pp. 7–10.
- [6] Maksimov S.V. Assessment method of frequency controller application efficiency as a part of hydraulic structure equipment. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva*, 2010, no. 82, pp. 87–95.
- [7] Sotnikov D.V. Rise of energetic efficiency of pump stations. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Ser. Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Tambov University Reports. Series Natural and Technical Sciences], vol. 18, no. 5–3, 2013, pp. 2954–2956.
- [8] Gumerov O.A., Gumerov K.O. Experience of using variable frequency drive to improve effectiveness of exploitation electrical submersible pumps on Arlanskoe oil field. *Neftegazovoe delo* [Oil and Gas Business], 2014, vol. 12, no. 4, pp. 24–34.
- [9] Kozlov A.S., Tyasto E.V. Osobennosti primeneniya tekhnologii chastotnogo regulirovaniya na vodoprovodnykh nasosnykh stantsiyakh, opredelenie effektivnosti.

- [10] Lysenko O.A., Kuznetsov E.M. Energy-efficient modes of operation of centrifugal pumps installations. *Vestnik Yugorskogo gosudarstvennogo universiteta* [Yugra State University Bulletin], 2012, no. 2(25), pp. 79–86.
- [11] Kozhukhova A.V., Khudokormov V.V. Using frequency control of electrical engine for actuated equipment drive. *Simvol nauki*, 2016, no. 11–3, pp. 92–94.
- [12] Vetlitsyn Yu.A., Vetlitsyn A.M. On lowest energy costing for centrifugal pump work. *Vestnik PskovGU. Ser. Estestvennye i fiziko-matematicheskie nauki*, 2008, no. 6, pp. 135–145.
- [13] Lysenko O.A., Solodyankin A.S. Research of dynamic characteristics of electromechanical complex: centrifugal pump — asynchronous motor. *Omskiy nauchnyy vestnik*, 2010, no. 2(90), pp. 148–151.
- [14] Lysenko O.A., Miroshnik A.I. Modes of electromechanical energy complex: a centrifugal pump — induction motor. *Omskiy nauchnyy vestnik*, 2011, no. 2(100), pp. 171–176.
- [15] Kostyukov V.N., Tarasov E.V., Tarasov V.N., Boyarkina I.V. Methodology of formation of efficient parameters of centrifugal pump units. *Omskiy nauchnyy vestnik*, 2016, no. 2(146), pp. 9–13.
- [16] Lysenko O.A. Energy saving modes of centrifugal pumps installations with asynchronous engines. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesurov* [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering], 2014, vol. 325, no. 4, pp. 133–141.
- [17] Mubarakshin N.N., Elpidinskiy A.A. Development of the method for calculation and planning of specific energy consumption by pump units equipped by frequency-regulated drive. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2017, vol. 20, no. 13, pp. 61–63.
- [18] Sabra K., Muzer S. Features of the operation of centrifugal pumps using a rotation speed converter. *Prirodoobustroystvo*, 2013, no. 5, pp. 64–67.
- [19] Kozhukhova A.V., Ramazanov K.N. Using frequency-regulated drive for rising energy efficiency of the pumping set. *Simvol nauki*, 2016, no. 11-3, pp. 95–97.

**Zakharova E.V.** — Master's Degree student, Department of Fluid Mechanics, Hydraulic Machines and Hydraulic and Pneumatic Automation, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Scientific advisor** — A.A. Protopopov, Assist. Lecturer, Department of Fluid Mechanics, Hydraulic Machines and Hydraulic and Pneumatic Automation, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.