

коэффициенту несимметрии напряжения по обратной последовательности / Антонов А. И., Денчик Ю. М., Зубанов Д. А. [и др.]. № 23380; заявл. 27.12.2017 г. // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов «Наука и образование». 2017. № 12 (103). С. 66.

РУДИ Дмитрий Юрьевич, ассистент кафедры «Электротехника и электрооборудование» Омского института водного транспорта (ОИВТ) (филиал) Сибирского государственного университета водного транспорта (СГУВТ).

SPIN-код: 5222-7906

AuthorID (РИНЦ): 830094

АНТОНОВ Александр Игоревич, старший преподаватель кафедры «Электротехника и электрооборудование» ОИВТ (филиал) СГУВТ.

SPIN-код: 5682-8929

AuthorID (РИНЦ): 842787

ГОНЕНКО Татьяна Владимировна, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры «Автоматизация и робототехника» ОмГТУ; доцент кафедры «Электротехника и электрооборудование» ОИВТ (филиал) СГУВТ.

SPIN-код: 7291-5494

AuthorID (РИНЦ): 465855

КЛЕУТИН Владислав Иванович, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры «Элек-

тротехника и электрооборудование» ОИВТ (филиал) СГУВТ.

SPIN-код: 8950-3024

AuthorID (РИНЦ): 564398

РУППЕЛЬ Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент (Россия), профессор кафедры «Электротехника и электрооборудование» ОИВТ (филиал) СГУВТ.

SPIN-код: 3386-9834

AuthorID (РИНЦ): 423886

РУППЕЛЬ Елена Юрьевна, доцент (Россия), доцент кафедры «Высшая математика» Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета.

SPIN-код: 3193-1914

AuthorID (РИНЦ): 651948

Адрес для переписки: dima_rudi@mail.ru

Для цитирования

Руди Д. Ю., Антонов А. И., Гоненко Т. В., Клеутин В. И., Руппель А. А., Руппель Е. Ю. Методы снижения несимметрии напряжения в электрических сетях 0,4–10 кВ // Омский научный вестник. 2018. № 2 (158). С. 75–78. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-158-75-78.

Статья поступила в редакцию 12.02.2018 г.

© Д. Ю. Руди, А. И. Антонов, Т. В. Гоненко, В. И. Клеутин, А. А. Руппель, Е. Ю. Руппель

УДК 621.31

DOI: 10.25206/1813-8225-2018-158-78-83

В. А. КОПЫРИН
О. В. СМИРНОВ
А. Л. ПОРТНЯГИН

Тюменский
индустриальный университет,
г. Тюмень

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВНУТРИСКВАЖИННЫХ КОМПЕНСАТОРОВ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

В статье приведена оценка энергетической эффективности использования внутрискважинных компенсаторов реактивной мощности в составе установок электроцентробежных насосов. Разработана схема замещения электротехнического комплекса установки для добычи нефти. Построены кривые функции энергоэффективности, характеризующей положительный эффект от внедрения внутрискважинных компенсаторов для различных сечений и длин питающих кабелей.

Ключевые слова: внутрискважинный компенсатор, кабельная линия, погружной асинхронный электродвигатель, трансформатор, электроцентробежный насос.

Введение. В настоящее время повышение энергоэффективности производства является общемировой тенденцией. С юридической точки зрения, под энергоэффективностью понимаются характери-

стики, отражающие отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведенным в целях получения такого эффекта, применительно

к продукции, технологическому процессу, юридическому лицу, индивидуальному предпринимателю [1].

Потенциал энергосбережения в нашей стране составляет около 45 % современного энергопотребления или 400 млн тонн условного топлива, причем треть потенциала приходится на отрасль топливно-энергетического комплекса, в которую входит нефтяная промышленность [2–4].

В нефтедобывающей отрасли при эксплуатации нефтяных скважин наибольшее распространение получили установки погружных электроцентробежных насосов (УЭЦН), которыми оснащено свыше 65 % фонда нефтедобывающих скважин [5, 6].

