МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ В НАСОСНЫХ СИСТЕМАХ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

Профессор Андижанского института сельского хозяйства и агротехнологий

Саматов Нематжон

Ассистент Андижанского института сельского хозяйства и агротехнологий

Мамажонов Холмирза

Студент Андижанского института сельского хозяйства и агротехнологий

Йўлдашева Дилноза, дочь Муроджона

Аннотация. В данной статье проведён научный анализ методов регулирования скорости в насосных системах и их влияния на энергоэффективность. В ходе исследования были изучены принципы работы насосов, законы подобия и характеристики системы на основе теоретического анализа. Проведено сравнительное исследование механических методов регулирования и систем управления на основе преобразователей частоты (VFD). Результаты расчётов показали, что снижение скорости вращения насоса позволяет существенно уменьшить потребление энергии. Установлено, что применение частотного регулирования обеспечивает снижение энергопотребления на 20–30 % и повышение коэффициента полезного действия системы.

Ключевые слова. насосная система, преобразователь частоты, энергоэффективность, законы подобия, PID-регулятор, гидравлическая система.

SPEED CONTROL METHODS IN PUMPING SYSTEMS AND THEIR IMPACT ON ENERGY EFFICIENCY

Abstract. This paper presents a scientific analysis of speed control methods in pumping systems and their impact on energy efficiency. The operating principles of pumps, affinity laws, and system characteristics were theoretically investigated. Conventional mechanical control methods and variable frequency drive (VFD)-based control systems were comparatively analyzed. The obtained results demonstrate that reducing pump rotational speed significantly decreases energy consumption. According to the research findings, variable speed control can reduce energy consumption by 20–30 % while improving system efficiency and operational stability.

Keywords. Pumping system, variable frequency drive, energy efficiency, affinity laws, PID controller, hydraulic system.

Введение. В настоящее время экономия электрической энергии является одной из важных задач в промышленности, системах водоснабжения и ирригации. Значительная часть электроэнергии расходуется насосными установками, поэтому повышение их энергоэффективности имеет большое значение. Обычно насосы работают при переменной нагрузке, однако во многих случаях их скорость остаётся постоянной. Это приводит к лишнему расходу электроэнергии и снижению эффективности системы. Для уменьшения энергопотребления применяются различные методы регулирования скорости насосов. Наиболее эффективным способом считается использование преобразователей частоты (VFD), которые позволяют изменять скорость вращения насоса в зависимости от потребностей системы. Применение частотного регулирования помогает снизить энергопотребление, уменьшить гидравлические потери и повысить надёжность работы насосного оборудования. Поэтому исследование методов регулирования скорости насосов и их влияния на энергоэффективность является актуальной задачей.

Методология. В ходе исследования были использованы теоретические и сравнительные методы анализа насосных систем. Основное внимание уделялось изучению влияния способов регулирования скорости вращения насосов на энергопотребление системы. На первом этапе были рассмотрены основные принципы работы центробежных насосов и законы гидромеханики. Для анализа использовались уравнение Бернулли и законы подобия, которые показывают связь между расходом жидкости, напором, мощностью и скоростью вращения насоса.

В исследовании использовались следующие математические зависимости:

$$Q \propto n,\ H \propto n^2,\ N \propto n^3$$

Q - расход жидкости; H - напор; N - мощность; n - скорость вращения насоса.

На следующем этапе был выполнен сравнительный анализ механических методов регулирования (дросселирование, байпасное регулирование) и частотного управления с использованием преобразователей частоты (VFD). Для оценки эффективности методов были исследованы изменения рабочих характеристик насосной системы, гидравлических потерь и потребляемой мощности.

Гидравлические потери в трубопроводах определялись по формуле Дарси–Вейсбаха:

$$h_f = \lambda \frac{L}{D} \cdot \frac{\vartheta^2}{2g}$$

λ - коэффициент гидравлического сопротивления; L - длина трубопровода; D - диаметр трубопровода; *v*- скорость потока жидкости.

