

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 3 (2024)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и информационных
систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/MEBG1583>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Алиферов А. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Кошкеков К. Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е. В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Кислов А. П.,	<i>к.т.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
Омарова А. Р.	<i>технический редактор</i>

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

МРНТИ 44.29.31

<https://doi.org/10.48081/ПЖМ5989>***Р. Б. Косымбаев¹, Ю. Ф. Булатбаева², Ф.Н. Булатбаев³**^{1,2,3}*Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагитова, Республика Казахстан, г. Караганда*¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5439-7267>²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3900-5568>³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3574-1189>*email: kosymbaev.r@gmail.com

АНАЛИЗ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРИ НЕПРЕРЫВНЫМ И ДИСКРЕТНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ ПОДАЧИ НА НАСОСНОЙ СТАНЦИИ ПЕРВОГО ПОДЪЕМА

Статья посвящена результатам исследования методов регулирования насосных станций первого подъема. Эти насосные станции чаще всего подают воду в аккумулирующие емкости, что отличает их от насосных станций следующих подъемов.

По причине отсутствия видимой необходимости в регулировании подачи на таких станциях обычно применяется дискретный метод регулирования, который заключается в запуске насосов при достижении минимального уровня воды в аккумулирующей емкости и последующем отключении при достижении верхнего уровня, тем самым поддерживая уровень в резервуаре. При наполнении резервуара уровень в резервуаре суммируется с статическим напором, который зависит от геодезической высоты между уровнем водоема, который также склонен к изменениям и дном емкости. Эти колебания статического напора приводят к лишнему расходу электроэнергии. В целях сокращения расхода электроэнергии необходимо обеспечить равенство между подачей и водопотреблением, что возможно при применении метода непрерывного регулирования.

В процессе исследования сделан вывод о том, что при непрерывном методе регулирования подача насоса стремится к равенству с водопотреблением. В результате этого потребляемая мощность равняется необходимой на данный момент мощности, что приводит к

стабилизации статического напора и соответственно уровня воды в емкости. Данная стабилизация приводит к значительному снижению энергозатрат.

Ключевые слова: преобразователь частоты, насосная станция, энергоэффективность, электродвигатель, Simulink.

Введение

Для проведения исследования была выбрана БНС ОФ Нурказган. Эта станция перекачивает воду из Самаркандского водохранилища в резервуар, расположенный возле фабрики. На станции установлены два центробежных насоса модели Д630-90 (один основной, один резервный) с асинхронными электродвигателями мощностью 250 кВт.

Насосные станции первого подъема, как правило, обеспечивают подачу воды в емкости, где работают в зависимости от уровня в емкости, запускаясь при достижении верхнего уровня и останавливаясь при достижении нижнего уровня [1]. Это приводит к периодическим изменениям статического напора, который зависит от геодезической высоты между уровнем водоема и дном емкости. При этом происходят изменения статического напора, а не динамического. Эти колебания статического напора увеличивают расход электроэнергии и могут привести к износу оборудования.

На рисунке 1 показана структура данной установки. Насос (1) перекачивает жидкость из источника (3) в приёмную ёмкость (2). Когда уровень жидкости в ёмкости (2) достигает значения УВ, насос (1) включается и начинает работать. Когда уровень жидкости достигает значения УО, насос (1) отключается. Таким образом, поддерживается необходимый диапазон уровня жидкости в приёмной ёмкости (2) [2].

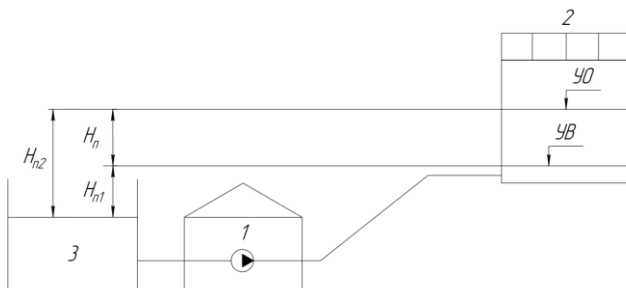


Рисунок 1 – Схема работы насоса с переменным статическим напором

При такой работе насоса статический напор колеблется между уровнями включения $H_{п1}$, в нашем случае равным 32 м (уровень водоема) и отключения $H_{п2}$ равным 39 м. Разница между двумя уровнями указывает на изменение статического напора в 7 м.

