УДК 621.3.054.42

ВНУТРИСКВАЖИННАЯ КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

DOWNHOLE REACTIVE POWER COMPENSATION

В. А. Копырин, В. А. Иордан, О. В. Смирнов
V. A. Kopyrin, V. A. Iordan, O. V. Smirnov

Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень

Ключевые слова: ***внутрискважинный компенсатор; компенсатор реактивной мощности; погружной электродвигатель; электрический кабель***
Key words: ***downhole compensator; reactive capacity compensator; submersible electric motor; electrical cable***

В нефтегазодобывающей отрасли при эксплуатации нефтяных скважин наибольшее распространение получили установки погружных центробежных насосов (УЭЦН). Ими оснащено свыше 65 % фонда нефтедобывающих скважин [1, 2]. На месторождениях ОАО «Газпромнефть-Ноябрьскнефтегаз» из 4 000 скважин более 92 % оборудованы УЭЦН [3].

В качестве привода к установкам электроцентробежных насосов используются погружные асинхронные трехфазные электродвигатели (ПЭД). Управление и защита электродвигателей погружных центробежных насосов осуществляется с помощью комплекса оборудования, смонтированного на трансформаторной подстанции или станции управления скважин. Коэффициент мощности установок с погружными электроцентробежными насосами, определяемый в основном cosφ ПЭД, находится в пределах 0,7–0,85 при номинальной нагрузке и может снижаться до 0,6–0,75 при недогрузках, что приводит увеличению потребляемой реактивной мощности и потерям активной мощности в кабеле [4].

Одним из известных способов компенсации реактивной мощности является установка параллельно с нагрузкой низковольтных косинусных конденсаторов в составе оборудования станций управления ПЭД. Однако подобная схема компоновки оборудования имеет существенный недостаток — потребитель реактивной мощности (погружной электродвигатель) может находиться на удаленном расстоянии от источника (до 3 000 м), что приводит к увеличению потерь мощности по длине питающего ПЭД погружного кабеля [5]. Размещение компенсирующего устройства непосредственно внутри корпуса ПЭД или в непосредственной близости от него позволило бы исключить этот недостаток.

В настоящее время вопрос об энергетической эффективности, связанной с компенсацией реактивной мощности непосредственно внутри скважины, не прорабатывался ввиду сложности реализации таких устройств. Между тем тема внутрискважинной компенсации реактивной мощности становится актуальной. В 2013 году фонд «Сколково» в партнерстве с ОАО «ТНК-ВР» и ОАО «Газпром нефть» объявил конкурс на проведение НИОКР по теме «Разработка внутрискважинных компенсаторов реактивной мощности» с выделением гранта в размере 5 000 000 руб.

В данной статье проанализирован предлагаемый способ внутрискважинной компенсации реактивной мощности на примере УЭЦН с погружным электродвигателем ПЭД-Я 90-117 МВ5. Параметры электродвигателя приведены в табл. 1.

Таблица 1

Технические параметры ПЭД-Я 90-117 МВ5

Тип двигателя	Мощность при 50 Гц, Вт	Номинальное напряжение при 50 Гц, В	Номинальный ток, А	cosφ	КПД	Скольжение, %
ПЭД-Я 90-117 МВ5	90	1800	44	0,84	0,84	5

Питание и управление УЭЦН осуществляется от трансформаторной подстанции (ТП) мощностью 160 кВА. Марка питающего трансформатора ТМПн-160/3, напряжение на выходе 1 800 В. Питание ПЭД производится по кабельной линии (КЛ) длиной 2 500 м. Технические параметры кабеля приведены в табл. 2.

