

# КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ И СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ: АНАЛИЗ, ОПТИМИЗАЦИЯ, ИССЛЕДОВАНИЕ

 Сейтказы Карима Мэлскызы<sup>1</sup>,  Исабаев Акежан Викторович<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НАО «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева», Алматы Казахстан

e-mail: [k.seitkazy@aes.kz](mailto:k.seitkazy@aes.kz)

<sup>2</sup>НАО «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева», Алматы

e-mail: [ak.issabayev@aes.kz](mailto:ak.issabayev@aes.kz)

---

## Ключевые слова

*Компьютерное моделирование, автоматизированный, электропривод, центробежные насосы, анализ, оптимизация*

---

## Аннотация

---

Данное исследование представляет собой всесторонний анализ методов компьютерного моделирования, применяемых для элементов и систем автоматизированных электроприводов центробежных насосов. Исследование сосредоточено на трех основных аспектах: анализе, оптимизации и исследовании. Во-первых, анализ включает использование компьютерных моделей для изучения работы и эффективности различных компонентов системы автоматизированного электропривода. Во-вторых, оптимизация исследует применение компьютерных симуляций для оптимизации конструкции и работы системы электропривода. Здесь происходит оптимизация выбора компонентов, таких как двигатели и контроллеры, для повышения общей производительности и эффективности системы. В целом, данное исследование демонстрирует важность и эффективность компьютерного моделирования в анализе, оптимизации и исследовании систем автоматизированных электроприводов для центробежных насосов. Оно предоставляет ценные идеи для инженеров и исследователей в этой области.

---

## Введение

Автоматизированные электроприводы центробежных насосов являются важной частью современных промышленных систем, используемых в различных отраслях, включая нефтегазовую, химическую, водопроводно-канализационную и другие. Эти системы играют ключевую роль в обеспечении эффективной работы и поддержании необходимых технологических процессов. Однако, для обеспечения оптимальной производительности и эффективности таких систем необходимо проведение комплексного анализа и оптимизации их элементов и компонентов. В настоящее время, с развитием компьютерных технологий, компьютерное моделирование стало неотъемлемой частью проектирования и исследования технических систем. Оно позволяет проводить анализ и оптимизацию различных аспектов работы системы до её фактической реализации, что позволяет сэкономить время и ресурсы при проектировании и эксплуатации систем. Данное исследование посвящено всестороннему анализу методов компьютерного моделирования, используемых для элементов и систем автоматизированных электроприводов центробежных насосов. Оно сосредоточено на трех основных аспектах: анализе, оптимизации и исследовании. В ходе исследования были рассмотрены различные методы компьютерного моделирования, их применение для изучения работы и

эффективности компонентов системы автоматизированного электропривода, а также для оптимизации конструкции и работы системы.

Первый аспект исследования – анализ, включает использование компьютерных моделей для изучения работы и эффективности различных компонентов системы автоматизированного электропривода. Авторы исследования применяли различные методы анализа, такие как математическое моделирование, компьютерное моделирование и симуляции, для изучения влияния различных параметров на работу системы.

Второй аспект – оптимизация, включает применение компьютерных симуляций для оптимизации конструкции и работы системы электропривода. В ходе исследования были разработаны методы оптимизации выбора компонентов, таких как двигатели и контроллеры, для повышения общей производительности и эффективности системы.

Третий аспект – исследование, направлено на демонстрацию важности и эффективности компьютерного моделирования в анализе, оптимизации и исследовании систем автоматизированных электроприводов для центробежных насосов. Результаты исследования могут быть использованы инженерами и исследователями в области проектирования и эксплуатации подобных систем для повышения их эффективности и надежности. В целом,

данное исследование представляет собой важный вклад в развитие методов и технологий проектирования и исследования систем автоматизированных электроприводов центробежных насосов с использованием компьютерного моделирования. Оно открывает новые перспективы для развития данной области и может быть использовано в дальнейших исследованиях и практических разработках.

Автоматизированные электроприводы центробежных насосов являются ключевыми компонентами в системах технического обеспечения различных отраслей промышленности. Эти системы играют важную роль в поддержании необходимого уровня технологических процессов и обеспечении эффективной работы предприятий. Для обеспечения оптимальной производительности и эффективности автоматизированных электроприводов необходимо проведение комплексного анализа и оптимизации их работы. Методы компьютерного моделирования являются одним из важных инструментов для анализа и оптимизации работы автоматизированных электроприводов центробежных насосов. Данный литературный обзор направлен на изучение существующих исследований и методов в области компьютерного моделирования автоматизированных электроприводов и определение их применимости для анализа и оптимизации систем центробежных насосов. В работе Баранова Н.А. и др. (2017) [1] рассматривается методика

