

Технические науки

УДК 621.31:517.54

Аюпов Роман Шамильевич

заведующий кафедрой «Нефтегазовое дело»

ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»

Ayupov Roman

Head of the Department «Oil and Gas Engineering»

Yugra State University

Квач Ирина Валериевна

преподаватель кафедры «Нефтегазовое дело»

ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»

Kvach Irina

Teacher of the Department «Oil and Gas Engineering»

Yugra State University

Аюпова Кристина Вячеславовна

инженер кафедры «Автоматика и телемеханика»

ФГБОУ ВО «Омский государственный университет путей сообщения»

Ayupova Christina

Engineer of the Department «Automation and Remote Control»

Omsk State Transport University

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ
РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ
НАСОСОВ
DESIGNING INTELLIGENT RESOURCE-SAVING INSTALLATIONS OF
ELECTRIC PUMPS**

Аннотация. Рассматривается возможность моделирования и исследования параметров каждого отдельного элемента электротехнических комплексов установок электроцентробежных насосов (УЭЦН), в условиях функционального влияния множества факторов, изменяющихся с течением времени, с использованием теории функций комплексной переменной, в частности, в качестве математического аппарата для исследования параметров системы «УЭЦН – скважина – пласт» предлагается использовать более быстрый и точный, по сравнению с классическим матричным, аппарат конформных отображений.

Ключевые слова: установки электроцентробежных насосов, теория функций комплексного переменного, номограмма, четырехполюсник, аппарат конформных отображений, дробно-линейное преобразование.

Summary. The possibility of modeling and research the parameters of electrical systems installations electric centrifugal pumps, in terms of the functional impact of a number of factors that vary over time, with the use of complex function theory variable, in particular, as a mathematical tool to study the parameters of the «IECP – oil well – layer» is proposed to use a faster and more accurate than the classical matrix, the unit of conformal mappings.

Key words: install electric centrifugal pumps, the theory of functions of complex variable, nomograms, four-pole, apparatus of conformal mapping, a linear fractional transformation.

Постановка проблемы. Системность отражает установившуюся тенденцию – создание технических систем с новыми более совершенными свойствами путем объединения в систему отдельных элементов, каждый из которых в отдельности или в сумме не может обеспечить того уровня эффективности, который достигается объединением указанных элементов в систему.

Анализ последних исследований и публикаций. В работе [1] рассматривается «возможность моделирования и исследования параметров электротехнических комплексов УЭЦН с использованием теории функций комплексной переменной на основе дробно-линейного преобразования. Основываясь на предложенных решениях в данной работе ведется дальнейшее исследование применения аппарата конформных отображений применительно к каждому отдельному элементу электротехнического комплекса УЭЦН».

Установки электроцентробежных насосов реализуют один из основных способов насосной эксплуатации нефтедобычных скважин. По территориальному и корпоративному признакам они являются самым распространенными, ими укомплектованы более 30% действующего фонда скважин, они обеспечивают свыше 60% извлекаемой на поверхность нефти. По существующим прогнозам в среднесрочной перспективе за установками электроцентробежных насосов остается преимущественная роль. В связи с этим работы, направленные на совершенствование математического моделирования электротехнического комплекса как элемента в решении общей системной проблемы создания интеллектуальных энергоэффективных установок электроцентробежных насосов, являются весьма актуальными.

Формулировка целей статьи. Цель настоящей статьи заключается в применении аппарата конформных отображений к вопросу исследований параметров каждого отдельного элемента электротехнического комплекса установок электроцентробежных насосов.

Изложение основного материала. Объектом исследования данной работы являются электротехнические комплексы (ЭТК) установок электроцентробежных насосов (УЭЦН). Как электротехнологическая система, УЭЦН содержит физически разнородные элементы с перекрестными физическими связями. Например, такой элемент установки как погружной электродвигатель (ПЭД) преобразует электрическую энергию в механическую, центробежный насос – механическую энергию в кинетическую

энергию потока жидкости, при этом в процессе преобразования у каждого из них образуется тепловая энергия. «Выделить какой-либо процесс, не нарушив целостности всей технологической системы, возможно только при сильном упрощении» [1]. Аппарат конформных отображений позволяет рассматривать технический объект как сложную систему, состоящую из взаимосвязанных целенаправленно функционирующих элементов, находящихся под воздействием внешней среды [2]. Декомпозиция УЭЦН как сложной технической системы преобразования, передачи и потребления электрической энергии с указанием функциональных связей между каждым структурным элементом и окружающей средой позволяет рассматривать ЭТК УЭЦН состоящий из наземного и погружного оборудования, при этом к основному наземному оборудованию относятся: станции управления (СУ), выходной фильтр гармоник (ФГ), скважинный трансформатор (СТ), наземный участок кабельной линии (НКЛ); к погружному – кабельная линия (КЛ), удлинитель (УКЛ), ПЭД, электроцентробежный насос (ЭЦН) (рис. 1).