В России эксплуатационный фонд скважин компании ПАО «ЛУКОЙЛ» в четвертом квартале 2016 года составил 30000 единиц, а доля скважин, оборудованных УЭЦН, составила более 60 %. На месторождениях АО «Сургутнефтегаз» из 22929 скважин более 75 % оборудованы УЭЦН. Тем не менее данные установки имеют крайне низкий коэффициент полезного действия в пределах от 20 до 30 % [7–9]. Следовательно, для России, как одного из лидеров добычи нефти, снижение доли электрических потерь в нефтегазовой отрасли от общего энергопотребления, особенно при механизированной добыче нефти, является актуальной задачей.

Существующие способы повышения эффективности механизированной добычи нефти, в первую очередь, направлены на увеличение эксплуатационной надежности погружных установок [10–12] и увеличение энергоэффективности производства: применение энергоэффективного оборудования [7, 9, 13], оптимизации подбора скважинного оборудования [14, 15], энергомониторинг и увеличение сечения питающего кабеля [16].

В [17, 18] предложен новый подход повышения энергоэффективности добычи нефти установками электроцентробежных насосов, заключающийся в индивидуальной компенсации реактивной мощности, потребляемой погружными асинхронными электродвигателями (ПЭД). Разработанные авторами внутрискважинные компенсаторы реактивной мощности (ВКРМ) [19] позволяют уменьшить энергопотребление за счет снижения потребляемого тока и потерь активной мощности в токопроводящих элементах электротехнического комплекса УЭЦН.

Целью публикации является оценка энергоэффективности внедрения внутрискважинных компенсаторов реактивной мощности в зависимости от различных сечений и длин питающих кабелей установок электроцентробежных насосов.

Теоретическая часть. Электротехнический комплекс УЭЦН включает в себя: источник питания (шины комплектно-трансформаторной подстанции (КТП) 10/0,4 кВ); станцию управления, питающий трансформатор марки ТМПН, кабельную линию (КА), погружной асинхронный электродвигатель и внутрискважинный компенсатор реактивной мощности (рис. 1).

Питание кустов нефтяных скважин, оборудованных УЭЦН, как правило, осуществляется по линии электропередач от понижающей подстанции 35/6 кВ до комплектных трансформаторных подстанций блочного модульного исполнения с трансформаторами марки ТМГ мощностью 630 кВА и 1000 кВА. По статистическим данным, полученным в ходе проектирования нефтедобывающих объектов, трансформаторы выбираются с большим запасом — коэффициент загрузки менее 50 %. Исходя из этого, трансформатор, установленный на КТП, незна-

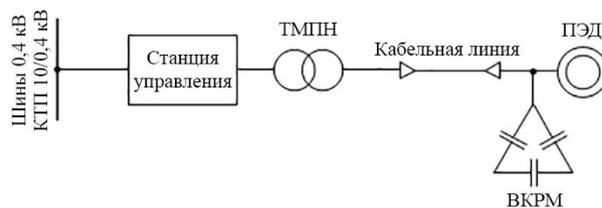


Рис. 1. Однолинейная схема электротехнического комплекса УЭЦН

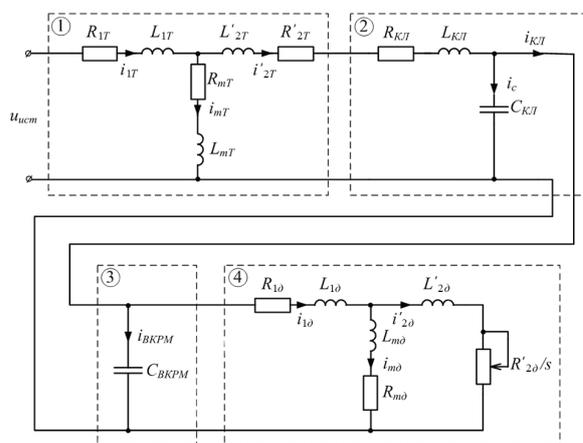


Рис. 2. Схема замещения ЭТК УЭЦН

чительно влияет на характер процессов в системе и его можно рассматривать как идеальный источник, без потерь напряжения и мощности [20].

