



УДК 313.3

ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СПОСОБОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ В МАГИСТРАЛЬНОМ НЕФТЕПРОВОДЕ НА НЕФТЕПЕРЕГОННОЙ СТАНЦИИ

EVALUATION OF ENERGY EFFICIENCY OF PRESSURE CONTROL METHODS IN THE MAIN OIL PIPELINE AT AN OIL REFINERY STATION

Шишлин Денис Иванович

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры электропривода,
Липецкий государственный технический университет
denis-shishlin@yandex.ru

Улитин Николай Петрович

студент кафедры электропривода,
Липецкий государственный технический университет

Ильин Матвей Викторович

студент кафедры электропривода,
Липецкий государственный технический университет

Аннотация. В статье представлены результаты исследований по оценке уровня энергоэффективности процессов при многоконтурном способе регулирования давления на нефтеперегонной станции путем имитационного моделирования ее работы в среде Matlab.

Ключевые слова: магистральный нефтепровод, магистральные центробежные насосы, нефтеперегонная станция, частотно-регулируемый электропривод, система автоматического регулирования давления, имитационное моделирование, энергоэффективность.

Shishlin Denis Ivanovich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Senior Lecturer of faculty of the electric drive,
Lipetsk State Technical University
denis-shishlin@yandex.ru

Ulitin Nikolay Petrovich

Student of electric drive Department,
Lipetsk State Technical University

Ilyin Matvey Viktorovich

Student of electric drive Department,
Lipetsk State Technical University

Annotation. The article presents the results of research to assess the level of energy efficiency of processes with a multi-circuit method of pressure regulation at an oil refinery station by simulating its operation in the Matlab environment.

Keywords: main oil pipeline, main centrifugal pumps, oil refining station, frequency-controlled electric drive, automatic pressure control system, simulation modeling, energy efficiency.

В настоящее время крупные предприятия России, имеющие отношение к топливно-энергетическому комплексу, внедряют методические рекомендации по совершенствованию методов сбережения энергоресурсов. Ведущим направлением считается внедрение и развитие частотно-регулируемых электроприводов (ЧРЭП) [1]. Высокие показатели снижения электропотребления при их использовании достигаются в механизмах с вентиляторной нагрузкой, приводимых во вращение высоковольтными электродвигателями большой мощности. Характерным примером таких механизмов являются центробежные магистральные насосы, чья механическая характеристика описывается уравнением квадратичной параболы, а затрачиваемая мощность пропорциональна кубу скорости вращения. Данные механизмы при незначительном уменьшении скорости вращения могут принести ощутимое уменьшение затрачиваемой мощности. Из-за этого в последнее время много внимания уделяется разработке высоковольтных ЧРЭП магистральных центробежных насосов на нефтеперегонных станциях (НПС).

В ходе транспортировки нефти и нефтепродуктов по системе магистральных трубопроводов актуальной проблемой является увеличение энергоэффективности за счет реализации мероприятий по оптимизации энергетических ресурсов.

Значительную часть затрат при перекачке жидкостей представляет собой энергопотребление магистральными агрегатными насосами. Регулирование давления в магистральных трубопроводах при транспортировке нефти и нефтепродуктов является одним из приоритетных направлений. В тоже время используемые системы автоматизированного управления и контроля режимами работы магистральных трубопроводов (системы автоматизированного регулирования давления) не в полной мере принимают во внимание варьирование различных факторов, возникающих при эксплуатации.

Потребность в регулировании режимов работы нефтеперекачивающих станций магистрального нефтепровода вызвана необходимостью изменения объемов перекачки и предотвращения устранения явления кавитации, а также потребностью в снижении или изменении давления в системе и оптимизации работы системы по минимизации затрат на перекачку.

В ходе проведенного исследования было установлено, что до 96 % потерь в системе при неравномерности транспортировки нефти и нефтепродуктов в трубопроводном транспорте приходится



на потери в электродвигателях насосов, вызванные преобразованием механической энергии в гидравлическую энергию, и только 4 % потерь приходится на собственные нужды и преодоление гидравлического сопротивления нефтепровода. Актуальной задачей при транспортировке нефти в трубопроводе является эффективное и рационального использования электроэнергии, которое составляет до 35 % себестоимости транспортировки нефтепродуктов.

Регулирование скорости вращения двигателя электропривода насоса с преобразователем частоты (ПЧ), запитанного от источника переменного тока, является наиболее современный способ управления работой магистрального трубопровода. Его эффективность в сравнении с остальными способами увеличивается с расширением диапазона изменения режимов работы насосной станции. Для привода насоса используются преимущественно синхронные и асинхронные двигатели. Экономический эффект от использования регулируемых электроприводов заключается в уменьшении потребляемой мощности электродвигателей и максимально возможной передаче давления от станции до станции, приводит к снижению затрат на потребление электроэнергии с исключением дросселирования.