Таблица 2

Технические параметры кабеля

Марка кабеля	Число и сечение токопроводящих жил, мм^2	Длительно допустимый ток при 80 ^{0}С, А	Погонное активное сопротивление проводника при 20 ^{0}С, Ом/км	Погонное индуктивное сопротивление проводника, Ом/км	Емкость кабеля, мкФ/км
КПБП-90 3х16	3х16	44	1,15	0,0757	0,1

Применяемый в настоящее время способ компенсации реактивной мощности требует установки компенсирующего устройства мощностью 75 кВАр на ТП для поддержания нормального cosφ = 0,95. Так как ПЭД находится на расстоянии 2 500 м от ТП, предлагается перенести установку компенсации реактивной мощности (УКРМ) внутрь скважины непосредственно к ПЭД.

На рис. 1 приведена разработанная в среде Matlab/Simylink модель участка электроснабжения УЭЦН от трансформаторной подстанции до ПЭД [6].

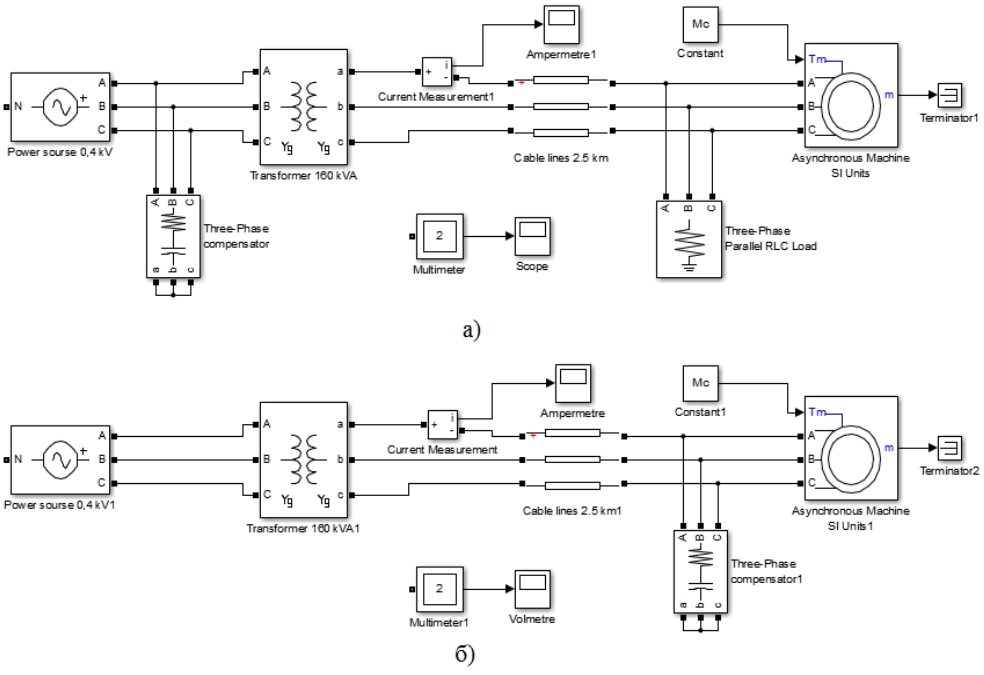

Рис. 1. ***Схема модели участка электроснабжения УЭЦН от трансформаторной подстанции:*** *а) компенсирующее устройство до питающего трансформатора; б) компенсирующее устройство перед погружным электродвигателем*

В ходе моделирования получены графики напряжения на выходе с источника питания $U_{ист}$ и в конце питающей кабельной линии $U_{вых}$, при компенсации реактивной мощности до питающего трансформатора (рис. 2 а), перед ПЭД (рис. 2 б). При моделировании ПЭД работал с cosφ = 0,72.

Из анализа графиков рис. 2 а следует, что при компенсации реактивной мощности по первому способу (см. рис. 1 а), действующее напряжение в конце КЛ составило $U_{вых}$ = 1633 В, падение напряжения ΔU = 167 В, что на 9,3 % меньше напряжения источника питания.

