

ISSN 0033-1155

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭНЕРГЕТИКА

№2

INDUSTRIAL POWER ENGINEERING





ПРОЕКТЫ И ИССЛЕДОВАНИЯ

Разработка имитационной модели группового пуска электроприводов электротехнического комплекса добывающей скважины

Нурбосынов Д. Н., доктор техн. наук, Табачникова Т. В., канд. техн. наук, Иванов Ф. А., Махт А. В., соискатели

ГБОУ ВО «Альметьевский государственный нефтяной институт»

Разработана имитационная модель режима работы электротехнического комплекса добывающей скважины (ЭКДС), которая включает в себя штанговую скважинную насосную установку с цепным приводом (ШСНУ с ЦП) и установку электроцентробежного насоса с индивидуальными, узловой и централизованной компенсирующими установками. Имитационная модель позволяет моделировать режим работы ЭКДС в установившихся и переходных режимах, а также моделировать групповой пуск электроприводов этого комплекса. В результате имитационного моделирования получены: эквивалентные нагрузки узлов отходящей линии; рациональные параметры индивидуальной и узловой компенсирующих установок; потребление активной и реактивной мощности; уровни напряжения всех узлов ЭКДС; потери активной и реактивной мощности и потери напряжения на всех участках отходящей линии.

Ключевые слова: имитационная модель, электротехнический комплекс добывающей скважины, погружной асинхронный двигатель, установка электроцентробежного насоса, штанговая скважинная насосная установка, цепной привод, компенсация реактивной мощности, индивидуальная, узловая и централизованная компенсирующие установки.

При эксплуатации высокодебитных скважин и при добыче нефтяной эмульсии с высоким содержанием воды применяется интенсивная технология добычи нефти, при которой используются электротехнические комплексы добывающей скважины с установкой электроцентробежного насоса (УЭЦН) с погружным электродвигателем (ПЭД). По среднестатистическим данным это составляет около 20 % от общего парка ЭКДС нефтегазодобывающих предприятий, при этом они добывают до 70 % всей нефти. Доля затрат электрической энергии составляет большую часть всего объема электроэнергии, затраченной на механизированную добычу нефти.

Погружные электродвигатели являются специфическим электрооборудованием, их потребление реактивной мощности зависит от номинальной мощности ПЭД и коэффициента нагрузки. Зависимость реактивной мощности от напряжения на зажимах ПЭД — кубическая, напряжение является нестандартным и может находиться в пределах 500 – 3400 В [1]. Фактический коэффициент нагрузки с учетом повышенной обводнённости эксплуатируемой скважины составляет примерно 0,7 [2].

Нестандартный уровень напряжения на зажимах ПЭД при подключении к системе электроснабжения требует дополнительную ступень трансформации (рис. 1), т. е. используется специальный повышающий трансформатор типа ТМПН-0,4 кВ с нестандартным напряжением на вторичной стороне. Таким образом, электротехнический комплекс добывающих скважин включает в себя следующие элементы: участок воздушной линии (ВЛ) 6 (10) кВ, узловую компенсирующую установку УПЕК 3, комплектную трансформаторную подстанцию (КТП) 6 (10)/0,4 кВ, станцию управления ШСНУ с ЦП (АД) и индивидуальной компенсирующей установкой УПЕК 1, трансформатор ТМПН, станцию управления УЭЦН, питающиеся напряжением 0,4 кВ, кабельную линию (КЛ) напряжением 1400 В, спускающуюся в скважину на глубину до 1,5 км, и ПЭД с индивидуальной компенсирующей установкой УПЕК 2.

В настоящее время для компенсации реактивной мощности в электротехнических комплексах добывающих скважин с УЭЦН применяются батареи статических конденсаторов с нестандартным номинальным напряжением [3], которые подключаются непо-