Достоинствами частотно регулируемых электроприводов являются:

- плавный пуск, который снижает значение пускового тока двигателя, что приводит к уменьшению нагрузки на электрическую сеть и пускорегулирующую аппаратуру [2], а также исключает импульсную нагрузку на трубную обвязку насоса и снижает износ насоса;
- плавное регулирование скорости вращения роторов насосов на станциях магистральных трубопроводов позволяет применять самые экономичные режимы перекачки;
- возможность наиболее точной синхронизации работы НПС;
- возможность подхвата вращающегося электродвигателя после обрыва питания;
- снижение затрат электроэнергии в случае непостоянной нагрузки (работа электродвигателя с неполной нагрузкой).

При затратах электроэнергии центробежным насосам, которая пропорциональна скорости вращения в кубе, вероятное уменьшение скорости вращения насоса даже на 1 %, может снизить потребление электроэнергии станции на транспортировку нефтепродукта в среднем на 2.7 %.

В состав системы ЧРЭП, включая многоконтурную систему автоматического регулирования давления (САРД) нефти в магистральном нефтепроводе, входят электродвигатели регулирующих клапанов и насосов, преобразователи частоты, программируемый логический контроллер (ПЛК), на котором реализуется система управления, насосы, регулирующие клапаны, датчики давления, положения, скорости.

Функциональная схема многоконтурного регулирования давления в магистральном нефтепродуктопроводе изображена на рисунке 1.

Первичная информация о технологических параметрах, параметрах состояния оборудования САРД, поступает на модули ввода аналоговых или дискретных сигналов контроллера САРД.

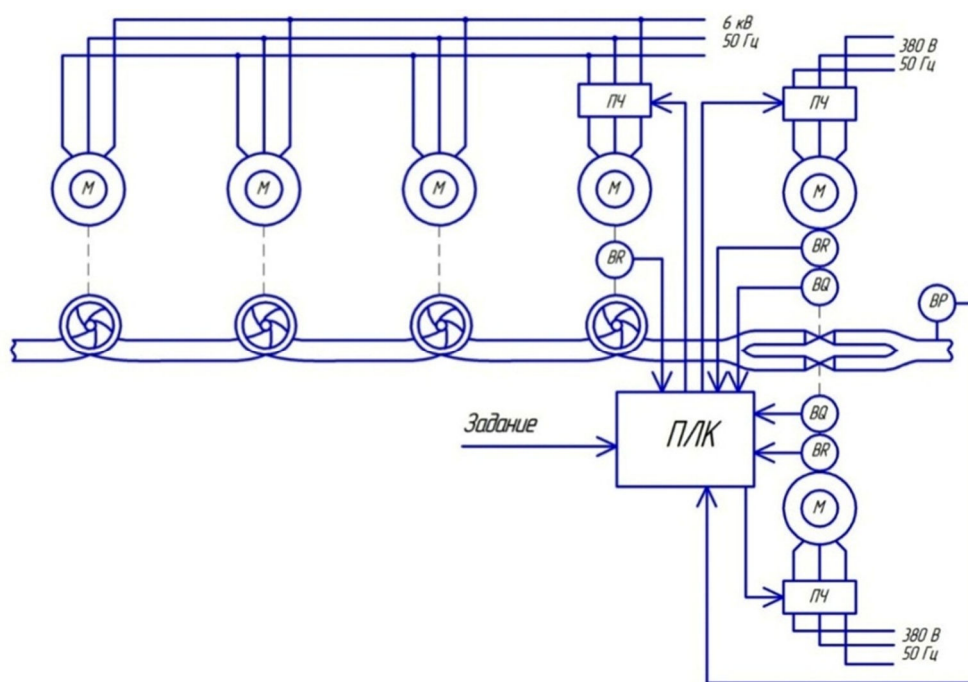


Рисунок 1 – Функциональная схема многоконтурного регулирования давления в магистральном нефтепродуктопроводе



Встроенными датчиками скорости и положения оснащены электродвигатели регулирующих клапанов, с помощью которых контролируются положение выходного вала (датчики ВQ) и текущая скорость электродвигателя. Частотно регулируемый электродвигатель агрегатного насоса снабжен встроенным датчиком скорости ВR. На выходе технологического трубопровода НПС установлен датчик давления ВР. На модуль ПЛК поступает вся снятая с датчиков информация. После обработки этой информации ПЛК формирует требуемое напряжение и частоту полученные с преобразователей частоты, для приводов клапанов и насоса с целью поддержания фиксированного выходного давления.

