

Богданов Евгений Петрович

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Доцент кафедры «Электромеханические комплексы и материалы»
Кандидат технических наук, доцент
Evgeny P. Bogdanov
National Research Tomsk Polytechnic University
Associate Professor of Department "Electromechanical Systems and Materials"
E-Mail: epbogdanov@mail.ru

Рикконен Сергей Владимирович

Национальный исследовательский Томский государственный университет
Ведущий инженер
Кандидат технических наук, доцент
Sergey V. Rikkonen
National Research Tomsk State University
Principal Engineer
E-Mail: Rikk2@yandex.ru

05.14.00 – Энергетика

Применение энергоэффективного привода станков-качалок

Use of energy efficient drive for pumping units

Аннотация: Обосновано предложение по замене асинхронных двигателей приводов ШГНУ на синхронные двигатели с регулированием возбуждения (регулированием коэффициента мощности) для повышения энергоэффективности привода станков-качалок. Приведен пример расчета потерь электроэнергии в системе электроснабжения станков-качалок, доказывающий эффективность данного мероприятия.

Abstract: The proposal of changing the asynchronous motor of drives of sucker-rod pumps (SRP) on synchronous motors with the regulation of excitation (power factor control) to increase the energy efficiency of pumping units drives justified. An example of calculation of energy losses in the power supply system of pumping units, proving the effectiveness of this event.

Ключевые слова: Энергия, электродвигатель, станок-качалка, энергоэффективность, потери, ток, мощность.

Keywords: Energy; electrical motor; pumping unit; energy efficiency; losses; current; power.

В условиях рыночной экономики успешная конкуренция возможна при минимальных затратах на производство продукции. Применительно к рассматриваемым вопросам это касается затрат на электроэнергию при добыче нефти. С уменьшением дебита скважин появляется необходимость применения дополнительных энергозатратных технологических операций, что приводит к увеличению себестоимости тонны нефти. В связи с этим важное значение имеет изыскание путей снижения энергопотребления за счет внедрения энергосберегающей техники и технологии.

Основная энергия в распределительных системах электроснабжения станков-качалок расходуется в асинхронных двигателях привода.

При переменной циклической нагрузке к.п.д. двигателя привода станка-качалки за цикл нагрузки описывается выражением [1]:

$$\eta_{\text{п}} = \eta_{\text{э}} / (\eta_{\text{э}} + (1 - \eta_{\text{э}}) \cdot K_{\text{ф}}), \quad (1)$$

где $\eta_{\text{э}}$ – к.п.д. двигателя, соответствующий среднеквадратичной электрической мощности, $K_{\text{ф}}$ - коэффициент формы графика нагрузки. Выражение (1) показывает, что $\eta_{\text{п}}$ тем сильнее зависит от $K_{\text{ф}}$, чем меньше $\eta_{\text{э}}$.

Эксплуатационный коэффициент мощности при циклической нагрузке определяется выражением [1]:

$$\cos \varphi_{\text{ц}} = \cos \varphi_{\text{э}} \cdot \left(\left(\eta_{\text{э}} / K_{\text{ф}} \right) - \eta_{\text{э}} + 1 \right), \quad (2)$$

где $\cos \varphi_{\text{э}}$ – коэффициент при постоянной нагрузке, равной среднеквадратичной за цикл.

Приведенные энергетические коэффициенты при переменной циклической нагрузке крайне малы. При полном использовании двигателя по нагреву к.п.д. цикла при переходе от уравновешенного станка к неуравновешенному снижается от 0,834 до 0,65, а $\cos \varphi_{\text{ц}}$ – от 0,605 до 0,312. В этом случае растут потери не только в приводах, но и в распределительной сети энергосистемы. Энергетические коэффициенты уменьшаются в большей степени, если двигатель не полностью загружен или неправильно выбран.