Коэффициент полезного действия современных станций управления УЭЦН находится в пределах от 93 до 98 % и зависит от многих конструктивных параметров, например, наличие преобразователя частоты, входных и выходных фильтров [5].

В связи с незначительным влиянием станции управления и трансформатора, установленного на КТП, на энергетические показатели электротехнического комплекса УЭЦН принято допущение, что данные элементы комплекса представляют в совокупности идеальный источник синусоидального напряжения без электрических потерь.

Разработанная схема замещения электротехнического комплекса УЭЦН с учетом принятых допущений представлена на рис. 2, где 1 — питающий трансформатор; 2 — кабельная линия; 3 — внутрискважинный компенсатор реактивной мощности; 4 — погружной асинхронный электродвигатель; u, i — напряжение и ток соответствующих ветвей; R, L, C — активное сопротивление, индуктивность, емкость соответствующих элементов.

В общем случае активная мощность, потребляемая УЭЦН, расходуется на подъем жидкости из скважины на поверхность и активные потери в элементах электротехнического комплекса. Потребляемую активную мощность можно определить следующим образом:

$$P = P_g + \sum \Delta P = P_g + \Delta P_T + \Delta P_{кЛ} + \Delta P_g, \quad (1)$$

где P_g — активная мощность, потребляемая погружным электродвигателем, кВт; $\Delta P_T, \Delta P_{кЛ}, \Delta P_g$ — потери активной мощности в трансформаторе,

кабельной линии, погружном электродвигателе соответственно, кВт.

Потери в питающем трансформаторе. Питающий трансформатор предназначен для поддержания номинального уровня напряжения на ПЭД, в котором за счет наличия ступеней регулирования обеспечивается необходимый коэффициент трансформации. Основные потери активной мощности складываются из потерь в обмотках трансформатора в «меди» — потери короткого замыкания и в магнитопроводе в «стали» — потери холостого хода. Так как ток холостого хода трансформаторов марки ТМПН составляет менее 2 % от номинального значения, а полное сопротивление ветви намагничивания на несколько порядков больше полных сопротивлений первичной и вторичной обмоток $Z_{mT} > Z_{1T} \approx Z_{2T}$, то ветвь намагничивания можно исключить из схемы замещения трансформатора.

Тогда эквивалентные активное и реактивное сопротивления питающего трансформатора определяются по выражениям:

$$R'_{экт} = R_{1T} + R'_{2T} = \frac{\Delta P_k \cdot U_{вн.ном}^2 \cdot 10^3}{S_{ном}^2}; \quad (2)$$

$$x'_{экт} = x_{1T} + x'_{2T} = \frac{u_k \% \cdot U_{вн.ном}^2 \cdot 10^3}{100 \cdot S_{ном}}; \quad (3)$$

где ΔP_k — потери короткого замыкания, кВт; $U_{вн.ном}$ — номинальное напряжение высшей ступени трансформатора, кВ; $S_{ном}$ — полная мощность трансформатора, кВА; $u_k \%$ — напряжение короткого замыкания, %.

Потери активной мощности в питающем трансформаторе определяются по выражению:

$$\Delta P_T = 3 \cdot (i_{1T}^2 \cdot R_{1T} + i_{2T}^2 \cdot R'_{2T}). \quad (4)$$

Потери в кабельной линии. Кабельная линия предназначена для передачи электрической энергии от питающего трансформатора к погружному асинхронному электродвигателю. Кабельная линия состоит из основного питающего кабеля и соединенного с ним кабеля-удлинителя.