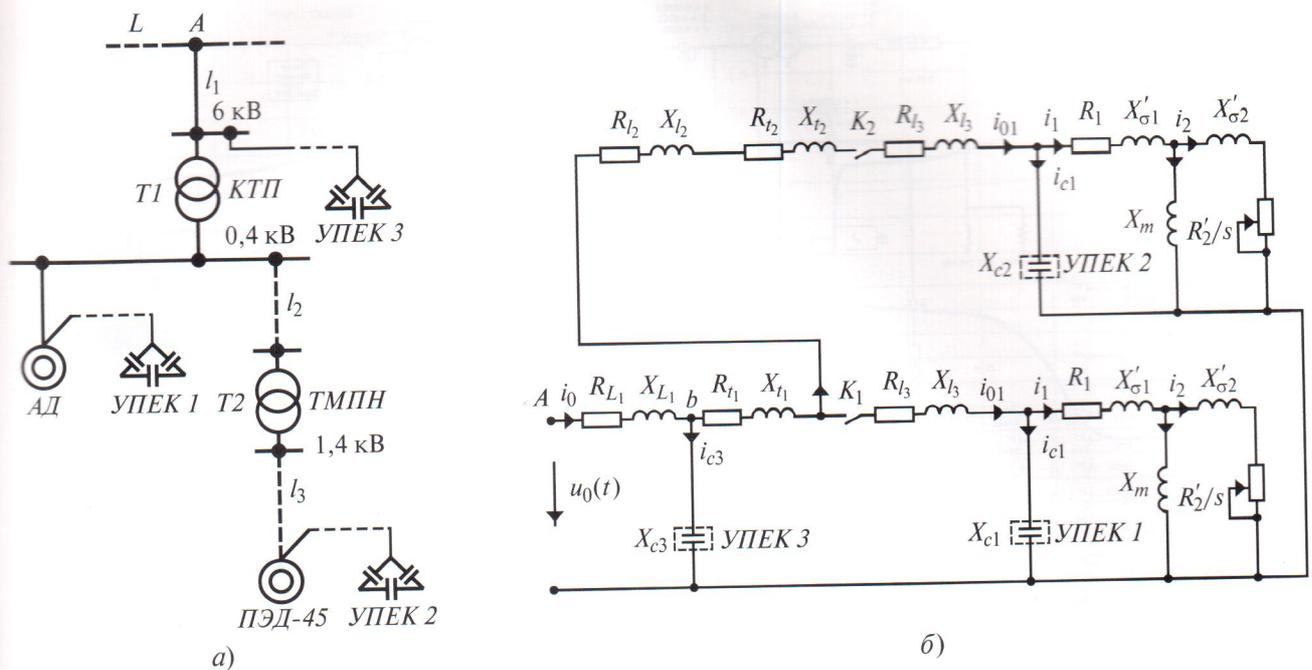


Рис. 1. Принципиальная схема электроснабжения электротехнического комплекса добывающей скважины (а) и её схема замещения (б)

средственно к зажимам статора ПЭД в скважине. Это позволяет компенсировать реактивную составляющую линейного тока двигателя в кабельной линии и трансформаторе *ТМПН* и снизить потери активной мощности примерно на 6% [2].

С учетом всех элементов принципиальной схемы системы электроснабжения электротехнического комплекса добывающей скважины разработана его имитационная модель, которая дополнена длиной отходящей линии, эквивалентной нагрузкой, централизованной компенсирующей установкой и силовым трансформатором промышленной подстанции.

На рис. 2 и 3 приведены имитационные модели ЭКДС по моделированию группового пуска электроприводов комплекса соответственно без компенсирующих установок и с индивидуальными, узловой и централизованной компенсирующими установками.

В имитационной модели ЭКДС без компенсирующих установок время пуска завершается через 2,65 с (рис. 2).

Провал напряжения в процессе пуска ПЭД составил 550 В при длительности 2 с, амплитуда напряжения в установившемся режиме — 1000 В. Провал напряжения в процессе пуска АД цепного привода равен 350 В при длительности 2 с, амплитуда напряжения в установившемся режиме — 400 В. Амплитуда пускового тока ПЭД — 85 А, амплитуда тока в установившемся режиме — 30 А. Ам-

плитуда пускового тока АД цепного привода — 68 А, амплитуда тока в установившемся режиме — 10,5 А.

Максимальное значение активной мощности при пуске ПЭД составило 69 кВт в момент времени 2 с, а в установившемся режиме — 45 кВт. Максимальное значение реактивной мощности при пуске АД цепного привода — 59 квар в момент времени 0,6 с, амплитуда тока в установившемся режиме — 10,5 А.