Выбор мощности двигателя производится из наихудших условий – циклический режим работы при несбалансированном станке-качалке, коэффициент формы графика нагрузки $K_{\text{ф}} = 3,94$ [1]. Кратность пускового момента двигателя должна превышать 2.

Методика выбора мощности двигателя существует. Несмотря на это, почти на всех нефтяных месторождениях мощности асинхронных двигателей существенно завышены, что приводит к дополнительным потерям [1].

Некоторые возможные мероприятия по повышению энергоэффективности приводов станков качалок:

- балансировка станка-качалки;
- снижение напряжения до 0,9 от номинального для малозагруженных двигателей;
- устранение режима недогруза асинхронных двигателей;
- отключение трансформаторов при выходе скважины в ремонт;
- приведение мощностей установленных трансформаторов к режиму оптимального энергопотребления;
- замена всех асинхронных двигателей на *синхронные двигатели с регулированием возбуждения (СДРВ)*.

Решению проблемы энергосбережения способствует применение *синхронных двигателей (СД)*, создающих в питающей сети реактивные токи, опережающие по фазе напряжение. В итоге сеть разгружается от реактивной (индуктивной) составляющей тока, повышается коэффициент мощности на данном участке сети, что ведет к уменьшению тока в этой сети и, как следствие, к энергосбережению [2, 3].

Основными достоинствами СДРВ являются:

- возможность получения оптимального режима по реактивной энергии;
- СДРВ имеют более высокий к.п.д. по сравнению с асинхронными двигателями (АД);
- СДРВ имеют высокую перегрузочную способность;
- скорость вращения СДРВ остается неизменной при любой нагрузке на валу в пределах его перегрузочной способности;
- за счет отсутствия реактивных токов в распределительной системе энергоснабжения существенно снижаются потери напряжения у потребителя, особенно в переходных режимах;
- СДРВ могут выполнять роль стабилизаторов напряжения.

В статье [3] анализировалась система снабжения куста из шести уравновешенных станков-качалок, определялись потери энергии в приводах и в распределительной сети, определялись общие к.п.д. при циклической переменной нагрузке приводов с асинхронными двигателями. В работе [4] – то же, но с асинхронными двигателями и с синхронными двигателями, работающими в режиме перевозбуждения.

Проанализируем эту же систему снабжения, с таким же характером нагрузки, но с приводом от синхронных двигателей с регулированием возбуждения.

Распределительная сеть с шестью уравновешенными приводами СДРВ станков-качалок (рис. 1). Параметры СДРВ: $P_{ад} = 22$ кВт; $U_{л} = 380$ В; $\eta_{ад} = 93,0$ %; $\cos\varphi = 1$.

По этой схеме коэффициент мощности СДРВ максимален ($\cos\varphi = 1$), к.п.д. СДРВ максимален $\eta > 92$ %.

Характер нагрузки приводов станков-качалок переменный, двигатель периодически работает в номинальном режиме и, практически, на холостом ходе. Зададим переменную нагрузку станка-качалки в виде синусоиды, амплитудное значение которой равно 22 кВт [3].

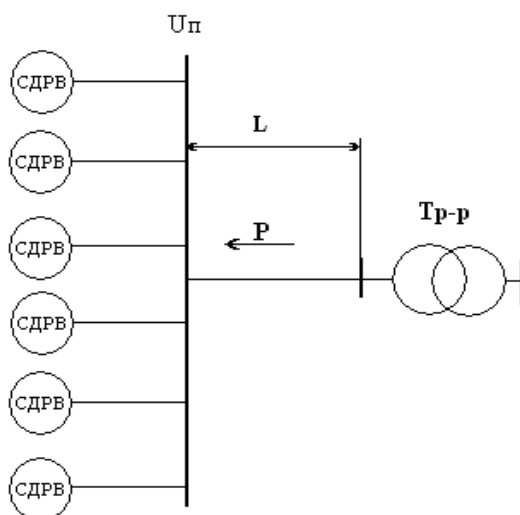


Рис. 1. Схема распределительной сети с приводами СДРВ

Рассмотрим самый тяжелый с энергетической точки зрения случай, когда все шесть приводов работают синхронно и синфазно. В этом случае все нагрузки синхронно и синфазно суммируются, нагружая распределительную сеть по максимальным значениям (рис. 2).