Избыточный напор в насосной установке может быть вызван различными факторами. Одной из основных причин является слишком высокое расположение датчика верхнего уровня в резервуаре. Это приводит к тому, что насос продолжает работать, когда уже необходимо отключиться. Также изменение уровня воды в источнике или неисправность датчика могут стать причиной избыточного давления [3].

Для сокращения энергетических потерь, возникающих при появлении избыточного напора, необходимо настроить режим работы таким образом, чтобы уровень в приемном резервуаре стабилизировался на минимально допустимом уровне. Этот уровень должен обеспечить резерв воды для аварийных ситуаций на насосной станции и поддерживать необходимый напор для подачи воды на фабрику. Достичь этого можно путем непрерывного регулирования подачи насосного агрегата [4].

Возникла необходимость сравнения двух методов регулирования, так как при применении дискретного метода регулирования насосный агрегат работает с перерывами, но всегда на номинальной мощности, в отличие от непрерывного метода регулирования, где насосный агрегат работает непрерывно, но с различными значениями потребляемой мощности. Необходимо провести сравнительный анализ энергопотребления при

использовании двух методов с учетом всех технических особенностей работы насосной станции первого подъема.

Материалы и методы

Для оценки потребления воды из резервуара необходимо проанализировать суточный график водопотребления. Водопотребление на обогатительной фабрике зависит от технологического процесса и является неравномерным. Это требует особого подхода к управлению насосами, чтобы избежать перегрузок и оптимизировать энергозатраты. На рисунке 2 представлен суточный график водопотребления, который показывает пики и спады в зависимости от производственных нужд. Объем приемного резервуара составляет 700 м³, а допустимая высота его наполнения — 9 м. Насосы запускаются, когда уровень воды в резервуаре достигает нижней отметки в 2 метра и останавливаются при достижении верхней отметки в 9 метров.

По данным предприятия, при дискретном методе регулирования подачи насос в среднем работает 15 часов в сутки и запускается 6-7 раз, что может привести к излишнему износу оборудования.

Потребляемая насосом мощность составляет:

$$P_1 = \frac{\rho \times Q_{\text{ном}} \times H_{\text{ном}}}{102 \times \eta_{\text{н.ном}} \times \eta_{\text{дв.ном}}} = \frac{1000 \times 0,175 \times 90}{102 \times 0,82 \times 0,943} = 199,68 \text{ кВт.}$$

Это значение мощности рассчитано на основе номинальных характеристик насоса и электродвигателя, учитывая их коэффициенты полезного действия. Среднее потребление электроэнергии в сутки при этом составит:

$$W_1 = P_1 \times T_p = 199,68 \times 15 = 2995,2 \text{ кВт} \cdot \text{час/сутки.}$$

Этот показатель позволяет оценить эффективность работы насосной системы. Использование непрерывного регулирования может снизить потребление электроэнергии, оптимизируя работу насоса в зависимости от текущих условий нагрузки.

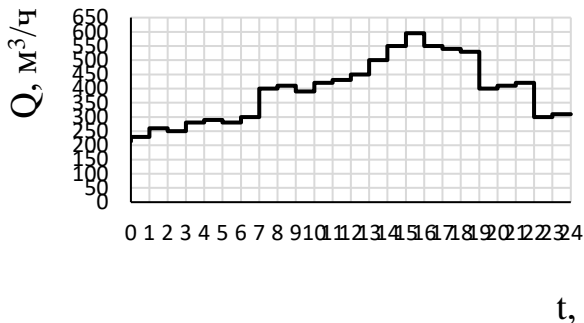


Рисунок 2 – Суточный график водопотребления

На рисунке 3 изображена имитационная модель насосного агрегата с автоматической стабилизацией уровня воды на отметке 5 метров, состоящего из центробежного насоса Д-630-90, асинхронного электродвигателя 5АН315В4 и преобразователя частоты, созданная для анализа эффективности системы непрерывного регулирования [5]. В каждой из подсистем реализованы зависимости подачи, напора, мощности от скорости вращения насосного агрегата, которые необходимы для создания модели и дальнейшего изучения.