Активное и реактивное сопротивления токопроводящих жил кабелей определяются по выражениям:

$$R_{кл} = 10^3 \cdot \rho \cdot \left(\frac{l_1}{S_1} + \frac{l_2}{S_2} \right) \cdot [1 + 0,004 \cdot (T - 20)]; \quad (5)$$

$$x_{кл} = x_0 \cdot (l_1 + l_2), \quad (6)$$

где ρ — удельное сопротивление проводника при 20 °С, Ом·мм²/м; l_1, l_2 — длина основного кабеля и кабеля-удлинителя соответственно, км; S_1, S_2 — сечение токопроводящей жилы основного кабеля и кабеля-удлинителя соответственно, мм²; T — температура токопроводящих жил кабелей, °С; x_0 — погонное индуктивное сопротивление кабельной линии, Ом/км.

За расчетную температуру токопроводящих жил кабелей принимается температура наиболее нагретого участка кабельной линии. Если сечение токопроводящих жил основного кабеля и кабеля-удлинителя отличаются не более чем на один порядок (например, 16 и 10 мм²), то активное сопротивление жилы кабельной линии рассчитывается как для основного кабеля [5].

Ввиду того что погонная емкость используемого при обустройстве нефтяных скважин кабеля марки КПБП составляет 0,1 мкФ/км, а емкостное сопротивление на основной частоте 50 Гц равно 31,847 кОм/км и на порядок выше активного и индуктивного сопротивления, то ее можно не учитывать при расчетах. Принятое допущение не сильно повлияет на точность определения потребляемой активной мощности ЭТК УЭЦН.

Тогда потери активной мощности в кабельной линии определяются по выражению:

$$\Delta P_{кл} = 3 \cdot i_{кл}^2 \cdot R_{кл}. \quad (7)$$

Потери в погружном асинхронном электродвигателе. Погружные асинхронные электродвигатели предназначены для передачи энергии электроцентробежным насосам, регулирования их подачи и напора. Максимальная энергоэффективность эксплуатации данных электродвигателей достигается при номинальной выходной мощности на валу ПЭД в диапазоне от 65 до 95 % [5]. Снижение нагрузки ПЭД до 50 % от номинала приводит к снижению коэффициента полезного действия на 3–5 % и к резкому снижению коэффициента мощности с 0,92 до 0,45, что увеличивает реактивные потери в ЭТК УЭЦН.

Для определения параметров электрической схемы погружного асинхронного электродвигателя произведем замену схемы замещения электродвигателя (рис. 2), эквивалентным сопротивлением Z_g , отражающим диапазон номинальных мощностей электродвигателей от 16 до 100 кВт, с учетом электрических и механических потерь.

Тогда полная потребляемая мощность равна:

$$S_g = \frac{P_{g.ном}}{\cos \phi_g \cdot \eta_g}, \quad (8)$$

где $P_{g.ном}$ — номинальная мощность ПЭД, кВт; $\cos \phi_g$ — коэффициент мощности ПЭД; η_g — коэффициент полезного действия ПЭД.

Эквивалентное сопротивление:

$$Z_g = \frac{10^3 \cdot m \cdot U_{g.ном}^2}{S_g}, \quad (9)$$

где $U_{g.ном}$ — номинальное напряжение ПЭД, кВ; m — число фаз, $m=3$.

Внутрискважинный компенсатор реактивной мощности. Внутрискважинные компенсаторы реактивной мощности предназначены для поддержания высокого коэффициента мощности сети на уровне 0,95–0,98 в точке подключения — на зажимах ПЭД.

Анализ энергетических параметров работы УЭЦН на нефтедобывающих объектах АО «Самотлорнефтегаз» показал, что среднее значение коэффициента мощности погружных асинхронных электродвигателей составляет 0,735. Данное обстоятельство связано с тем, что средний коэффициент загрузки ПЭД составляет 0,65. Поэтому для расчета необходимой мощности внутрискважинного компенсатора коэффициент мощности ПЭД принимается $\cos \phi_g = 0,735$.