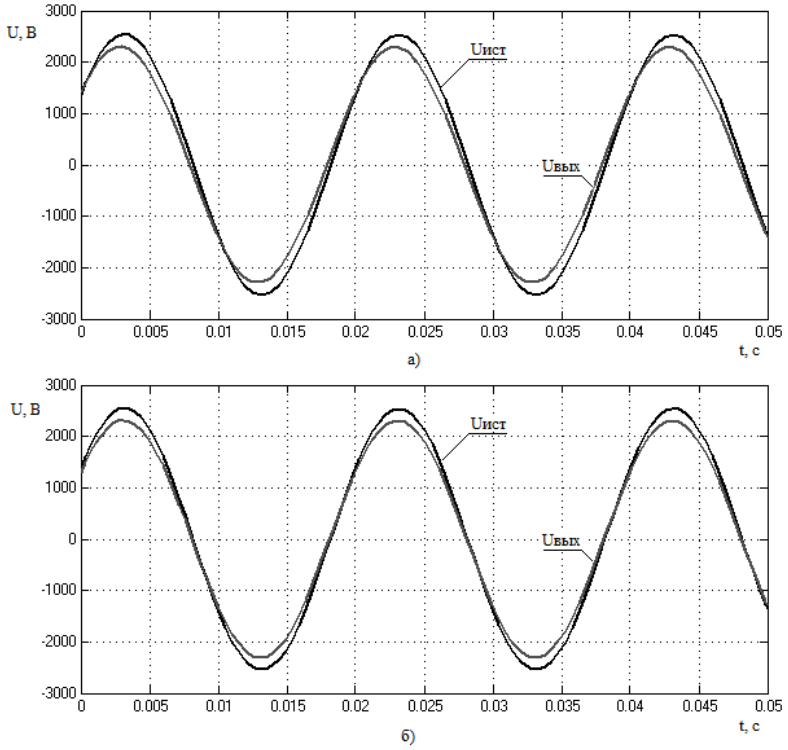

Рис. 2. ***Графики амплитудных значений напряжений на выходе с источника питания $U_{ист}$ и в конце питающей кабельной линии $U_{вых}$:*** *а) компенсация реактивной мощности до питающего трансформатора; б) компенсация реактивной мощности перед погружным электродвигателем*

Действующее значение фазного тока для существующего способа компенсации реактивной мощности $I_{1ф}$ = 45,3 А (рис. 3).

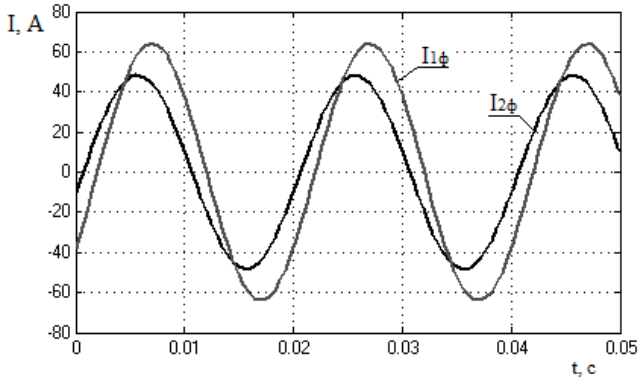

Рис. 3. ***Графики амплитудных значений фазных токов для двух способов компенсации реактивной мощности***

Потери активной мощности в кабельной линии определяются по формуле

$$\Delta P = 3 \cdot I_{ф}^{2} \cdot R_{ф}, \quad (1)$$

где ΔP — потери активной мощности в КЛ, Вт; $I_{ф}$ — действующее значение фазного тока, А; $R_{ф}$ — активное сопротивление токопроводящей жилы КЛ, Ом.

Таким образом, потери активной мощности в КЛ для существующего способа (см. рис. 1 а):

$$\Delta P_1 = 3 \cdot 45,3^2 \cdot 2,875 = 14082 \text{ Вт.}$$

При установке УКРМ предлагаемым способом (см. рис. 1 б) действующее напряжение в конце КЛ составило $U_{вых}$ = 1 702 В, падение напряжения ΔU = 98 В, что на 5,4 % меньше напряжения источника питания. Действующее значение фазного тока $I_{2ф}$ = 34,2 А, коэффициент мощности cosf = 0,95 (см. рис. 3). Потери активной мощности в кабельной линии для предлагаемого способа определяются по формуле (1)

$$\Delta P_2 = 3 \cdot 34,2^2 \cdot 2,875 = 10060 \text{ Вт.}$$

Полученные в ходе расчетов данные при компенсации реактивной мощности двумя способами сведены в табл. 3.