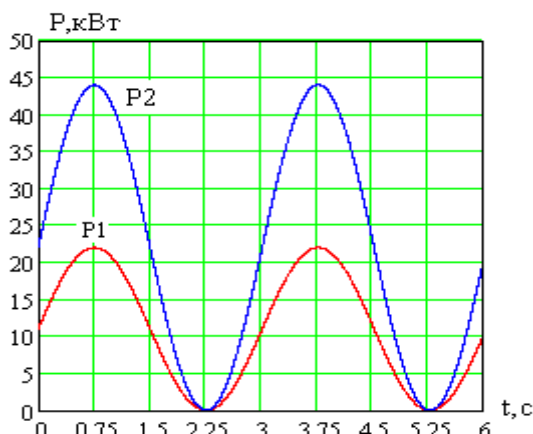


Рис. 2. Зависимость активной мощности станка качалки во времени.
P1 – мощность одного двигателя, P2 – мощность двух двигателей

Длина линии от нагрузки до трансформаторной подстанции $L = 500\text{м}$.

Активное сопротивление фазы линии $R_{л} = 0,094\ \text{Ом}$. Индуктивное сопротивление фазы линии $X_{л} = 0,15\ \text{Ом}$.

К.п.д. синхронного двигателя зависит от величины нагрузки двигателя. Коэффициент мощности в СДРВ регулируется током возбуждения в зависимости от величины нагрузки и равен единице (рис. 3).

Временные зависимости потерь в двигателях СДРВ и в распределительных сетях имеют далеко не гармонический характер (рис. 4). Суммарные потери в функции времени рассчитываются по формуле:

$$\Delta P_{\text{СИС}}(t) = \Delta P_{\text{СЕТ}}(t) + \Delta P_{\text{ДВ}}(t) = \left(\frac{P_{\text{ДВ}\Sigma}(t)}{\eta_{\text{ДВ}}} \right)^2 \cdot \left(\frac{R_{л}}{U_{л}^2} \right) + P_{\text{ДВ}\Sigma}(t) \times (1 - \eta_{\text{ДВ}}) \quad (3)$$

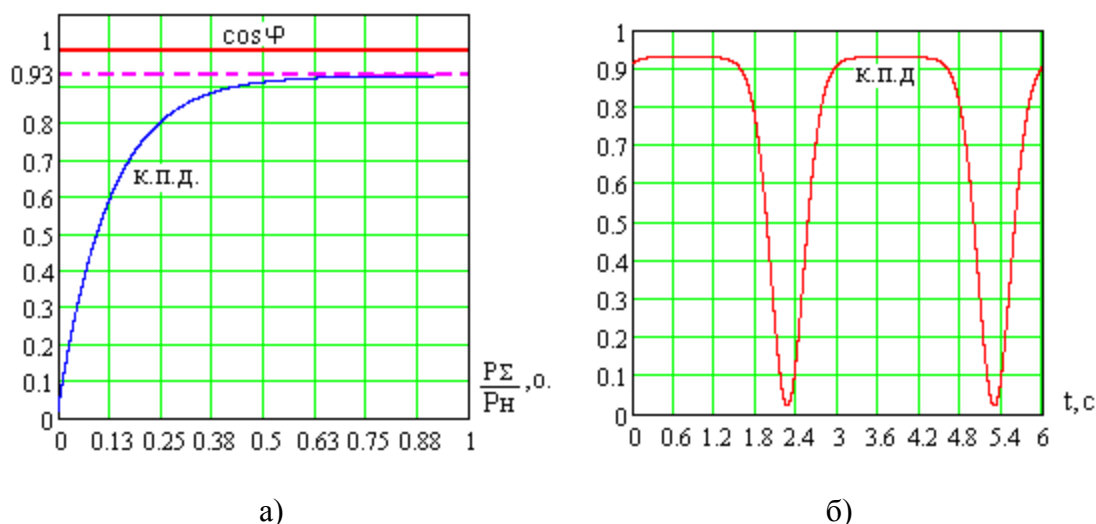


Рис. 3. а) – зависимость к.п.д. и коэффициента мощности СДРВ двигателя от изменения нагрузки. б) – временная зависимость к.п.д. и коэффициента мощности СДРВ синхронного двигателя