Тогда необходимую мощность внутрискважинного компенсатора предлагается определять по выражению:

$$Q_{ВКРМ} = P_{g.ном} \left(\sqrt{\frac{1}{\cos^2 \phi_c} - 1} - \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \phi_g} - 1} \right) =$$

$$= P_{g.ном} \left(\sqrt{\frac{1}{0,95^2} - 1} - \sqrt{\frac{1}{0,735^2} - 1} \right) = -0,59 \cdot P_{g.ном} . \quad (10)$$

Реактивное емкостное сопротивление ВКРМ определяется по выражению:

$$X_{ВКРМ} = \frac{10^3 \cdot U_{ВКРМ}^2}{Q_{ВКРМ}}, \quad (11)$$

где $U_{ВКРМ}$ — напряжение на ВКРМ, кВ.

Схема замещения для расчета потребляемой электрической мощности ЭТК УЭЦН с учетом принятых допущений приведена на рис. 3.

Предлагается показатель энергоэффективности при использовании внутрискважинных компенсаторов определить как:

$$\mathcal{E}_p = 1 - \frac{P_{нов}}{P_{план}}, \quad (12)$$

где $P_{план}$, $P_{нов}$ — активные плановая и полученная мощность соответственно, кВт.

Результаты эксперимента. Исследуемый электротехнический комплекс УЭЦН оснащен трансформатором ТМПН-160/3, паспортные данные которого приведены в табл. 1.

Приведенные эквивалентные значения активных и реактивных сопротивлений питающего трансфор-

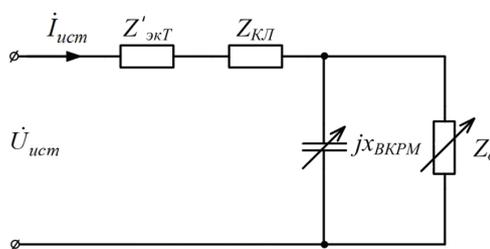


Рис. 3. Расчетная схема замещения ЭТК УЭЦН

матора к номинальному напряжению ПЭД 1,25 кВ, согласно выражениям (2) и (3), равны

$$R'_{экт} = \frac{2,65 \cdot 1,25^2 \cdot 10^3}{160^2} = 0,162 \text{ (Ом)},$$

$$X'_{экт} = \frac{5,5 \cdot 1,25^2 \cdot 10^3}{100 \cdot 160} = 0,537 \text{ (Ом)}.$$

В связи с увеличением доли трудноизвлекаемых запасов углеводородов в настоящее время длина кабельных линий, питающих УЭЦН, может достигать 3500 м, а температуры пластовых жидкостей — до 150 °С. Для построения семейства характеристик, отображающих потери активной мощности

Таблица 1

Основные технические характеристики трансформатора ТМПН-160/3

Мощность, кВА	Сочетание напряжений, кВ		Схема и группа соединения обмоток	Потери, кВт		Напряжение к.з., %	Ток холостого хода, %
	ВН	СН		холостого хода	короткого замыкания		
160	1,25	0,4	Ун/У-0	0,44	2,65	5,5	1,7

Таблица 2

Расчетные параметры кабельной линии

Длина кабеля, м	Удельное сопротивление проводника при 20 °С, Ом·мм ² /м	Погонное индуктивное сопротивление проводника при 50 Гц, Ом/км	Активное сопротивление токопроводящей жилы при 70 °С, Ом				Реактивное сопротивление проводника, Ом
			S _{кЛ} = 16 мм ²	S _{кЛ} = 21,5 мм ²	S _{кЛ} = 25 мм ²	S _{кЛ} = 35 мм ²	
1000	0,0172	0,0757	1,290	0,959	0,826	0,590	0,076
1500	0,0172	0,0757	1,935	1,440	1,238	0,885	0,114
2000	0,0172	0,0757	2,581	1,920	1,651	1,179	0,151
2500	0,0172	0,0757	3,225	2,400	2,064	1,474	0,189
3000	0,0172	0,0757	3,870	2,880	2,477	1,769	0,227
3500	0,0172	0,0757	4,515	3,360	2,890	2,064	0,265