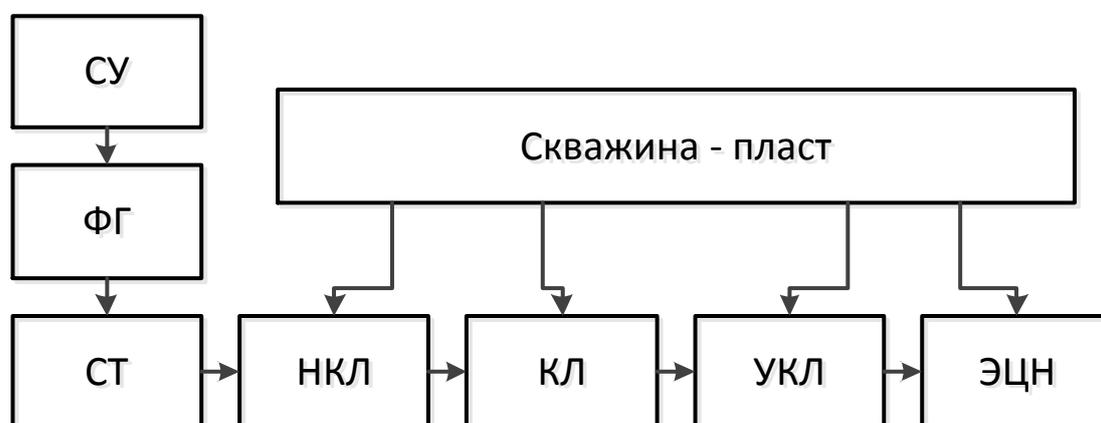


Рис. 1. Структурная схема УЭЦН

Таким образом, УЭЦН относится к сложным техническим объектам, представляющим собой сложную техническую систему с взаимодействующими подсистемами различной физической природы – электрической, механической, гидравлической, тепловой, газовой. Все

подсистемы взаимодействуют со средой, воздействующей на систему «УЭЦН – скважина – пласт» [3, 4, 5].

Взаимосвязь между станцией управления, выходным фильтром, скважинным трансформатором, кабельной линией, удлинителем (рис. 1) осуществляется посредством трехпроводной трехфазной системы электрических соединений, следовательно, для каждого перечисленного элемента адекватной моделью является шестиполюсник с тремя входными и тремя выходными электрическими зажимами, а для симметричных систем – четырехполюсник (ЧП) с двумя входными и двумя выходными зажимами.

Классическая матричная теория имеет существенные недостатки:

- не позволяет целиком увидеть область изменений входных параметров элементов УЭЦН;
- не решает вопрос определения области погрешностей значений вычисляемых параметров при известной погрешности измерений критических значений;
- отсутствует геометрическая наглядность полученных результатов.

В качестве математического аппарата для исследования параметров отдельных элементов эквивалентного ЧП [1] предлагается использовать более быстрый и точный, по сравнению с классическим матричным, аппарат конформных отображений.

В качестве нагрузки каждого элемента каскадной группы ЭТК УЭЦН рассматривается область значений комплексных сопротивлений, от значения $Z = 0$ – короткого замыкания до $Z = \infty$ разрыва или холостого хода. В силу того, что действительная часть комплексного сопротивления всегда неотрицательна, $\text{Re}(Z) \geq 0$, значение образует правую полуплоскость комплексных чисел. Как показано в [6], «конформное отображение, соответствующее ЧП, преобразует правую полуплоскость, дополненную бесконечно удаленной точкой, на окружность или полуплоскость, лежащую в правой полуплоскости». При данном отображении получившееся положение

области будет напрямую зависеть от параметров элемента каскадной группы ЭТК УЭЦН, номограмма входного сопротивления которого при дробно-линейном преобразовании правой полуплоскости представлена на рис. 2.