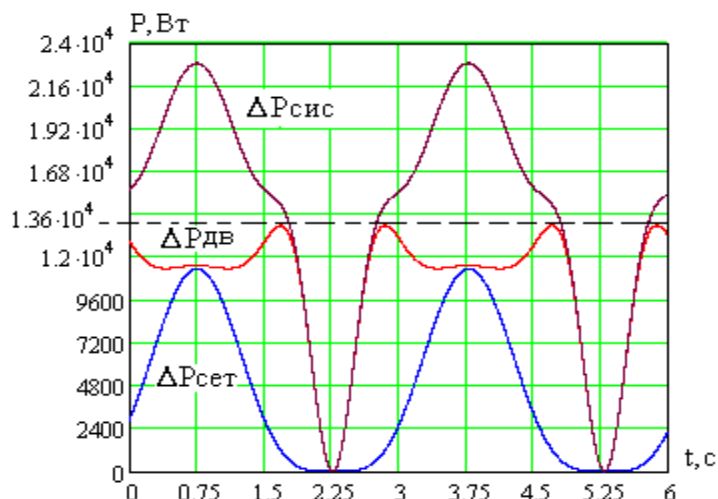


Рис. 4. Временная зависимость потерь активной мощности СДРВ двигателей, распределительной сети и системы в целом с учетом нелинейной зависимости к.п.д. от нагрузки ($\cos\phi = 1$)

Среднее значение потерь активной мощности системы электроснабжения куста с шестью станками-качалками с приводом СДРВ составляет $\Delta P_{\text{ср}} = 13,6$ кВт. Потери энергии в год $\Delta W = \Delta P_{\text{ср}} \cdot 8760 = 119136$ кВт·час. Потери за год на один двигатель $\Delta W_{\text{дв}} = 19856$ кВт·час. К.п.д. системы $\eta_{\text{сис}} = 90,65$ %.

Потери напряжения в воздушных линиях

Потери напряжения в распределительной линии системы определяются только активной мощностью нагрузки, так как реактивная мощность в линии равна нулю.

$$U_{\Pi}(t) = \left(P_{\text{дв}\Sigma}(t) \cdot R_{\text{л}} / (\sqrt{3}U_{\text{л}}) \right) \quad (4)$$

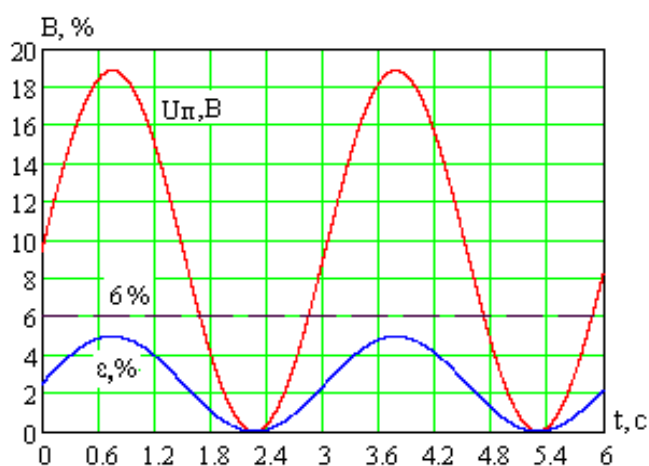


Рис. 5. Временная зависимость потерь напряжения в воздушной распределительной линии. Допустимые отклонения напряжения $4 \div 6$ %

Распределительная сеть с синхронными приводами станков-качалок имеет отклонения напряжения в пределах допустимых значений (рис. 5). При этом нет необходимости

применять компенсирующие устройства (КРМ), есть возможность уменьшить сечение проводов, снизить мощность понижающих трансформаторов. Вся энергосистема будет работать существенно устойчивее.