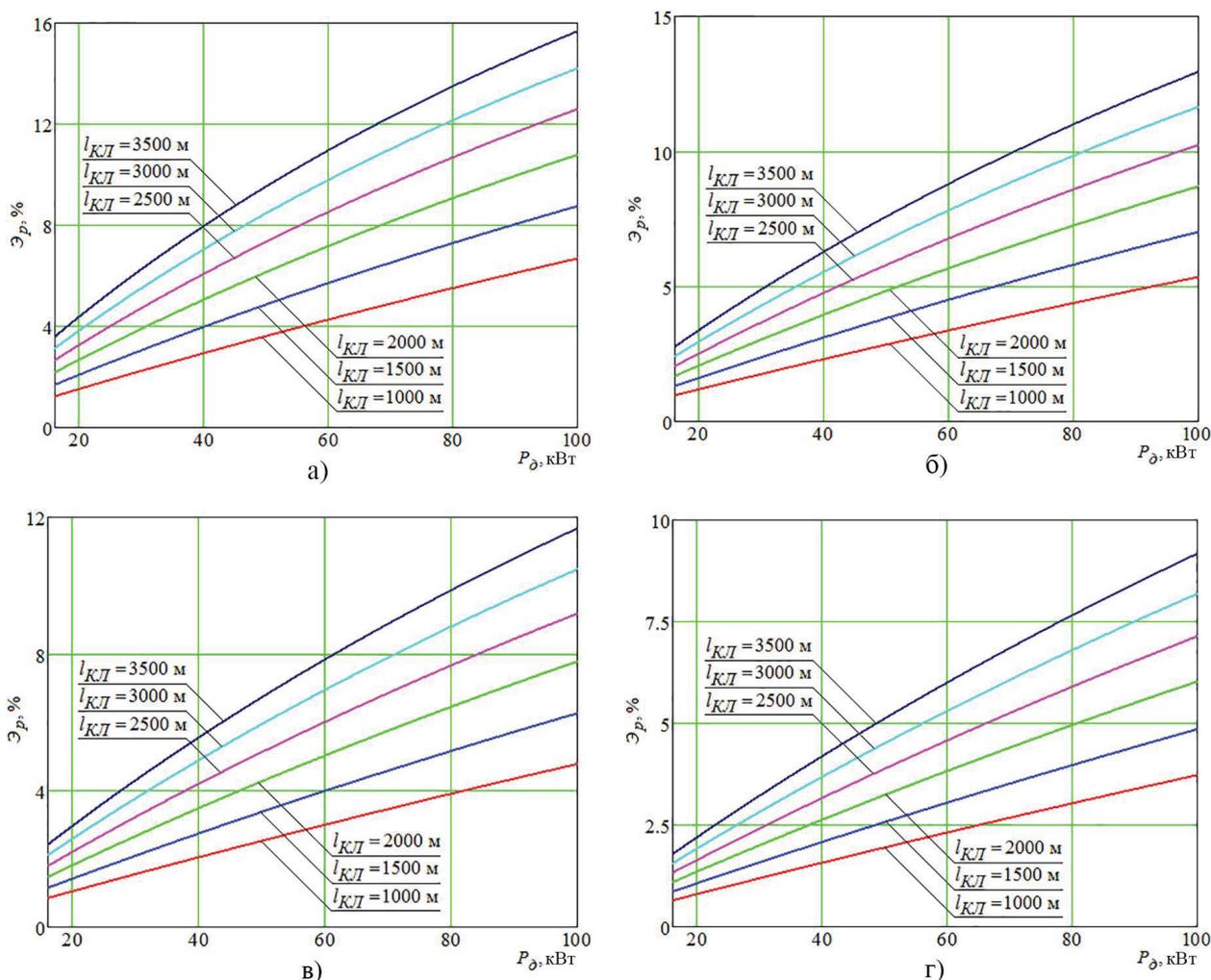


Рис. 4. Графики функций энергоэффективности \mathcal{E}_p :
 а) $S_{ка} = 16$ мм²; б) $S_{ка} = 21,5$ мм²; в) $S_{ка} = 25$ мм²; г) $S_{ка} = 35$ мм²