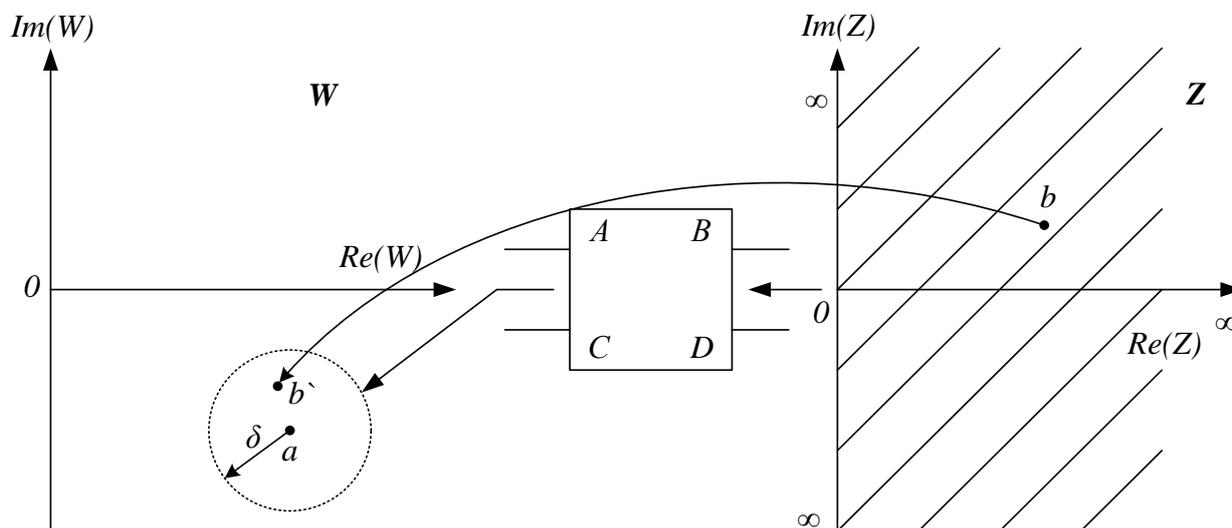


Рис. 2. Номограмма входного сопротивления эквивалентного четырехполюсника при дробно-линейном преобразовании правой полуплоскости

Важно отметить, что множество реализуемых электрическими схемами ЧП относительно каскадного соединения в составе ЭТК УЭЦН образуют полугруппу.

Примерами групп, имеющих электротехническое приложение, являются:

1) группа $GL2(\mathbf{C})$ - множество матриц размером 2×2 с комплексными коэффициентами и ненулевым определителем относительно умножения матриц;

2) группа $SL2(\mathbf{C})$ - множество матриц размером 2×2 с комплексными коэффициентами и определителем, равным единице относительно умножения матриц.

3) совокупность Λ всех дробно-линейных отображений образует группу, если в качестве групповой операции рассматривать композицию отображений.

4) существует одно и только одно дробно-линейное отображение полной плоскости Z на полную плоскость W , переводящее три произвольные различные точки Z_k в три произвольные различные точки W_k . Из этой теоремы следует: любой круг полной плоскости Z с помощью дробно-линейной функции можно преобразовать в любой круг полной плоскости W (ангармоническое отношение четырёх точек).

Все сложные преобразования областей в электротехнике основаны на существовании трех простейших отображений – растяжения, сдвига и инверсии [6]. Рассмотрим их более подробно в следующих работах.

Авторами предлагается использовать методы теории функции комплексного переменного для исследования функциональных зависимостей выходных электрических параметров каждого отдельного элемента силового канала преобразования электрической энергии УЭЦН от их внутренних параметров в широком диапазоне их изменения и как инструмент создания интеллектуальных энергоэффективных установок электроцентробежных насосов.

Литература

1. Ковалев А. Ю. К вопросу о применении аппарата конформных отображений при моделировании установок электроцентробежных насосов / Александр Юрьевич Ковалев / Омский научный вестник №1(117). – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2013. – С. 209-211.
2. Ковалев Ю. З. Моделирование электромеханической системы: Асинхронный двигатель – центробежный насос / Юрий Захарович Ковалев, Олег Александрович Лысенко / Омский научный вестник №4(73). – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2008. – С. 114-116.
3. Аюпов Р. Ш. Синтез системы пропуска обратного тягового тока в электротехническом комплексе электроснабжения железных дорог: дис. ...

канд. техн. наук: 05.09.03: защищена 24.06.09 / Роман Шамильевич Аюпов. – Омск, 2009. – 167 с.

4. Ковалев Ю. З. Электротехнологические установки насосной эксплуатации скважин: монография / А.Ю. Ковалев, Ю.З. Ковалев, А.С. Солодянкин. – Нижневартовск: Изд-во НГГУ, 2010. – 106 с.
5. Ковалев В. З. Идентификация параметров и характеристик математических моделей электротехнических устройств : монография / В. З. Ковалев, А. Г. Щербаков, А. Ю. Ковалев ; Федер. агентство по образованию, ГОУ ВПО «Ом. гос. техн. ун-т». – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2005. – 107 с.
6. Лаврентьев М. А. Методы теории функции комплексного переменного / М. А. Лаврентьев, Б. В. Шабат // М.: Наука, 1987. 688 с.

References

1. Kovalev A. Yu. On the question of the application of conformal imaging devices in the simulation of electric pump units. Omsk: Omsk Scientific Bulletin, 2013, no. 1 (117), pp. 209-211.
2. Kovalev Yu. Z. Modeling electromechanical systems: Induction motor - centrifugal pump. Omsk: Omsk Scientific Bulletin, 2008, no. 4 (73), pp. 114-116.
3. Аюпов R.Sh., Synthesis reverse traction current systems of admission in electrical power complex of railways: dis. ... Cand. tehn. Sciences: 05.09.03. Omsk, 2009, P. 167.
4. Kovalev Yu. Z. Electrotechnological install pumping well operation: monograph. Nizhnevartovsk, 2010, P. 106.
5. Kovalev V. Z. Identification of parameters and characteristics of mathematical models electrical devices: monograph. Omsk, 2005, P. 107
6. Lavrentiev M.A. Methods of the theory of complex variable functions. Moscow: Science, 1987, P. 688.