В табл. 1 приведена экономическая оценка эффективности применения синхронных двигателей с регулированием возбуждения СДРВ по сравнению с применением асинхронных двигателей в уравновешенных станках-качалках в составе: шесть приводов качалок, мощность каждого двигателя $P = 22$ кВт, длина распределительной линии $L = 500$ м [3,4].

Таблица 1

Экономическая оценка эффективности СДРВ

Тип двигателей в приводах.	Потери энергии в год, кВт·час.	Стоимость сум. потерь энергии / на один двигатель (руб.). Тариф (3 руб/кВт·час).	К.п.д. системы в целом, %.
Асинхронный привод (6 АД)	197 976	593 928 / 98 988	85,38
3 АД и 3 СДРВ в режиме компенсации РМ	148 920	446 760 / 74 460	88,59
6 СДРВ	119 136	357 408 / 59 568	90,65

Основным недостатком синхронных двигателей считают наличие контактных колец. Но при частотах вращения, меньших 1500 об/мин этот недостаток не так заметен (работают крановые приводы с асинхронными двигателями с фазным ротором в течение десяти лет в максимально тяжелых условиях). Экономическая эффективность столь существенна, что наличие контактных колец в данном случае является далеко не главным.

Развитая пусковая обмотка СДРВ позволяет осуществить прямой асинхронный пуск, кратность пускового момента $2 \div 2,2$, кратность максимального момента $2,4 \div 2,5$.

За счет регулирования коэффициента мощности СДРВ, высокого к.п.д. СДРВ, снижения потерь в распределительной сети, растет к.п.д. всей распределительной системы (на 5,27 %) по сравнению с применением асинхронных двигателей. Эффективность на один двигатель в год составляет 39 420 руб. (стоимость одного СДРВ, табл. 1). Срок окупаемости мероприятия по замене асинхронных двигателей на СДРВ равен одному году.

Выводы

1. Применение СДРВ в системах энергоснабжения приводов с переменной циклической нагрузкой уравновешенных станков-качалок увеличивает к.п.д. всей распределительной системы на 5,27 % по сравнению с применением асинхронных двигателей. В неуравновешенных станках-качалках этот эффект будет более существенным.
2. Срок окупаемости мероприятия по замене асинхронных двигателей в приводах станков-качалок на СДРВ равен одному году.
3. Применение СДРВ в системах энергоснабжения приводов с переменной циклической нагрузкой существенно снижает потери напряжения в распределительной линии системы, что повышает устойчивость энергосистемы, улучшает пуск двигателей, снижает установленную мощность трансформаторов и позволяет снизить сечение линий распределительной системы [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Блантер С.Г., Суд И.И. Электрооборудование для нефтяной промышленности. Изд. «Недра». - М. 1973. С. 242-252.
2. Богданов Е.П., Рикконен С.В., Федянин А.Л. Повышение энергоэффективности распределительных сетей промышленных предприятий и объектов ЖКХ [Электронный ресурс] // Наукоедение. - 2013 - №. 1. - С. 1-8. - Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/64tvn113.pdf>, свободный – Загл. с экрана.
3. Богданов Е.П., Рикконен С.В., Номоконова Ю.А. Потери мощности предприятия при переменной нагрузке [Электронный ресурс] // Наукоедение. - 2013 - №. 3. - С. 1-7. - Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/09tvn313.pdf>, свободный – Загл. с экрана.

Рецензент: Лукутин Борис Владимирович. Докт. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий» Национального исследовательского Томского политехнического университета.