в токопроводящих жилах кабелей, в зависимости от выбранной номинальной мощности электродвигателя, зададимся несколькими значениями сечений и длин кабельных линий. В качестве питающего кабеля выбран кабель марки КПБП с медными жилами. Исходные данные для исследования и результаты расчетов сопротивлений кабельных линий представлены в табл. 2.

На рис. 4 представлены графики функций энергоэффективности при использовании внутрискважинных компенсаторов реактивной мощности в зависимости от мощности ПЭД с учетом потерь активной мощности в питающем трансформаторе и кабельной линии.

Величина коэффициента реактивной мощности погружного электродвигателя принята $\text{tg } \phi_g = 0,923$ при требуемом коэффициенте реактивной мощности сети в точке подключения ВКРМ $\text{tg } \phi_c = 0,33$. Выбор мощности компенсирующего устройства производился с учетом задания необходимых компенсационных токов в соответствии с выражением (10).

Обсуждение результатов. Анализ графиков (рис. 4) показал, что расчетное значение энергоэффективности \mathcal{E}_p при использовании внутрискважинных компенсаторов реактивной мощности варьируется от 0,6 до 15,8 % в зависимости от мощности погружного электродвигателя, длины и сечения кабельной линии. Установлено, что с уве-

личением длины питающего кабеля расчетное значение энергоэффективности возрастает и, наоборот, с увеличением сечения кабельной линии значение энергоэффективности снижается при той же мощности ПЭД и длине кабельной линии. Например, для УЭЦН, оснащенной погружным электродвигателем мощностью 60 кВт и внутрискважинным компенсатором мощностью 35,4 квар снижение потерь активной мощности в кабельной линией длиной 2000 м сечением токопроводящей жилы 16 мм² составило 5,3 кВт, а энергоэффективность составила 7,4 %.

Выводы. Использование технологии внутрискважинной компенсации реактивной мощности, с точки зрения повышения энергоэффективности механизированной добычи нефти установками электроцентробежных насосов, является целесообразным. Расчетный показатель энергоэффективности \mathcal{E}_p при внутрискважинной компенсации реактивной мощности варьируется от 0,6 до 15,8 % в зависимости от мощности погружного электродвигателя, длины и сечения кабельной линии.

Библиографический список

1. Российская Федерация. Законы. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федер. закон от 23 ноября 2009 г., № 261-ФЗ (по-

следняя редакция). Доступ из справ.-правовой системы «Консультант Плюс».

2. Кузнецова А. И., Постовалов А. И. Выявление потенциала энергосбережения в промышленных отраслях, в сфере ЖКХ и внутригородской транспортной системе // Транспортное дело России. 2014. № 5. С. 171–173.

3. Чернов С. С. Оценка влияния структуры источников финансирования на интегральные показатели проектов энергосбережения // Бизнес. Образование. Право. 2014. № 3 (28). С. 178–182.

4. Смирнов О. В., Варехов А. Г. Некоторые проблемы повышения эффективности энергосбережения // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2017. № 1. С. 120–125.

5. Ивановский В. Н., Сабиров А. А., Деговцов А. В. [и др.]. Вопросы энергоэффективности установок электроприводных центробежных насосов // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2016. № 4. С. 25–30.

6. Шевченко С. Д., Якимов С. Б., Ивановский В. Н. [и др.]. Разработка алгоритма расчета дебита нефтяных скважин при их эксплуатации УЭЦН // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2013. № 6. С. 90–91.

7. Невоструев В. А. Комплексный подход к энергоэффективности при добыче нефти УЭЦН // Инженерная практика. 2017. № 8. С. 28–32.