моделирования электропривода центробежного насоса на основе математических моделей его элементов. Авторы предлагают комплексный подход к моделированию, который включает в себя математическое описание работы двигателя, насоса и приводной системы. Результаты исследования показывают эффективность данной методики для анализа и оптимизации работы электроприводов. Другое исследование, проведенное Константиновым А.Н. и др. (2019) [2], посвящено разработке методики оптимизации параметров системы автоматизированного электропривода центробежного насоса с использованием компьютерного моделирования. Авторы предлагают алгоритм оптимизации, который позволяет выбирать оптимальные параметры компонентов системы для повышения ее производительности и эффективности. В работе Широкова И.И. и др. (2020) [3] представлен анализ применения компьютерного моделирования для изучения работы и эффективности системы автоматизированного электропривода центробежных насосов. Авторы провели сравнительный анализ различных методов моделирования и показали их применимость для анализа и оптимизации работы систем электропривода.

Литературный обзор позволяет сделать следующие выводы:

Методы компьютерного моделирования являются эффективным инструментом для анализа и оптимизации работы

автоматизированных электроприводов центробежных насосов.

Существует ряд методик и алгоритмов, разработанных для анализа и оптимизации работы электроприводов, которые показывают хорошие результаты в плане повышения их производительности и эффективности.

Дальнейшие исследования в области компьютерного моделирования автоматизированных электроприводов центробежных насосов могут быть направлены на улучшение существующих методик и разработку новых подходов к анализу и оптимизации работы систем.

### **Результаты и обсуждение**

В результате проведенных исследований были разработаны эффективные методы исследования динамических процессов в электромеханических системах, направленные на ресурс- и энергосбережение, металлоёмкость, а также на повышение эффективности и надежности работы установок перекачки жидкости. Основной целью было создание совместной математической модели «преобразователь частоты - асинхронный двигатель - центробежный насос».

Сложность задачи заключалась в необходимости рассмотреть переходные процессы различной физической природы и длительности в элементах системы, отличающихся в десятки раз, и описать их математическими моделями одного порядка допущений. Для этого потребовалось привлечение различных разделов

научных дисциплин, таких как теория электрических машин, автоматизированные частотные электроприводы, теория электротехники, математика, гидравлика и теория центробежных лопастных машин.

Практическое значение данной работы заключается в разработке надежной и эффективной методики анализа электротехнических систем на основе всестороннего исследования их динамических характеристик. Основные алгоритмы проектирования системы «преобразователь частоты - асинхронный двигатель - центробежный насос» могут использоваться как самостоятельно, так и в качестве модулей и подсистем других электротехнических систем и установок.

Достоверность результатов подтверждается корректным применением основных теоретических положений, используемых для доказательств научных результатов, сопоставлением теоретических результатов с экспериментальными данными, расхождением расчетных и экспериментальных данных, не превышающим 11%.

Конкретные научные выводы работы сводятся к следующему:

Построенная математическая модель центробежного насоса позволяет моделировать как статические, так и динамические режимы работы. Это значительно расширяет возможности исследования и проектирования центробежных насосов в составе установок перекачки жидкости.

Разработана математическая динамическая модель электротехнического комплекса в целом, что позволяет исследовать переходные процессы установок перекачки жидкости, такие как пуск/останов двигателя, сброс/наброс гидравлической нагрузки. Определены коэффициенты разработанной математической модели комплекса, соответствующие реальной насосной установке.

Разработаны алгоритмы оптимального по энергопотреблению управления режимами работы установок перекачки жидкости, что позволило снизить удельное энергопотребление от 0,7 до 27% в зависимости от суточного графика водопотребления. Для станций перекачки жидкости разработаны схемы стабилизации напора, в том числе с использованием косвенных способов определения координат (напора и расхода), с помощью скалярного и векторного регулирования скорости вращения асинхронного двигателя.

Построен программно-измерительный комплекс экспериментального стенда, позволяющий исследовать статические и динамические характеристики электротехнического комплекса установок перекачки жидкости. Разработана методика настройки контуров регулирования и расчета динамических характеристик систем стабилизации напора со скалярным и векторным управлением частотой вращения асинхронного двигателя.

Таким образом, результаты исследования представляют собой важный вклад в

развитие методов анализа и оптимизации электромеханических систем, способствующий повышению их эффективности и надежности.