Максимальное значение потерь активной мощности при пуске ПЭД — 22,5 кВт в момент времени 1,3 с, а в установившемся режиме — 6 кВт. Максимальное значение потерь реактивной мощности при пуске АД цепного привода — 34 квар в момент времени 0,6 с, а в установившемся режиме — 4,95 квар.

В имитационной модели ЭКДС с двумя индивидуальными, узловой и централизованной компенсирующими установками время пуска завершается через 2,4 с (рис. 3). Провал напряжения в процессе пуска ПЭД составил 550 В при длительности 2 с, амплитуда напряжения в установившемся режиме — 1150 В.

Амплитуда пускового тока ПЭД — 82,5 А, амплитуда тока в установившемся режиме — 26 А. Амплитуда пускового тока АД цепного привода — 65 А, амплитуда тока в установившемся режиме — 10 А.

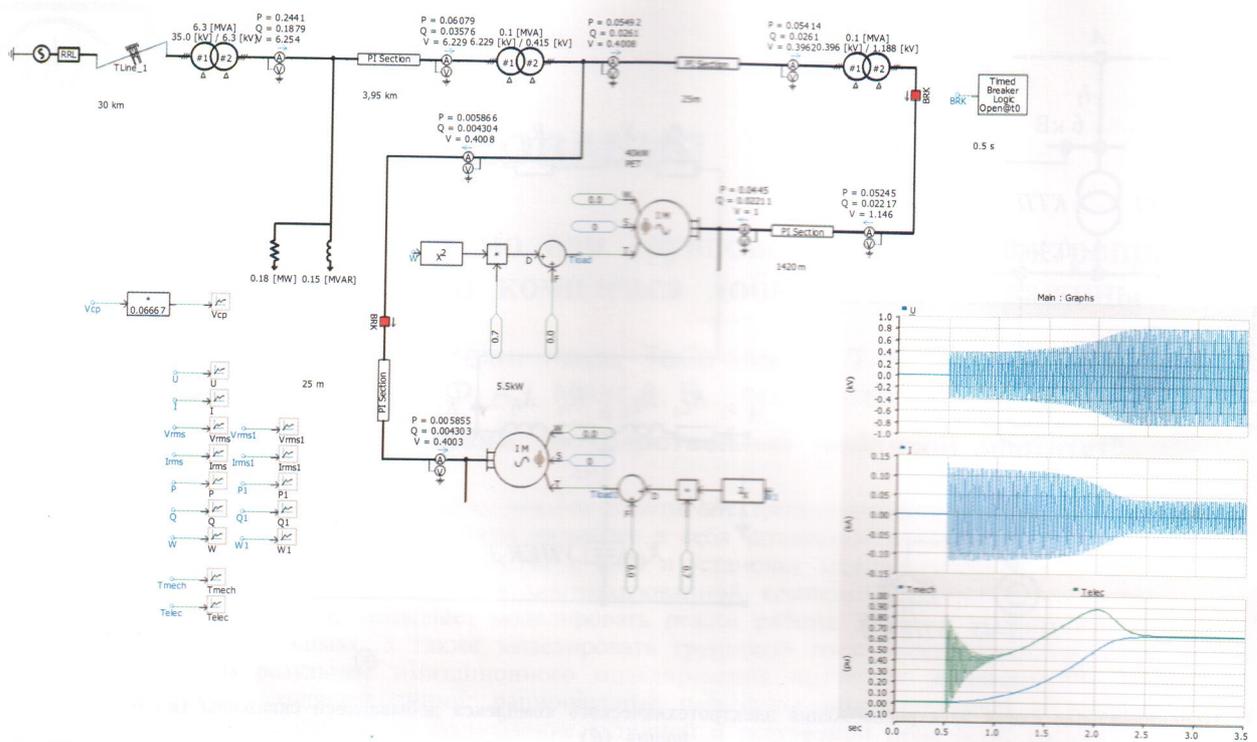


Рис. 2. Имитационная модель ЭКДС по моделированию группового пуска электроприводов этого комплекса без компенсирующих установок