Для оценки энергетической эффективности использовался коэффициент полезного действия насосной системы:

Для оценки энергетической эффективности использовался коэффициент полезного действия насосной системы:

$$\eta = \frac{\rho g Q H}{P}$$

Также был проведён анализ динамических режимов работы насосной системы при изменяющейся нагрузке. Для этого использовалась динамическая модель вращательного движения электропривода:

$$J \frac{dw}{dt} = M_{двиг.} - M_{наг.}$$

J - момент инерции; ω - угловая скорость; $M_{двиг.}$ - момент двигателя; $M_{наг.}$ - момент нагрузки.

На основании полученных расчётных данных была проведена оценка влияния регулирования скорости на снижение энергопотребления, повышение коэффициента полезного действия и улучшение устойчивости работы насосной системы.

Результаты и обсуждение. Результаты исследования показали, что регулирование скорости насоса помогает уменьшить расход электроэнергии и

повысить эффективность работы системы. Расчёты показали, что при уменьшении скорости вращения насоса до 80 % потребляемая мощность снижается почти на 50 %. Это подтверждает, что снижение скорости позволяет экономить электроэнергию. При дроссельном регулировании насос работает с постоянной скоростью, из-за чего часть энергии теряется в виде гидравлических потерь. Это снижает эффективность системы.

Использование преобразователя частоты позволяет изменять скорость насоса в зависимости от нагрузки. Благодаря этому насос работает более экономично и стабильно. Также результаты показали, что коэффициент полезного действия системы увеличился с 0,78 до 0,85, что говорит о повышении эффективности работы насосной установки.

Кроме того, применение частотного регулирования обеспечивает следующие преимущества:

- снижение гидравлических потерь;
- уменьшение механических нагрузок на насосное оборудование;
- повышение срока службы подшипников и уплотнений;
- уменьшение вероятности возникновения кавитации;
- повышение стабильности работы системы при переменной нагрузке.

Анализ динамических режимов показал, что системы с преобразователями частоты обеспечивают более плавное регулирование и устойчивый переходный процесс по сравнению с механическими методами управления. Использование PID-регуляторов позволяет поддерживать стабильное давление в системе и быстро адаптироваться к изменению нагрузки.

Полученные результаты согласуются с современными научными исследованиями в области энергоэффективных насосных систем и подтверждают высокую эффективность применения частотно-регулируемого электропривода в промышленных и ирригационных установках.

Заключение. В результате исследования установлено, что регулирование скорости вращения насосов оказывает значительное влияние на

энергоэффективность насосных систем. Анализ показал, что применение преобразователей частоты позволяет снизить потребление электроэнергии на 20–30 % за счёт изменения скорости вращения в соответствии с текущей нагрузкой системы. Выявлено, что механические методы регулирования сопровождаются дополнительными гидравлическими потерями и снижением коэффициента полезного действия. В отличие от них, частотное регулирование обеспечивает более экономичный и устойчивый режим работы насосного оборудования. Полученные результаты подтверждают целесообразность применения систем частотного управления в промышленных, коммунальных и ирригационных насосных установках для повышения энергоэффективности и надёжности эксплуатации.

Список литературы

1. Karassik I.J., Messina J.P., Cooper P., Heald C.C. *Pump Handbook*. - 4th ed. - New York: McGraw-Hill, 2008.
2. Hydraulic Institute. *Variable Speed Pumping: A Guide to Successful Applications*. - Parsippany, NJ: Hydraulic Institute, 2004.
3. Babu B.V., Rao S. Energy efficiency improvement in pumping systems using variable frequency drives // *International Journal of Engineering Research and Applications*. - 2014. - Vol. 4, No. 3. - P. 120–126.
4. Safarov, i. X. (2024). Problems of assessing the reliability of input data in information systems. Экономика и социум, (6-1 (121)), 582-585. Https://cyberleninka.ru/article/n/problems-of-assessing-the-reliability-of-input-data-in-information-systems
5. Safarov, i. (2023). Automation of clean drinking water supply processes in agriculture systems. Экономика и социум, (11 (114)-2), 390-393. https://cyberleninka.ru/article/n/automation-of-clean-drinking-water-supply-processes-in-agriculture-systems