Формула, используемая для расчета подачи в зависимости от угловой скорости насосного агрегата, имеет следующий вид:

$$Q = Q_{\text{ном}} \sqrt{\frac{H_{\phi} \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{ном}}} \right)^2 - H_c}{H_{\phi} - H_c}}.$$

Уравнение для расчета напора в зависимости от угловой скорости имеет вид:

$$H = H_c + (H_{\text{ном}} - H_c) \frac{H_{\phi} \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{ном}}} \right)^2 - H_c}{H_{\phi} - H_c}.$$

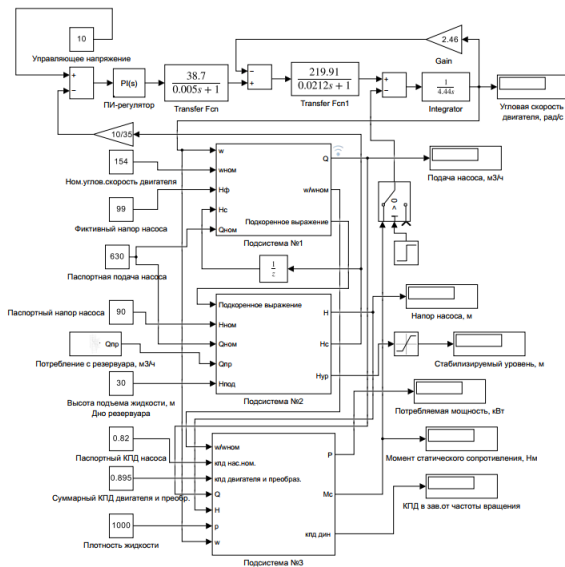


Рисунок 3 – Модель насосного агрегата со стабилизацией уровня воды в резервуаре

Уравнение для статического напора при заданном расходе:

$$H_c = \frac{H - H_{\text{НОМ}} \left(\frac{Q_{\text{П}}}{Q_{\text{НОМ}}} \right)^2}{1 - \left(\frac{Q_{\text{П}}}{Q_{\text{НОМ}}} \right)^2}.$$

Статический напор является стабилизируемым параметром системы. Для поддержания оптимальных условий эксплуатации насосного оборудования важно контролировать статический напор и поддерживать его в заданных пределах.

Уровень воды в резервуаре определяется следующим уравнением:

$$H_{\text{ур}} = H_c - H_{\text{под}}.$$

Далее представлены зависимости следующих параметров от угловой скорости насосного агрегата: КПД, активная мощность, потребляемая мощность и статический момент сопротивления. Эти параметры играют

ключевую роль в определении эффективности работы насосной системы [6].

Формула для расчета КПД насоса:

$$\eta_n = 1 - \frac{1 - \eta_{\text{НОМ}}}{\left(\frac{\omega}{\omega_{\text{НОМ}}}\right)^{0,36}}.$$

Эта формула показывает, как КПД изменяется с изменением угловой скорости, что помогает определить оптимальные режимы работы насоса.

Формула для активной мощности:

$$N = \frac{\rho Q H}{102 \eta_n}.$$

Активная мощность насоса напрямую связана с его производительностью и КПД. Формула позволяет определить, сколько энергии требуется для поддержания заданного напора и расхода.

Формула для статического момента сопротивления:

$$M_{\text{н.с}} = \frac{\rho \times Q \times H \times 10^3}{\omega \times 102 \times \eta_n}$$

Статический момент сопротивления играет важную роль в оценке нагрузки на насосный агрегат и позволяет выявить области, требующие оптимизации для повышения эффективности.

Потребляемая мощность определяется как отношение активной мощности насоса к произведению КПД преобразователя и двигателя [7].

Результаты и обсуждение

При анализе после подачи на вход модели для задания водопотребления, основанного на суточном графике из резервуара, была установлена зависимость между скоростью вращения и объемом потребляемой воды, как показано на рисунке 4. График демонстрирует, что скорость вращения насоса возрастает с увеличением водопотребления и уменьшается при его снижении, что соответствует изменениям, наблюдаемым в графике водопотребления из резервуара [8].

С помощью данной модели можно также определить зависимость потребляемой мощности от объема потребления из резервуара, что иллюстрируется на рисунке 5. График демонстрирует, что потребляемая мощность возрастает пропорционально объему потребления из резервуара [9].