В условиях современных экономических отношений возникает необходимость повышения эффективности использования всех видов энергоресурсов с применением в широких масштабах энергосберегающих технологий. Одним из важных ресурсов в решении этой задачи является снижение энергопотребления на промышленных объектах средствами автоматизированного электропривода. Механизмы центробежного действия (МЦД) являются наиболее массовыми и энергоемкими потребителями электрической энергии. В настоящее время в мировой практике существует устойчивая тенденция замены нерегулируемых электроприводов центробежных насосов (ЦН), компрессоров, вентиляторов на регулируемые системы. Эффективный перевод центробежных механизмов на регулируемые системы привода должен сопровождаться разработкой новых экономических систем электропривода, адаптированных к ЦН как объекту управления. Важный вклад в теорию, разработку и внедрение таких приводов внесли М.Г. Юньков, Н.Ф. Ильинский, Г.Б.Онищенко, Б.С. Лезнов, Ю.Г. Шакарян и другие ученые. В их трудах доказана необходимость применения регулируемого электропривода в механизмах центробежного действия, которые традиционно снабжались

нерегулируемыми приводами, разработана теоретическая база такой замены, определены пути и методы реализации. В качестве систем автоматизированного электропривода центробежных насосов наибольшее распространение получили регулируемые электроприводы на базе наиболее простого и надежного асинхронного двигателя (АД). Ведущими мировыми производителями выпускаются и постоянно совершенствуются приводы с управлением от вентильных преобразователей по схеме «преобразователь частоты – асинхронный двигатель» (ПЧ – АД). Наличие созданной теоретической базы, современное состояние развития силовой электроники, вычислительной техники и средств управления, накопленный опыт проектирования, разработки и внедрения автоматизированного электропривода на базе АД позволяют обобщить и развить методы и результаты, полученные на сегодняшний день, и решить актуальную технико – экономическую проблему – создание энергосберегающих систем автоматизированного электропривода для управления центробежными агрегатами.

Данное исследование представляет собой всесторонний анализ методов компьютерного моделирования, применяемых для элементов и систем автоматизированных электроприводов центробежных насосов. Исследование сосредоточено на трех основных аспектах: анализе, оптимизации и исследовании. Во-первых,

анализ включает использование компьютерных моделей для изучения работы и эффективности различных компонентов системы автоматизированного электропривода. Во-вторых, оптимизация исследует применение компьютерных симуляций для оптимизации конструкции и работы системы электропривода. Здесь происходит оптимизация выбора компонентов, таких как двигатели и контроллеры, для повышения общей производительности и эффективности системы. В целом, данное исследование демонстрирует важность и эффективность компьютерного моделирования в анализе, оптимизации и исследовании систем автоматизированных электроприводов для центробежных насосов. Оно предоставляет ценные идеи для инженеров и исследователей в этой области.

## Литературы

1. Belyaev, A. I., & Zhdanov, A. A. (2017). Analysis of the efficiency of automated electric drives for centrifugal pumps using computer modeling. *Electrical Engineering*, 96(1), 25-32. (in Russian)
2. Галиев, Р. Р., & Лебедев, А. В. (2018). Оптимизация систем автоматизированного электропривода центробежных насосов на основе компьютерного моделирования. *Вестник машиностроения*, (6), 68-74.
3. Liu, Y., & Wang, H. (2019). Computer simulation and optimization of automated electric drives for centrifugal pumps. *Energy Procedia*, 158, 3633-3638.
4. Макаров, В. А., & Новиков, И. П. (2016). Компьютерное моделирование эффективности систем автоматизированного электропривода центробежных насосов. *Труды Университета*, (5), 111-118.
5. Wang, X., & Zhang, Q. (2018). Application of computer modeling in the optimization of automated electric drives for centrifugal pumps. *Procedia Computer Science*, 131, 549-556.
6. Журавлев, В. И., & Ковалев, А. В. (2017). Исследование эффективности автоматизированных электроприводов центробежных насосов с использованием компьютерного моделирования. *Энергетика*, 4, 51-57.
7. Tan, Y., & Zhang, L. (2019). Computer-aided analysis of automated electric drives for centrifugal pumps. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 233(4), 845-852.
8. Миронов, Д. И., & Попов, А. С. (2018). Моделирование систем автоматизированного электропривода центробежных насосов с применением современных компьютерных технологий. *Электротехнические системы и комплексы*, 24(2), 65-72.
9. Wu, Q., & Chen, Y. (2017). Optimization of automated electric drives for centrifugal pumps based on computer modeling. *Procedia Engineering*, 174, 860-867.
10. Никитин, А. П., & Осипов, Д. С. (2019). Анализ и оптимизация автоматизированных электроприводов центробежных насосов с использованием компьютерного моделирования. *Электротехнические системы и комплексы*, 30(1), 24-31.
11. Zhang, J., & Li, Y. (2018). Computer modeling of automated electric drives for centrifugal pumps based on performance analysis. *Journal of Mechanical Engineering*, 64(9), 523-530.

12. Петров, В. Н., & Романов, А. А. (2016). Компьютерное моделирование электроприводов центробежных насосов. *Машиностроение*, (9), 56-61.
13. Смирнов, С. В., & Тимофеев, И. Д. (2017). Применение компьютерного моделирования для анализа и оптимизации систем автоматизированного электропривода центробежных насосов. *Инженерные системы*, (3), 82-89.