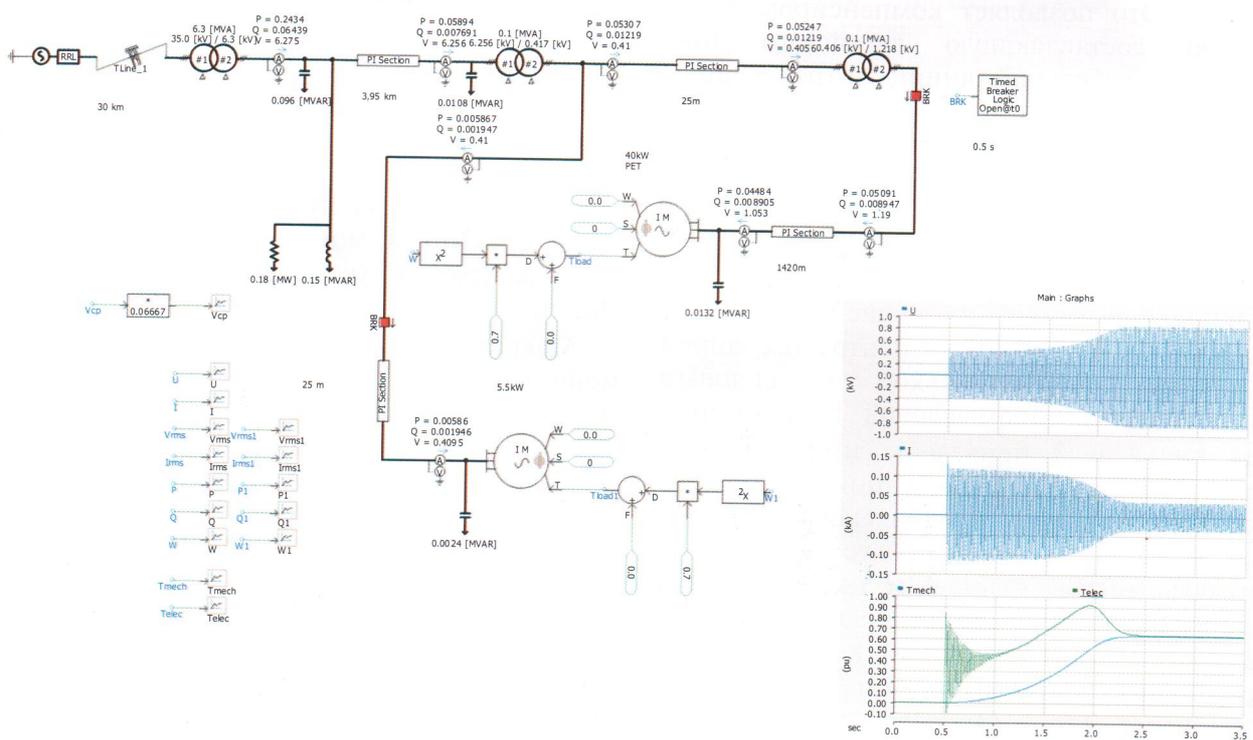


Рис. 3. Имитационная модель ЭКДС по моделированию группового пуска электроприводов этого комплекса с двумя индивидуальными, узловой и централизованной компенсирующими установками

Максимальное значение активной мощности при пуске ПЭД — 70 кВт в момент времени 2 с, а в установившемся режиме — 45 кВт. Максимальное значение реактивной мощности при пуске АД цепного привода —

56 квар в момент времени 0,6 с, амплитуда тока в установившемся режиме — 9,95 А.

Максимальное значение потерь активной мощности при пуске ПЭД — 23,5 кВт в момент времени 1,3 с, а в установившемся ре-