Таблица 3

Расчетные данные цепи при двух способах компенсации реактивной мощности

Способ установки УКРМ	Напряжение в начале КЛ, В	Напряжение в конце КЛ, В	Действующее значение тока, I	Потери активной мощности в КЛ, кВт	Доля потерь, %
1	1 800	1 633	45,3	14,08	11
2	1 800	1 702	34,2	10,06	7,5

Из табл. 3 видно, что доля потерь в КЛ от мощности, потребляемой ПЭД, для первого способа составила 11 %, для второго — 7,5 %.

Таким образом, предложенный способ компенсации реактивной мощности позволяет уменьшить потери активной мощности в КЛ на 31,8 % или 4 кВт. Разработанная в среде Matlab/Simylink модель участка энергопитания УЭЦН от ТП позволяет определить величину потерь активной мощности в кабельной линии, а также действующее напряжение на зажимах ПЭД и действующее значение фазного тока. Однако для реализации способа необходимо провести исследование на опытном образце.

Список литературы

1. Здольник С. Е. Совершенствование электроцентробежной насосной установки для скважин с высокой пластовой температурой: Автореф. дисс. к. т. н.: 05.02.13 / Здольник Сергей Евгеньевич; [Место защиты: Уфим. гос. нефтяной техн. ун-т]. – Уфа, 2008. – С. 6.
2. Белусенко И. В., Шварц Г. Р., Великий С. Н., Ершов М. С., Яризов А. Д. Новые технологии и современное оборудование в электроэнергетике нефтегазовой промышленности. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2007. – С. 404.
3. Ануфриев С. Н., Погорелов С. В. Опыт эксплуатации УЭЦН в условиях повышенного содержания мехпримесей // Производственно-технический нефтегазовый журнал «Инженерная практика». – 2010. – № 2. – С. 66-72.
4. Меньшов Б. Г., Ершов М. С., Яризов А. Д. Электротехнические установки и комплексы в нефтегазовой промышленности: Учеб. для вузов. – М.: Недра, 2000. – С. 293.
5. Пат. №145053 Российская Федерация, МПК G05F1/70, H02J3/18. Внутрискважинный компенсатор реактивной мощности/ Копырин В. А., Гара Н. В., Портнягин А. Л., Смирнов О. В. – № 2014116437/07; заявл. 23.04.2014; опубл. 10.09.2014.
6. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB. Sim Power Systems и Simulink. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 288 с.

Сведения об авторах

Копырин Владимир Анатольевич, *аспирант кафедры «Электроэнергетика», Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, тел. 89129942447, e-mail: kopyrinva@gmail.com*

Иордан Виталий Александрович, *аспирант кафедры «Электроэнергетика», Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, тел. 89058220312, e-mail: vaiordan@gmail.com*

Information about the authors

Kopyrin V. A., *postgraduate of the chair «Electroenergetics», Tyumen State Oil and Gas University, phone: 8129942447, e-mail: kopyrinva@gmail.com*

Iordan V. A., *postgraduate of the chair «Electroenergetics», Tyumen State Oil and Gas University, phone: 89058220312, e-mail: vaiordan@gmail.com*

Смирнов Олег Владимирович, *д. т. н., профессор кафедры «Электроэнергетика», Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, тел. 89129275192, e-mail: oleg_smirnov_1940@mail.ru*

Smirnov O. V., *Doctor of Science in Engineering, professor of the chair «Electroenergetics», Tyumen State Oil and Gas University, phone: 89129275192, e-mail: oleg_smirnov_1940@mail.ru*