

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 РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИХ 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.

**П**остановка 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 взаи-

мосвязанных 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).

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;

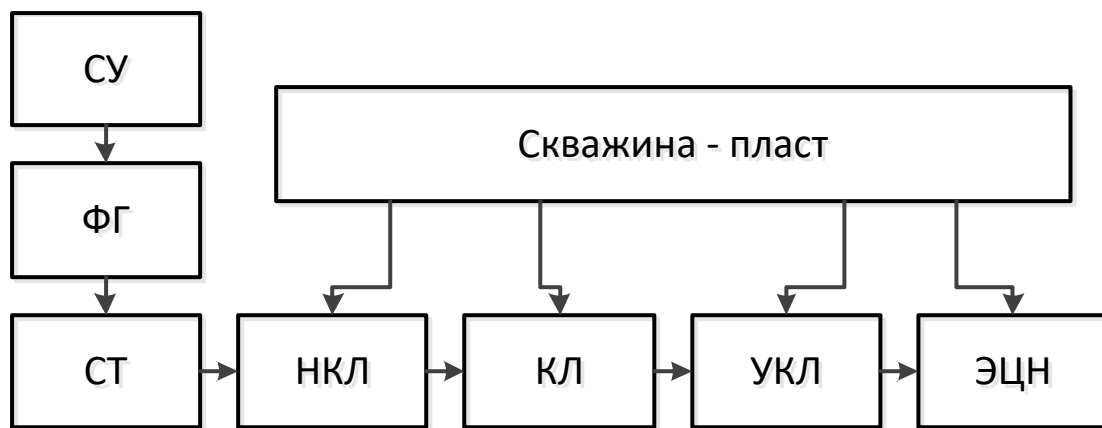


Рис. 1. Структурная схема УЭЦН

– 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,  $Re(Z) \geq 0$ , 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.

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

Примерами групп, имеющих электротехническое приложение, являются:

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

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

3) совокупность  $\Lambda$  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 четырех 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.

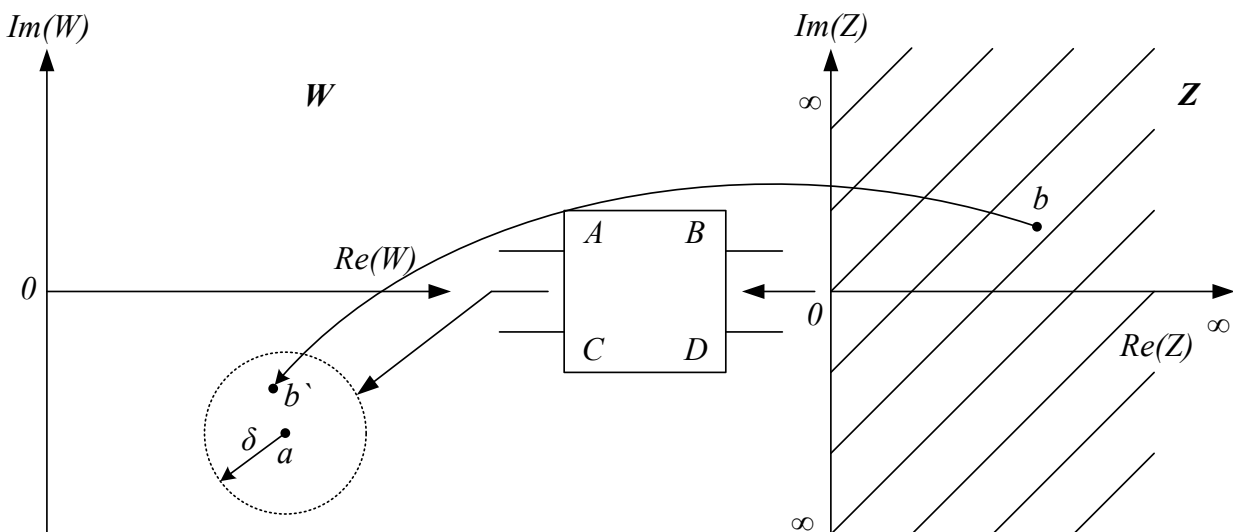


Рис. 2. Номограмма входного сопротивления эквивалентного четырехполюсника при дробно-линейном преобразовании правой полуплоскости

**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 пропускания обратного тягового тока в электротехническом комплексе электропитания 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 НГТУ, 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. Ayupov 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.