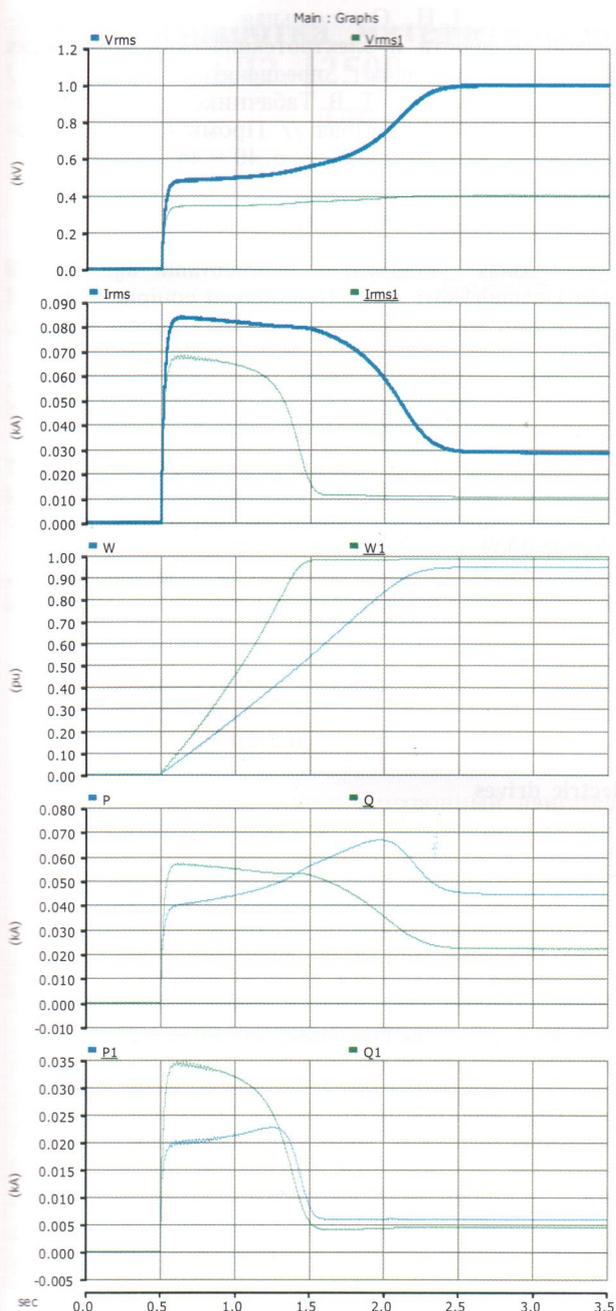


Рис. 4. Графики зависимостей напряжения, тока статора, частоты вращения ротора, активной и реактивной мощности при моделировании группового пуска электроприводов ЭКДС без компенсирующих установок

жиме — 6 кВт. Максимальное значение потерь реактивной мощности при пуске АД цепного привода — 33 квар в момент времени 0,6 с, а в установившемся режиме — 2,22 квар.

Анализ результатов имитационного моделирования процесса группового пуска в конце отходящей линии показал, что без компенсирующих установок электроприводы ЭКДС достигают установившегося процесса за 2,65 с (рис. 4), а при использовании ком-