8. Ивановский В. Н. Энергетика добычи нефти: основные направления оптимизации энергопотребления // Инженерная практика. 2011. № 6. С. 18–26.

9. Якимов С. Б., Каверин М. Н., Тарасов В. П. О новых перспективах применения ПЭД с повышенным напряжением питания для снижения капитальных и операционных затрат // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2015. № 4. С. 34–38.

10. Гладких Т. Д., Сушков В. В., Сухачев И. С. Динамика функциональной надежности нефтепромысловых электрических сетей // Динамика систем, механизмов и машин. 2016. Т. 3, № 1. С. 76–80.

11. Сухачев И. С., Сидоров С. В., Сушков В. В. Совершенствование защиты от импульсных перенапряжений в системе «Трансформатор – питающий кабель – погружной электродвигатель» // Промышленная энергетика. 2017. № 9. С. 7–12.

12. Сухачев И. С., Сидоров С. В., Сушков В. В. Методика оценки энергии, воздействующей на изоляцию электрооборудования нефтяной скважины при импульсных перенапряжениях // Омский научный вестник. 2017. № 6 (156). С. 87–91.

13. Карпюк А. В. Энергоэффективные УЭЦН с вентильными электродвигателями // Инженерная практика. 2017. № 5. С. 14–19.

14. Махиня А. Система энергоэффективного дизайна // Нефтегазовая вертикаль. 2014. № 17-18. С. 84–86.

15. Тарасов В. П., Куряев С. В., Голубь И. М. Использование специализированного ПО для расчета энергопотребления на механизированном фонде скважин // Инженерная практика. 2016. № 3. С. 22–26.

16. Якимов С. Б. Современное состояние и перспективные направления снижения тепловых потерь в кабельных линиях УЭЦН большой мощности в ОАО «НК «Роснефть» // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2016. № 3. С. 40–46.

17. Копырин В. А. Индивидуальная компенсация реактивной мощности погружного асинхронного электродвигателя // Нефть и газ 2016: сб. тр. конф. М.: Издат. центр РГУ нефти и газа (НИУ) им. И. М. Губкина, 2016. С. 336–335. ISBN 978-5-91961-177-6.

18. Смирнов О. В., Копырин В. А. К вопросу об использовании внутрискважинных компенсаторов реактивной мощности // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2015. № 2. С. 68–70.

19. Пат. 145053 Российская Федерация, МПК G 05 F 1/70, H 02 J 3/18. Внутрискважинный компенсатор реактивной мощности / Копырин В. А., Гара Н. В., Портнягин А. Л., Смирнов О. В. № 2014116437/07; заявл. 23.04.14; опубл. 10.09.14, Бюл. № 25.

20. Сипайлов В. А. Оптимизация режимов работы установок электроцентробежных насосов механизированной добычи нефти: дис. ... канд. техн. наук. Томск, 2009. 196 с.

КОПЫРИН Владимир Анатольевич, специалист отдела развития научных инициатив.

SPIN-код: 6256-5146

AuthorID (РИНЦ): 770260

Адрес для переписки: kopurinva@gmail.com

СМИРНОВ Олег Владимирович, доктор технических наук, профессор (Россия), профессор кафедры «Электроэнергетика».

SPIN-код: 6005-2792

AuthorID (РИНЦ): 722786

Адрес для переписки: oleg_smirnov_1940@mail.ru

ПОРТНЯГИН Алексей Леонидович, кандидат технических наук, доцент (Россия), заведующий кафедрой «Электроэнергетика».

SPIN-код: 4740-4784

AuthorID (РИНЦ): 413641

Адрес для переписки: pal1979@mail.ru

Для цитирования

Копырин В. А., Смирнов О. В., Портнягин А. Л. Оценка энергетической эффективности использования внутрискважинных компенсаторов реактивной мощности // Омский научный вестник. 2018. № 2 (158). С. 78–83. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-158-78-83.

Статья поступила в редакцию 08.02.2018 г.

© В. А. Копырин, О. В. Смирнов, А. Л. Портнягин