Для исследования эффективности процессов регулирования давления на НПС была разработана модель многоконтурного регулирования давления в магистральном нефтепродуктопроводе с помощью программного комплекса Matlab. Для разработки модели трубопроводной сети использовалась встроенная библиотека Matlab SimHydraulics.

Модели электроприводов клинового клапана и модель центробежного насоса вместе с преобразователями частоты (ПЧ), работающим соответственно по законам $U/f = \text{const}$, и $U/f_2 = \text{const}$, составлены в стандартных блоках пакета Matlab Simulink [3], [4].

Для оценки эффективности способа многоконтурного регулирования давления в магистральном нефтепроводе были проведены следующие эксперименты:

- моделирование регулирования давления только клапанами;
- моделирование регулирования давления только насосом;
- моделирование регулирования давления клапанами и насосом одновременно.

Для достоверности полученных данных время моделирования, начальные условия, время и величина возмущений для всех трёх опытов будут одинаковы. По результатам моделирования оценивались параметры качества регулирования и энергоэффективность каждого из способов.

В соответствии с имеющимися данными [5] для систем регулирования давления на НПС погрешность поддержания давления в установившемся режиме не должна превышать $\pm 0.4 \text{ кг/см}^2$, а максимальное отклонение давления в переходных режимах не должно быть больше 4 % от заданного.

По результатам проведенных экспериментов составлена таблица 1, по которой можно оценить уровень энергоэффективности каждого способа регулирования.

Таблица 1 – Результаты экспериментов для оценки эффективности способа многоконтурного регулирования давления

ПАРАМЕТРЫ	Регулирование давления только клапанами	Регулирование давления только насосом	Одновременное регулирование давления клапанами и насосом
Потребление энергии электродвигателем насоса, кВт·ч	158	127.5	131.2
Потребление энергии электродвигателем регулирующих клапанов, кВт·ч	0,6627	–	0.6719
Время переходного процесса при задании давления на выходе, с	9.3	20	8.6
Время переходного процесса при снижении входного давления, с	2.7	40	37
Максимальное отклонение входного давления от задания, кг/см^2	0.051	2.06	1.45
ДОСТОИНСТВА	хорошая точность регулирования и быстродействия	наилучшая энергоэффективность (насос, +2,8 % от норматива)	достаточное быстродействие, норматив энергоэффективности
НЕДОСТАТКИ	самая низкая энергоэффективность (насос, -20,4 % от норматива)	затянутый переходный процесс	–

Из результатов имитационного моделирования следует, что рассмотренные способы регулирования за исключением регулирования давления только за счет клапанов, выполняют требования по качеству регулирования: метод регулирования скорости вращения ротора насоса является самым энергоэффективным, но обладает наименьшим быстродействием; метод многоконтурного регулирования является самым быстродействующим и показывает приемлимые показатели энергоэффективности.

Итоги проведенного исследования можно применять при проектировании или реконструкции НПС для достижения наиболее точных показателей регулирования, уменьшения износа оборудования и увеличения энергоэффективности.

**Список литературы:**

1. Браславский И.Я., Ишматов З.Ш., Поляков В.Н. Энергосберегающий асинхронный электропривод. – М. : Академия, 2004. – 256 с.
2. Исследование способов снижения пускового тока при запуске высоковольтных двигателей / В.Н. Мещеряков [и др.] // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2021. – Т. 21. – № 2. – С. 94–104.
3. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: учебное пособие. – Санкт-Петербург : КОРОНА, 2001. – 132 с.
4. Фурсов В.Б. Моделирование электропривода: учебное пособие. – М. : Издательство «Лань», 2022. – 220 с.
5. Технические параметры насоса [Электронный ресурс]. – URL : http://www.hms.ru/pumps_catalog/detail.php?ELEMENT_ID=4983

List of references:

1. Braslavsky I.Y., Ishmatov Z.Sh., Polyakov V.N. Energy-saving asynchronous electric drive. – M. : Academia, 2004. – 256 p.
2. Research of methods of decreasing the starting current at start-up of high-voltage motors / V.N. Meshcheryakov [et al.] // Vestnik of South Ural State University. Series: Power Engineering. – 2021. – V. 21. – № 2. – P. 94–104.
3. German-Galkin S.G. Computer Simulation of Semiconductor Systems in MATLAB 6.0: Tutorial. – Saint-Petersburg : KORONA, 2001. – 132 p.
4. Fursov V.B. Electric drive modeling: tutorial. – M. : Lan' Publisher, 2022. – 220 p.
5. Technical parameters of the pump [Electronic resource]. – URL : http://www.hms.ru/pumps_catalog/detail.php?ELEMENT_ID=4983