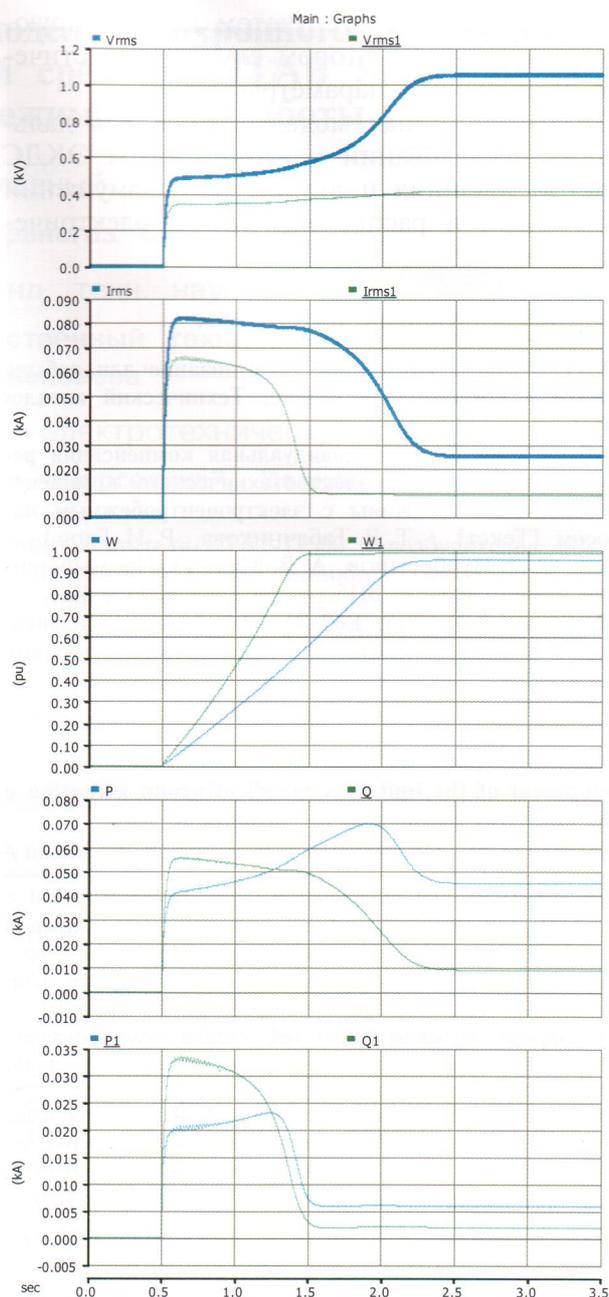


Рис. 5. Графики зависимостей напряжения, тока статора, частоты вращения ротора, активной и реактивной мощности при моделировании группового пуска электроприводов ЭКДС с двумя индивидуальными, узловой и централизованной компенсирующими установками

пенсирующих установок — за 2,4 с (рис. 5). Во втором случае напряжение на зажимах статора выше, ток статора ниже, угол наклона кривых частот вращения роторов круче, максимум активной мощности больше, потери активной мощности выше, реактивной мощности — ниже.

Выводы

1. Групповой пуск электроприводов в штатном режиме осуществляется успешно

как без учета, так и с учетом компенсирующих установок. Во втором случае энергетические и пусковые параметры лучше.

2. Имитационная модель готова для дальнейших исследований режима работы ЭКДС с учётом внешних и внутренних возмущений в питающей и распределительной электрических сетях.

Список литературы

1. ОАО "Алнас". Погружное оборудование для добычи нефти и комплексный сервис: Технический каталог № 3.
2. Табачникова, Т. В. Индивидуальная компенсация реактивной мощности электротехнического комплекса добывающей скважины с электроцентробежным насосом [Текст] / Т. В. Табачникова, Р. И. Гарифуллин, Э. Д. Нурбосынов, А. В. Махт // Промышленная энергетика. — 2015. — № 2. — с. 44 – 46.
3. *Electronic*. Каталог E62-3ф: трёхфазные конденсаторы усиленного типа для фильтров переменного тока. 2009.

4. Нурбосынов, Д. Н. Оптимальная компенсация реактивной мощности в электротехнических комплексах нефтегазодобывающих предприятий [Текст] / Д. Н. Нурбосынов, Т. В. Табачникова, А. Р. Гарифуллина, С. И. Смирнова // Промышленная энергетика. — 2010. — № 2. — с. 40 – 44.

References

1. ОАО "Alnas". *Pogruzhnoye oborudovaniye dlya dobychi nefi i kompleksnyy servis* (Submerged equipment for oil production and complex service), Technical Catalog, No. 3.
2. Tabachnikova T. V., Garifullin R. I., Nurbosynov E. D., Maht A. V. *Promyshlennaya energetika* (Industrial power engineering), 2015, No. 2, pp. 44 – 46.
3. *Electronic*. *Katalog E62-3f: trekhfaznye kondensatory usilenogo tipa dlya fil'trov peremennogo toka* (Catalog E62 – 3f: three-phase amplified capacitors for AC filters), 2009.
4. Nurbosynov D. N., Tabachnikova T. V., Garifullina A. R., Smirnova S. I. *Promyshlennaya energetika* (Industrial power engineering), 2010, No. 2. — pp. 40 – 44.

nurbosinovdn@mail.ru

Development of the imitation model of group actuation of the electric drives of the electrical complex of the production well

Nurbosynov D. N., Tabachnikova T. V., Ivanov F. A., Makht A. V.

A simulation model of an operating mode of the electrical complex of the production well (ECPW) is developed. The model includes sucker-rod pumping unit with a chain drive (OWPU with CD) and electric centrifugal pump with individual, nodal and central compensating units. The model allows simulation both of the steady-state and transient modes of ECPW operation, as well as group actuation of the electric drives of the electrical complex. Thus we have obtained: equivalent loads of the nodes of the outgoing line; rational parameters of individual and nodal compensating units; active and reactive power consumption; voltage levels of all ECPW nodes; loss of active and reactive power and voltage loss at all sections of the outgoing line.

Keywords: simulation model, electrical complex of producing well, submersible induction motor, electric centrifugal pump unit, sucker-rod pumping unit, chain drive, reactive power compensation, individual, nodal and central compensating plants.