При увеличении потребления воды из резервуара возрастает и скорость вращения насоса, а в следствии напор и потребляемая мощность. В этом случае подача насоса соответствует потреблению, поэтому необходимая мощность равняется потребляемой мощности. Это способствует эффективному энергосбережению, так как насос функционирует в режиме, наилучшим образом соответствующем текущему уровню потребления [10].

При использовании непрерывного регулирования, насосы могут работать на оптимальных оборотах, что позволяет снижать излишние потери энергии и поддерживать высокую эффективность работы системы в целом. Такой подход позволяет более эффективно регулировать подачу воды, обеспечивая необходимую скорость вращения насоса в соответствии с актуальными потребностями, что, в свою очередь, способствует снижению энергетических затрат и износа оборудования.

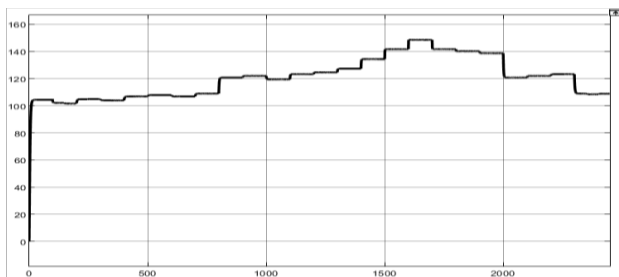


Рисунок 4 - График скорости вращения в зависимости от потребления в течение суток

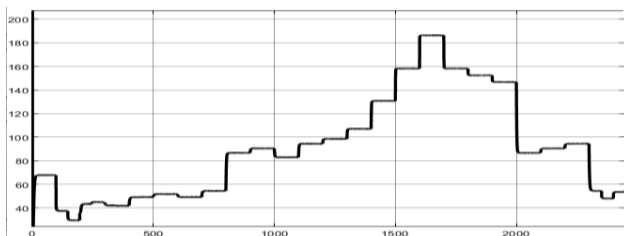


Рисунок 5 – График потребляемой мощности в течение суток

Чтобы вычислить суточное энергопотребление, нужно сложить значения потребляемой мощности, изменяя объем жидкости из резервуара в соответствии с суточным графиком водопотребления. Энергетические затраты в системе электропривода с частотным регулированием, обеспечивающей поддержание стабильного уровня жидкости в резервуаре:

$$W_2 = \sum_{P=P_1}^{P_{24}} P = 2180,57 \text{ кВтчас/сутки.}$$

Снижение потребления электроэнергии при применении частотно-регулируемого электропривода в системе стабилизации уровня жидкости в резервуаре:

$$\Delta W_{\text{эл}} = W_1 - W_2 = 2995,2 - 2180,57 = 814,63 \text{ кВтчас/сутки.}$$

Выводы

В статье проведено исследование энергоэффективности двух методов регулирования подачи на насосной станции первого подъема обогатительной фабрики Нурказган. Основное внимание было уделено сравнительному анализу непрерывного и дискретного регулирования подачи насосного агрегата. Для расчета использовался суточный график водопотребления из резервуара. Согласно данным с предприятия, при дискретном управлении насосный агрегат работает при номинальных значениях мощности в среднем 15 часов в сутки и потребляет 2995,2 кВтч/сутки. Это указывает на высокое энергопотребление при использовании дискретного регулирования.

Для проведения исследования была разработана модель, на вход которой был подан суточный график водопотребления из резервуара, что позволило получить необходимые зависимости. По результатам моделирования было установлено, что насосный агрегат с непрерывным регулированием потребляет 2180,57 кВтч/сутки, работая при этом круглосуточно. Такой режим позволяет более точно соответствовать изменяющимся требованиям к водоснабжению и обеспечивает оптимальное использование энергоресурсов.

При использовании непрерывного регулирования наблюдается изменение скорости насоса и всех зависимых параметров, но коэффициент полезного действия меняется незначительно в пределах от 0,79 до 0,82. Подача насоса и расход воды сбалансированы, что обеспечивает соответствие между необходимой и потребляемой мощностями. Этот баланс и является основой энергосбережения. Снижение потребляемой энергии при непрерывном регулировании способствует не только экономии ресурсов, но и снижению эксплуатационных затрат. Разница в энергопотреблении между непрерывным и дискретным регулированием составила 814,63 кВтч/сутки. Это свидетельствует о значительной энергоэффективности применения непрерывного регулирования на насосной станции первого подъема обогатительной фабрики Нурказган.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Моргунов, К. П.** Насосы и насосные станции: учебное пособие для вузов [Текст]. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 308 с.

2 **Рульнов, А. А.** Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения: учебное пособие [Текст]. – Владимир: ИНФРА-М, 2023. – 192 с.

3 **Шарапов, В. М., Полищук, Е. С.** Датчики: Справочное пособие [Текст]. – М.: Техносфера, 2012. – 624 с.

4 **Лезнов, Б. С.** Частотно-регулируемый электропривод насосных установок [Текст]. – М.: Машиностроение, 2013. – 176 с.

5 **Дьяконов, В. П.** MATLAB. Полный самоучитель [Текст]. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 768 с.

6 **Фащиленко, В. Н.** Регулируемый электропривод насосных и вентиляторных установок горных предприятий: учебное пособие [Текст]. – М.: Издательство «Горная книга», 2012. – 260 с.

7 **Кацман, М. М.** Электрические машины. – М. : Издательский центр «Академия», 2013 [Текст]. – 496 с.

8 **Абакумов, А. М.** Исследование системы стабилизации уровня жидкости в резервуарах [Текст] // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки». – 2021. – Т.29. - № 1. – С. 104-119.

9 **Стариков А. В., Кубарьков И. П., Тимаков А. Д.** Математическая модель системы управления насосной станцией [Текст] // Глобус : технические науки. – 2019. – № 4. – С. 30–36.

10 **Денисенко, В. П.** ПИД-регуляторы: вопросы реализации [Текст] // Современные технологии автоматизации. – 2017. – № 4. – С. 86–97.

REFERENCES

1 **Morgunov, K. P.** Nasosy i nasosnye stancii: uchebnoe posobie [Pumps and pumping stations: a tutorial] [Text]. – Saint Petersburg : Lan', 2022. – 308 p.

2 **Rul'nov, A. A.** Avtomatizaciya sistem vodosnabzheniya i vodootvedeniya: uchebnoe posobie [Automation of water supply and sanitation systems: a tutorial] [Text]. – Vladimir : INFRA-M, 2023. – 192 p.

3 **Sharapov, V. M., Polishchuk, E. S.** Datchiki: Spravochnoe posobie [Sensors: Reference Guide] [Text]. – Moscow: Technosphere, 2012. – 624 p.

4 **Leznov, B. S.** Chastotno-reguliruemyy elektroprivod nasosnyh ustanovok [Frequency-controlled electric drive of pumping units] [Text]. – Moscow : Mechanical engineering, 2013. – 176 p.

5 **D'yakonov, V. P.** MATLAB. Polnyj samouchitel' [MATLAB. Complete tutorial] [Text]. – Moscow : DMK Press, 2012. – 768 p.

6 **Fashchilenko, V. N.** Reguliruemyy elektroprivod nasosnyh i ventilyatornyh ustanovok gornyh predpriyatij: uchebnoe posobie [Controlled electric drive of pumping and fan installations of mining enterprises: Tutorial] [Text]. – Moscow : Publishing house «Mining book», 2012. – 260 p.

7 **Касман, М. М.** Elektricheskie mashiny [Electric machines] [Text]. – Moscow : Publishing center «Academy», 2013. – 496 p.

8 **Abakumov, A. M.** Issledovanie sistemy stabilizatsii urovnya zhidkosti v rezervuarah [Study of the liquid level stabilization system in tanks] [Text] // Bulletin of the Samara State Technical University. Series «Technical Sciences». – 2021. – V.29. - № 1. – P. 104-119.

9 **Starikov A.V., Kubarkov I.P., Timakov A.D.** Matematicheskaya model' sistemy upravleniya nasosnoy stantsiyey [Mathematical model of the pumping station control system] [Text] // Globus : Technical Sciences. – 2019. – № 4. – P. 30–36.

10 **Denisenko, V. P.** PID-regulyatory : voprosy realizatsii [PID controllers: implementation issues] [Text] // Modern automation technologies. – 2017. – № 4. – P. 86–97.

Поступило в редакцию 04.07.24

Поступило с исправлениями 01.08.24

Принято в печать 05.09.24

**Р. Б. Косымбаев¹, Ю. Ф. Булатбаева², Ф. Н. Булатбаев³*

^{1,2,3}Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,

Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

04.07.24 ж. баспаға түсті.

01.08.24 ж. түзетулерімен түсті.

05.09.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

БІРІНШІ КӨТЕРУ СОРҒЫ СТАНЦИЯСЫНДА БЕРУДІ ҮЗДІКСІЗ ЖӘНЕ ДИСКРЕТТІ РЕТТЕУ КЕЗІНДЕ ЭНЕРГИЯ ТҰТЫНУДЫ ТАЛДАУ

Мақала бірінші көтеру сорғы станцияларын реттеу әдістерін зерттеу нәтижелеріне арналған. Бұл сорғы станциялары көбінесе суды сақтау контейнерлеріне жібереді, бұл оларды келесі көтергіштердің сорғы станцияларынан ерекшелендіреді.

Мұндай станцияларда жеткізуді реттеудің көрінетін қажеттілігінің болмауына байланысты, әдетте, дискретті

реттеу әдісі қолданылады, ол сорғыларды жинақтау ыдысындағы судың минималды деңгейіне жеткенде іске қосудан және жоғарғы деңгейге жеткенде сөндіруден тұрады, осылайша резервуардағы деңгейді сақтайды. Резервуарды толтыру кезінде резервуардағы деңгей статикалық қысыммен жинақталады, ол су қоймасының деңгейі арасындағы геодезиялық биіктікке байланысты, ол да өзгеруге бейім және резервуардың түбі. Статикалық қысымның бұл ауытқуы электр энергиясының артық шығынын тудырады. Электр энергиясының шығынын азайту мақсатында үздіксіз реттеу әдісін қолдану кезінде мүмкін болатын сумен жабдықтау мен су тұтыну арасындағы теңдікті қамтамасыз ету қажет.

Зерттеу барысында үздіксіз реттеу әдісімен сорғыны беру суды тұтынумен теңдікке ұмтылады деген қорытындыға келді. Нәтижесінде тұтынылатын қуат қазіргі уақытта қажетті қуатқа тең болады, бұл статикалық бастың тұрақтануына және сәйкесінше ыдыстағы су деңгейіне әкеледі. Бұл тұрақтандыру энергия шығындарының айтарлықтай төмендеуіне әкеледі.

Кілтті сөздер: жиілік түрлендіргіші, сорғы станциясы, энергия тиімділігі, электр қозғалтқышы, Simulink.

* R. B. Kosymbaev¹, Yu. F. Bulatbaeva², F. N. Bulatbaev³

^{1,2,3}Abylkas Saginov Karaganda Technical University,

Republic of Kazakhstan, Karaganda.

Received 04.07.24

Received in revised form 01.08.24

Accepted for publication 05.09.24

ANALYSIS OF ENERGY CONSUMPTION WITH CONTINUOUS AND DISCRETE FLOW CONTROL AT THE PUMPING STATION OF THE FIRST LIFT

The article is devoted to the results of a study of methods for regulating pumping stations of the first lift. These pumping stations most

often supply water to storage tanks, which distinguishes them from pumping stations of the following lifts.

Due to the lack of apparent need to regulate the supply at such stations, a discrete control method is usually used, which consists in starting the pumps when the minimum water level in the storage tank is reached and then switching off when the upper level is reached, thereby maintaining the level in the tank. When filling the tank, the level in the tank is summed up with static pressure, which depends on the geodetic height between the reservoir level, which is also prone to changes in the bottom of the tank. These fluctuations in static pressure lead to excessive consumption of electricity. In order to reduce energy consumption, it is necessary to ensure equality between supply and water consumption, which is possible when using the continuous control method.

In the course of the study, it was concluded that with a continuous control method, the pump supply tends to be equal to water consumption. As a result, the power consumption is equal to the currently required power, which leads to stabilization of the static pressure and, accordingly, the water level in the tank. This stabilization leads to a significant reduction in energy consumption.

Keywords: frequency converter, pumping station, energy efficiency, electric motor, Simulink.

Теруге 10.09.2024 ж. жіберілді. Басуға 30.09.2024 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Мб RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректорлар: А. Р. Омарова, М. М. Нугманова

Тапсырыс №4277

Сдано в набор 10.09.2024 г. Подписано в печать 30.09.2024 г.

Электронное издание

29.9 Мб RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректоры: А. Р. Омарова, М. М. Нугманова

Заказ № 4277

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайгыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайгыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz