

ISSN 2220-3699

**СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД
И ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА**

*ТРУДЫ ВОСЬМОЙ ВСЕРОССИЙСКОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ*

**НОВОКУЗНЕЦК
20-21 НОЯБРЯ 2018 г.**

УДК 621.34.001.2 (0758)

А 18

Автоматизированный электропривод и промышленная электроника: Труды Восьмой Всероссийской научно-практической конференции / Под общей редакцией В.Ю. Островляничка. — Новокузнецк: изд-во СибГИУ, 2018 г. — 177 с., ил.

ISSN 2220-3699

Сборник содержит труды VIII Всероссийской научно-практической конференции. В докладах представлены результаты научных исследований и практических приложений по проектированию, созданию математических моделей, теоретических основ энергосберегающего автоматизированного электропривода с традиционным и микропроцессорным управлением, решению проблем электроснабжения электрических установок и учета электрической энергии. Рассматриваются решения, ориентированные на применение в производстве и учебном процессе.

Сборник предназначен для научных работников, инженерно-технических работников предприятий, преподавателей вузов, аспирантов и студентов.

Под общей редакцией: д.т.н., проф. Островляничка В.Ю.

ISSN 2220-3699

Сибирский государственный
индустриальный университет, 2018

ВВЕДЕНИЕ

Непрерывное развитие и совершенствование технологических процессов, требование повышения их технико-экономических показателей и безопасности труда вызывают необходимость совершенствования и систем электропривода. Существенную роль при этом приобретает, построенный с применением микропроцессорных средств управления, электропривод как энергетическая основа и инструмент совершенствования традиционных и современных технологий. Современный электропривод — сложнейший электромеханический комплекс, выход из строя которого приводит к нарушению рабочего процесса и может быть причиной несчастных случаев. Поэтому дальнейшее совершенствование систем электропривода невозможно без прогресса в области силовой и слаботочной электроники, вычислительной техники. Возможность использования микропроцессорной техники в системах управления является предпосылкой создания принципиально новых электромеханических систем, с новым более высоким уровнем автоматизации электропривода на основе микропроцессорного управления, эффективного как для его потребителей, так и для проектировщиков и изготовителей, и пока, к сожалению, не достигнутая в полной мере отечественной наукой.

Поэтому особое внимание уделяется не только прикладным применениям, но и также решениям, ориентированным на применение в учебном процессе.

Конференция привлекла внимание специалистов из различных городов России и ближнего зарубежья.

Реквизиты оргкомитета: 654007 г. Новокузнецк Кемеровской области, ул. Кирова, 42. Телефоны: (3843) 78-44-14, (3843)74-89-87, факс (3843) 46-31-74, (3843)74-89-87; e-mail: confaep2018@mail.ru

СЕКЦИЯ 1

Теоретические аспекты и методология построения
современного электропривода

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА КОМБИНИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ МАШИНЫ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ

**В. Ю. Островляничик, И. Ю. Поползин, Д. А. Маршев,
А. В. Толстых, А. В. Дроздова**

Сибирский государственный индустриальный университет, г.
Новокузнецк

Аннотация: в статье рассматриваются требования, предъявляемые к электроприводу шахтных подъемных установок (ШПУ). Предлагается вариант модернизации ШПУ на основе асинхронных двигателей с фазным ротором по схеме машины двойного питания с комбинированным управлением, позволяющей получить большой диапазон регулирования скорости с сохранение перегрузочной способности.

Ключевые слова: шахтная подъемная установка, машина двойного питания, асинхронный двигатель с фазным ротором, асинхронный режим, синхронный режим.

Электропривод шахтной подъемной установки (ШПУ) должен обеспечивать формирование требуемой тахограммы движения сосудов в стволе, а также требуемую диаграмму движущих усилий (моментов). Вид тахограммы зависит от типа подъемных сосудов. Величины скоростей и ускорений на участках тахограммы, регламентируются требованиями безопасности подъема и технологическими ограничениями.

Ключевыми особенностями электропривода ШПУ, отличающими его от электроприводов других механизмов, являются [1]:

- 1) Работа привода во всех квадрантах механической характеристики;
- 2) Необходимость регулирования скорости в диапазоне 30:1 и выше;
- 3) Необходимость обеспечения режима растормаживания;

- 4) Необходимость работы при $\omega = 0$;
- 5) Необходимость сохранения перегрузочной способности и обеспечения требуемого движущего усилия на всем диапазоне регулирования скорости;
- 6) Необходимость непрерывного регулирования скорости в соответствии с заданными параметрами.

Одним из наиболее перспективных вариантов модернизации существующих электроприводов подъемных установок на основе асинхронных двигателей с фазным ротором (АД ФР) является включение АД ФР по схеме машины двойного питания с соответствующим управлением [2]. При этом система управления таким электроприводом должна обеспечивать следующие режимы работы машины [3]:

- 1) Асинхронный, в котором частота добавочного напряжения на роторе равна частоте собственной ЭДС ротора;
- 2) Синхронный, в котором частота добавочного напряжения на роторе задается независимо и не равна частоте собственной ЭДС ротора;
- 3) Режим, аналогичный изменению активного сопротивления ротора [4].

Необходимость во всех трех режимах работы машины обусловлена необходимостью глубокого регулирования скорости машины с сохранением перегрузочной способности на всем диапазоне регулирования скорости. Реализация перечисленных режимов требует включения специального преобразователя напряжения в цепь ротора. Функциональная схема привода представлена на рисунке 1.

На рисунке 1 приняты следующие условные обозначения: М – асинхронный двигатель с фазным ротором; Тр – трансформатор; БУРПЧ – блок управления роторным преобразователем частоты; БУСПЧ – блок управления сетевым преобразователем частоты; БСП – блок синхронизации преобразователей; БУН – блок управления нагрузкой; ИУС – информационно-управляющая система; К1, К2, К3 – ключи.

Приведенная на рисунке 1 схема в соответствии с предложенным алгоритмом функционирования [4] работает следующим образом:

СЕКЦИЯ 1. Теоретические аспекты и методология
построения современного электропривода

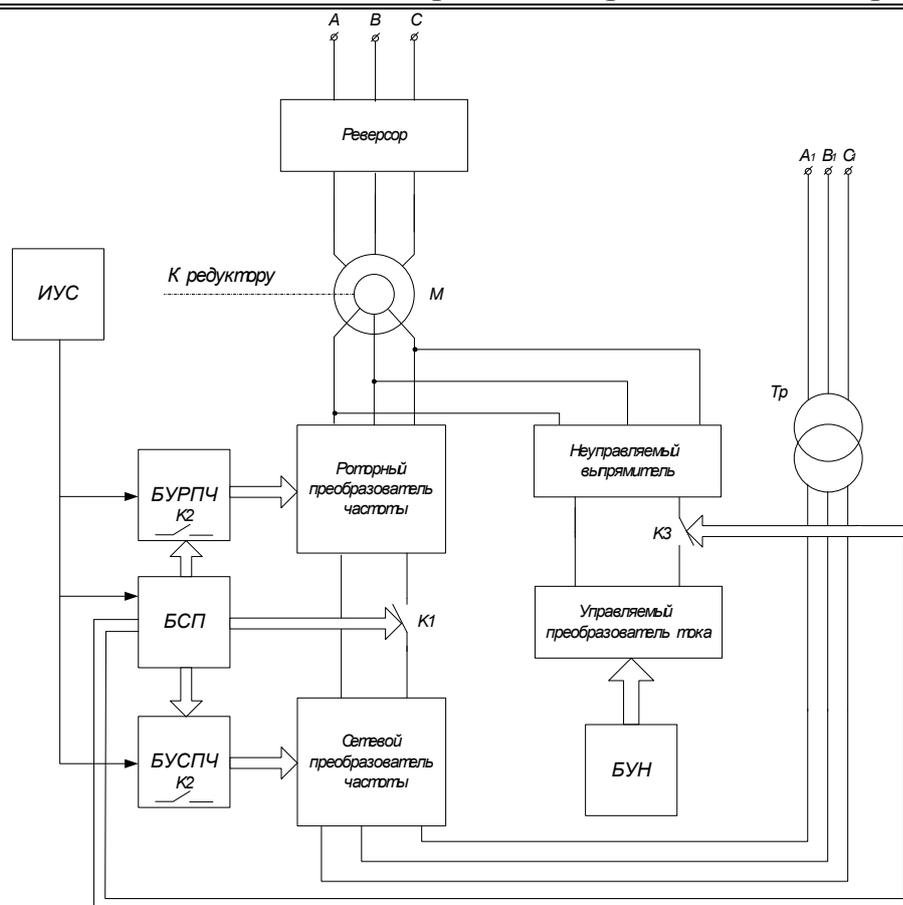


Рисунок 1 – Функциональная схема комбинированного электропривода ШПУ на основе машины двойного питания

1) При заторможенном роторе ключ К1 разомкнут, К2 в положении 1, и на ротор не подается добавочного напряжения. Ключ К3 в положении 2, в цепь ротора включен неуправляемый выпрямитель, в цепь которого включен управляемый преобразователь тока (УПТ). Регулирование момента двигателя происходит изменением в УПТ выпрямленного тока ротора. Такое регулирование эквивалентно изменению активного сопротивления роторной цепи.

2) После снятия механического тормоза и начала движения ток в цепи УПТ уменьшается и машина начинает разгоняться. При выходе на скорость $0,1\omega_0$ регулирование с помощью УПТ становится нецелесообразным, поэтому необходимо переключить МДП в синхронный режим. Для этого предварительно сетевой ПЧ переводится в выпрямительный режим, роторный ПЧ – в инверторный, частота напряжения на выходе роторного ПЧ устанавливается равной текущей частоте ЭДС ротора, амплитуда

напряжения устанавливается по величине требуемой перегрузочной способности. По достижении заданной пороговой скорости К3 переключается в положение 1, замыкается К1, подключая роторный ПЧ к цепи ротора, К2 переключается в положение 2.

3) Частота напряжения на выходе ПЧ ротора непрерывно уменьшается при поддержании заданной амплитуды, при этом машина разгоняется в синхронном режиме. При необходимости разгона на полную скорость разгон в синхронном режиме производится до скорости $0,5\omega_n$. По ее достижении К2 переключается в положение 1, К1 замкнут, К3 в положении 1. Частота напряжения на роторе начинает задаваться в зависимости от текущей частоты собственной ЭДС ротора. Амплитуда напряжения на роторе начинает непрерывно уменьшаться до выхода машины на заданную скорость. При выходе на заданную скорость машина работает в асинхронном режиме.

4) При начале замедления амплитуда напряжения на роторе начинает увеличиваться, машина начинает замедляться, частота добавочного напряжения на роторе равна частоте собственной ЭДС ротора.

5) После достижения машиной скорости $0,5\omega_n$ машина переводится в синхронный режим, амплитуда добавочного напряжения постоянна, частота добавочного напряжения задается независимо от частоты собственной ЭДС ротора. При уменьшении частоты добавочного напряжения машина замедляется. Замедление в синхронном режиме возможно до полного останова машины и наложения механического тормоза.

Таким образом, схема, приведенная на рисунке 1, позволяет реализовать все этапы алгоритма функционирования электропривода, предложенного в [4].

Примерная упрощенная силовая схема предлагаемой системы приведена на рисунке 2.

На рисунке 2 приняты следующие обозначения: ИУС – информационно-управляющая система, БУ1-БУ3 – блоки управления, БУРПЧ, БУСПЧ – блоки управления роторным и сетевым преобразователями частоты соответственно, БУН – блок управления нагрузкой, Т – механический тормоз.

СЕКЦИЯ 1. Теоретические аспекты и методология
построения современного электропривода

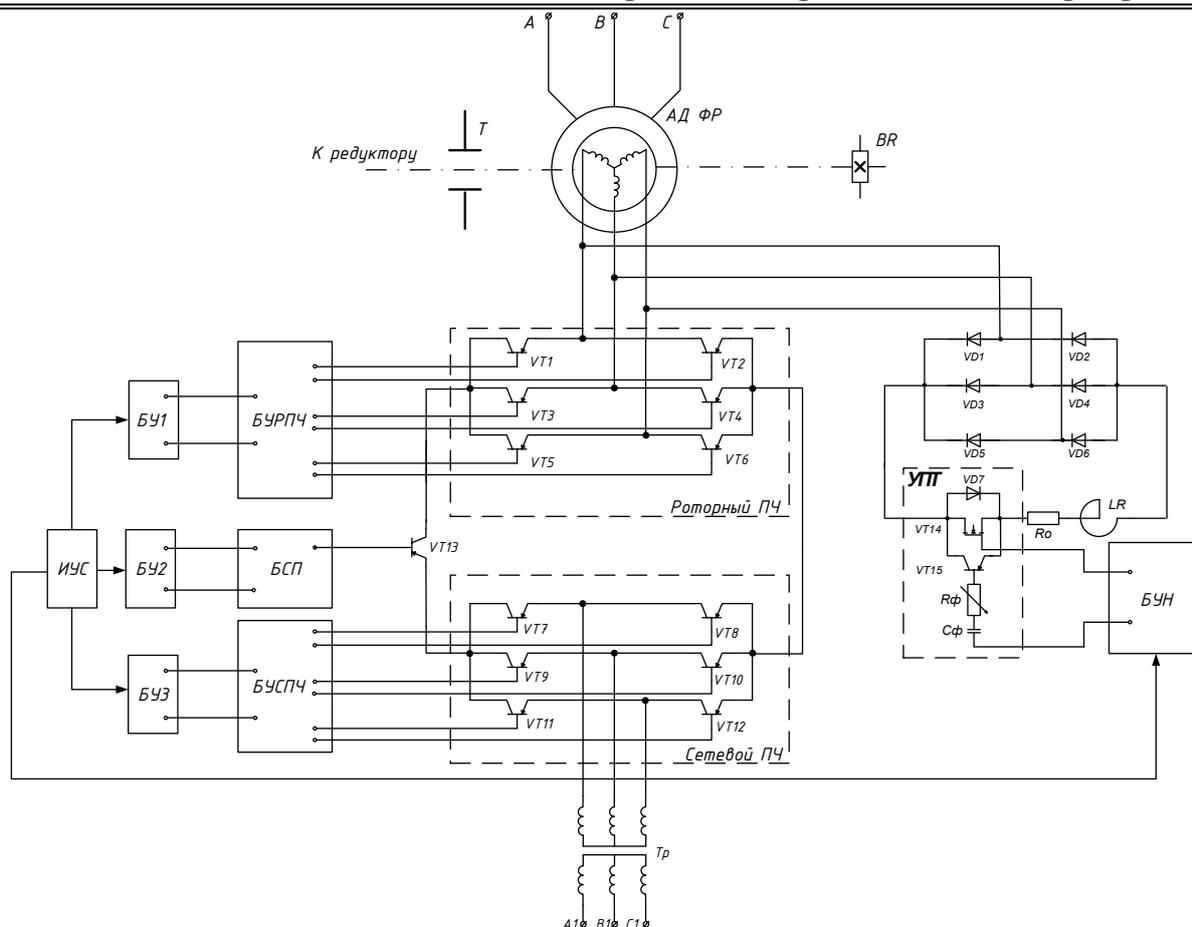


Рисунок 2 – Примерная силовая схема предлагаемого электропривода ШПУ на основе МДП

Приведенная схема работает следующим образом. При необходимости реализации режима прямого управления моментом машины в диапазоне скоростей $0 \leq \omega \leq 0,1\omega_0$ транзистор VT_{13} заперт, VT_{14} и VT_{15} открыты. Управляя продолжительностью импульсов на базах VT_{14} и VT_{15} можно добиться имитации изменения активного сопротивления ротора. Уменьшение продолжительности импульсов эквивалентно уменьшению активного сопротивления ротора, поэтому двигатель разгоняется. После достижения скорости $0,1\omega_0$ VT_{14} и VT_{15} запираются полностью, VT_{13} отпирается, роторный ПЧ работает в инверторном режиме, сетевой – в выпрямительном, частота выходного напряжения роторного ПЧ изменяется независимо от частоты собственной ЭДС ротора. При уменьшении частоты на выходе роторного ПЧ привод разгоняется. По достижении скорости $\omega_{кр}$ частота напряжения на выходе ПЧ устанавливается равной частоте собственной ЭДС ротора, рассчитываемой по

выражению $f_R = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} f_S$. При работе машины в установившемся режиме на заданной скорости роторный преобразователь переводится в выпрямительный режим, а сетевой – в инверторный. При этом мощность скольжения машины за вычетом потерь может быть рекуперирована в сеть А1-В1-С1. Торможение осуществляется переключением режимов в обратном порядке. При необходимости реализации торможения противовключением или торможения привода в режиме свободного выбега роторный преобразователь переключается в выпрямительный режим, а сетевой – в инверторный.

Таким образом, показанная на рисунках 1 и 2 схема электропривода ШПУ на основе МДП позволяет добиться большого диапазона регулирования скорости двигателя с сохранением требуемой перегрузочной способности на всем диапазоне регулирования скорости. Часть схемы, реализующая имитацию изменения активного сопротивления цепи ротора, может быть также использована как резервная для реализации движения подъемного сосуда в аварийных режимах.

Библиографический список

1. Механические характеристики машины двойного питания и ее применение в электроприводе шахтных подъемных установок / В. Ю. Островляничик, И. Ю. Поползин, Д. А. Маршев // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов : научный журнал. – 2018 . – № 4. - С. 255-261.
2. Островляничик В. Ю. Механические характеристики машины двойного питания в асинхронном режиме и перспективы его применения в электроприводе рудничных машин / В. Ю. Островляничик, И. Ю. Поползин, В. А. Кубарев, Д. А. Маршев // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2017 . – №3. - с. 298-304.
3. Онищенко Г. Б. Асинхронные вентильные каскады и двигатели двойного питания / Г. Б. Онищенко, И. Л. Локтева. – М.: Энергия, 1979. – 200 с.
4. Алгоритм функционирования электропривода шахтной подъемной установки на основе машины двойного питания с

комбинированным управлением / В. Ю. Островлянчик, И. Ю. Поползин, В. А. Кубарев // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов : научный журнал. – 2018 . – № 4. - С. 348-353.

УДК 621.313.333.1

РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ
АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ И
РОТОРНОЙ СТАНЦИЕЙ И МАШИНЫ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ С
УПРАВЛЯЕМЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ТОКА В ЦЕПИ
РОТОРА

**В. Ю. Островлянчик, И. Ю. Поползин, А. В. Толстых,
А. В. Дроздова**

*Сибирский государственный индустриальный университет, г.
Новокузнецк*

Аннотация: в статье рассматривается расчет механических характеристик для АД ФР с роторной станцией и МДП с УПТ в роторе, предлагается использование уточненных формул для такого расчета.

Ключевые слова: асинхронный двигатель с фазным ротором, машина двойного питания, механические характеристики, сопротивление ротора, формула Клосса.

Основной проблемой применения машины двойного питания в электроприводах с большим диапазоном регулирования скорости является реализация растормаживания и работа машины после него на малой скорости [1]. Существующие реализации электроприводов на базе машины двойного питания предполагают использование для растормаживания добавочных резисторов в роторной цепи (роторной станции) [2], что усложняет схему управления и значительно снижает надежность привода. При этом схема электропривода с добавочными активными сопротивлениями в цепи ротора обладает оптимальными

СЕКЦИЯ 1. Теоретические аспекты и методология
построения современного электропривода

пусковыми характеристиками, поскольку изменение активного сопротивления ротора не вызывает изменения критического момента, и, следовательно, перегрузочной способности, что позволяет реализовать режим растормаживания.

Сохранить достоинства регулирования скорости МДП изменением активного сопротивления ротора можно при использовании имитации его изменения. Схема электропривода, реализующая такой режим, наряду с асинхронным и синхронным режимами, приведена на рисунке 1.

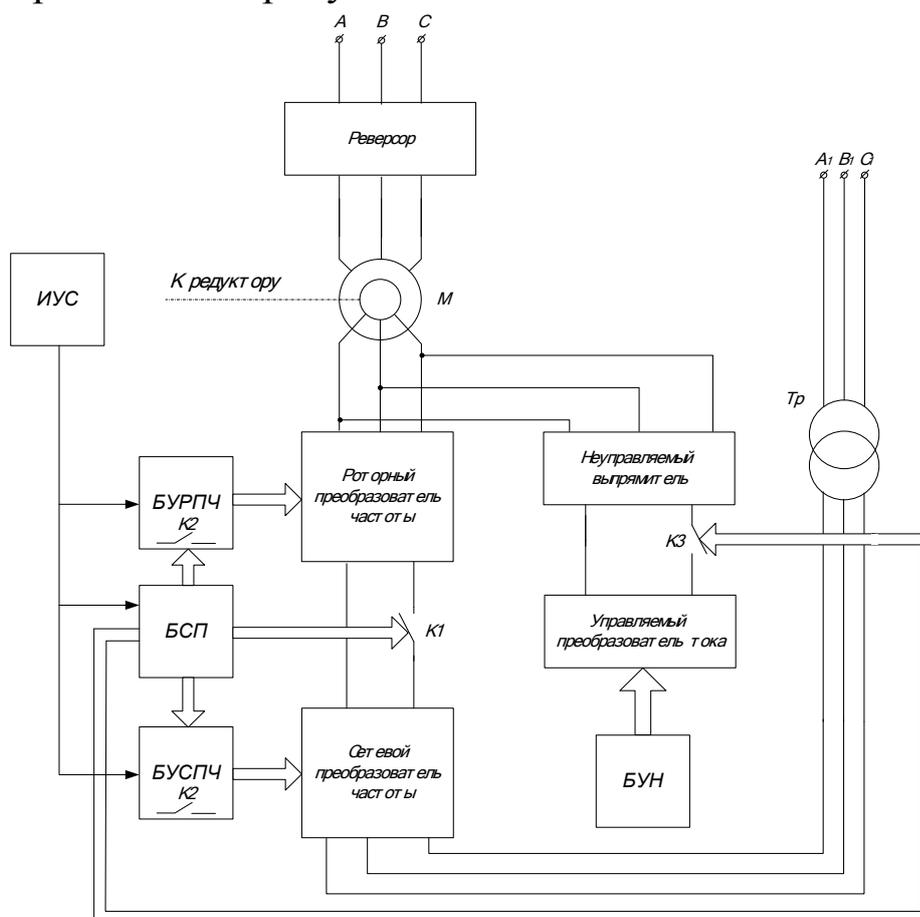


Рисунок 1 – Функциональная схема комбинированного электропривода ШПУ на основе машины двойного питания

В этом случае уравнение механической характеристики МДП можно записать в том же виде, что и для асинхронного двигателя без источника добавочного напряжения в роторе:

$$M = \frac{3U_S^2 k^2 R_{R\Sigma}}{\omega_0 s \left[\left(R_S + k^2 \frac{R_{R\Sigma}}{s} \right)^2 + X_K^2 \right]}, \quad (1)$$

где U_s - напряжение на статоре машины; k - коэффициент трансформации машины; $R_{R\Sigma}$ - суммарное активное сопротивление роторной цепи; ω_0 - скорость идеального холостого хода машины; s - скольжение; R_s - активное сопротивление статорной цепи; X_K - реактивное сопротивление короткого замыкания машины. При этом в (1) $R_{R\Sigma}$ зависит от скважности отпираания силового ключа КЗ.

Для определения критического скольжения необходимо найти экстремум выражения (1). Выражение для критического скольжения примет вид:

$$s_k = \frac{k_T^2 R_{R\Sigma}}{\sqrt{R_s^2 + X_K^2}}. \quad (2)$$

Из (2) следует, что при изменении активного сопротивления ротора и пренебрежении величиной активного сопротивления статора выполняется равенство:

$$\frac{s_k}{s_{ke}} = \frac{R_R}{R_{R\Sigma}}, \quad (3)$$

где s_k - критическое скольжение на произвольной механической характеристике, s_{ke} - критическое скольжение на естественной механической характеристике. (3) показывает, что величина критического скольжения на искусственных механических характеристиках зависит только от активного сопротивления ротора. Поскольку рабочие участки механических характеристик асинхронного двигателя при рассматриваемом способе регулирования близки к линейным, то (3) при условии постоянства M_c можно записать в виде:

$$\frac{s_{M_H}}{s_H} = \frac{R_R}{R_{R\Sigma}}, \quad (4)$$

где s_{M_H} - скольжение, соответствующее заданному M_c , на произвольной механической характеристике, s_H - номинально скольжение на естественной механической характеристике. Если пренебречь кривизной рабочих участков механических характеристик и считать их линейными, то уравнение (1) с учетом (3) и (4) примет вид:

$$M = M_H \frac{s}{s_H} = M_K \frac{s}{s_k}. \quad (5)$$

Сочетание режима работы машины с подключенным к ротору УПТ с синхронным и асинхронным режимами работы позволяет

реализовать регулирование скорости МДП в диапазоне $0 \leq \omega \leq \omega_0$ с сохранением перегрузочной способности на всем диапазоне регулирования. При этом электропривод ШПУ является комбинированным, поскольку реализация переключений между режимами работы привода изменяет его структуру и принципы управления. Управление таким комбинированным электроприводом является адаптивным в функции скорости, поскольку, как показано выше, скорость является критерием, определяющим требуемый режим работы привода.

Выражение (1) и (5) могут быть также записаны в другом виде. Если учесть, что критический момент машины определяется

по выражению $M_{кр} = \frac{3U_S^2}{2\omega_0(R_S + \sqrt{R_S^2 + X_k^2})}$, критическое скольжение – по

выражению $s_{кр} = \frac{k^2 R_R}{\sqrt{R_S^2 + X_k^2}}$, то выражение для электромагнитного

момента (1) примет вид уточненной формулы Клосса [3]:

$$M = \frac{2M_{кр}(1 + as_{кр})}{\frac{s}{s_{кр}} + \frac{s_{кр}}{s} + 2as_{кр}} \quad \left(\text{где коэффициент } a = \frac{R_S}{k^2 R_R}\right).$$

Если в выражениях для критического момента и скольжения учесть выражение для коэффициента рассеяния статора, то уточненная формула Клосса примет следующий вид:

$$M = \frac{2M_{кр}(1 + cs_{кр})}{\frac{s}{s_{кр}} + \frac{s_{кр}}{s} + 2cs_{кр}}, \quad (6)$$

$$\text{где } c = \frac{R_S X_\mu^2}{k^2 R_R (R_S^2 + X_S^2)}.$$

Использование формулы Клосса в виде (6) позволяет более точно учесть свойства электромеханического преобразования энергии в двигателе. Выражение (6) может быть подставлено в выражение для механической характеристики МДП [4], тогда может быть получено выражение, описывающее механическую характеристику МДП как при изменении параметров добавочного напряжения на роторе, так и его активного сопротивления:

$$M = \frac{2M_{кр}(1 + cs_{кр})}{\frac{s}{s_{кр}} + \frac{s_{кр}}{s} + 2cs_{кр}} \left[1 - \frac{U_R^*}{s} \left(\cos \delta + \frac{s}{s_{КР\epsilon}} \sin \delta \right) \right]. \quad (7)$$

Из выражения (6) может быть получено выражение для критического скольжения машины:

$$s_k = \left\{ \left[\frac{M_{kp}}{M} (1+c) - c \right] + \sqrt{\left[\frac{M_{kp}}{M} (1+c) - c \right]^2 - 1} \right\}. \quad (8)$$

Как следует из (3) и (8):

$$R_{R\Sigma} = R_R \frac{s_{ke}}{s_k},$$

следовательно, добавочное сопротивление в цепи ротора может быть определено как:

$$R_{R\partial\partial o} = R_R \left(\frac{s_{ke}}{s_k} - 1 \right). \quad (9)$$

Таким образом, задаваясь пусковыми моментами на различных механических характеристиках, обусловленными технологией подъема, по (8) и (9) могут быть вычислены величины добавочных сопротивлений. При этом отношения $\frac{M_{kp}}{M}$ при заданном M есть ни что иное, как кратность момента λ . В [5] приведено выражение, связывающее кратность момента и число ступеней роторной станции n при нормальном пуске:

$$\lambda = {}^{n+1}\sqrt{\frac{1}{s_n M_{\max}^*}},$$

где M_{\max}^* - кратность пиковых моментов. Если принять, что минимальный и максимальный момент переключения определяются как:

$$M_{\max} = M_{II} + \Delta M, \quad \lambda_{\max} = \frac{M_{\kappa}}{M_{\max}},$$

$$M_{\min} = M_{II} - \Delta M, \quad \lambda_{\min} = \frac{M_{\kappa}}{M_{\min}},$$

где ΔM – отклонение момента, определяемое условиями технологии подъема (заданного ускорения на участках тахограммы), то (8) для всех введенных в цепь ротора ступеней станции может быть записано в виде:

$$s_{ke} \frac{\left\{ \lambda_{\max} (1+c) - c - \sqrt{\lambda_{\max} [(1+c) - c]^2 - 1} \right\}^{n+1}}{\left\{ \lambda_{\min} (1+c) - c - \sqrt{\lambda_{\min} [(1+c) - c]^2 - 1} \right\}^n} = s_{нач}, \quad (10)$$

где $s_{нач}$ – критическое скольжение на первой механической характеристике (обычно предназначенной для режима ревизии).

Выражения (8) – (10) позволяют рассчитать параметры роторной станции для АД ФР по заданным технологическими условиями величинам моментов и ускорений, а также позволяют рассчитать характеристики МДП с УПТ в роторе.

Библиографический список

1. Механические характеристики машины двойного питания и ее применение в электроприводе шахтных подъемных установок / В. Ю. Островлянчик, И. Ю. Поползин, Д. А. Маршев // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов : научный журнал. – 2018 . – № 4. - С. 255-261.
2. Шахтный подъем / В. Р. Бежок, В. И. Дворников, И. Г. Манец, В. А. Пристром; под общ. ред. Б. А. Грядущего и В. А. Корсуна. – Донецк: ООО «Юго-Восток ЛТД», 2007. – 624 с.
3. Основы автоматизированного электропривода / М. Г. Чиликин, М. М. Соколов, В. М. Терехов, А. В. Шинянский. – М.: Энергия, 1974. – 568 с.
4. Онищенко Г. Б. Асинхронные вентильные каскады и двигатели двойного питания / Г. Б. Онищенко, И. Л. Локтева. – М.: Энергия, 1979. – 200 с.
5. Вешеневский С. Н. Характеристики двигателей в электроприводе / С. Н. Вешеневский. – М.: Энергия, 1977. – 432 с.

УДК 62-97/-98

АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РАСЧЕТА РОТОРНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

В.Ю. Островлянчик, Д.А. Маршев, А.В. Толстых
*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

Аннотация: В данной работе приводится алгоритм расчета роторных сопротивлений, построенный на основе существующих методов расчета сопротивлений роторной станции асинхронного двигателя.

Асинхронный, двигатель, расчёт, метод, сопротивления, фазный, ротор.

При расчете роторных сопротивлений асинхронного электродвигателя необходимо учитывать особенности работы электропривода и требования к нему, особенно в таких механизмах как шахтные подъемные установки. В данных типах электроприводов существует разнообразие графиков движения подъемных сосудов и предъявляемых к ним требований. Можно выделить некоторые особенности, характерные для подъемной установки:

1. Высокий момент при пуске с места.
2. Ограничения, накладываемые перегрузочной способностью двигателя.
3. Обеспечение плавности хода, в рамках допустимых ускорений.
4. Продолжительность включений, равная количеству циклов работы подъемной установки.
5. Возможность продолжительной работы на определенных ступенях.
6. Присутствие маневровой ступени, для обеспечения скорости «Ревизия».

При проектировании основной задачей является расчет момента статического, который за частую расходится с настоящим моментом как в меньшую так и большую сторону. В связи с этим, существует проблема с выбором величины сопротивления ступеней, которые бы обеспечивали плавность хода и высокий темп разгона.

При наладке и эксплуатации необходимо корректировать величину роторных сопротивлений исходя из условий и особенности работы каждой подъемной установки. Поэтому возникает задача алгоритмизации процесса расчёта роторных сопротивлений, что позволяет значительно сократить трудозатраты при проектировании и эксплуатации подъемных установок.

В научно-технической литературе существуют несколько основных методик расчета количества и величины сопротивления

ступеней. При использовании способов [1,2] необходимо графическое построение механических характеристик, что является трудоемким и нецелесообразным во многих случаях. Использование методики расчета ступеней при проектировании в соответствии с [3] имеет большие погрешности в силу многих допущений, хотя методика достаточно проста, и применима на многих подъемных установках. В некоторых методиках расчет производится с использованием значений, которые не всегда известны (реактивные сопротивления статора и ротора), что создает некоторые трудности для реализации этих методик [2, 4].

На рисунке 1 приведены механические характеристики асинхронного электропривода подъемной установки с количеством ступеней разгона, равное 6.

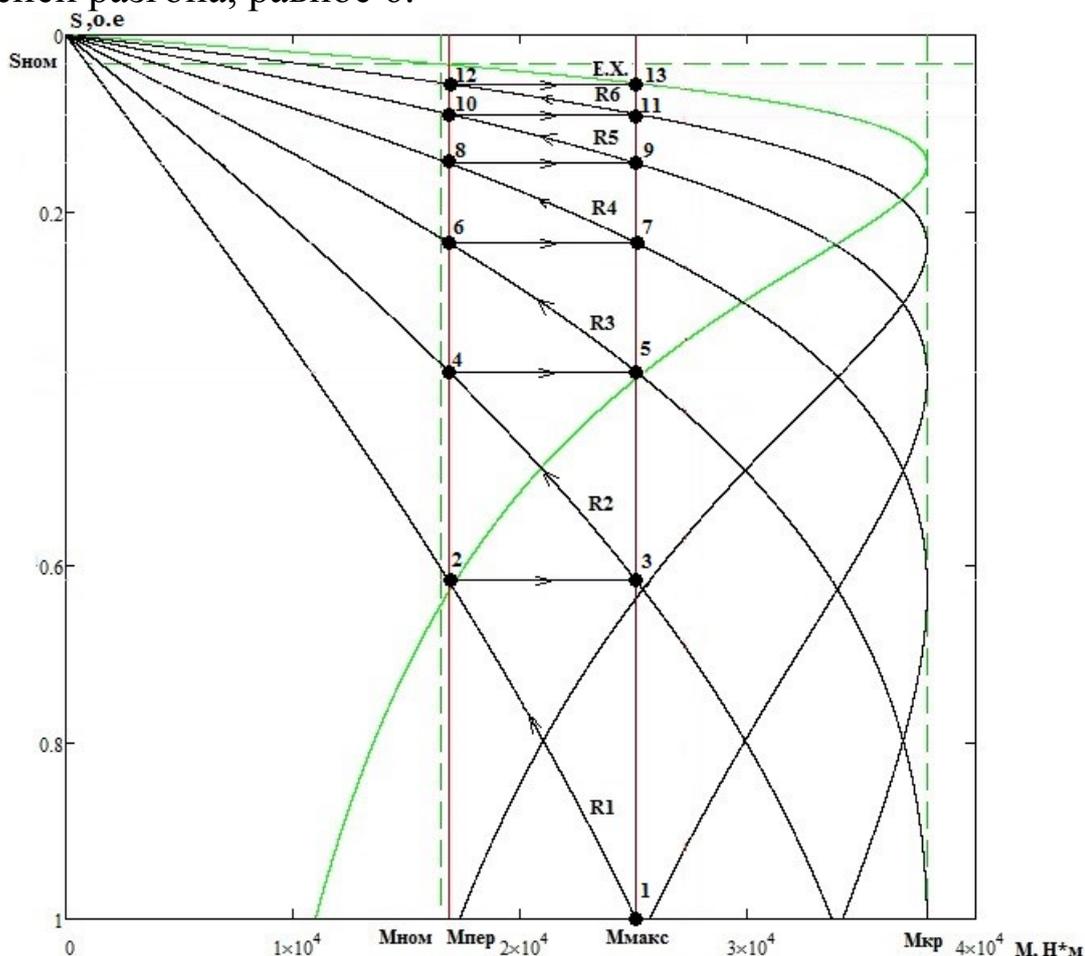


Рисунок 1 - Механические характеристики электропривода шахтной подъемной машины.

На графике имеются обозначения:

$M_{ном}$ - номинальный момент;

$M_{кр}$ - Критический момент;

$M_{пер}$ – Момент переключения;
 $M_{макс}$ – Максимальный момент;
 $S_{ном}$ – Номинальное скольжение;
 $R1 : R6$ – Искусственные характеристики при добавочных сопротивлениях;
 $E.X.$ – Естественная характеристика.

Разгон начинается с максимального момента равного 0,7-0,8 от момента критического. Разгоняется двигатель по искусственной характеристике R1 до момента переключения $M_{пер}$ (точки 2). При достижении момента переключения выводятся добавочные сопротивления первой ступени и момент возрастает до максимального (точка 3). С точки 3 разгон будет продолжаться по искусственной характеристике R2 до достижения момента переключения (точка 4). Данный процесс будет продолжаться до тех пор, пока не будет выведена последняя ступень (точка 12), после чего двигатель выйдет на естественную характеристику (точка 13) и разгонится до номинальной скорости ($S_{ном}$).

Рассмотрим последовательность при расчёте роторных сопротивлений. Выражение номинального момента M_H , момента критического $M_{кр}$, а так же максимального момента M_1 определяется по формулам 1,2,3 [л. 1]

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H}, \quad (1)$$

где $P_H = M \cdot \omega$ – номинальная мощность электродвигателя,
 $\omega_H = \pi \cdot n_H / 30$ – номинальная угловая скорость ротора,
 n_H – номинальная скорость вращения.

$$M_{кр} = M_{ном} \cdot \lambda. \quad (2)$$

$$M_1 = M_{кр} \cdot k, \quad (3)$$

где $k = 0,7..0,8$ – коэффициент для определения максимального момента переключения M_1 , принятый с учётом возможного падения напряжения питающей сети и перегрузочной способностью электродвигателя.

Момент переключения M_2 определяется по следующему выражению

$$M_2 = \frac{M_1}{\sqrt[m]{\frac{M_H \cdot n_c}{M_1(n_c - n_H)}}}, \quad (4)$$

где m – количество ступеней переключения,

n_c – синхронная частота вращения поля статора.

По предлагаемой методике необходимо рассчитать скорости при различных ступенях в момент переключения M_2 . Выражение для расчёта скоростей вращения ротора получено геометрически, и имеет вид

$$n_i = \left[(n_c - n_{(i-1)}) \cdot \frac{M_1 - M_2}{M_1} \right] + n_{(i-1)}. \quad (5)$$

Сопротивление фазы роторной обмотки рассчитывается по формуле [1]

$$R_p = \frac{U_p \cdot (n_c - n_n)}{\sqrt{3} I_p \cdot n_c}, \quad (6)$$

где U_p – номинальное напряжение ротора,

I_p – номинальный ток ротора.

Выражение для расчёта роторных сопротивлений при различных ступенях имеет следующий вид

$$R_{ст.i} = \left[\left(1 - \frac{n_i}{n_c} \right) \cdot \frac{U_{р.ф.}}{I_p} \right]; \quad (7)$$

где $U_{р.ф.}$ – номинальное фазное напряжение ротора,

Значения сопротивления каждой ступени рассчитывается по формуле 8

$$R_i = R_{ст.i} - R_{(ст.i-1)}; \quad (8)$$

где $R_0 = R_p$, а первым вычисляемым сопротивлением является сопротивление первой выводимой ступени.

Основные уравнения можно свести в систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned}
 M_{\text{ном}} &= \frac{P_{\text{H}}}{(\omega_{\text{H}})}; \\
 M_{\text{кр}} &= M_{\text{ном}} \cdot \lambda; \\
 M_1 &= M_{\text{кр}} \cdot k; \\
 M_2 &= \frac{M_1}{m \sqrt{\frac{M_{\text{H}} \cdot n_{\text{c}}}{M_1 (n_{\text{c}} - n_{\text{H}})}}}; \\
 n_i &= \left[(n_{\text{c}} - n_{(i-1)}) \cdot \frac{M_1 - M_2}{M_1} \right] + n_{(i-1)}; \\
 R_{\text{p}} &= \frac{U_{\text{p}} \cdot (n_{\text{c}} - n_{\text{H}})}{\sqrt{3} I_{\text{p}} \cdot n_{\text{c}}}; \\
 R_{\text{ст.}i} &= \left[\left(1 - \frac{n_i}{n_{\text{c}}} \right) \cdot \frac{U_{\text{p.ф.}}}{I_{\text{p}}} \right]; \\
 R_i &= R_{\text{ст.}i} - R_{(\text{ст.}i-1)};
 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Таким образом возможно рассчитать роторные сопротивления при различных ступенях и построить естественную и искусственные механические характеристики двигателя при неизвестных заранее сопротивлениях обмоток статора и ротора и при известных номинальных параметрах двигателя.

Основным уравнениям соответствует алгоритм, представленный на рисунке 2.

Данный алгоритм расчета сопротивления ступеней был применен для электродвигателя АКН-18-27-30, для шахтной подъемной установки. Исходными данным были паспортные данные двигателя, приведенные в таблице 1

Таблица 1 - Технические характеристики электродвигателя
АКН-18-27-30

Наименование	Обозначение	Значение
Тип	АКН-18-27-30	-
Мощность	P_{H}	500 кВт
Номинальная частота вращения	n_{H}	290 об/мин
Синхронная частота вращения	n_{c}	300 об/мин
Номинальное линейное напряжение	$U_{1\text{л}}$	6000 В
Номинальная сила тока статора	$I_{1\text{H}}$	72 А
Номинальная линейная ЭДС ротора	$E_{2\text{H}}$	720 В
Номинальная сила тока ротора	$I_{2\text{H}}$	435 А
Перегрузочная способность	λ	2,3

СЕКЦИЯ 1. Теоретические аспекты и методология
построения современного электропривода

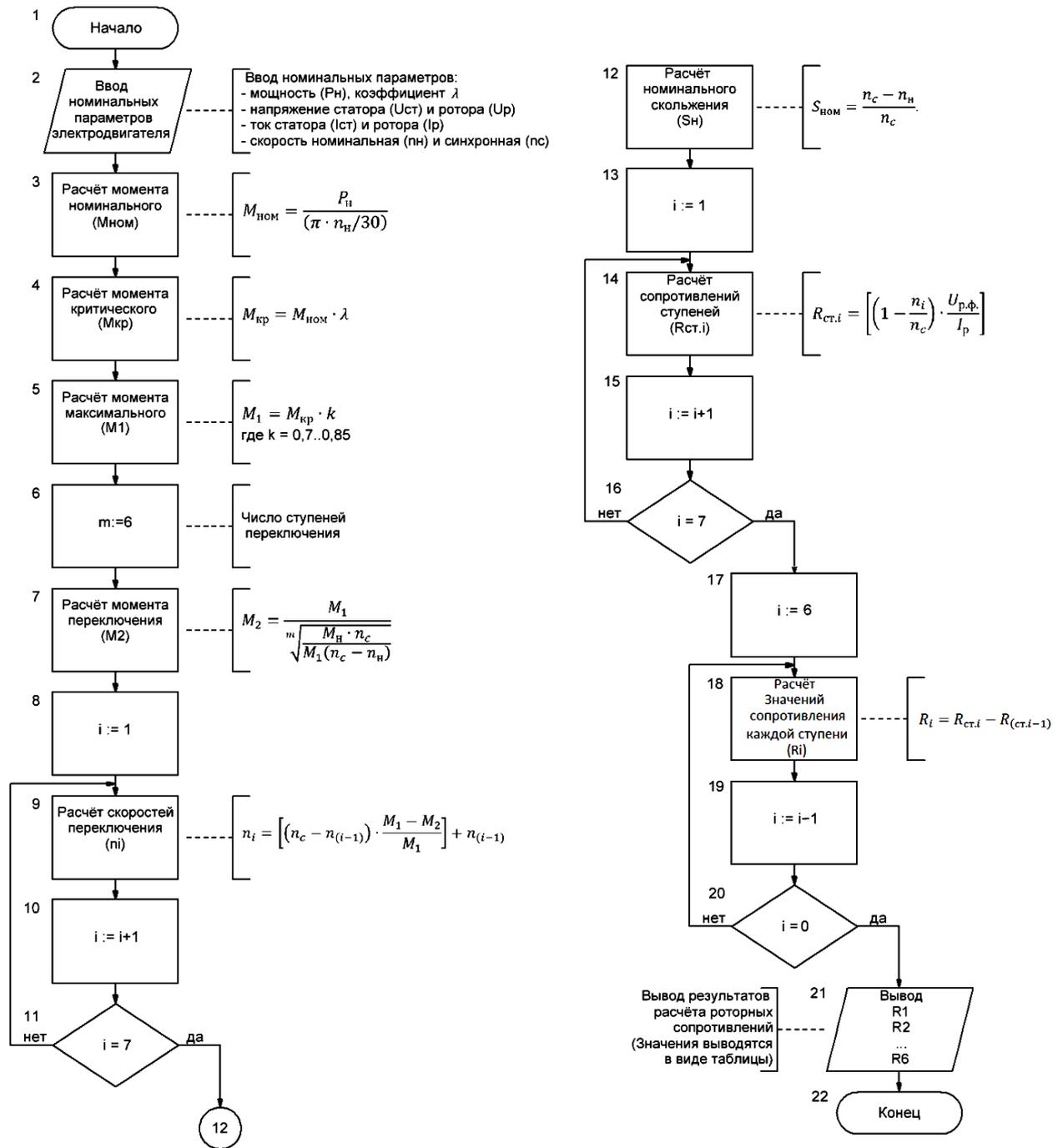


Рисунок 2 - Алгоритм расчёта добавочных роторных сопротивлений

Результаты расчёта приведены в таблице 2, в которой приведены действующие значения величин роторных сопротивлений. Алгоритм реализован с помощью системы компьютерной алгебры Mathcad 15.

СЕКЦИЯ 1. Теоретические аспекты и методология
построения современного электропривода

Таблица 2 – Результаты расчёта

Параметр	Обозначение	Фактические значения	Значения полученные предлагаемому методу	Отклонение %
Момент номинальный	$M_n, Н*м$	16264	16464	1,21
Момент критический	$M_k, Н*м$	37407	37868	1,22
Момент пиковый	$M_1, Н*м$	26933	27265	1,22
Момент переключения	$M_2, Н*м$	16619	16824	1,22
Номинальное скольжение	S_n	0,0333	0,0333	0,00
Критическое скольжение	S_k	0,146	0,145	0,60
Сопротивления ступеней ротора	$R, Ом$			
	1	0,551	0,508	7,71
	2	0,340	0,313	7,71
	3	0,209	0,193	7,71
	4	0,129	0,119	7,71
	5	0,079	0,073	7,71
	6	0,049	0,045	7,71

По полученным результатам видим, что расчетные сопротивления отличаются на 7% от фактических, это связано с разными вариантами определения критического скольжения.

Представленный расчет снижает трудоемкость при работе наладческих и эксплуатирующих организаций, является менее трудозатратным и не требует данных, кроме паспортных.

Библиографический список

1. Ильинский Н.Ф., Расчет и выбор сопротивлений для электродвигателей. – М.: Госэнергоиздат, 1959. – 50 с.
2. Вешеневский С.Н., Расчёт характеристик и сопротивлений для электродвигателей. – М.: Госэнергоиздат, 1954. – 432 с. с ил.

3. Бежок В.Р., Калинин В.Г., Конопляна В.Д., Курченко Е.М. Руководство по ревизии, наладке и испытанию шахтных подъемных установок. – Донецк: Донеччина, 2009. - 672 с.

4. Лысцов А.Я., Техно-рабочая документация. Электропривод подъёмной установки ЦР4х3,2/0,6 ствола «Воздуховыдувающий». – НИ ЛАЭП ТП СибГГМА: Новокузнецк 1999. – 66 с.

УДК 621.879: 62-799

ДИАГНОСТИКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ МАГНИТНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ ИСПОЛЬЗУЯ ТЕОРИЮ ГРАФОВ И РАНЖИРОВАНИЯ

Забегает М.В.

**Научный руководитель: Семькина И.Ю., д.т.н., профессор
кафедры электропривода и автоматизации**

*Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева г. Кемерово*

Аннотация: В статье ставится задача рассмотреть метод теории графов и ранжирования для построения алгоритмов работы диагностической системы.

Ключевые слова: карьерный экскаватор, диагностика, теория графов, магнитный усилитель, алгоритм.

Для эффективности работы предприятий открытой угледобычи высокую значимость играет надежность и безотказность функционирования экскаваторной техники. Современные экскаваторы в значительной мере оснащены средствами автоматизированного контроля и диагностики, однако до сих пор на некоторых разрезах существенную долю парка занимают экскаваторы карьерные гусеничные, оборудование системой магнитный усилитель – генератор – двигатель с релейно-контакторной аппаратурой управления. Такие экскаваторы не оснащены диагностическими системами, однако ввиду и большого числа элементов в цепях управления и, как правило, высокого срока эксплуатации, внедрение для них систем диагностики

неисправностей в значительной мере способствовало бы повышению их эффективности. Возможным подходом для решения задачи диагностирования может быть применение теории графов и метода ранжирования. Объектом исследования в настоящей работе является экскаватор карьерный ЭКГ-5А [1].

Основная неисправность, связанная с магнитными усилителями (МУ) экскаватора это несоответствие выдаваемого напряжение на обмотку возбуждения генераторов требуемому значению. Но у этой проблемы есть ряд вызывающих ее неисправностей. Можно выделить основные:

1. На обмотки МУ приходит некорректное напряжение;
2. Сам МУ работает неверно из-за недостаточного питания;
3. Неправильно подключен мост балластных сопротивлений и обмоток возбуждения генератора.

Неисправности 1 и 2 не зависят друг от друга, поэтому их можно проверять в любом порядке или даже параллельно друг другу, а неисправность 3 проверяется только после проверки первых двух, потому что при выявлении неисправностей на уровне этих проверок, диагностировать 3 неисправность не имеет смысла, так как результат может быть ложным.

Проверить питание МУ необходимо, из-за того, что при неисправном питании МУ, выходное напряжение, которое подается на независимые обмотки возбуждения генератора, уменьшится в несколько раз и вследствие снизится скорость и усилие привода. Рассмотрим напряжения, приходящие на разные обмотки МУ.

На обмотку смещения (УМС-3) не приходит внешнего напряжения, поэтому для проверки правильности работы необходимо знать, что ковш пустой. Это значит, надо контролировать что командоконтроллер находится в нулевом положение и ковш стоит на месте. Но это усложнит и удорожит систему диагностики, при том что неисправность, связанная с обмоткой смещения, не является критической и для её диагностики достаточно визуального контроля машиниста.

В связи с этим, неисправности обмотки смещения не будем рассматривать при разработке системы диагностирования, а уделим основное внимание проверке напряжения на обмотках «задания» (УМС-2) и «гибкая и жесткая ООС по напряжению» (УМС-6). Неисправности обмоток бывают двух типов: обрыв цепи обмотки и

неверные параметры цепи обмотки.

Таким образом, выделяем 6 неисправностей, которые включаем в разрабатываемую систему диагностирования:

- Неверные параметры для цепи УМС-2;
- Обрыв в цепи УМС-2;
- Неверные параметры для цепи УМС-6;
- Обрыв в цепи УМС-6;
- Неверное питание МУ (обрыв одной из фазы питания);
- Неправильно подключен мост балластных сопротивлений и обмоток возбуждения генератора.

Описав все неисправности классифицируем на:

1. Критические:

- Обрыв в цепи УМС-2;
- Обрыв в цепи УМС-6;
- Неверное питание МУ;
- Неправильно подключен мост балластных сопротивлений и обмоток возбуждения генератора.

2. Некритические:

- Неверные параметры для цепи УМС-2;
- Неверные параметры для цепи УМС-6;

Под неисправностями питания обмоток МУ мы рассматриваем такие проблемы как: обрыв приходящего напряжения и отклонения от табличных более 15%. Примем, что для выявления обрыва, система должна зафиксировать снижение напряжения на 85%.

Для точного диагностирования неисправностей УМС-2 также следует учитывать каждое положение командоконтроллера, но для экономии места и времени работы диагностической системы будем отслеживать только когда рукоять будет в 4 положении, когда измеряемое напряжение должно быть максимально.

Если диагностируя обмотки, при измерении показания имеют отклонения более 15 %, то наладчику необходимо отрегулировать соответствующие резисторы, до такого значения чтобы напряжение находилось в пределах нормы.

Обрыв фазы переменного тока питающей блок магнитных усилителей можно выявить, замерив напряжение между зажимами приходящего питания на МУ, оно должно быть 220 В. Значительное снижение напряжения указывает на обрыв фазы. Для

СЕКЦИЯ 1. Теоретические аспекты и методология
построения современного электропривода

измерения применим 3-х фазный вольтметр на переменное напряжение.

Для выявления неисправности подключения моста балластных сопротивлений и обмоток возбуждения генератора, необходимо чтобы напряжение на контактах ОВН генератора имело значительное отклонение и при этом остальные параметры МУ были в норме.

Параметры с которыми будем сравнивать при диагностике указаны в таблице 1.

Таблица 1

Рекомендованные значения параметров для МУ

Наименование параметра	Привод подъема	Привод напора	Привод поворота	Привод хода
	Величина	Величина	Величина	Величина
Напряжение в положении 4 рычага командоконтролера, В	18-19	18-19	18-19	10-12
Напряжение на задающей обмотке положение рычага В 4	9,8-10,5	8-8,8	8,2-8,6	5,0-6,0
Напряжение на обмотке жесткой связи в положении 4 рычага, В	25-26	20-22	19-20	14-15

По описанному выше анализу неисправностей составим таблицу неисправностей и их диагностических признаков (таблица 2).

Таблица 2

Неисправности и диагностические признаки МУ

№ неисправности и диагностического признака	Неисправности	Диагностические признаки
1	Не верные параметры для цепи УМС-2	Отклонение напряжения УМС-2 более чем на 15%
2	Не верные параметры для цепи УМС-6	Отклонение напряжения УМС-6 более чем на 15%
3	Обрыв в цепи УМС-2	Напряжение на УМС-2 меньше 15% от табличного
4	Обрыв в цепи УМС-6	Напряжение на УМС-6 меньше 15% от табличного

Окончание таблицы 2

5	Не верное питание МУ (обрыв одной из фазы питания)	Напряжение питания МУ меньше 15% от требуемого
6	Не правильно подключен мост балластных сопротивлений и обмоток возбуждения генератора	Напряжение на контактах ОВН генератора имеет отклонение больше 50% от табличного

Анализируя таблицу выше составляем структуру диагностических признаков МУ (рисунок 1).

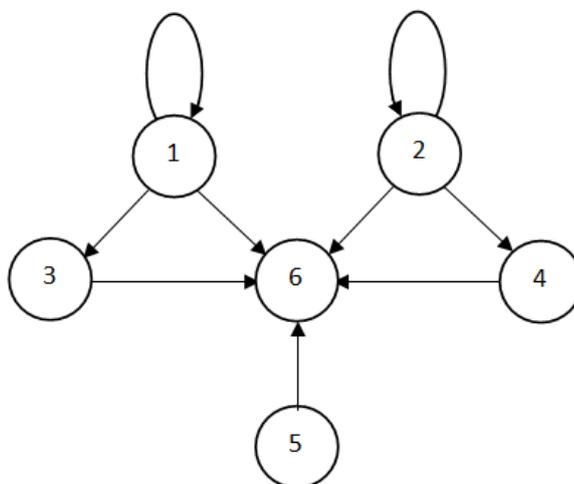


Рисунок 1 - Структура диагностических признаков МУ

При оценке структуры системы свойства элементов системы несущественны. Важным является совокупность и вид ориентировочных связей между элементами – прямых и обратных. Также элементы системы могут обладать связью самоконтроля – обратной связью вокруг одного элемента, позволяющей реализовать функцию самодиагностики данного элемента. В нашем случае данной связью обладают диагностические признаки не критических неисправностей.

Расположение выявлений неисправностей в алгоритме может быть произведено с помощью теории графов и метода ранжирования.

Ориентированный граф $G(S, P)$, где $S = \{s_1, s_2, \dots, s_M\}$ – множество вершин графа, $P = \{p_1, p_2, \dots, p_M\}$ – множество ребер графа, строится на основе функциональной схемы системы,

вершины графа соответствуют элементам (блокам) системы, а ориентированные ребра графа – связи между элементами (блоками). Количество вершин графа – элементов системы определяется степенью детализации схемы. При наличии самоконтролируемого элемента граф системы имеет ребро, которое начинается и заканчивается на одной и той же вершине, которая соответствует данному элементу.

Структурная организация графов может быть описана матрицей смежности вершин. Строки и столбцы матрицы смежности вершин $M_G=[m_{ij}]$ соответствуют вершинам графа. Элементы матрицы m_{ij} могут принимать значения «0» или «1»: если между вершинами есть связь, то на пересечении соответствующих строки и столбца ставится «1» (в строке, соответствующей номеру вершины, от которой направлено ребро, и в столбце, соответствующему номеру вершины, к которой направлено ребро), если связи нет, – «0» [2].

Для структуры диагностических признаков МУ (рисунок 1) построим матрицу смежности вершин:

$$M_G = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Теперь нам необходимо выявить наиболее загруженные элементы – диагностические признаки, которые в алгоритме работы диагностической системы будут проверяться первыми.

Выявить такие элементы возможно при помощи его ранга R_i , который оценивает значимость i -го элемента системы и степень его участия в формировании структуры системы.

$$R_i = \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij}}{\sum_{j=1}^n b_{ij}}$$

где b_{ij} – элементы матрицы, причем $\sum_{i=1}^{S_M} R_i = 1$.

Чем больше ранг элемента, тем больше связей отходит непосредственно от этого элемента, а также больше количество путей передачи информации, энергии или вещества проходит через

данный элемент. Когда несколько признаков имеют одинаковый ранг, то их значимость в системе равна.

Таким образом, определяющим условием в создании алгоритма считается ранг диагностического признака. В таблице 2 приведены результаты расчета рангов диагностических признаков МУ. По результатам ранжирования диагностических признаков можно составить алгоритм работы диагностической системы, который показан на рис. 2.

Обозначения используемые в алгоритмах: Упитания – напряжение питания МУ; КК – командоконтроллер; Утаб – табличное значение напряжения проверяемой обмотки; Узад – табличное значение напряжения «задания» (УМС-2); Ужос – табличное значение напряжения гибкой и жесткой ООС по напряжению; Уов1, Уов2 – табличное значение напряжения на ОВН генератора.

Для привода напора и подъема алгоритм будет одинаков, за исключением табличных значений.

Из-за того, что для двигателей поворота и хода используется один генератор, следовательно используется и один магнитный усилитель. Чтобы правильно диагностировать неисправности привода поворота и хода, необходимо чтобы система распознавала какой из режимов включен.

Таблица 2

Результаты расчета рангов диагностических признаков МУ

№ диагностичес кого признака	Наименование диагностического признака	R_i
1	Отклонение напряжения УМС-2 более чем на 15%	0,33
2	Отклонение напряжения УМС-6 более чем на 15%	0,33
3	Напряжение на УМС-2 меньше 15% от табличного	0,11
4	Напряжение на УМС-6 меньше 15% от табличного	0,11
5	Напряжение питания МУ меньше 15% от требуемого	0,11
6	Напряжение на контактах ОВН генератора имеет отклонение больше 50% от табличного	0

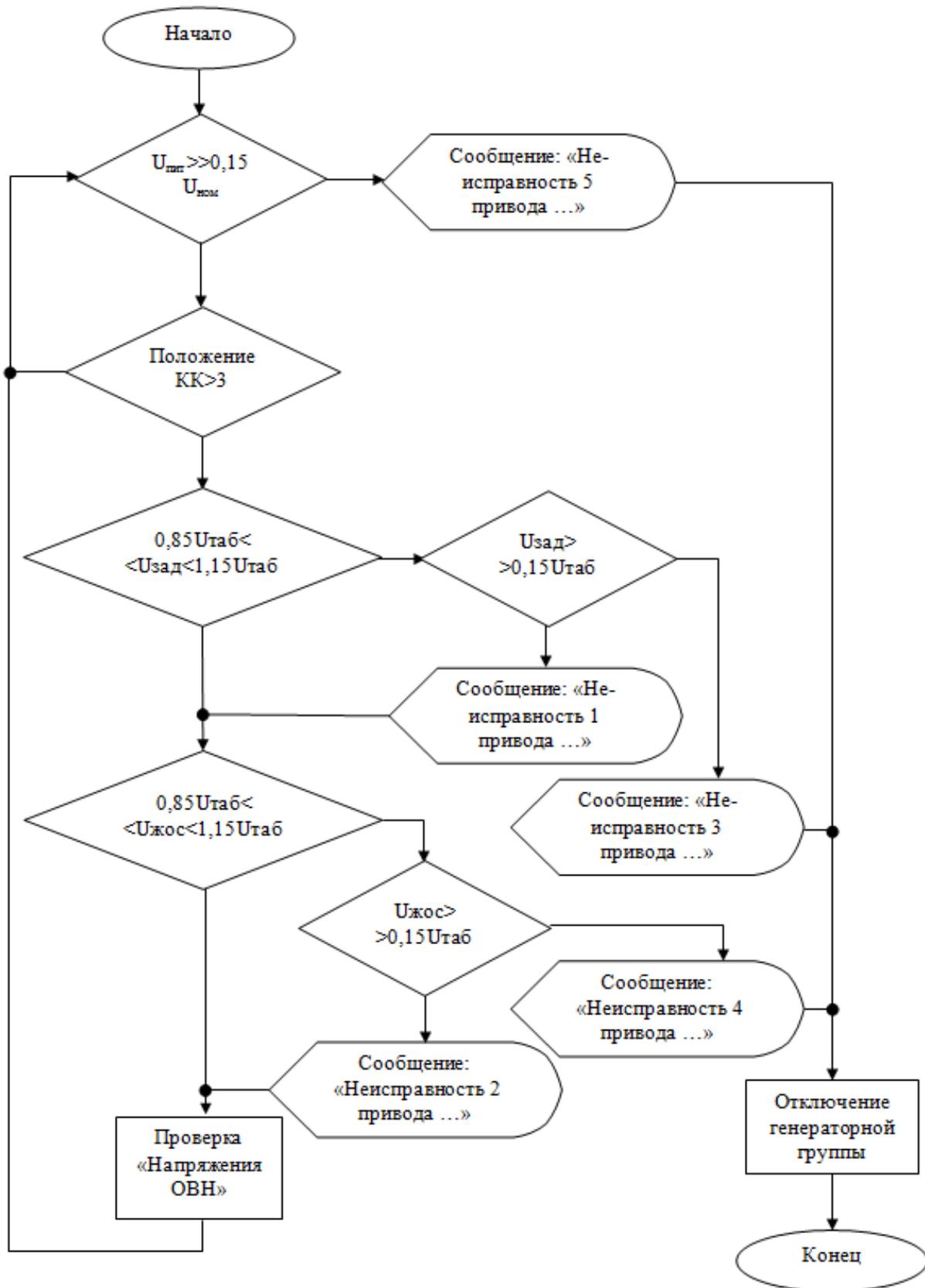


Рисунок 2 - Алгоритм диагностики МУ

Расшифровку неисправностей по номерам приведем в таблице
3.

Таблица 3 - Неисправности

№ неисправности	Наименование неисправности
1	Напряжение на обмотке задания УМС-2 имеет отклонения больше 15%
2	Напряжение на обмотке УМС-6 имеет отклонения больше 15%
3	Напряжение на УМС-2 практически отсутствует. При постановке рычага командоконтроллера в любое положение привод неподвижен. Амперметр не дает показаний
4	Напряжение на УМС-6 практически отсутствует. При постановке рычага комадоконтроллера в любое положение в обе стороны не чувствуется разности по скоростям. При постановке рычага командоконтроллера в нулевое положение отсутствует электрическое торможение
5	Напряжение питания меньше нормы, снижается усилие и скорость привода

Для технического воплощения такой системы диагностики неисправностей достаточно следующего набора оборудования: Реле контроля фаз; 3 датчика напряжения; ПЛК; блок питания.

Для контроля питания МУ нам необходимо измерять напряжение между каждой из обмоток питания. Из-за этого нам понадобится 3 входа в наш контроллер. Для решения этой проблемы возможно использование реле контроля фаз. Данное реле имеет свои контакты, которые замыкаются при пропадании одной из фаз.

3 датчика напряжения необходимы для замера напряжения на 3 обмотках МУ, помимо датчиков напряжения могут подойти измерительные преобразователи с необходимым входным диапазоном.

ПЛК нужен для управления всей этой системой, в нем и будет строиться алгоритм работы диагностической системы. При создании диагностической системы какого-то одного узла, где не требуется построения сложных алгоритмов, есть вариант использовать программируемое реле.

Используя данный подход возможно создать диагностическую систему для любого узла карьерного экскаватора, которая будет обеспечивать эффективное диагностирование неисправностей и иметь низкие риски ложного срабатывания или некорректного определения возникновения причины неисправности.

Список литературы:

1. Экскаватор ЭКГ – 5А. Электрооборудование: Техническое описание и инструкция по эксплуатации 44.50.700 ТО. – Внешнеторгизад, 1989.
2. Свами М. Графы, сети и алгоритмы/ М. Свами, К. Тхуласираман – М.: Мир, 1984. – 454 с.

УДК 622.67

МНОГОДВИГАТЕЛЬНЫЙ ВЕНТИЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД С
ПРОИЗВОЛЬНЫМ ЧИСЛОМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

П.Н. Кунин, А.И. Рыбаков

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Аннотация. Предложено математическое описание многодвигательного электропривода клеток с произвольным числом электродвигателей и различными схемами соединения. Дана классификация и выполнен анализ взаимосвязей электродвигателей и дано структурное решение.

Ключевые слова: многодвигательный электропривод, распределение нагрузок, взаимосвязи, подсистема, магнитный поток, управление.

Многодвигательный электропривод, как объект управления, представляет собой сложную многосвязную систему. Электрические связи двигателей дополняются механическими, усиливая степень их взаимного влияния. Любые отклонения в условиях взаимодействия отдельных двигателей вызывают соответствующие изменения распределения нагрузок между

электродвигателями многодвигательной системы. С увеличением числа двигателей, повышением требований к быстродействию и снижению затрат энергии возникает необходимость в более рациональном использовании собственных свойств и возможностей.

Актуальным направлением в решении данных задач является разработка и усовершенствование активных способов распределения нагрузок, что позволяет достичь наиболее полного их выравнивания с наименьшими потерями энергии, как в установившихся, так и в динамических режимах работы.

Предлагается следующая классификация систем управления по способу включения якорей и обмоток возбуждения могут быть поделены на следующие группы:

- с общим регулируемым источником питания якорных цепей электродвигателей и с общим нерегулируемым источником питания цепей обмоток возбуждения;

- с общим регулируемым источником питания якорных цепей электродвигателей и с отдельными регулируемым источниками питания цепей обмоток возбуждения;

- с отдельными регулируемым источниками питания якорных цепей электродвигателей и с общим нерегулируемым источником питания цепей обмоток возбуждения;

- с отдельными регулируемым источниками питания якорных цепей электродвигателей и цепей обмоток возбуждения.

Приводы первой группы, выполненные по принципу однодвигательных, не допускают использования активных способов распределения нагрузок.

В электроприводах второй группы регулированием магнитных потоков обеспечивается выравнивание нагрузок при небольших скоростях их изменения. Однако в быстро протекающих процессах, поскольку постоянная времени обмотки возбуждения высока, выравнивание нагрузок воздействием на поток возбуждения невозможно.

В системах, имеющих отдельные регулируемые источниками питания якорных цепей, устраняются любые рассогласования нагрузок, вызванные изменением параметров объекта на всех этапах отработки задания.

Наличие отдельных регулируемых источников питания цепей обмоток возбуждения позволяет поддерживать магнитные потоки на одном уровне, при этом одновременно выравниваются не только токи, но и моменты двигателей, что обеспечивает наиболее активное их использование.

На рисунках 1 и 2 представлены структурные схемы систем управления многодвигательным электроприводом с отдельными источниками питания якорей, с общим и отдельным питанием обмоток возбуждения соответственно.

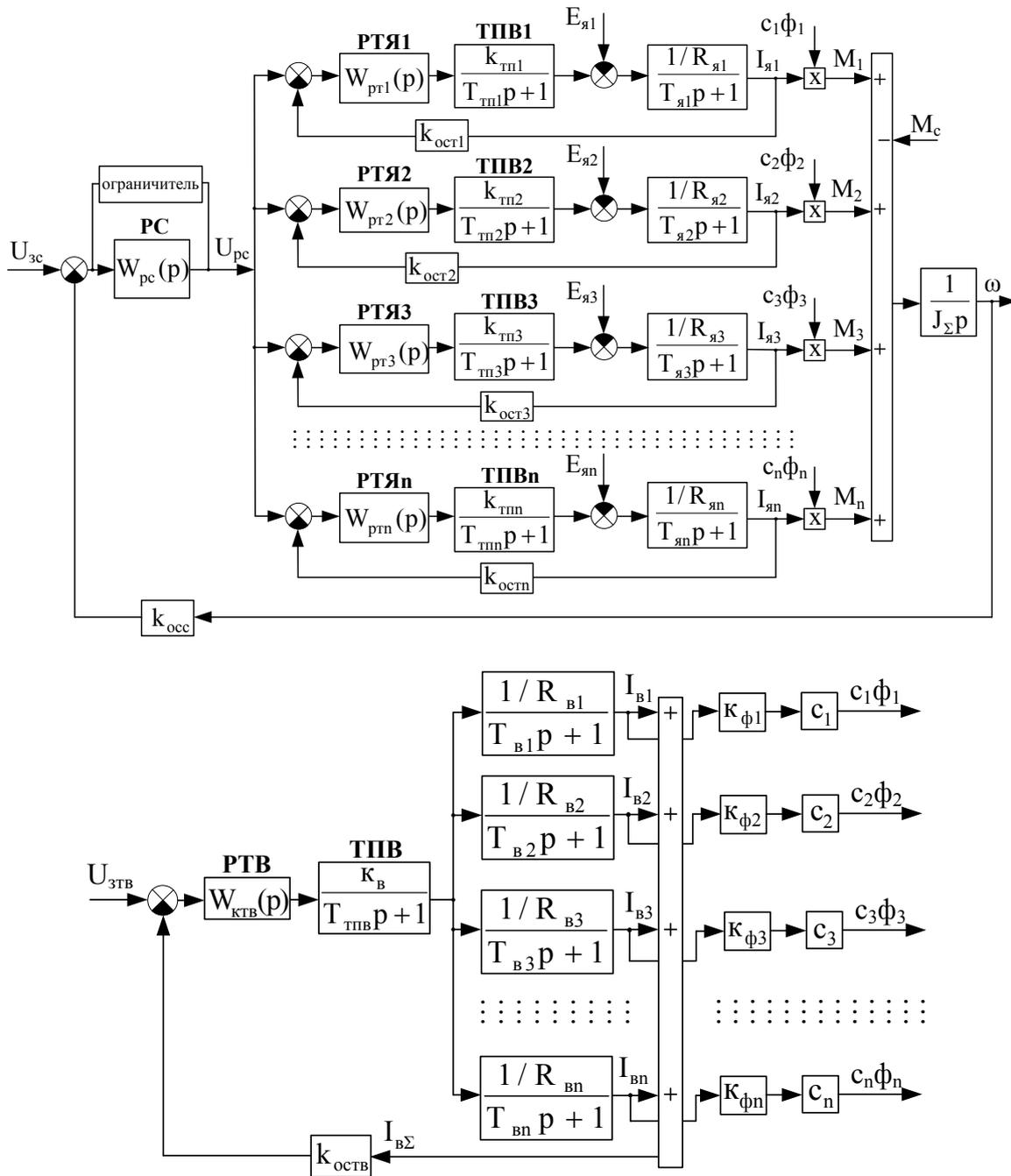


Рисунок 1– Структурная схема системы управления с

раздельными источниками питания якорей и общим питанием обмоток возбуждения электродвигателей

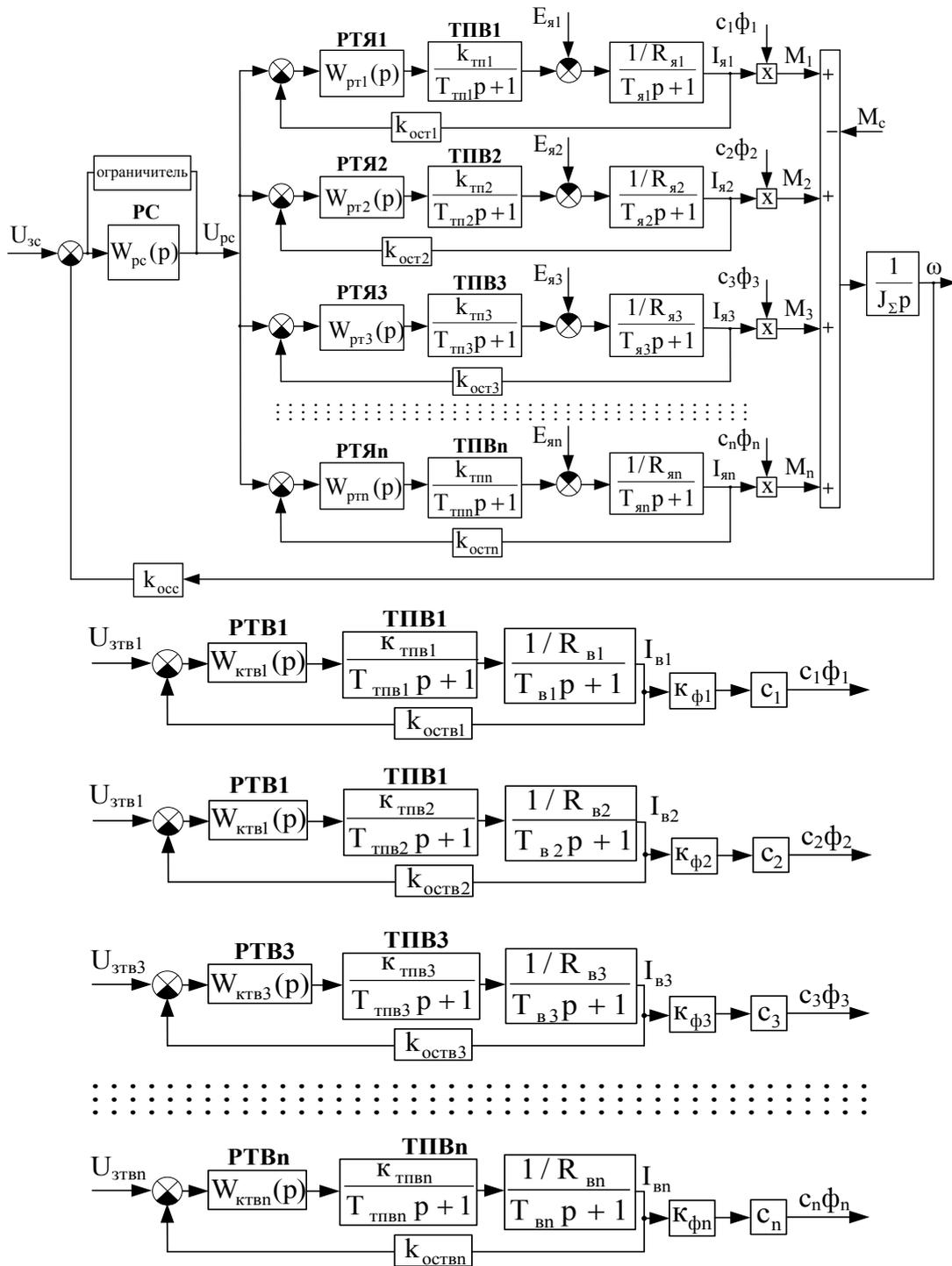


Рисунок 2 – Структурная схема системы управления с раздельными источниками питания якорей и обмоток возбуждения

Каждый двигатель имеет свой контур регулирования тока якоря. В контуры токов входят якоря электродвигателей,

СЕКЦИЯ 1. Теоретические аспекты и методология
построения современного электропривода

тиристорные преобразователи якорных цепей ТПЯ_i, регуляторы тока РТЯ_i, коэффициенты обратной связи по току $k_{остi}$. Во внешний контур регулирования скорости каждой схемы входит механическая часть электропривода, контур тока, регулятор скорости РС и обратная связь по скорости с коэффициентом $k_{осc}$.

На рисунке 1 приведена схема с питанием обмоток возбуждения от общего источника. В контур регулирования тока возбуждения входят параллельно включенные обмотки возбуждения двигателей, преобразователь, регулятор тока возбуждения РТВ, коэффициент обратной связи по току возбуждения $k_{оств}$

В схеме на рисунке 2 с отдельными источниками питания обмоток возбуждения каждый двигатель имеет свой контур регулирования тока возбуждения. Контур регулирования тока возбуждения состоит из тиристорного преобразователя обмотки возбуждения ТПВ_i, регулятора тока возбуждения РТВ_i, коэффициента обратной связи по току возбуждения $k_{остви}$.

Для выравнивания токов нагрузки между двигателями в системе с отдельными источниками питания якорей синтезировать контуры управления током якорей, так, чтобы токи зависели только от параметров регулятора. Для выполнения этого условия осуществляется инверсия части объекта управления, которая входит в состав контура. Суть инверсии состоит в том, что в регулятор вводятся полюса, равные нулям объекта $M(p)$, и нули, равные полюсам объекта $N(p)$. Это устраняет зависимость токов двигателей от параметров объекта. Чтобы обеспечить необходимое качество переходных процессов и нулевую ошибку установившегося движения ограничивают полосу пропускаемых частот. С этой целью в знаменатель регулятора необходимо ввести произвольный полином $L(p)$ и нулевой полюс $p = 0$. Структурная схема контура тока с учетом синтезируемого регулятора приведена на рисунке 3, где $k_{ост}$ – коэффициент обратной связи по току.

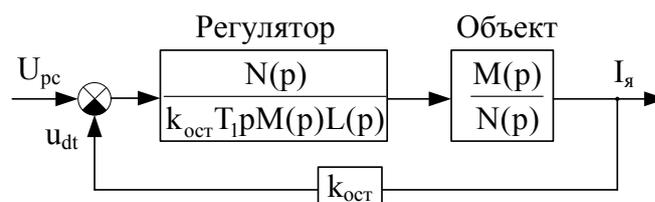


Рисунок 3 – Структура контура для синтеза регулятора

В соответствии со структурной схемой на рисунке 3 передаточная функция замкнутого контура тока имеет вид:

$$\frac{I_{я}(p)}{U_{pc}(p)} = \frac{1/k_{ост}}{T_1 p L(p) + 1}$$

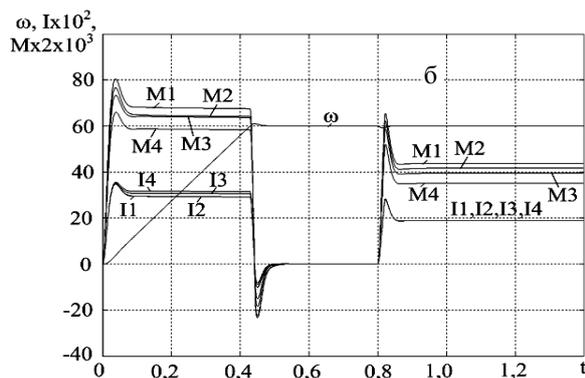
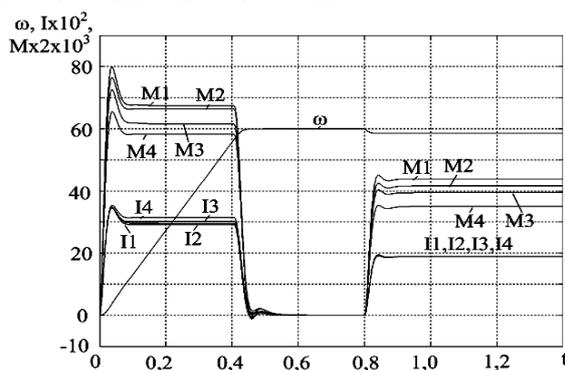
Процессы в контуре тока однозначно определяются его характеристическим уравнением. При $L(p)=1$ имеем систему контура тока первого порядка, и можно обеспечить только апериодические процессы. При $L(p)=T_L p + 1$ имеем $T_1 T_L p^2 + T_1 p + 1 = 0$ – контур тока будет второго порядка, что дает возможность задавать как апериодические, так и колебательные процессы. В контуре второго порядка показатели динамических процессов легко связать с коэффициентами характеристического уравнения. Задавать характеристические уравнения более высоких порядков нецелесообразно, поскольку невозможно установить зависимость показателей динамических процессов с коэффициентами уравнения. С учетом изложенного передаточная функция контура тока запишем в виде

$$\frac{I_{я}(p)}{U_{pc}(p)} = \frac{1/k_{ост}}{T_1 T_L p^2 + T_1 p + 1} = \frac{1/k_{ост}}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1}; \quad T_1 = 2\xi T; \quad T_L = T/2\xi,$$

где ξ – коэффициент демпфирования колебаний; T – постоянная времени. Передаточная функция регулятора тока в данном случае примет следующий вид

$$W_{рт}(p) = \frac{1/k_{ост} N(p)}{2\xi T p (\frac{T}{2\xi} p + 1) M(p)}$$

Исследования работы привода выполнялись при отклонениях постоянных времени, сопротивлений якорных цепей и магнитных потоков от номинальных значений на +5%, +10%, +20% и параметрах: $c\phi_2 = 1,05c\phi_1$, $c\phi_3 = 1,1c\phi_1$, $c\phi_4 = 1,2c\phi_1$; $T_{я2} = 0,95 T_{я1}$, $T_{я3} = 1,1 T_{я1}$, $T_{я4} = 1,15 T_{я1}$; $R_{я2} = 0,95 R_{я1}$, $R_{я3} = 1,1 R_{я1}$, $R_{я4} = 1,15 R_{я1}$



СЕКЦИЯ 1. Теоретические аспекты и методология
построения современного электропривода

Рисунок 4– Переходные процессы в системах с отдельными регулируемым источниками питания якорей и общим источником питания обмоток возбуждения

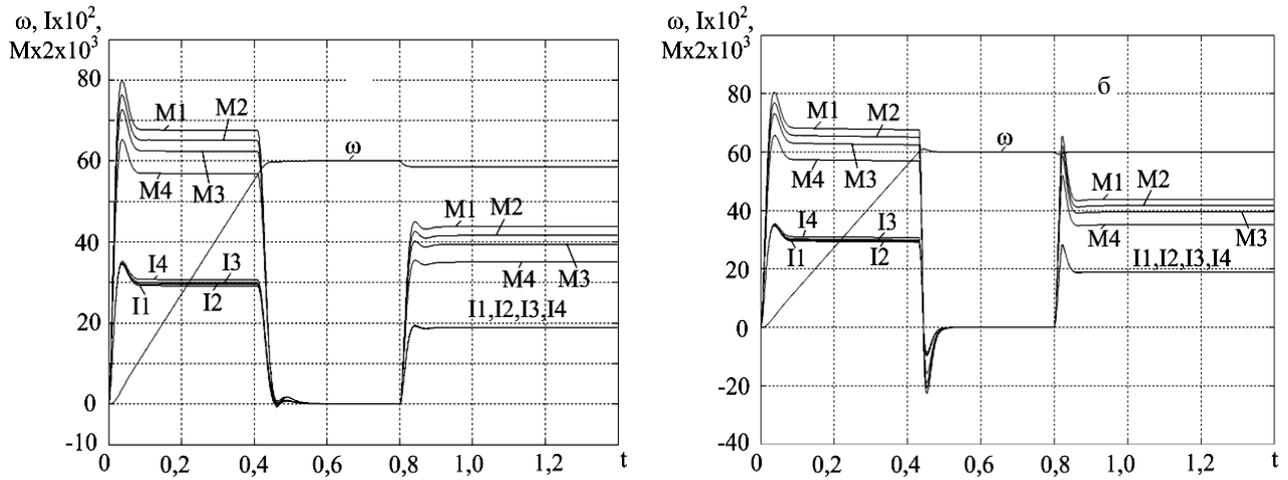


Рисунок 5 – Переходные процессы в системах с отдельными регулируемым источниками питания якорей и общим источником питания обмоток возбуждения при настройке регуляторов тока по параметрам электродвигателей: а) статическая система, б) астатическая система.

Параметры:

$$c\phi_2=1,05c\phi_1, c\phi_3=1,1c\phi_1, c\phi_4=1,2c\phi_1; T_{я1} = T_{я2}=T_{я3} = T_{я4}; R_{я1}=R_{я2} \\ =R_{я3}=R_{я4}$$

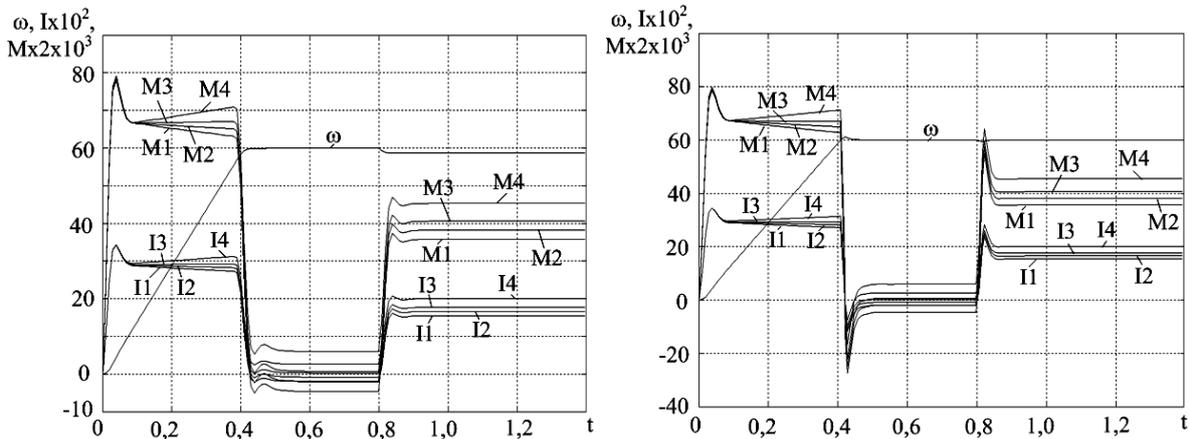


Рисунок 6 – Переходные процессы в системах с общими источниками питания якорей и обмоток возбуждения МЭМ: а) статическая система, б) астатическая система. Параметры: $c\phi_2=0,98c\phi_1$; $c\phi_3=1,02c\phi_1$; $c\phi_4=1,03c\phi_1$; $T_{я1} = T_{я2}=T_{я3} = T_{я4}$; $R_{я1}=R_{я2} =R_{я3}=R_{я4}$.

Таким образом выравнивание токов $I_{яci}$, без выравнивания сопротивлений якорных цепей и магнитных потоков обмоток возбуждения возможно при отдельном управлении напряжениями питания якорных цепей электродвигателей, либо отдельном регулировании их магнитных

потоков. В системах с общими источниками питания якорных цепей и обмоток возбуждения, данные способы выравнивания нагрузок невозможны.

УДК 621.316

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ВРАЩЕНИЯ ВАЛКОВ

Кузнецов В.А., Харенко В.Н., Кузнецова Е.С., Чураков А.С.
*Сибирский Государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Аннотация. Разработана усовершенствованная система управления для электропривода вращения валков металлургического предприятия с применением датчика динамического тока. Для примера использован прокатный двигатель стана «900» рельсобалочного цеха.

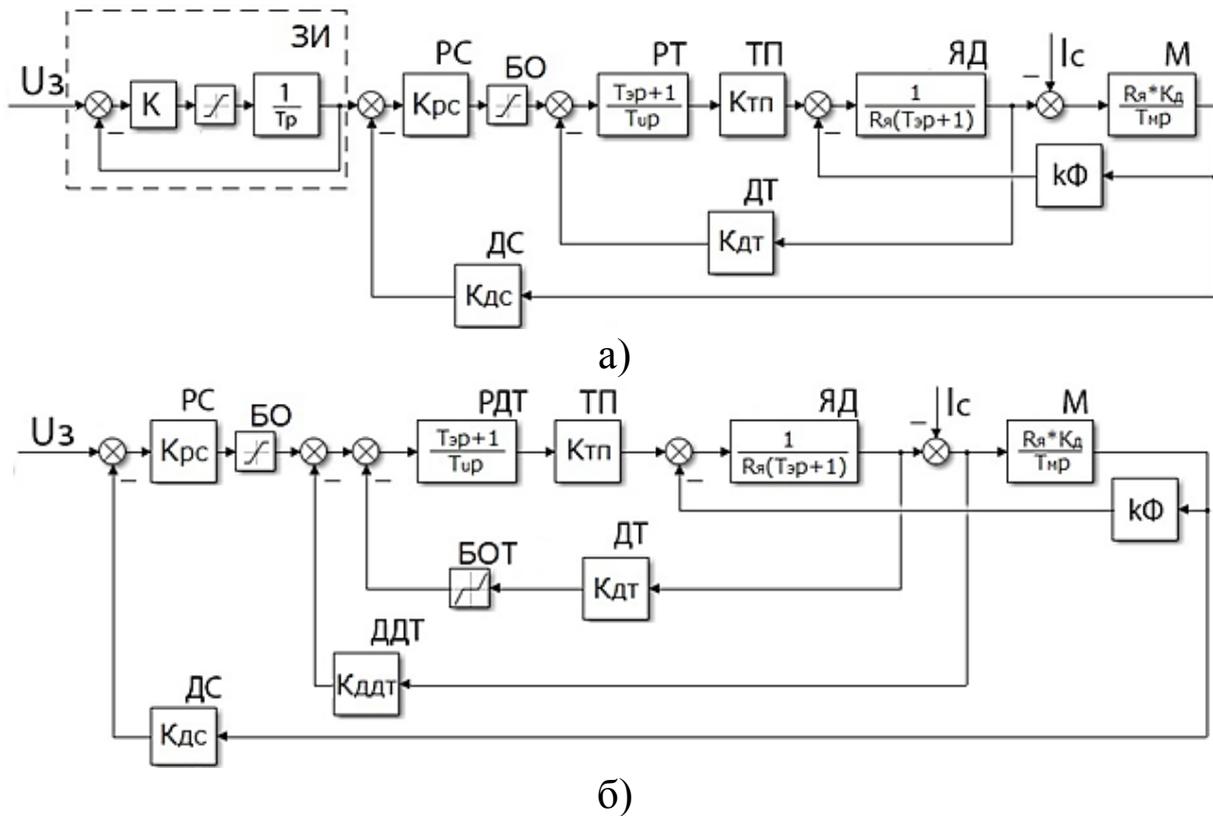
Ключевые слова: Электрический привод, стан, валки, постоянный ток, система управления, датчик динамического тока, регулирование, ток якоря.

В настоящий момент на предприятиях Российской Федерации в более, чем половине применяемых электроприводов используется двигатель постоянного тока. В частности, в прокатном производстве металлургических заводов широкое применение нашли современные автоматизированные электроприводы постоянного тока вращения валков (главные приводы) с использованием тиристорных преобразователей и типовыми системами подчиненного регулирования скорости. Таким образом, повышение производительности электроприводов является на сегодня актуальной задачей.

В приведенной ниже статье исследуются режимы работы прокатного электродвигателя стана «900» рельсобалочного цеха.

На рис. 1,а показана типовая схема двухконтурной системы подчиненного регулирования скорости вращения электродвигателя, содержащая два контура регулирования: внешний контур регулирования скорости, а также внутренний –

тока якоря двигателя. Для формирования темпа изменения скорости в схеме установлен задатчик интенсивности ЗИ.



а) – типовая схема; б) – усовершенствованная схема.

Рисунок 1. Структурные схемы типовой и усовершенствованной САУ

Блок ограничения регулятора скорости БО служит для ограничения максимального тока якоря. Регуляторы скорости РС и тока РТ настроены по модульному оптимуму, что позволяет получить удовлетворительное качество переходных процессов при хорошем быстродействии.

На рис. 3 показаны переходные процессы при использовании для регулирования скорости типовой системы регулирования с однократноинтегрирующей системой.

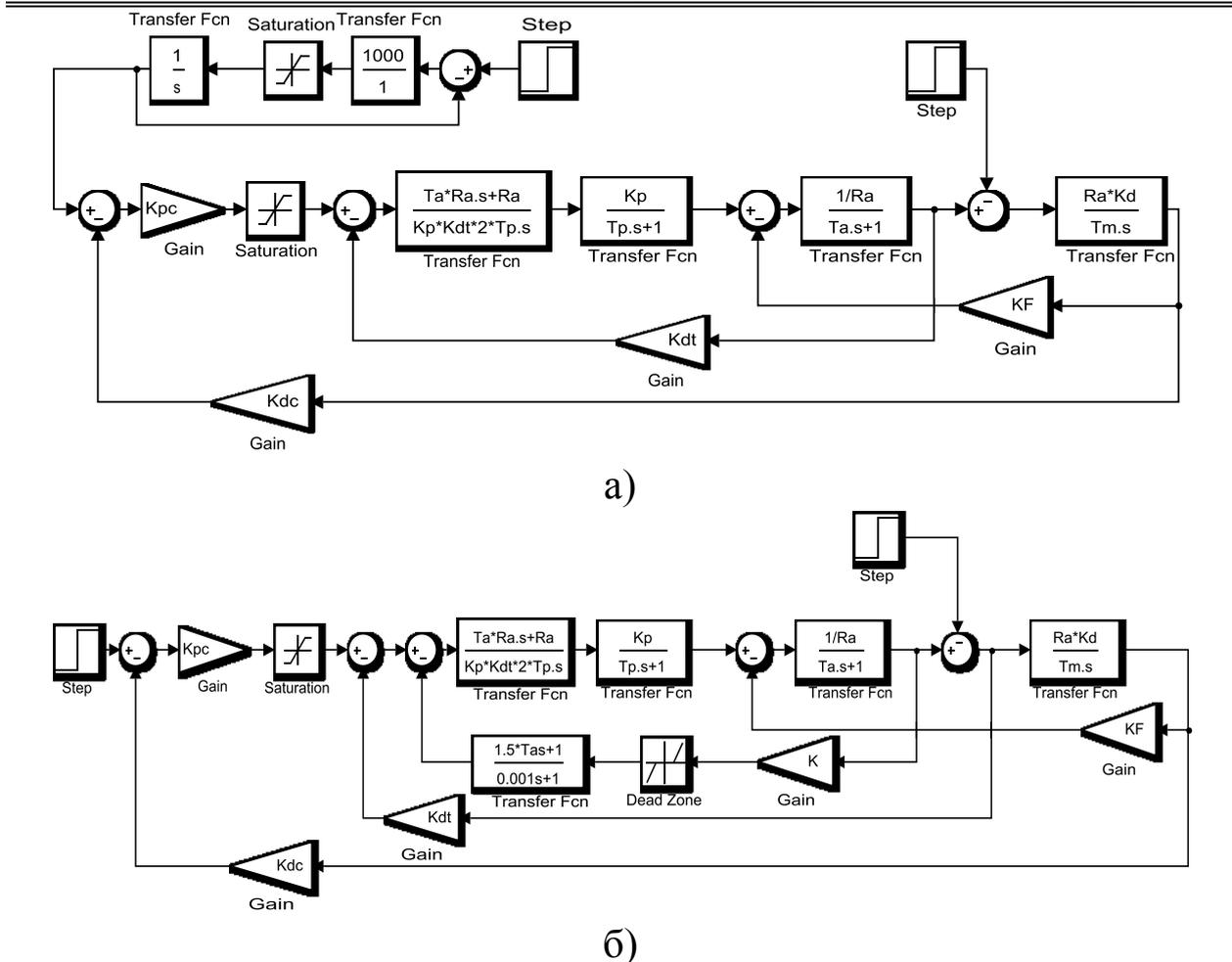
Недостатками типовой системы является снижение максимального тока якоря по отношению к уставке блока ограничения БО, что приводит к увеличению времени прокатки и снижению проектной производительности стана. Это связано с тем, что при появлении возмущения по статическому моменту

происходит просадка скорости, и как следствие снижение противо-ЭДС. При этом ток двигателя начинает возрастать. Стараясь поддерживать ток постоянным, регулятор тока РТ начинает снижать ЭДС преобразователя, что приводит к снижению момента двигателя и в итоге к дальнейшему снижению скорости.

С целью повышения качества регулирования применяют различные способы совершенствования типовой схемы. Один из них представлен на рис. 1,б. В усовершенствованной схеме применен датчик динамического тока двигателя ДДТ и задержанная обратная связь по току якоря (токоограничение в виде токовой отсечки ТО), воздействующая на регулятор динамического тока. Задатчик интенсивности ЗИ (рис. 1,а), используемый в типовых схемах, в усовершенствованной схеме не применяется. Регулирование темпа изменения скорости осуществляется изменением ограничения регулятора скорости РС блоком ограничения БО. Для настройки регуляторов усовершенствованной системы использовались известные инженерные методики настройки систем подчиненного регулирования. Так контур динамического тока настраивается на модульный оптимум с применением в качестве регулятора динамического тока – ПИ-регулятора. Внешний контур регулирования – скорости также настраивается на модульный оптимум, а регулятор скорости выполнен, как П-регулятор.

Для синтеза двухконтурных САУ по системе ТП-Д (рис. 1,б) были использованы номинальные параметры электропривода вращения валков стана «900» рельсобалочного цеха типа П2-23/106-7,1УХЛ4, 7100 кВт, 900 В, 8100 А, и значения, которые были получены в ходе расчета системы регулирования и оптимизации контуров тока и скорости.

СЕКЦИЯ 1. Теоретические аспекты и методология
построения современного электропривода

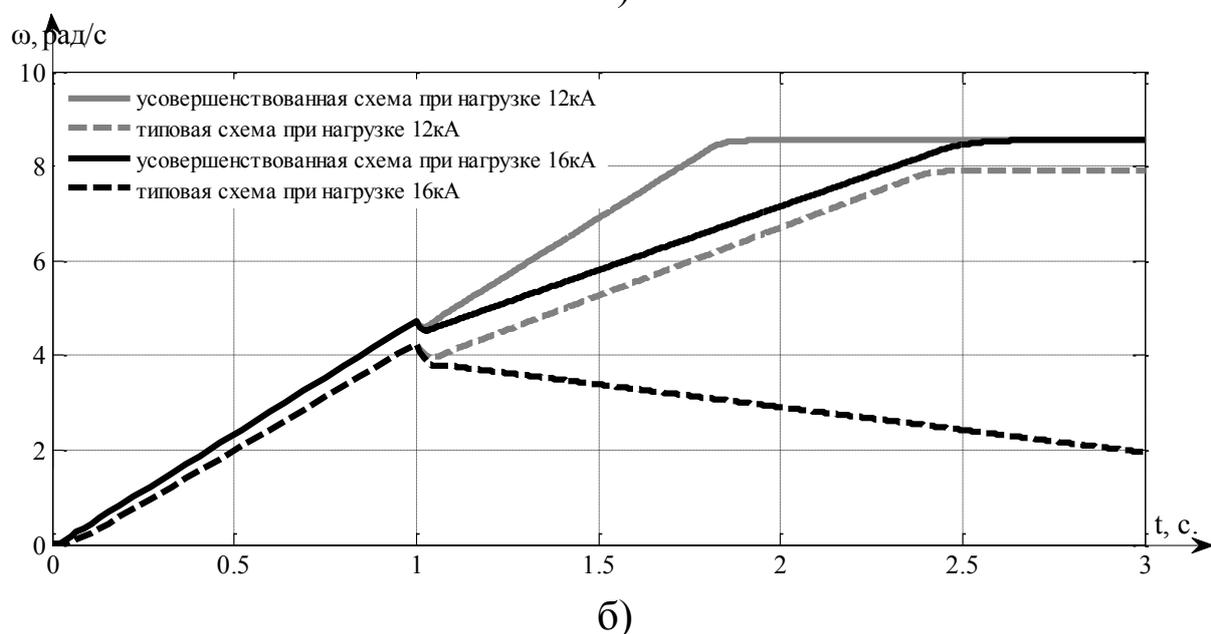
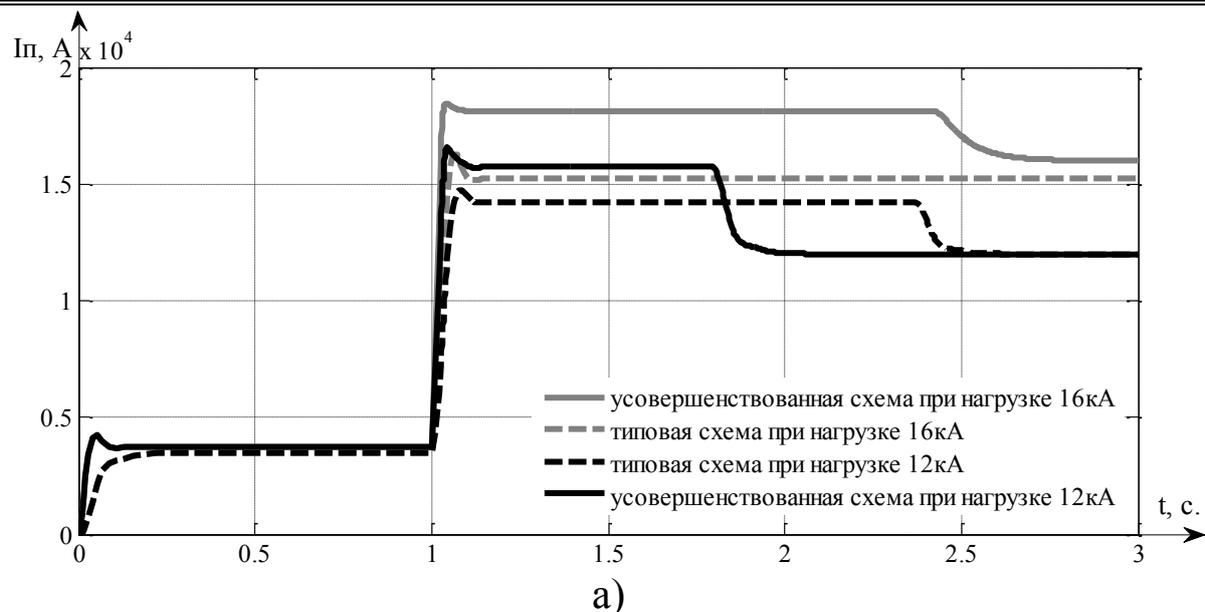


а) – имитационная модель типовой схемы; б) – имитационная модель усовершенствованной схемы.

Рисунок 2. Двухконтурные модели систем управления ТП-Д

С целью анализа и оптимизации полученной системы выполнено моделирование электропривода с типовой и усовершенствованной системами регулирования в среде «Матлаб – Симулинк» (рис. 2).

Конструктивной особенностью улучшенной схемы (рис. 1,б) является применение датчика динамического тока и реализация токовой отсечки, с помощью которых удалось добиться значительного увеличения качества переходных процессов и быстродействия (рис. 3).



а) – переходные процессы тока двигателя при разных значениях нагрузки; б) – переходные процессы угловой скорости двигателя при разных значениях нагрузки.

Рисунок 3. Переходные процессы, полученные при моделировании

В типовой и усовершенствованной системах электропривода с целью сравнения режимов работы при различных возмущающих воздействиях (статического момента) начало действия токоограничения было настроено на величину тока якоря – 16 кА, а темп разгона электроприводов на холостом ходу выбран также одинаковым – 4 рад/сек*сек.

Из анализа осциллограмм переходных процессов, приведенных на рис. 3 следует, что в момент захвата заготовки при токе нагрузки 12 кА в типовой схеме происходит снижение темпа нарастания скорости, что увеличивает время разгона двигателя (снижается производительность стана), в то время, как темп нарастания скорости усовершенствованной схемы не изменяется (рис. 3,б). При увеличении статической нагрузки до 16 кА темп нарастания скорости в усовершенствованной двухконтурной схеме снижается, так как ток якоря двигателя превышает уставку токоограничения, в то время, как типовая двухконтурная система с такой нагрузкой уже не справляется, о чём свидетельствует отрицательный темп прироста скорости (торможение) вплоть до остановки электропривода и стоянки под током, что может привести в конечном итоге к повреждению электродвигателя.

Этот способ регулирования является достаточно гибким для внесения дополнительных изменений и поправок с целью повышения эффективности данной системы управления. Так же может быть рассмотрена возможность его применения в системах управления электроприводом переменного тока по системе ПЧ-АД с векторным регулированием, так как типовая система электропривода переменного тока является подобной системе регулирования, рассмотренной выше.

Анализ режимов работы системы подчиненного регулирования с применением датчика динамического тока по сравнению с типовой системой выявил следующие преимущества:

- в усовершенствованной системе регулирования при набросе нагрузки, статическая просадка скорости отсутствует вплоть до начала действия токовой отсечки;
- высокое качество токоограничения позволяет увеличить максимальный момент на валу электродвигателя.

Список используемой литературы

1. Расчет системы подчиненного регулирования электроприводом постоянного тока: Учеб. пособие. / А.К. Мурышкин, С.А. Дружилов, Т.В. Богдановская – СибГИУ, Новокузнецк, 2007. – 55 с.

2. Унифицированные системы автоуправления электроприводом в металлургии / В.К. Гарнов, В.Б.Рабинович, Л.М. Вишневецкий. –М.: Металлургия, 1971. – 215с., ил.

3. Электроприводы постоянного тока с цифровым управлением./ Р.А. Кулесский, В.А. Шубенко. –М.: Энергия, 1973. –207с., ил.

4. Внедрение усовершенствованной системы управления главным приводом стана «1100» Кузнецкого металлургического комбината. Тезисы докл. Научно-технического совещания «Основные направления развития современных систем автоматизированного электропривода и вопросы эксплуатации и ремонта электрооборудования предприятий черной металлургии». / Кузнецов В.А. –Магнитогорск, 1983. – 5с.

5. Устройство для разделения режимов управления электродвигателем постоянного тока. Авторское свидетельство №972644 по заявке № 3304111 от 17.06.81 / Кузнецов В.А.

СЕКЦИЯ 2

Информационные и управляющие системы
технологическими процессами и системы
автоматизации технологических процессов и
производственных комплексов

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ МИКРОКЛИМАТА ТЕПЛИЧНОГО КОМПЛЕКСА

К.А. Змиева

*Национальный исследовательский
Томский политехнический университет г. Томск*

Аннотация: Рассмотрен вопрос построения системы автоматического управления микроклимата тепличного комплекса на базе микроконтроллера.

Ключевые слова: система автоматического регулирования, микроклимат, тепличный комплекс

Современное состояние систем автоматического управления в различных областях – это бурно развивающаяся отрасль, которая отходит от простой автоматизации технического процесса и стремится к более сложным системам с элементами или полной реализацией «искусственного интеллекта» [1-10]. Даже современные игрушки сегодня более сложны, чем некоторые механизмы позапрошлого века. А такая отрасль, сельского хозяйства, как тепличные комплексы, имеет все шансы сегодня называться одной из самых развитых в этом аспекте направлений. Поэтому вопрос реализации автоматической системы микроклимата в тепличном комплексе является актуальной задачей, которую необходимо решить.

В рамках данного исследования были поставлены следующие задачи:

1. Провести анализ существующих систем автоматического управления микроклимата тепличных комплексов (САУМТП) при различном их исполнении;
2. Составить классификацию систем автоматического управления микроклиматом теплиц и тепличных комплексов;
3. Определить основные требования к САУМТП;

СЕКЦИЯ 2. Информационные и управляющие системы технологическими процессами и системы автоматизации технологических процессов и производственных комплексов

4. Выявить основные закономерности и особенности влияния отдельных факторов на микроклимат в тепличном комплексе.

5. Создать математическое описание данных факторов и проанализировать их.

6. Провести ряд исследований, в качестве методов выбрать: имитационное математическое и натурное моделирование.

Микроклимат создается действием всех систем технологического оборудования – отопительной, вентиляционной, поливной, системой питания, подкормки углекислым газом, искусственным освещением; на него оказывают также влияние климатические факторы и фитоценоза (фитоценоз — растительное сообщество, характеризующееся определенным составом и взаимоотношениями между растениями и окружающей средой) (рис. 1.) [5].

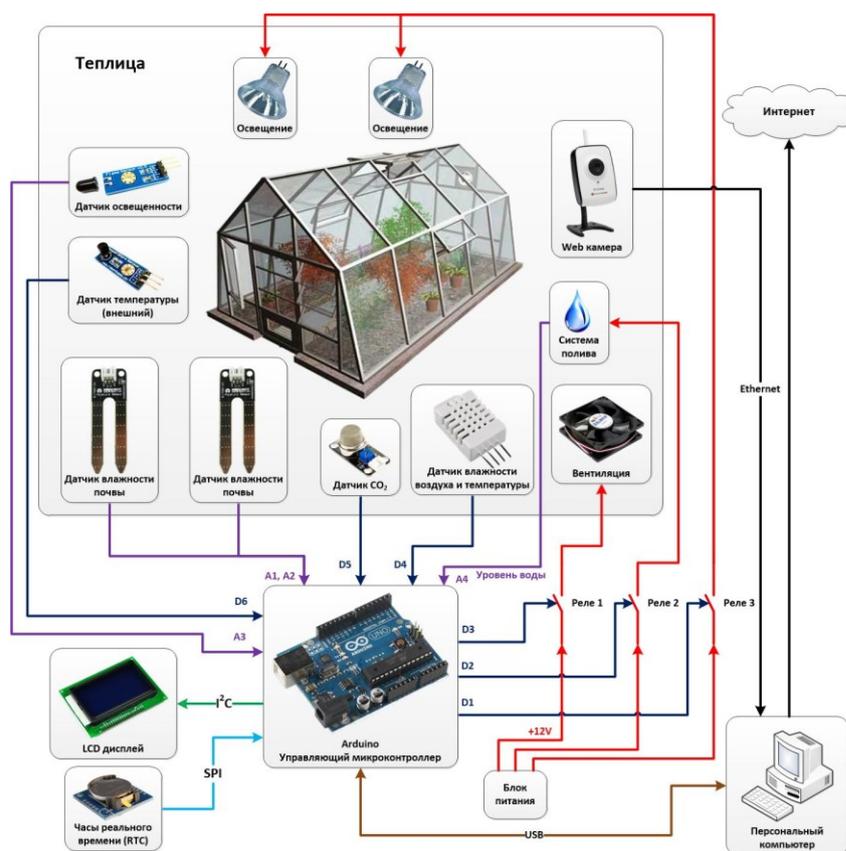


Рисунок 1 – Схема реализации системы автоматического управления теплицы

СЕКЦИЯ 2. Информационные и управляющие системы технологическими процессами и системы автоматизации технологических процессов и производственных комплексов

Современные технологии выращивания овощей, рассады, цветов и зеленных культур требуют постоянного поддержания определенных режимов микроклимата в теплицах. Автоматизация систем управления микроклиматом в защищенном грунте позволяет экономить 15% - 25% тепла при росте урожайности, улучшения условий труда персонала и повышении общей культуры производства [1]. В осенне-зимний период, когда его не хватает, необходимый объем жизненно важной для культур энергии восполняет система искусственного досвечивания.

Сегодня для дополнительного освещения используют люминесцентные, газоразрядные или, что более распространено, натриевые лампы. С недавнего времени этот список дополнили лампы светодиодные [9].

Основная задача теплицы – создание условий эффективной жизнедеятельности растений.

В зависимости от конструктивного исполнения (решения) теплицы решаются вопросы вентиляции в кровле и в боковых стенах. Для теплиц 5-го поколения предусматривают специальную вентиляционную камеру, располагаемую вдоль пролетов теплиц. Дополнительные системы вентиляторов забирают воздух из теплицы, доводят их до проектного качества (в том числе охлаждают с использованием так называемых «мокрых экранов») и возвращают в блок с растениями. При этом конструктив (количество) форточной вентиляции значительно меньше, чем у теплиц типа «Venlo».

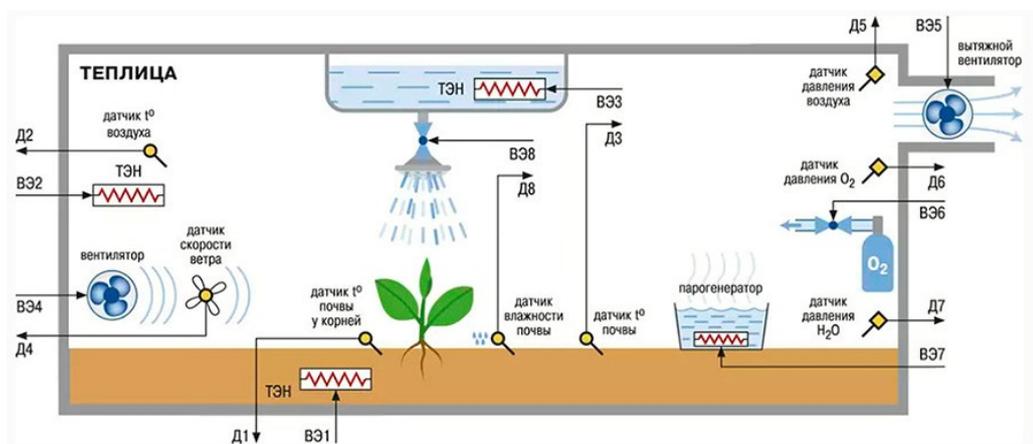


Рисунок 2 – Схема микроклимата тепличного комплекса

При выборе типа теплицы необходимо учесть климатические условия региона, сроки выращивания с/х культур, [световую зону](#) данного региона (Томск III световая зона).

Вспомогательные помещения для работающих в теплицах и парниках следует проектировать в соответствии с требованиями СНиП II-92-76. Геометрические параметры теплиц и парников должны назначаться в соответствии с технологической частью проекта. Теплицы следует проектировать с деревянным или металлическим каркасом в соответствии с требованиями ТП 101-81. Парники необходимо проектировать с деревянным или железобетонным каркасом.

Светопрозрачные ограждения зимних теплиц следует проектировать из стекла или пленки, как правило, двухслойными или однослойными с дополнительной трансформирующейся шторой или теплозащитным экраном, а весенних теплиц - из пленки, снимаемой на зимний период. В стенах теплиц, предназначенных для выращивания рассады, высаживаемой в открытый грунт, необходимо предусматривать вентиляционные проемы.

Заключение: В целом, современные технологии и все большая автоматизация процессов в теплице делают работу более комфортной, уменьшают затраты труда, привлекают в эту область сельского хозяйства молодых квалифицированных специалистов. Сегодня невозможно представить современную экономичную теплицу без мощной, быстродействующей, надежной системы автоматического управления. Что дает возможность существенно минимизировать эксплуатационные расходы и заметно повысить урожайность.

Библиографический список:

1. Боярцева, В.К. Микроклимат теплиц. Справочник садовода. – 2010. 420 с.
2. Деменков, Н.П. Системы автоматического управления на основе программируемых логических контроллеров. Schneider Electric. 2006. 310с.

СЕКЦИЯ 2. Информационные и управляющие системы
технологическими процессами и системы автоматизации
технологических процессов и производственных комплексов

3. Гиш Р.А., Карпенко Е.Н. Модернизация и совершенствование управления параметрами микроклимата – основа теплиц V поколения. Научный журнал КубГАУ, №123(09), 2016 года

4. Малышев Н.А. Воздушный режим теплиц в теплый период года/ Сборник статей.– Н. Новгород: ННГАСУ, 2016.

5. Предпосылки и особенности разработки автоматизированной системы управления «микроклимат». Научный журнал КубГАУ, №112(08), 2015 года.

6. Пчелин М.В. Тепличное освещение. Вчера, сегодня, завтра. Ассоциация «Теплицы России», 2015.

7. Создание микроклимата в теплице. [Электронный ресурс]: Электрон. дан. – Режим доступа: <https://ochenkrepko.ru/page/sozдание-mikroklimata-v-teplice.html> , свободный. – Загл. с экрана. [дата обращения: 20.02.2018]

8. Системы управления микроклиматом. [Электронный ресурс]: Электрон. дан. – Режим доступа: <http://profit-agro.ru/sistemy/sistemy-upravleniya-mikroklimatom/> , свободный. [дата обращения: 10.03.2018]

9. Соболев А.В. Эффективность регулирования микроклимата в теплицах с помощью электричества. Вестник КрасГАУ. 2014. № 2

10. Тигранян Р.Э. Микроклимат. Электронные системы обеспечения. – ИП. Радиософт, 2005

УДК 621.316

ВЫЧИСЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИ ОПТИМАЛЬНОЙ
ТЕМПЕРАТУРЫ ХОЛОДНОЙ ПАНЕЛИ В СИСТЕМЕ
ОСУШЕНИЯ

Нгуен Ван Выонг, С.В. Прохоров

*Национальный исследовательский Томский политехнический
университет, г. Томск*

Аннотация: в данной статье рассмотрены проблемы работы охлаждающих панелей в осушителях, в рамках статьи предложен метод

СЕКЦИЯ 2. Информационные и управляющие системы
технологическими процессами и системы автоматизации
технологических процессов и производственных комплексов

вычисления аппроксимирующей функции оптимальной температуры
холодной панели

Ключевые слова: холодная панель, осушитель, конденсат, насыщение.

Для повышения энергоэффективности систем осушения воздуха в хранилищах в условиях влажной внешней среды, требуется решить несколько актуальных задач. Например, для системы с холодной панелью (рис. 1), которая собирает (конденсирует) влагу важно поддерживать оптимальную температуру точки росы средствами автоматизации.

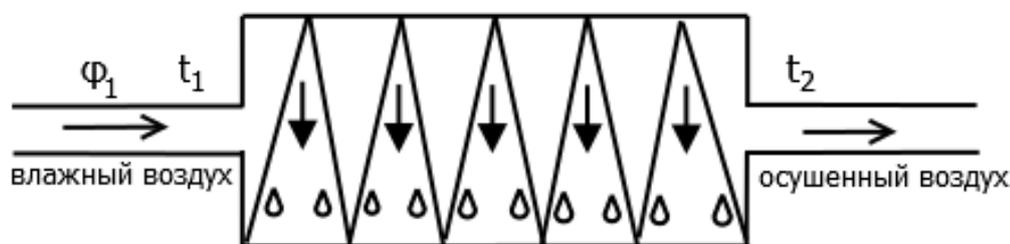


Рисунок 1 – Структурная схема системы осушения.

Выполнение условия поддержания оптимальной температуры позволяет сократить время осушения бокса (хранилища), уменьшить объем циркулируемого воздуха, тем самым повысить энергетические характеристики объекта.

Вычисление оптимальной температуры, исходя из внешних условий работы системы, является достаточно сложной задачей. Обзор научной литературы в рассматриваемой области, позволяет найти материалы [1,2,3], где оптимальная зависимость получена экспериментальным путем. Результаты получены для систем добычи пресной воды из влажного воздуха в прибрежных и пустынных зонах Объединенных Арабских Эмиратов. Однако физический принцип поддержания температуры холодной панели остается похожим, и обладает схожими характеристиками.

На рис. 2. представлены результаты экспериментов поиска оптимальной температуры панели t_2 для различных внешних условий. В частности, рассматривается температура внешней среды t_1 и влажность воздуха, поступающего на холодную панель Φ_1 .

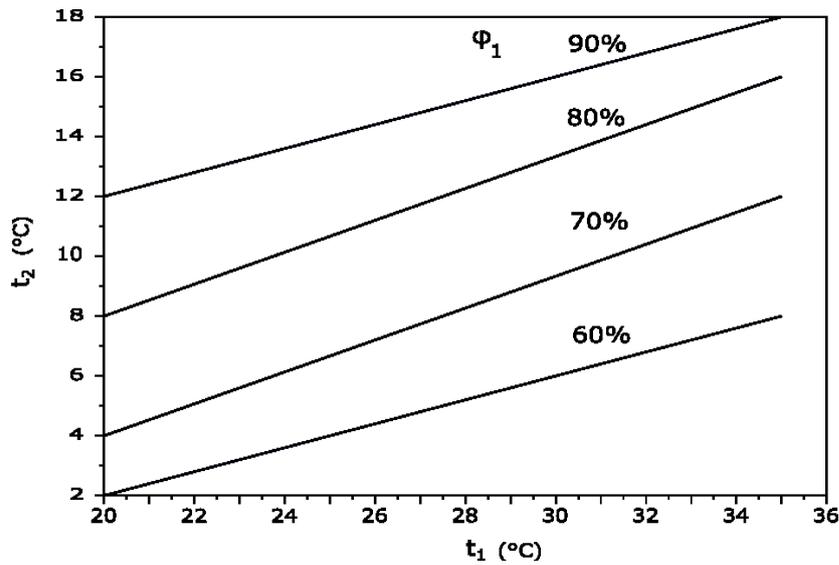


Рисунок 2 – Оптимальная температура воздуха на выходе t_2 в зависимости от φ_1 и t_1

В работе предлагается метод получения аппроксимации функции оптимальной температуры от температуры внешней среды и влажности.

В начале вычисляются уравнения прямых

$$t_2 = b + k t_1 \quad (1)$$

для каждой прямой, представленной на рис.2. Уравнение прямой можно получить по двум точкам воспользовавшись выражением:

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} \quad (2)$$

Для каждого значения влажности φ_1 запишем уравнения по двум точкам А(t_1, t_2) и В (t_1, t_2) уравнение (1).

$$\begin{aligned} \varphi_1 = 60 \% , & \text{ A}(35;8), \text{ B}(20;2), \quad t_2 = 0.4 t_1 - 6; \\ \varphi_1 = 70 \% , & \text{ A}(20;4), \text{ B}(35;12), \quad t_2 = 8/15 t_1 - 20/3; \\ \varphi_1 = 80 \% , & \text{ A}(20;8), \text{ B}(35;16), \quad t_2 = 8/15 t_1 - 8/3; \\ \varphi_1 = 90 \% , & \text{ A}(20;12), \text{ B}(35;18), \quad t_2 = 6/15 t_1 + 4; \end{aligned} \quad (3)$$

С помощью средств Scilab можно получить функции параметров прямой (1). Для этого изобразим графически эти зависимости. На рис.3 показана зависимость $k(\varphi_1)$, которая похожа на перевернутую параболу.

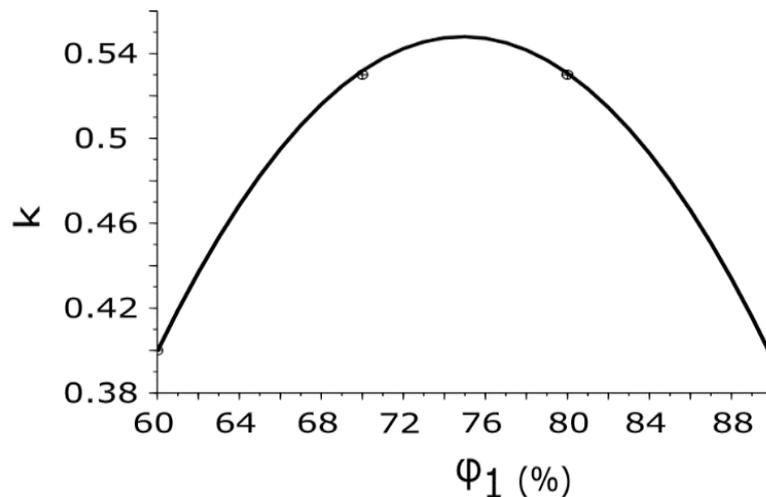


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента k от φ_1

Такие функции можно представить в виде аппроксимации полиномом второго порядка

$$b(\varphi_1) = a_1 + a_2\varphi_1 + a_3\varphi_1^2 \quad (4)$$

После подстановки коэффициентов из (3) и вычислений в среде SciLab получим выражение:

$$b(\varphi_1) = 0.018326\varphi_1^2 - 2.4088732\varphi_1 + 72.456076 \quad (5)$$

Также можно получить графическую зависимость $b(\varphi_1)$, показанную на рис.4. Зависимость будем искать в следующем виде:

$$k(\varphi_1) = a_1 + a_2\varphi_1 + a_3\varphi_1^2 \quad (6)$$

После вычисления коэффициентов аппроксимации получим выражение:

$$k(\varphi_1) = -0.000666\varphi_1^2 + 0.0998715\varphi_1 - 3.1931612 \quad (7)$$

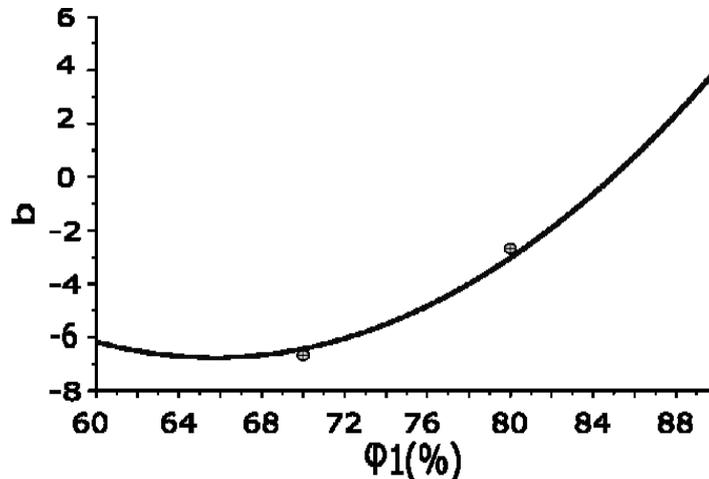


Рисунок 4 – Значения b в зависимости от φ_1

В результате функция оптимальной температуры на холодной панели может быть вычислена с помощью выражения:

$$t_2(\varphi_1, t_1) = b(\varphi_1) + k(\varphi_1)t_1 \quad (8)$$

где параметры $b(\varphi_1)$ и $k(\varphi_1)$ вычисляются из выражений (5) и (7).

В работе предложен метод вычисления аппроксимирующей функции оптимальной температуры холодной панели в системе осушения воздуха. В качестве исходных данных являлись результаты экспериментальных исследований представленных в виде графиков. Полученное выражение позволяет вычислить заданную оптимальную температуру точки росы холодной панели для наиболее эффективного отделения влаги в системе управления осушения контейнеров, которая рассматривалась в публикации [4].

Библиографический список:

1. Khalil, A. Dehumidification of atmospheric air as a potential source of fresh water in the UAE//Desalination.-1993.-volume 93.-с.587-596

2. Kang, Z. and Li, J. and Li, Z. and Feng, G. Energy-saving analysis of cold and heat recovery of the full fresh air dehumidifier//Procedia Engineering.-2017.-volume 205.-с. 4117-4121
3. E. Silva Neto, A.S. and da Silva, D.O. and de Oliveira, A.L.T. and de Brito Espinola, S. and de Melo, J.R.F. and de Lima, T.C.F. Air dehumidifier controlled by arduino using peltie//Advances in Intelligent Systems and Computing.-2017. –volume 569.-с.367-376
4. Выюнг Н.В., Слепцов Д.В., Шилин А.А. математическая модель управляемой системы утилизации влаги из контейнеров // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием под общей редакцией В.В. Федчишина. - Иркутск: ИЗДАТЕЛЬСТВО Иркутского национального исследовательского технического университета, 2018. - С. 123.

УДК 681.51

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И НАСТРОЙКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОНТУРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕОРИИ ПОДОБИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ*

¹Макаров Г.В., ¹д.т.н. Мышляев Л.П., ² к.т.н. Венгер К.Г.,
¹Саламатин А.С.

*1 - Сибирский государственный индустриальный
университет, г. Новокузнецк, Россия*

2 – ЗАО «Стройсервис», г. Кемерово, Россия

Аннотация. В работе описан подход совместного синтеза объекта управления и управляющей системы с применением методов подобия. Отмечены его преимущества на этапе проектирования технологических комплексов. Представлена типовая схема обогащения угля с помощью тяжелосредного сепаратора на обогатительной фабрике. Даны рекомендации по

СЕКЦИЯ 2. Информационные и управляющие системы
технологическими процессами и системы автоматизации
технологических процессов и производственных комплексов

настройке контуров регулирования на этапе пусконаладочных работ с применением методов подобия систем управления.

Ключевые слова: автоматизация, АСУТП, типовые решения, подобие систем управления.

Эффективность разработки современных технологических комплексов зависит от слаженной работы по проектированию технологической и управляющей составляющей. Проектирование технологии в отрыве от управляющей системы не позволит достичь поставленных целей по качеству продукции, если для управления не обеспечены возможности или диапазон возможных управляющей воздействий недостаточен. Еще более серьезным недостатком может являться неправильный выбор структуры управляющей системы. В таком случае, говорить о каком-либо эффективном управлении бессмысленно.

Решение данных проблем предложено в подходе совместного синтеза объекта управления и управляющей системы [1]. При таком подходе появляется возможность корректировки технологического контура, состава средств КИП для контроля технологических параметров, структуры и алгоритмов системы управления еще до этапа наладки, что обеспечивает возможность эффективного управления сразу после окончания строительно-монтажных работ. Однако, даже при таком подходе задачи настройки системы управления осложняются так называемым «системным эффектом», когда после введения в действие прямых и обратных связей параметры (или даже структура) объекта управления меняется [2]. Для решения этой проблемы эффективно применение методов теории подобия систем управления [3]. Однако их использование возможно только при установленном подобии между рассматриваемыми системами. Чтобы иметь возможность применить данные методы, необходимо обеспечить подобие проектируемой системы с готовой и исследованной системой, которая прошла этапы введения прямых и обратных связей и была эффективно настроена уже под измененные свойства объекта. Для этого может служить физическая модель системы управления (в случае нового технологического процесса) или же введенная в эксплуатацию ранее промышленная система.

СЕКЦИЯ 2. Информационные и управляющие системы
технологическими процессами и системы автоматизации
технологических процессов и производственных комплексов

В рамках реконструкции ОФ «Барзасское товарищество» [4] предусмотрен ввод в действие контура обогащения угля в тяжелосредном сепараторе. Этот объект является сложным для управления и характеризуется распределенным управлением, переменной структурой, наличием прямых и обратных управляющих связей, а также рециклом. Синтез системы управления для такого объекта – задача нетривиальная. Однако, для управления подобного вида объектами (объектами с рециклом) была предложена и успешно внедрена на ОФ «Матюшинская» система управления [5].

Типовая схема технологического контура обогащения угля в тяжелосредном сепараторе представлена на рисунке 2. Представленный объект для новой разрабатываемой системы на ОФ «Барзасское товарищество» по структуре идентичен известному объекту, но отличается габаритами зумпфов, длиной трубопроводов и производительностью оборудования, что влияет на динамические и статические характеристики его как объекта управления. Управление данным объектом осуществляется в нескольких контурах, с разными задачами и на разных уровнях. Например, управление отдельными технологическими агрегатами (насосы, задвижки, грохоты, тяжелосредный и магнитные сепараторы) осуществляется в локальных системах логического управления, которые можно охарактеризовать как « типовые », применив соответствующие структуры и подходы к управлению, сократив сроки разработки, число ошибок, а также повысив оперативность корректировки при отладке программ на этапе пусконаладочных работ [6]. Следующими контурами является поддержание заданных уровней в зумпфах, осуществляющиеся посредством изменения производительности насосов. Также в системе поддерживается заданное давление, плотность и общая производительность, которые могут меняться в зависимости от технологических режимов или нагрузки на фабрику.

СЕКЦИЯ 2. Информационные и управляющие системы
технологическими процессами и системы автоматизации
технологических процессов и производственных комплексов

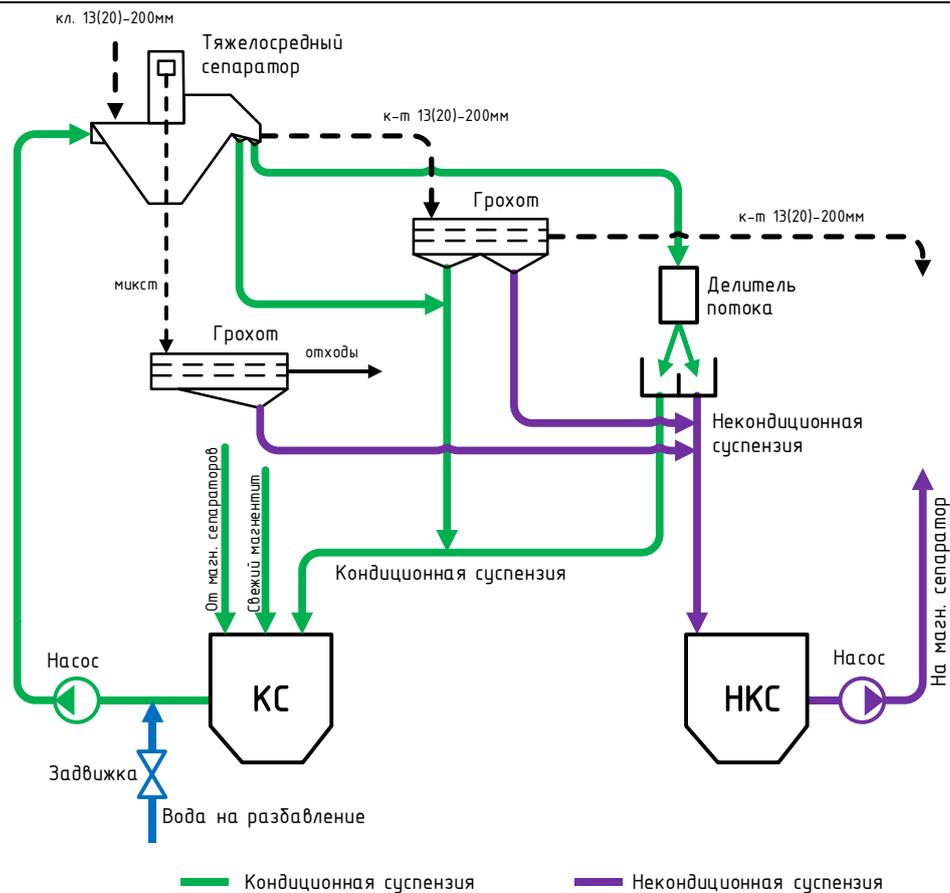


Рисунок 1 – Схема цепей агрегатов обогащения угля
в тяжелосреднем сепараторе

Рассмотрим обеспечение подобия на примере контура поддержания заданной плотности суспензии. Управление осуществляется посредством поворотной задвижки на трубопроводе воды на разбавление суспензии до заданной плотности. Параметры известного объекта управления описаны в [5]. С точки зрения управления данный объект можно описать последовательным соединением инерционного звена первого порядка и звена чистого запаздывания. Для обеспечения подобия систем регулирования такого объекта необходимо выполнить следующие условия

$$\begin{cases} \left| \sigma_{np1} - \sigma_{np2} \right| \leq \delta \sigma_{np}^* \\ \left| \frac{\tau_{u1}}{T_{u1}} - \frac{\tau_{u2}}{T_{u2}} \right| \leq \delta \frac{\tau_u}{T_u} \\ \left| \alpha_{np1} \cdot \tau_{u1} - \alpha_{np2} \cdot \tau_{u2} \right| \leq \delta (\alpha_{np} \cdot \tau_u)^* \end{cases} \quad (1)$$

где параметры объекта управления: k – коэффициент передачи, T – постоянная времени инерции, τ – время чистого запаздывания, параметры приведенного к выходу возмущения σ_{np}^2 – дисперсия приведенного возмущения, α – коэффициент спада автокорреляционной функции, θ – интервал временного сдвига между значениями приведенного возмущения.

В случае установленного подобия по соотношениям (1) контура регулирования с ОФ «Матюшинская» (индекс «1») и проектируемого контура на ОФ «Барзасское товарищество» (индекс «2») настройки пропорционально-интегрального закона регулирования можно пересчитать по формулам

$$\begin{aligned} k_{II}^2 &= k_{II}^1 \cdot \frac{k^2 \tau^2 T^1}{k^1 \tau^1 T^2} \cdot e^{\frac{1}{\lambda}(\alpha^1 \cdot \tau^1 - \alpha^2 \cdot \tau^2)} ; \\ k_{II}^2 &= k_{II}^1 \cdot \frac{y_{cp}^1 k^1 \tau^1}{y_{cp}^2 k^2 \tau^2} \cdot e^{\frac{1}{\lambda}(\alpha^2 \cdot \tau^2 - \alpha^1 \cdot \tau^1)} . \end{aligned}$$

где k_{II} и k_{II} – коэффициенты при пропорциональной и интегральной части закона регулирования, y_{cp} – среднее значение выходной переменной; λ – настроечный коэффициент, зависящий от соотношения τ / T .

Как показано в [2], при таком подходе к настройке контуров регулирования можно получить эффективность первичной настройки контура более чем на 20% выше, чем традиционными методами, не учитывающими «системный эффект». Это позволяет сократить сроки пуско-наладочных работ системы, а также снизить количество некондиционной продукции в начальной стадии эксплуатации.

Список использованных источников

1. Ляховец М.В. Совместный синтез объекта управления и управляющей подсистемы / Ляховец М.В., Ивушкин К.А.,

СЕКЦИЯ 2. Информационные и управляющие системы
технологическими процессами и системы автоматизации
технологических процессов и производственных комплексов

Мышляев Л.П., Чернявский С.В., Львова Е.И. // Известия высших учебных заведений. Чёрная металлургия. 2014. Т. 57. № 12. С. 33-36.

2. Мышляев Л.П. Системные особенности настройки алгоритмов управления / Мышляев Л.П., Макаров Г.В., Ивушкин К.А. // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2018. № 4. С. 333-336.

3. Евтушенко В.Ф. Исследование систем управления с применением физических моделей / Евтушенко В.Ф., Мышляев Л.П., Ивушкин К.А., Макаров Г.В., Буркова Е.В. // В сборнике: Системы автоматизации в образовании, науке и производстве Труды X Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). 2015. С. 159-165.

4. Мышляев Л.П. Развитие автоматизированной системы управления технологическими процессами обогатительной фабрики / Мышляев Л.П., Макаров Г.В., Ляховец М.В., Венгер К.Г., Леонтьев И.А., Мелкозеров М.Ю. // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2018. № 4. С. 316-323.

5. Киселев С.Ф. Регулирование плотности магнетитовой суспензии в условиях обогатительной фабрики «Матюшинская» / Киселев С.Ф., Циряпкина А.В., Линков А.А., Мышляев Л.П., Березин Д.Г. // В сборнике: Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов сборник научных статей. Под общей редакцией В.Н. Фрянова. 2013. С. 193-198.

6. Саламатин А.С. Типовые решения по автоматизации технологических объектов на примере углеобогатительных фабрик / А.С. Саламатин, Г.В. Макаров, М.В. Ляховец, Л.П. Мышляев, М.В. Раскин // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. - Новокузнецк. - 2018. - №4 - С. 331-334.

МЕТОД ПОДБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ВОЗДУШНОГО ПОТОКА ДЛЯ ПИРОЛИЗНОГО КОТЛА

А. С. Михайлёв

*Национальный исследовательский Томский политехнический
университет, г. Томск*

Аннотация: в данной статье рассмотрена проблема подбора воздушного потока на дожигание пиролизных газов в газогенераторном котле, в рамках статьи предложен алгоритм по подстройке экспертных оценок для конкретного пиролизного котла.

Ключевые слова: пиролизный котёл, нечеткая логика, экспертные оценки, дефазифицированная модель.

Задача по подбору оптимального соотношения воздушных потоков на генерацию и дожигание пиролизных газов в газогенераторном котле весьма актуальна. Использование пиролизных котлов продиктовано ростом цен на нефть, газ и электричество, а также существенным увеличением строительства домов и коттеджей, расположенных в дали от газовых магистралей [1].

Пиролизный котёл состоит из двух камер. В первой камере происходит генерация пиролизных газов. Воздушный поток подаваемый в камеру для поддержания температуры и генерации газов обозначен Q_p . Во вторую камеру подаётся воздух необходимый для горения пиролизных газов, полученных в результате пиролиза. Воздушный поток подаваемый в камеру горения обозначен Q_a , подачу воздушного потока можно осуществлять с помощью небольшого частотного регулируемого привода.

Основная проблема пиролизного котла заключается в подборе соотношения Q_a/Q_p . Если соотношение подобрано оптимально, в дымоходе котла остается минимум пиролизных газов и кислорода, при этом выдаваемая мощность котлом – максимальна.

СЕКЦИЯ 2. Информационные и управляющие системы
технологическими процессами и системы автоматизации
технологических процессов и производственных комплексов

В данной статье речь пойдет о подборе воздушного потока, направленного на дожигание пиролизных газов, при постоянстве воздушного потока, направленного на генерацию пиролизных газов.

Поток Q_p позволяет регулировать количество пиролизных газов, количество выделившихся пиролизных газов прямо пропорционально вырабатываемой мощности котла, от потока Q_a зависит эффективность горения газов, чрезмерно большой поток Q_a вызывает выброс драгоценного тепла в дымоход котла, недостаток потока Q_a вызывает неполное выгорание сгенерированных газов, следовательно, КПД котла существенно падает [2].

На основании экспертных оценок, представленных в таблице 1, можно наиболее просто организовать подбор оптимального воздушного потока Q_a . Имеющиеся экспертные оценки не обязательно соответствуют конкретному котлу определённой мощности, а скорее соответствуют принципу формирования зависимости мощности от воздушного потока, то есть характеризуют наличие какого-то максимума у кривой. Для аппроксимации приведенных данных в таблице, рационально использовать системы моделирования, основанные на нечеткой логике, так как должна проводиться обработка лингвистически сформулированных экспертных знаний и на данный момент не существует формализованной и адекватной модели пиролизного котла [3].

Результат дефазификации экспертных оценок полученный с помощью прикладного пакета *Fuzzy Logic Toolbox*, программного продукта *MatLab*, представлен на рисунке 1.

В ходе моделирования была создана *.fis* модель с одной входной переменной Q_a , на основе экспертных оценок сформирована база знаний в инструменте *Rule Editor*, в роли выходной переменной выступает $\sim P$. С помощью инструмента *Surface Viewer* получена кривая $\sim P=f(Q_a)$.

СЕКЦИЯ 2. Информационные и управляющие системы
технологическими процессами и системы автоматизации
технологических процессов и производственных комплексов

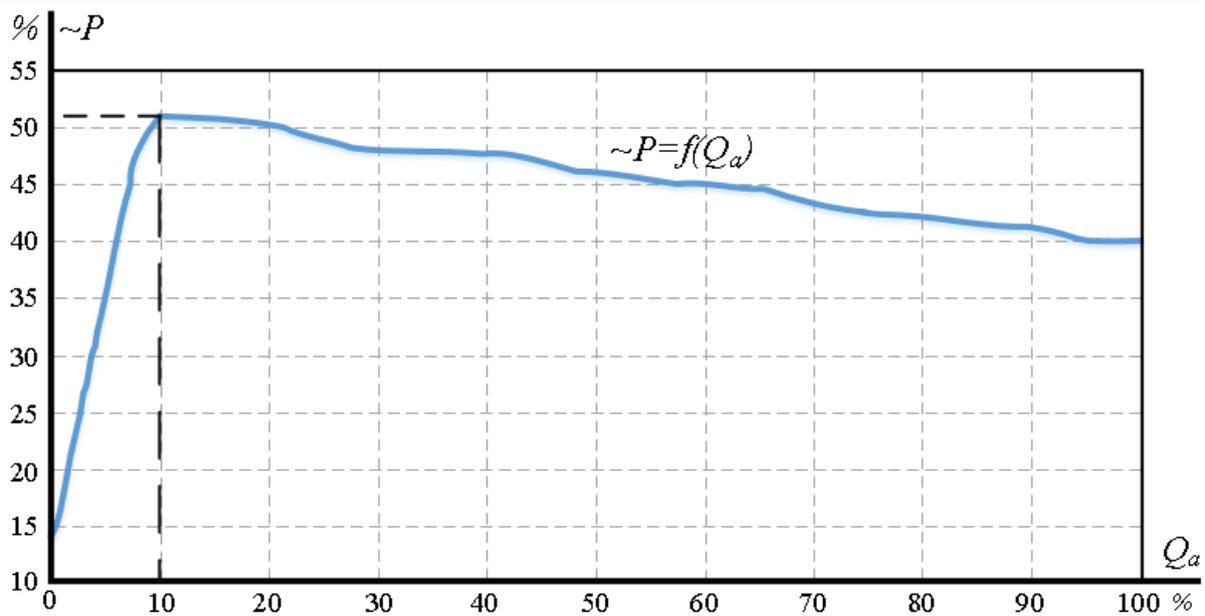


Рисунок 1 - Результат дефазификации экспертных оценок

Кривая $\sim P=f(Q_a)$ описывает выдаваемую мощность пиролизным котлом в зависимости от воздушного потока, направленного на дожигание. При существенном недостатке воздуха ($Q_a < 10\%$) во второй камере происходит существенное недогорание пиролизных газов, которые выходят наружу через дымоход, температура горения падает. В случае когда воздушный поток в камеру горения слишком большой ($Q_a > 10\%$), пиролизные газы выгорают без остатка, однако большая часть тепла полученная от горения пиролизных газов выходит через дымоход. Влияние слишком большого воздушного потока Q_a менее существенно на эффективность горения, нежели чем его недостаток. Оптимальная величина потока согласно экспертным оценкам приходится на ($Q_a = 10\%$) и максимум выдаваемой мощности наблюдаются вплоть до $Q_a = 20\%$, далее происходит ощутимый спад. То есть максимальная эффективность горения приходится на диапазон $Q_a = 10 - 20 \%$. Для реального котла диапазон с максимальной эффективностью может быть, как больше, так и меньше, однако принцип формирования кривой должен остаться прежним.

Максимальная мощность кривой $\sim P=f(Q_a)$ равна чуть более пятидесяти процентов, так как для данной работы была взята часть экспертных данных при постоянстве потока Q_p равного примерно сорока процентам.

СЕКЦИЯ 2. Информационные и управляющие системы
технологическими процессами и системы автоматизации
технологических процессов и производственных комплексов

Значение мощности кривой берет своё начало не из нулевого значения в связи с нагревом воды в результате процессов, происходящих в камере генерации пиролизных газов при отсутствии воздушного потока Q_a .

Таблица 1 – Экспертные оценки мощности горения котла при потоке $Q_p=50\%$ [1]

Q_A	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$\sim P$	0	51	50	48	48	46	45	43	42	41	40

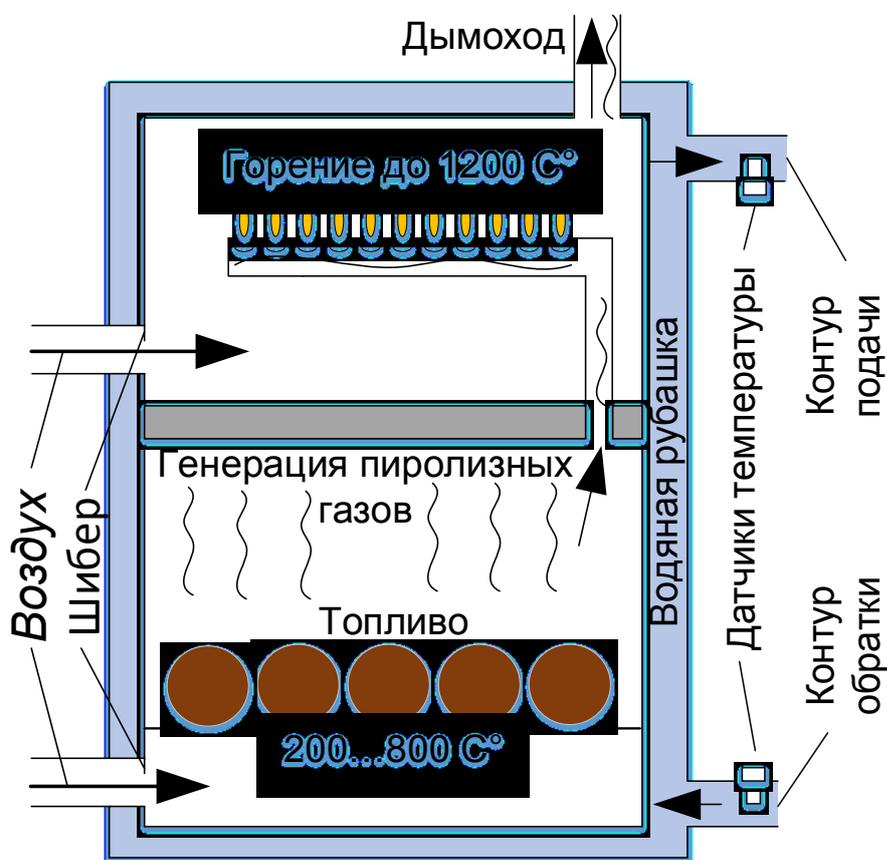


Рисунок 2 – Пиролизный котел

Имея датчики температуры в прямом и обратном контуре котла (рис.2) и зная, что объём теплоносителя в контуре постоянен, вычислить мгновенную мощность котла не составляет труда:

$$P = c \cdot \rho \cdot V \cdot \Delta T, \quad 1)$$

СЕКЦИЯ 2. Информационные и управляющие системы
технологическими процессами и системы автоматизации
технологических процессов и производственных комплексов

где c – теплоемкость теплоносителя, ρ – плотность теплоносителя, V – объём теплоносителя, ΔT – разность температур между контуром подачи и контуром обратки.

Составив алгоритм, который периодически проводит измерения мощности котла, проводя небольшие изменения воздушного потока Q_a , и при этом учитывая, инерционность переходных процессов с помощью модели пиролизного котла [2], можно найти экспериментальные значения мощности.

Дополняя и заменяя полученными экспериментальными данными дефазифицированную модель экспертных оценок (рис. 1) будет получена реальная функция наиболее адекватно описывающая значение мощности котла при изменении потока Q_a . Это подход с формированием кривой $\sim P=f(Q_a)$ путем замены экспертных оценок реальными измеренными значениями мощности, позволяет приспособить систему управления к любому заданному котлу.

Список литературы:

1. Михайлёв А.С. Разработка и исследование системы управления котлом пиролизного горения: дис. маг. техн. наук: 13.04.02. - Томск, 2018. - 109с.
2. Михайлёв А.С., Шилин А.А. Система управления котлом пиролизного горения // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием под общей редакцией В.В. Федчишина. - Иркутск: ИЗДАТЕЛЬСТВО Иркутского национального исследовательского технического университета, 2018. - С. 123.
3. Нечеткая логика в информационных системах // MySlide URL: <https://myslide.ru/presentation/skachat-nechetkaya-logika-v-informacionnyx-sistemax-i-texnologiyax> (дата обращения: 04.11.2018).

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ РУДНИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕНТИЛЯТОРА ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ ВОД-30

Сумин Н.А., Модзелевский Д.Е.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

Был разработан тиристорный возбудитель СД вентилятора, САУ, сняты значения напряжения и тока на осциллографе и частично скомпенсирована реактивная мощность рудника.

Ключевые слова: вентиляторная установка, тиристорный преобразователь, синхронный двигатель, U-образная характеристика, электропривод, угол коммутации.

Вентиляторная установка работает в непрерывном режиме, следовательно, она должна обеспечивать бесперебойную подачу воздуха в шахту. Нагрузка на приводной СД зависит от параметров вентиляционного канала, положения лопаток вентилятора и направляющего спрямляющего аппарата. Параметры вентиляторного канала могут меняться в зависимости от технологических циклов шахты.

На солеруднике основным потребителем электроэнергии является ШПУ, которая вносит искажения в форму тока и напряжения, так как построена по системе ТП-Д мощностью 2,5 МВт. Которая работает циклически и потребляет реактивную мощность и генерирует помехи, за счет потребления несинусоидального тока.

Предлагается разработать тиристорный возбудитель СД вентилятора и реализовать за счет автоматического режима возбуждения частичную компенсацию реактивной мощности рудника.

Для этого необходимо решить следующий задачи:

- 1) разработать структуру системы управления ТП, обеспечивающий режимы пуска и автоматического

СЕКЦИЯ 2. Информационные и управляющие системы технологическими процессами и системы автоматизации технологических процессов и производственных комплексов

возбуждения, регулирующий заданные параметры мощности;

- 2) спроектировать модель тиристорного преобразователя;
- 3) спроектировать модель синхронного двигателя;
- 4) проверить полученные результаты на компьютерной модели.

Структурная схема системы управления показана на рисунке

1.

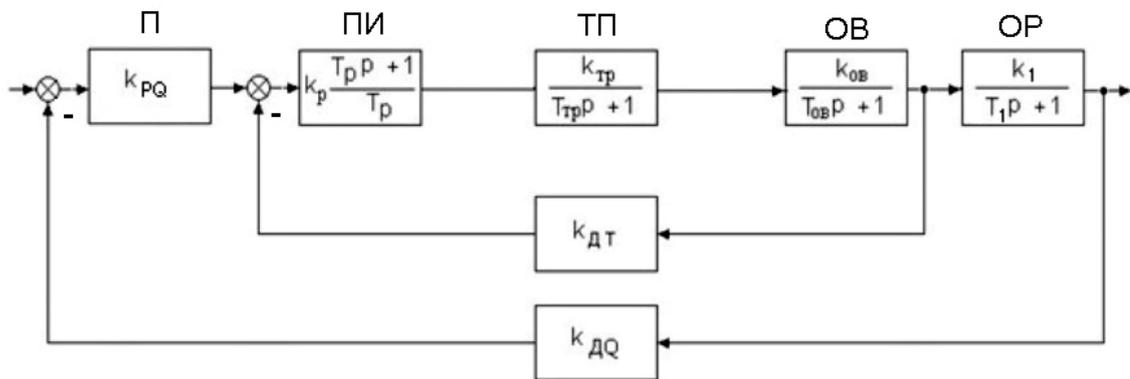


Рисунок 1 — Структурная схема САУ

Двухконтурная схема САУ, которая содержит:

- 1) внутренний контур тока, который включает:
 - тиристорный преобразователь;
 - обмотку возбуждения;
 - датчик тока;
- 2) регулятор тока выбран П типа;
- 3) внешний контур и контур регулирования реактивной мощности.

Построение модели тиристорного преобразователя в MATLAB Simulink представлена рисунке 2. На этой модели настраивается контур тока возбуждения.

СЕКЦИЯ 2. Информационные и управляющие системы
технологическими процессами и системы автоматизации
технологических процессов и производственных комплексов

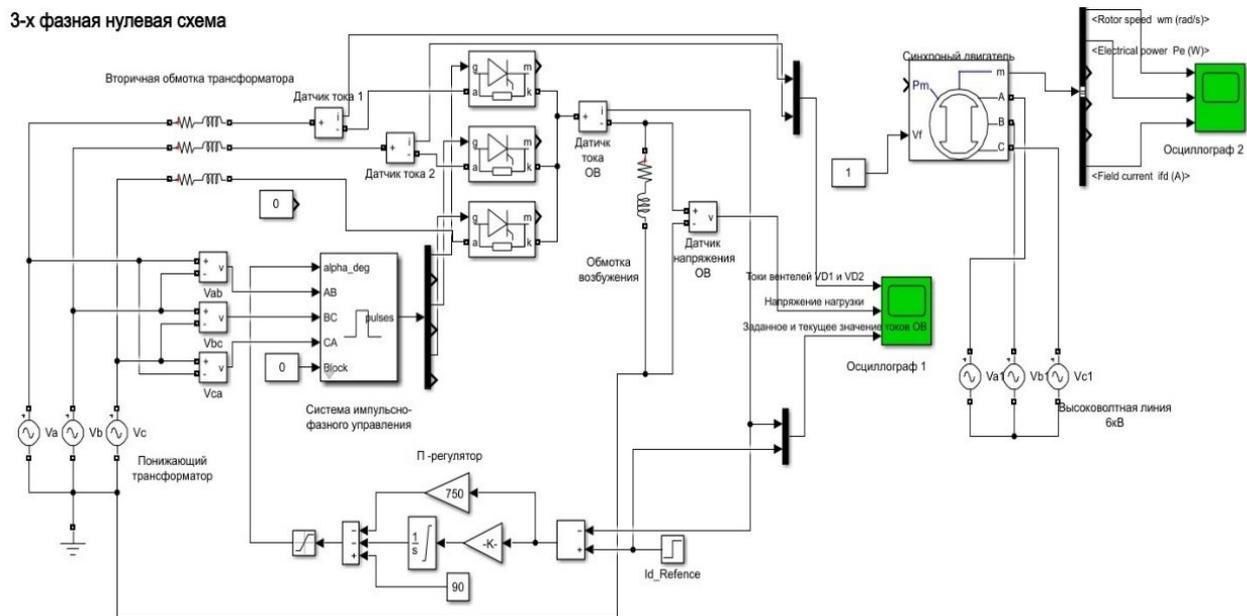
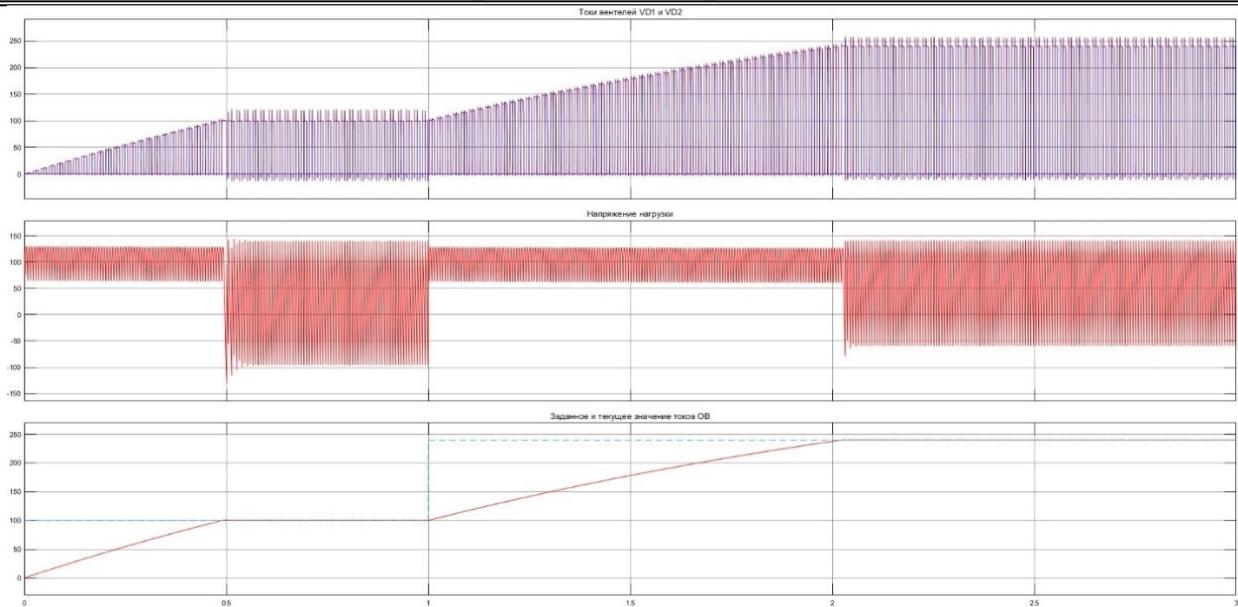


Рисунок 2 — Модель тиристорного преобразователя
MATLAB Simulink

Данная модель составлена в MATLAB Simulink, на который представлены основные элементы: обмотка возбуждения в виде активно-индуктивной нагрузки, силовая часть тиристорного преобразователя (3-х фазная нулевая схема), трансформатор, вторичная обмотка, понижающая нагрузка трансформатора. Кроме этого, в силовой части трансформатора находится датчики тока фаз, тока нагрузки, напряжения нагрузки и напряжения синхронизации, т.е. напряжение питающей сети. Управляющая часть представляет собой систему импульсно-фазного управления, в который задается угол управления.

Ниже представлен переходный процесс. Подача ступенчатого воздействия сначала на 100 А, затем на 240 А, определяем переходный процесс в напряжении нагрузки, токи ветвей и токи обмотки возбуждения. Обмотка возбуждения обладает большой инерционностью, и мы видим, что происходит нелинейное нарастающее напряжение, потому что преобразователь в данный момент находится в ограничении, т.е. полностью открытый преобразователь. После чего ток устанавливается равному, заданному с перерегулированием 1 %, время переходного процесса составляет 2 с.

**СЕКЦИЯ 2. Информационные и управляющие системы
технологическими процессами и системы автоматизации
технологических процессов и производственных комплексов**



а) Токи вентиля VD1 и VD2; б) напряжение нагрузки; в) заданное и текущее значение токов OB

Рисунок 3 — осциллограммы

График приближенного номинального режима работы преобразователя, мы видим, что угол управления соответствует, примерно, 60° , Ток имеет практически прямоугольную форму с небольшими сглаженными фронтами и наблюдаются небольшое угол коммутации (менее 5°).

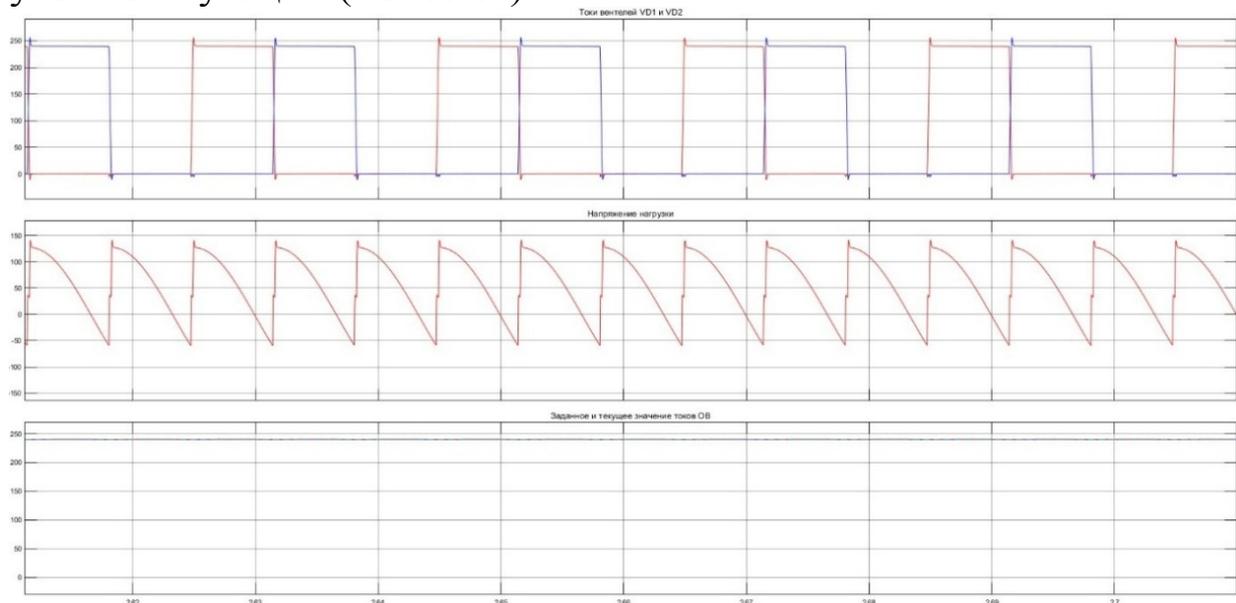


Рисунок 4 — Увеличенный рисунок 3

Модель синхронного двигателя в MATLAB Simulink, на котором подключены 2 последовательные нагрузки, изображена на рисунке 5.

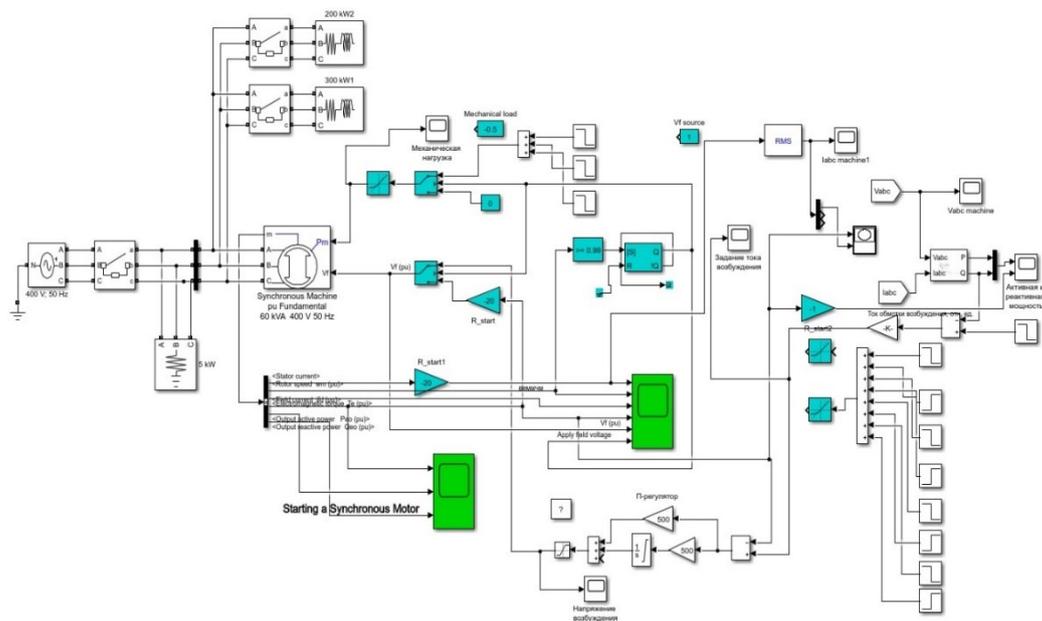


Рисунок 5 — Модель синхронного двигателя в MATLAB Simulink

На следующей модели будет представлен процесс работы синхронного двигателя. Причем будет моделироваться 2 режима работы. Во-первых, это пуск синхронного двигателя. Для режима пуска работа нашего тиристорного преобразователя будет заключаться в следующем: при включении масляного выключателя, подключающего 6кВ к статору синхронного двигателя, двигатель будет запускаться в режиме асинхронном с помощью беличьей клетки, т.е. с помощью намотанного на ротор короткозамкнутой обмотки. В данном случае во время пуска обмотка возбуждения должна обязательно шунтироваться сопротивлением, и величина стартового сопротивления задается блоком R_start . Видно, что ток возбуждения подается в качестве задания, как напряжение возбуждения в обмотку. При пуске синхронный двигатель разгоняется и при достижении подсинхронной скорости, в данном случае срабатывает датчик, который срабатывает на 99% от номинальной скорости (от единицы), переключается триггер ($RS_trigger$) и переходит в состояние подачи возбуждения, и когда мы достигаем такой скорости переключатель изменяет задание на управление возбуждением. Управление возбуждения происходит уже от

СЕКЦИЯ 2. Информационные и управляющие системы
технологическими процессами и системы автоматизации
технологических процессов и производственных комплексов

контура регулирования и переключается еще дополнительная нагрузка. В данном случае после пуска он втягивается в синхронизм, выходит на номинальный режим, с поданным возбуждением. Этот процесс проиллюстрирован переходным процессом пуска синхронного двигателя.

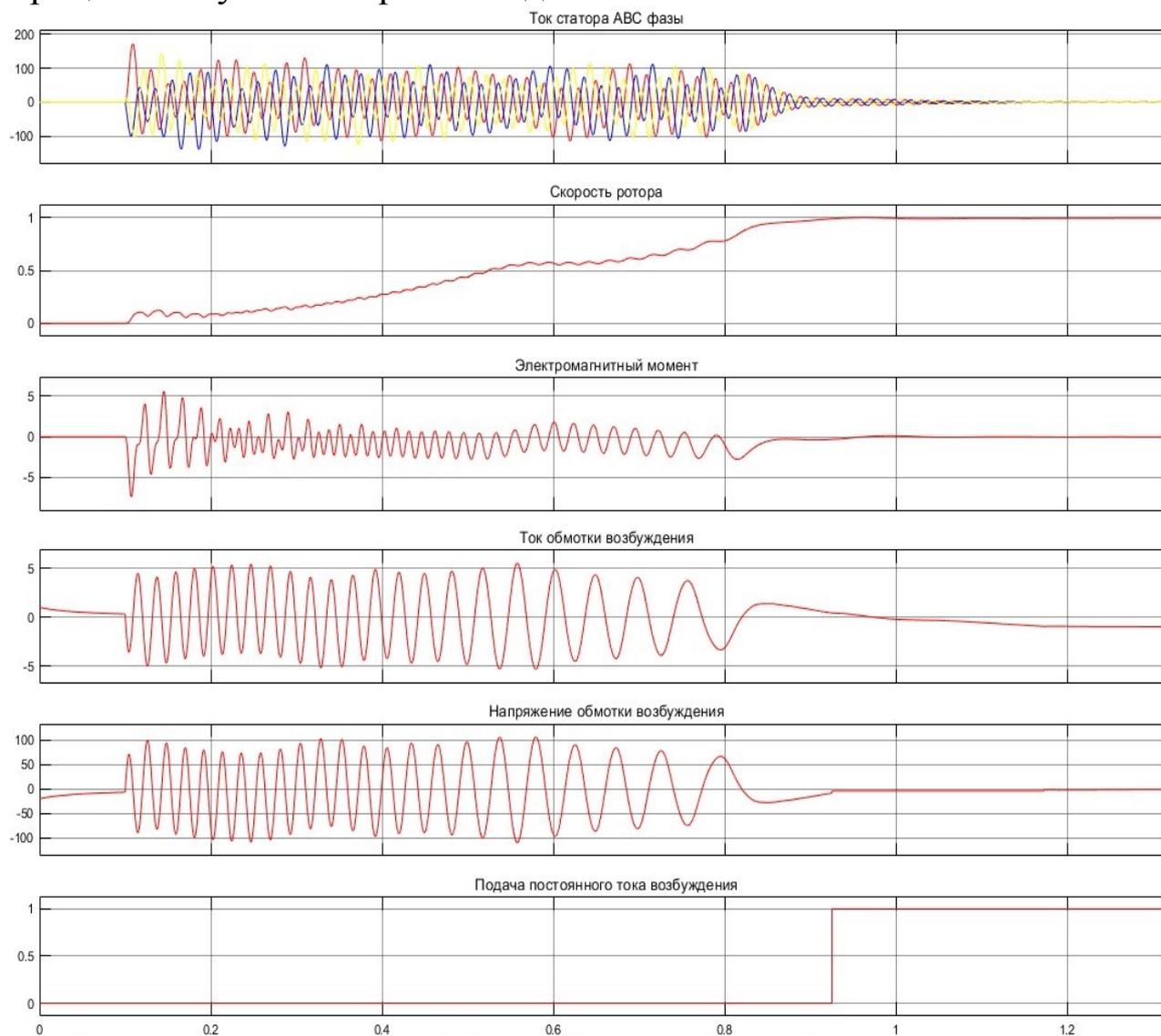


Рисунок 6 — Пуск синхронного двигателя

Блок для снятия U-образных характеристик был использован, как линейно нарастающее задание на ток возбуждения и на контур тока возбуждения в режиме поддержания автоматического тока возбуждения. Были сняты семейства U-образных характеристик, на которых мы видим, что с увеличением нагрузки на валу синхронного двигателя, увеличивается величина точки

СЕКЦИЯ 2. Информационные и управляющие системы
технологическими процессами и системы автоматизации
технологических процессов и производственных комплексов

минимального значения тока, потребляемого из сети, т.е. статором, и чем больше нагрузка на валу, тем больше величина минимального тока статора.

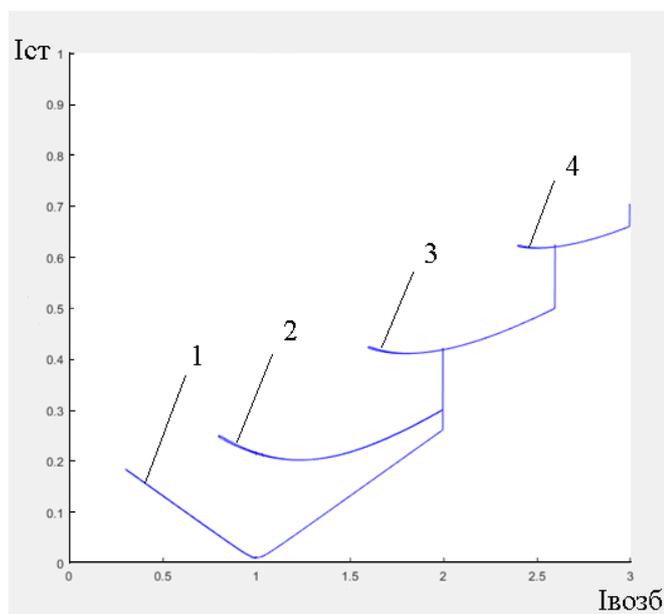


Рисунок 7 — U-образные характеристики

Далее моделируется процесс регулирования реактивной мощности в синхронном двигателе, при этом мы имитируем изменение нагрузки на валу синхронного двигателя и обеспечиваем поддержание заданной величины реактивной мощности. На основании датчиков напряжения и тока мы вычисляем реактивную мощность, как произведение тока и напряжения на синус угол между ними. Реактивную мощность задаем равной 200кВт. При этом есть ограничение на темп нарастания этого задания регулятора, чтобы избежать в случае резких просадок силового напряжения или переключений в схеме резкого изменения возбуждения синхронного двигателя. К тому же этот блок ограничивает максимальный и минимальный ток синхронного двигателя для того, чтобы при минимальном токе двигатель не выпал из синхронизма, а максимальный ток ограничиваем, чтоб не перегрелась обмотка возбуждения.

В данном случае используется П-регулятор реактивной мощности. На следующих переходных процессах видим, что при изменении нагрузки на валу синхронного двигателя меняется возбуждение синхронного двигателя и меняется величина активной

СЕКЦИЯ 2. Информационные и управляющие системы технологическими процессами и системы автоматизации технологических процессов и производственных комплексов и реактивной мощности, потребляемая электродвигателем, причем реактивная мощность остается на заданном уровне 200кВт.

Напряжение в преобразователе ограничено, поэтому ток в обмотке возбуждения меняется (нарастает) с ограниченной интенсивностью (3 I_n /сек).

В данном случае производилось изменение входного задания (в 2с), наброс двух подключений различных параллельных нагрузок в данной точке сети (в 3 и 4 с), а затем произведен увеличение нагрузки на валу синхронного двигателя.

Можно увидеть, что за счет тока возбуждения у нас четко происходит компенсация и поддержание на заданном уровне реактивной мощности и отработка точке сети, которые мы подключаем.

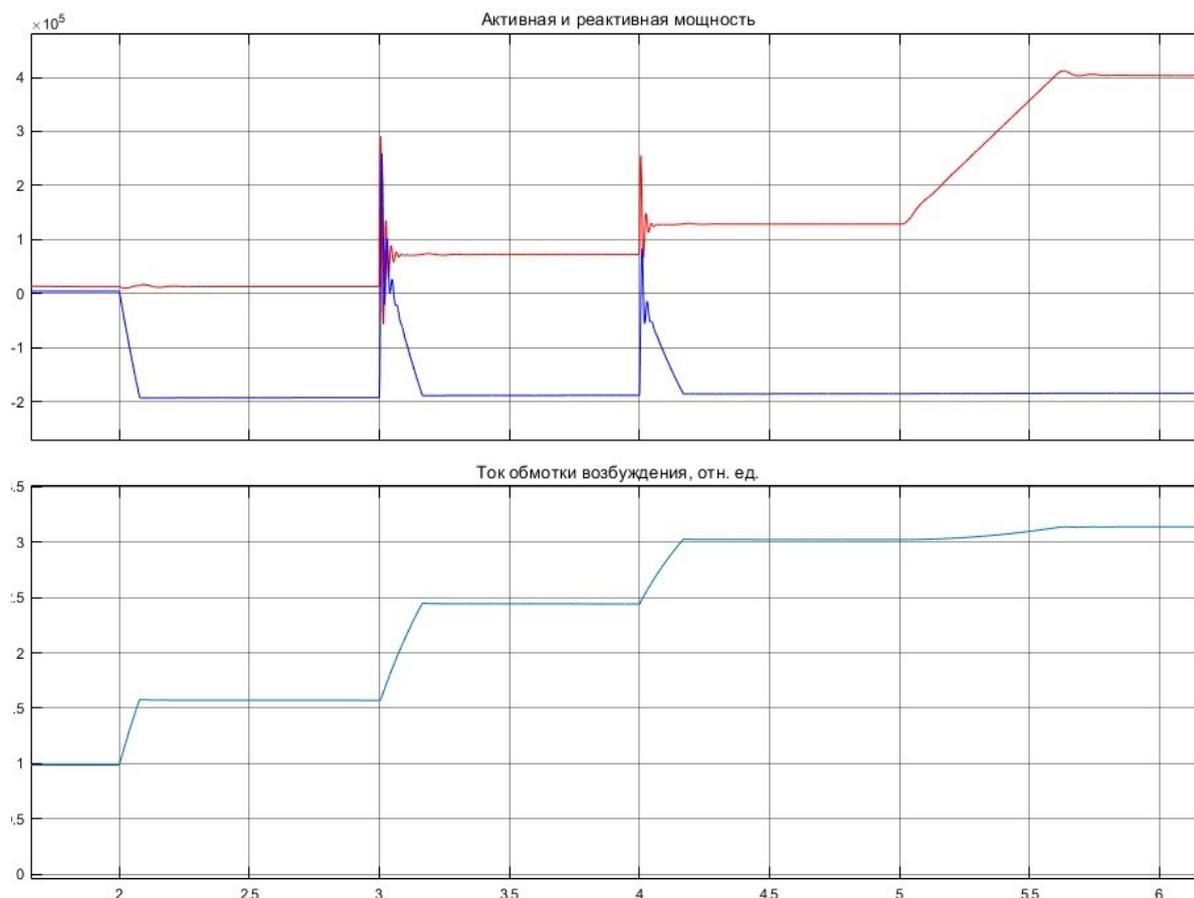


Рисунок 8 — Активная и реактивная мощность

В процессе данной работы была исследована вентиляторная установка ВОД-30. Разработана система управления тиристорного

СЕКЦИЯ 2. Информационные и управляющие системы
технологическими процессами и системы автоматизации
технологических процессов и производственных комплексов

возбудителя синхронного двигателя. Синхронный двигатель, кроме того, что приводит в движение вентилятор и нагнетает воздух, позволяет регулировать активную и реактивную мощность. Было произведено регулирование возбуждения синхронного двигателя для обеспечения заданного значения реактивной мощности при изменении нагрузки на валу синхронного двигателя и при изменении параллельных нагрузок, весящих на той же точке подключения синхронного двигателя, т.е. он позволяет, кроме того, что регулировать реактивную мощность и компенсировать реактивную мощность заданной точки сети.

Библиографический список

1. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий / Б.И. Кудрин. – М.: Интермет Инжиниринг, 2005. – 416 с., ил.
2. Гольстрем В.А. Справочник энергетика промышленных предприятий / В.А. Гольстрем, А.С. Иваненко – Киев: Техника, 1977. – 464 с., ил.
3. ГОСТ 13109-87 Электрическая энергия. Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения. – М.: Изд-во стандартов, 1988.
4. ГОСТ 13109-97 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Изд-во стандартов, 1997.
5. Железко Ю.С. Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии / Ю.С. Железко. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 224 с., ил.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТИПИЗАЦИИ ПРОГРАММНЫХ МОДУЛЕЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ АГРЕГАТАМИ НА ПРИМЕРЕ УГЛЕБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ¹

**Саламатин А.С., д.т.н. Мышляев Л.П, Макаров Г.В.,
к.т.н. Ляховец М.В., Сергеев В.С.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

Аннотация. Представлены типовые решения по автоматизации технологических объектов углеобогажительных фабрик. Осуществлен расчет эффективности применения нового метода к разработке программ логического управления локальными агрегатами.

Ключевые слова: автоматизация, углеобогажительная фабрика, типовые решения, программируемый логический контроллер.

Многие производства независимо от отрасли (металлургия, горно-перерабатывающая, пищевая и др.) включают в себя технологические процессы и системы, которые можно классифицировать, например, следующим образом [1]

- транспортировка материалов;
- непрерывное и циклическое дозирование;
- физико-химические превращения;
- тепловые преобразования;
- деформация материалов.

В свою очередь каждый из перечисленных процессов реализуется на различном технологическом оборудовании (конвейеры, насосы, дробилки и т.д.), которые можно представить в виде типовых структур. Это приведет не только к снижению

¹ Работа выполнена по Госзаданию Минобрнауки России N8.8611.2017/8.9

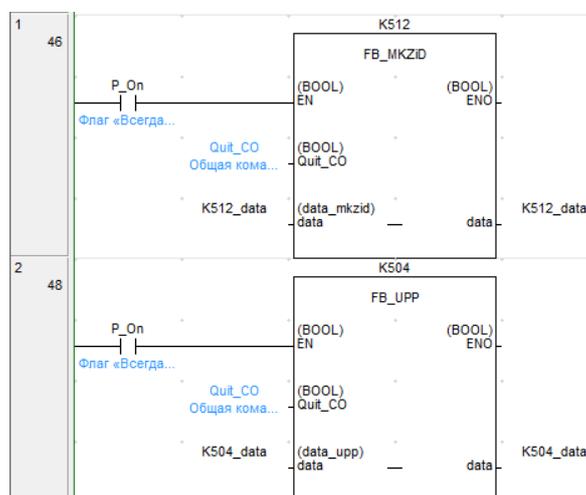
СЕКЦИЯ 2. Информационные и управляющие системы
технологическими процессами и системы автоматизации
технологических процессов и производственных комплексов

времени на создание систем, но и позволит разработчику таких систем ограничить штат и квалификацию исполнителей [2].

Эффективность типизации промышленных объектов с целью создания систем автоматизации оценена на примерах разработки программного обеспечения (ПО) АСУ углеобогатительной фабрики (ОФ). Рассмотрены основные технологические агрегаты и механизмы ОФ: грохоты, дробилки, конвейеры, сепараторы, вентиляторы, пробоотборники, различные типы насосов, запорной арматуры. Эти агрегаты и механизмы, в зависимости от применяемых электрических схем и типов электрических приводов можно разделить на следующие группы:

- агрегаты и механизмы с устройством плавного пуска;
- агрегаты и механизмы с частотным преобразователем;
- одноприводные агрегаты с устройством защиты двигателя;
- двухприводные агрегаты с устройствами защиты двигателя;
- шиберные и поворотные задвижки;
- агрегаты и механизмы без специальных устройств пуска и защиты.

Для каждой из этих групп разработаны типовые информационные таблицы, на основе которых создаются типовые функциональные блоки алгоритмов управления локальными агрегатами [2]. Эти блоки служат основой типовых программных модулей. Примеры такого рода программных модулей и функциональных блоков показаны на рисунке 1 и 2 соответственно.



СЕКЦИЯ 2. Информационные и управляющие системы
технологическими процессами и системы автоматизации
технологических процессов и производственных комплексов

Рисунок 2 – Пример реализации программного модуля управления
технологическим комплексом.

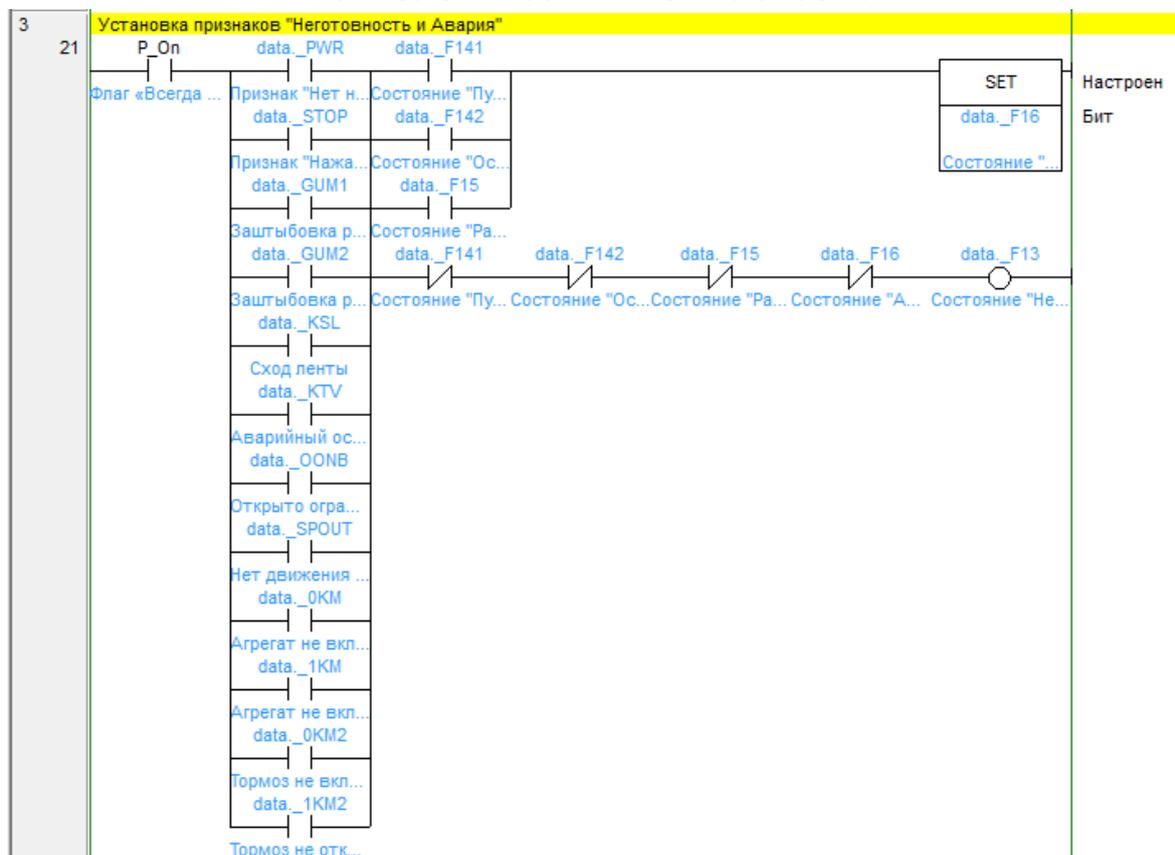


Рисунок 1 – Пример реализации универсального функционального
блока

Эффективность типизации программных модулей оцениваем по трудоемкости (времени) разработки ПО, когда для одной части агрегатов ПО делали традиционным способом, а для другой части таких же агрегатов – предложенным подходом. Также оценивалось время на внесение корректировок в ПО.

Сравнительная эффективность этих двух подходов зависит от количества однотипных агрегатов. Так для условий ОФ такая зависимость представлена на рисунке 3.

Так среднее время разработки одной программной реализации для одного типа агрегатов составляет примерно 60 минут. С увеличением числа аналогичных агрегатов время разработки сокращается до 30 минут. Такой же характер зависимости прослеживается и при внесении корректировок в ПО (рисунок 4).

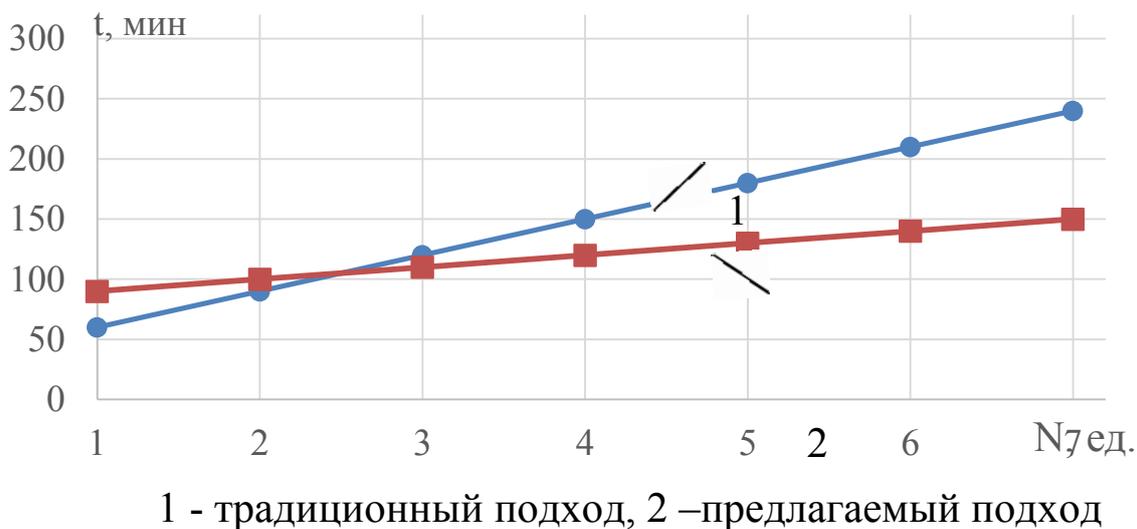


Рисунок 3 – Зависимость времени t разработки ПО от количества N типовых агрегатов

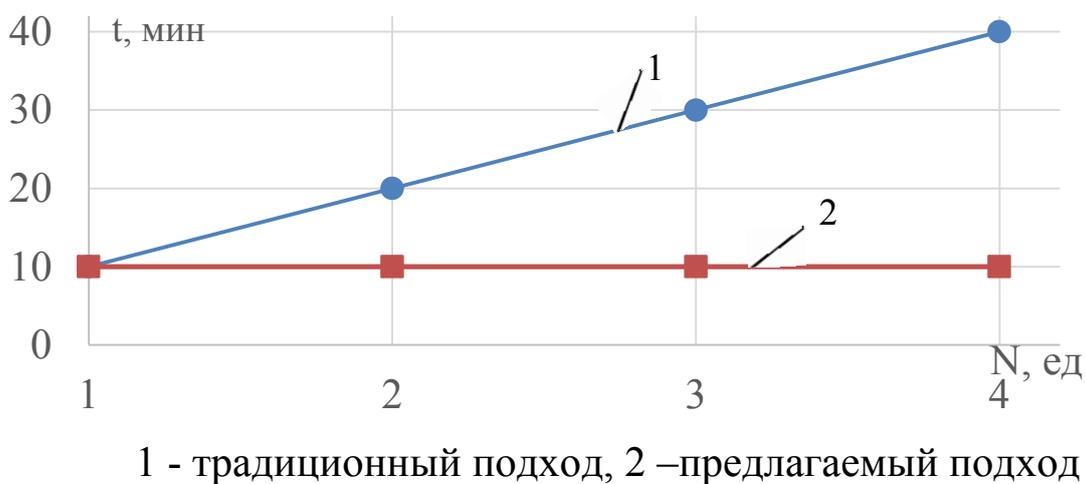


Рисунок 4 – Зависимость времени t на внесение изменений от количества N типовых агрегатов

Обобщенные данные по времени разработки ПО для двух ОФ приведены в таблицах 1 и 2. При этом не учитывались технологические агрегаты, поставляемые комплектно с системами управления.

СЕКЦИЯ 2. Информационные и управляющие системы
технологическими процессами и системы автоматизации
технологических процессов и производственных комплексов

Таблица 1 - Время на разработку программной реализации систем
логического управления агрегатами для ОФ 1

Тип устройства	Количество агрегатов	Время на разработку программной реализации систем логического управления агрегатами, мин		Эффективность, %
		Традиционный подход	Предлагаемый подход	
Агрегаты и механизмы без специальных устройств пуска и защиты	9	300	170	43,33
Одноприводные агрегаты с устройством защиты двигателя	10	330	180	45,46
Двухприводные агрегаты с устройствами защиты двигателя	4	150	120	20,00
С устройством плавного пуска	11	360	190	47,22
С частотным преобразователем	10	330	180	45,46
Шиберная задвижка	7	240	150	37,50
Поворотная задвижка	3	120	110	8,33
Итого:		1830	1080	40,98

СЕКЦИЯ 2. Информационные и управляющие системы
технологическими процессами и системы автоматизации
технологических процессов и производственных комплексов

Таблица 2 - Время на разработку программной реализации систем
логического управления агрегатами ОФ 2

Тип устройства	Количество агрегатов	Время на разработку программной реализации систем логического управления агрегатами, мин		Эффективность, %
		Традиционный подход	Предлагаемый подход	
Агрегаты и механизмы без специальных устройств пуска и защиты	24	750	320	57,33
Одноприводные агрегаты с устройством защиты двигателя	31	960	390	59,38
Двухприводные агрегаты с устройствами защиты двигателя	16	510	240	52,94
С устройством плавного пуска	37	1140	450	60,53
С частотным преобразователем	55	1680	630	62,50
Шибберная задвижка	37	1140	450	60,53
Поворотная задвижка	15	480	230	52,08
Итого:		6660	2710	59,31

Полученные результаты подтверждают эффективность предлагаемого варианта разработки ПО для типовых технологических агрегатов: время разработки уменьшается до 60%.

Список литературы:

1. Системы автоматизации на основе натурно-модельного подхода: Монография в 3-х томах. Том 2: Системы автоматизации производственного назначения / Л.П. Мышляев, А.А. Ивушкин, Г.П. Сазыкин и др.; Под ред. Л.П. Мышляева. – Новосибирск: Наука, 2006. – 483 с.

2. Саламатин А.С. Типовые решения по автоматизации технологических объектов на примере углеобогатительных фабрик / А.С. Саламатин, Г.В. Макаров, М.В. Ляховец, Л.П. Мышляев, М.В. Раскин // Научно-технические разработки и использования минеральных ресурсов. - Новокузнецк. - 2018. - №4 - С. 331-334.

УДК 681.518.22

**ОСОБЕННОСТИ И ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ
РЕКУПЕРАТОРА ВОЗДУХА С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ
ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ**

С.В. Прохоров

*Национальный исследовательский Томский политехнический
университет, г. Томск*

Аннотация: в данной статье рассмотрены проблемы работы рекуператора с промежуточным теплоносителем в условиях низких температур, в рамках статьи предложено решение по улучшению работы, при отсутствии датчика влажности

Ключевые слова: рекуператор, иней, промежуточный теплоноситель, точка росы, вентиляция.

В настоящее время широко используются различные средства для энергосбережения ресурсов. Одним из таких средств являются различного рода рекуператоры воздуха, используемые в системах вентиляции. Обзор различных видов рекуператоров представлен в иной статье [1]. При использовании подобных систем возникает немало различных проблем, одной из которых является образование инея на стенках теплообменников. Данные наросты препятствуют свободному движению воздушных масс, что приводит к ухудшению циркуляции воздуха внутри системы. В

СЕКЦИЯ 2. Информационные и управляющие системы технологическими процессами и системы автоматизации технологических процессов и производственных комплексов

связи с этим, сформированы различные методы избавления от инея [2]. В статье будут рассмотрены проблемы при эксплуатации рекуперативной установки с промежуточным теплоносителем, в которой используется метод снижения эффективности рекуператора для избавления от инея [3]. Адекватность работы данной установки и метода по избавлению доказана математической моделью [3].

Целью данной статьи является анализ различных проблем, связанных с использованием рекуперативной установки с промежуточным теплоносителем при отработке алгоритма по избавлению от инеевых наростов, который основан на ухудшении эффективности работы рекуператора.

В качестве объекта исследования рассматривается рекуператор, установленный в жилом доме в ГО Жатай (Республика Саха (Якутия)). Обобщенная функциональная схема установки представлена на рис. 1

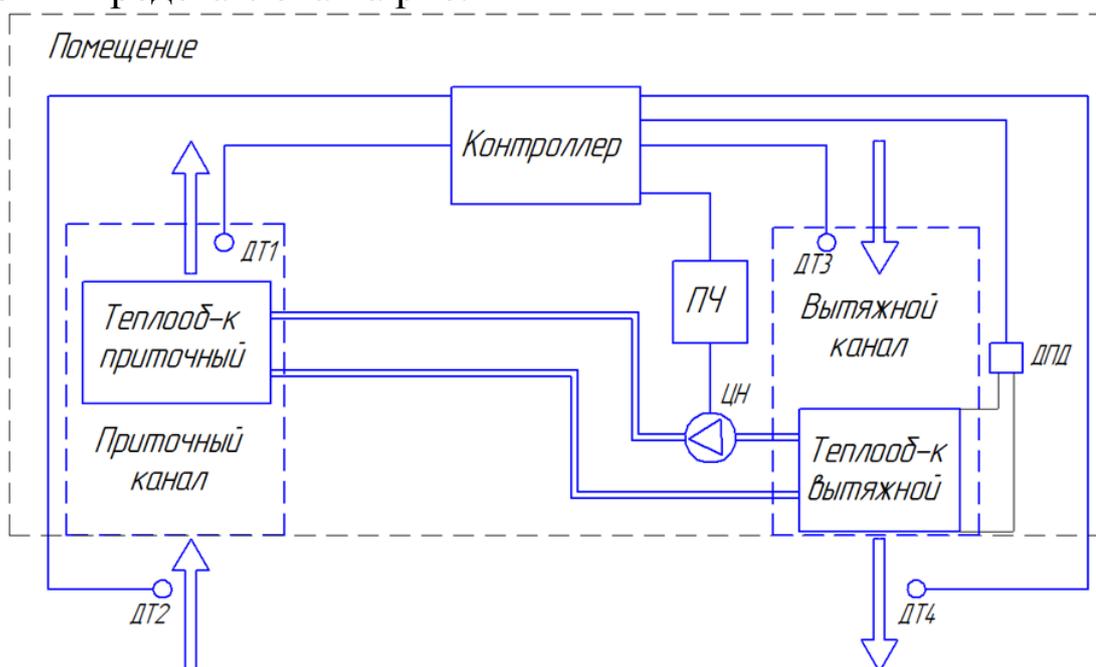


Рисунок 1 – Функциональная схема рекуператора с промежуточным теплоносителем.

где, ДТ1, ДТ2 – датчики температуры приточного канала; ДТ3, ДТ4 – датчики температуры вытяжного канала; ДПД – датчик перепада давления; ЦН – циркуляционный насос; ПЧ – преобразователь частоты.

СЕКЦИЯ 2. Информационные и управляющие системы технологическими процессами и системы автоматизации технологических процессов и производственных комплексов

На рис. 1 стрелками показаны направления движения воздушных масс. При работе установки, отработанный воздух в вытяжном канале, проходя через теплообменник, отдает свое тепло теплоносителю, который, в свою очередь, циркулируя по трубам с помощью циркуляционного насоса, передает тепло на нагрев приточного воздуха. Управление циркуляционным насосом производится при помощи преобразователя частоты, управляемым контроллером. Помимо этого, контроллер обрабатывает сигналы с датчиков.

При отрицательных внешних температурах, охлажденный влажный воздух в вытяжном канале при соприкосновении с металлической частью вентиляционной шахты конденсируется, а затем замерзает, образуя иней. Данная проблема свойственна для множества видов рекуператоров воздуха, которые используются в местах, где температура окружающего воздуха в холодный период времени опускается до отрицательных температур (ниже -10°C).

Так, при образовании довольно большого иневого слоя, он начинает препятствовать движению воздушных масс в вытяжном канале, при этом появляется перепад давления между точками, находящимися перед и после вытяжного теплообменника. Данную разность давлений, можно определить при помощи датчика перепада давления.

Достижение критической разности давлений, будет являться сигналом для включения режима, при котором будет ухудшаться производительность рекуператора. Пониженная эффективность в работе позволят прекратить снимать тепло с вытяжного теплообменника, в результате чего, температура в канале начнет увеличиваться. При достижении температуры точки росы, иней начинает плавиться. Таким образом происходит очищение вытяжного канала от иневых наростов. Система переходит в обычный режим работы при достижении минимально заданной разности давлений.

Исходя из вышеизложенного, становится очевидным, что для наиболее эффективной работы системы следует учитывать величину температуры точки росы в данный момент. Расчет

СЕКЦИЯ 2. Информационные и управляющие системы
технологическими процессами и системы автоматизации
технологических процессов и производственных комплексов

температуры точки росы в аппаратах систем кондиционирования воздуха производится по формуле [4]:

$$T_p = \frac{b * f(T, Rh)}{a - f(T, Rh)} \quad 1)$$

$$f(T, Rh) = \frac{a * T}{b + T} + \ln\left(\frac{Rh}{100}\right) \quad 2)$$

где, $a=17,27$, $b=237,7$, Rh – относительная влажность воздуха, выраженная в долях единицы, \ln – натуральный логарифм, T_p – точка росы; T – температура внешнего воздуха.

Из представленной формулы видно, что для определения температуры точки росы необходимо знать относительную влажность воздуха. Для этого в систему необходимо внедрять датчик влажности, что приведет к дополнительным затратам. При этом датчики данного типа имеют ряд недостатков: возможность полного выхода из строя при воздействии паров химически активных веществ, недостоверные показания при образовании конденсата или налета на поверхности датчика [5]. Данные проблемы с датчиком влажности, не дадут точно определять величину влажности, а, следовательно, и температуру точки росы.

Реализация алгоритма работы будет производиться в регуляторе (рис. 1)

Для этого, в данном случае, в контур управления внедрена функция (2) для расчета температуры точки росы. Поскольку датчик влажности отсутствует, величина влажности будет определяться косвенно по величине перепада давления. Так при $dP = dP_{кр}$ (где $dP_{кр}$ – критический перепад давления, при котором срабатывает автоматика), влажность будет равна $Rh = 100\%$. Структурная схема представлена на рис. 2.

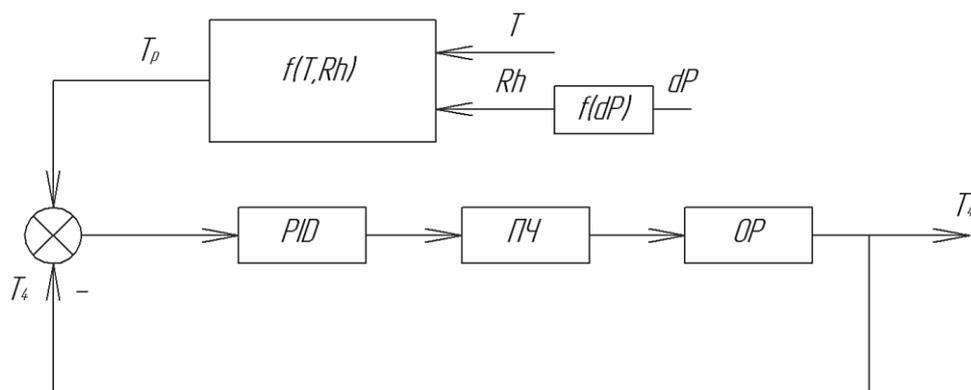


Рисунок 2 – Структурная схема контура поддержания температуры.

Второй проблемой при работе системы рекуперации воздуха с промежуточным теплоносителем является определение наивысшего КПД системы. В этой установке имеется прямая зависимость между скоростью циркуляции теплоносителя и эффективностью работы рекуператора. Кажется бы, очевидным кажется то, что при максимально возможной скорости перемещения теплоносителя, должен быть наивысший КПД системы, однако на практике, при достижении определенной скорости увеличение КПД прекращается и дальнейший рост скорости не дает прироста эффективности. Решение данной проблемы позволит эффективнее использовать электродвигатель циркуляционного насоса, а также экономить электроэнергию. В настоящее время, при достижении критической разности давлений, двигатель полностью отключается.

Модернизация различных систем приводит к их усложнению, из-за чего появляются дополнительные трудности и задачи. Не стала исключением и система рекуперации воздуха с промежуточным теплоносителем. Так, помимо той особенности системы, что процессы, протекающие в ней, являются довольно инерционными и имеют большую постоянную времени, появилась необходимость определения температуры точки росы, с особенностями датчика влажности. А также определение оптимальной скорости циркуляции теплоносителя внутри данной системы. Решение данных задач позволит использовать систему максимально эффективно как в обычном режиме, так и в режиме

СЕКЦИЯ 2. Информационные и управляющие системы
технологическими процессами и системы автоматизации
технологических процессов и производственных комплексов

разморозки вытяжного канала. Помимо этого, данную методику можно применять и в других технологических объектах, например, в системах хранения, поддержания влажностно-температурного режима и осушителях.

Список литературы

1. Прохоров С. В. Рекуперативные установки в системах воздухообмена промышленных предприятий // Интеллектуальные энергосистемы: материалы III Международного молодежного форума. В 3 т., Томск, 28 Сентября-2 Октября 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - Т. 1 - С. 132-136
2. Пат. 2655907 Российская Федерация, МПК. F24F 12/00 (2006.01) Устройство для утилизации тепла вытяжного воздуха [Текст] / Шилин А.А.; Прохоров С.В, заявитель и патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский Томский политехнический университет" (RU). - № 2017108375; заявл. 13.03.2017; опубл. 29.05.2018, Бюл. № 16. – 3 с.
3. Shilin A. A. , Prokhorov S. -. , Shabo A. K. , Bukreev V. G. A method for measuring the amount of hoar frost formation in the recuperation channels of ventilation systems using the adjustable mathematical model of this process // MATEC Web of Conferences . - 2017 - Vol. 141, Article Number 01032. - p. 1-5
4. Гаврилкин В. П., Куранов Е. А. Аналитическое определение параметров влажного воздуха //Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2007. – №. 2.
5. Кулик А. С., Нарожный В. В., Таран А. Н. Диагностирование технического состояния датчика влажности в климатической камере //Автомобильный транспорт. – 2008. – №. 22.

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫМ ПРОХОДЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ УГЛЕДОБЫЧЕ

**Кубарев В.А., Ляховец М.В., Огнев С.П.,
Павлова Л.Д., Фрянов В.Н**

Сибирский государственный индустриальный университет,

г. Новокузнецк

Аннотация. В статье изложена концепция применения цифровых технологий для роботизированной выемки угля, управления потоками горной массы и транспортировки ее на поверхность.

Ключевые слова: цифровая шахта, IT технологии, роботизированный комплекс, подземная выработка.

Введение. Одним из основных направлений развития горных инновационных технологий является «Цифровая шахта» - предприятие с автоматизированными технологическими процессами, оборудованное системами контроля шахтных подсистем, окружающей среды (шахтной атмосферы, состояния массива горных пород, водоотлива), персонала, применением IT технологий на всех этапах освоения месторождения от геологоразведки и 3D моделирования месторождений до выбора и мониторинга состояния оборудования, контроля технологических процессов, окружающей среды, логистики и транспорта [1-3].

Шахты будущего будут проектироваться на полностью интегрированной цифровой платформе. Применение цифровых моделей месторождений, технологических процессов позволяют моделировать производство, оптимизировать процессы, конструировать и использовать оборудование, максимизировать прибыль. Модель передается оператору до начала ведения горных работ. В сочетании с ГИС оператор имеет полное цифровое представление реального производственного объекта, что позволяет управлять производством и рисками, формировать

СЕКЦИЯ 2. Информационные и управляющие системы
технологическими процессами и системы автоматизации
технологических процессов и производственных комплексов

различные отчеты. Системы лазерного сканирования, позиционирования роботизированного комплекса, датчики различных систем формируют большой поток данных, который после обработки позволяет визуализировать реальное производство.

Ядро проекта – разработка прорывных технологий для автономной, селективной, непрерывной добычи горной массы и извлечения полезных компонентов базируется на новых цифровых технологиях, роботизированной выемке угля и инновационных концепциях управления потоками горной массы и транспортировки ее на поверхность.

Для реализации указанных технологических предложений требуется решить широкий спектр вопросов по техническому, алгоритмическому и программному обеспечению на базе известных и новых разработок по автоматизации и цифровизации технологических процессов горного производства [4-5].

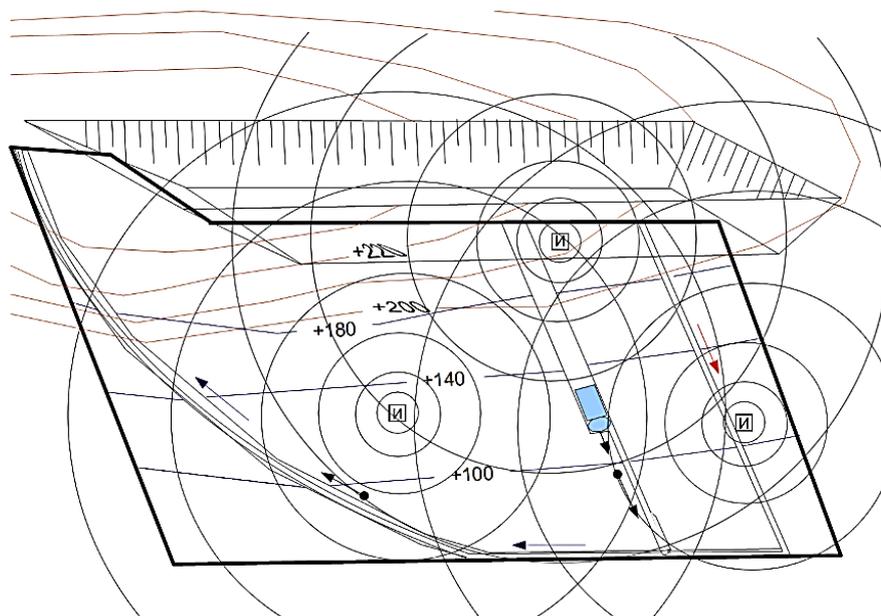


Рисунок 1 – Позиционирование роботизированного комплекса при открыто-подземной угледобыче

Основными задачами являются:

1) Позиционирование роботизированного комплекса в выемочном участке. Для решения задачи позиционирования комплекса предлагается использовать метод эхолокации и

СЕКЦИЯ 2. Информационные и управляющие системы технологическими процессами и системы автоматизации технологических процессов и производственных комплексов

технические решения на основе ультразвуковых датчиков (рисунок 1).

2) Перемещение роботизированного комплекса в наклонной выработке должно обеспечиваться с реверсированием [6]. На современных предприятиях по подземной добыче роботизированные системы используют в основном для транспортировки материала. Разрабатываемые решения, в первую очередь, направлены на реализацию основных технологических задач по добыче полезных ископаемых (рисунок 2). Для выполнения технологических процессов и операций в загазованной среде без присутствия в забоях людей предлагается использовать самоходный выемочный комплекс в виде шагающего транспортного средства, рабочими органами которого являются пневмо- или гидроприводы.

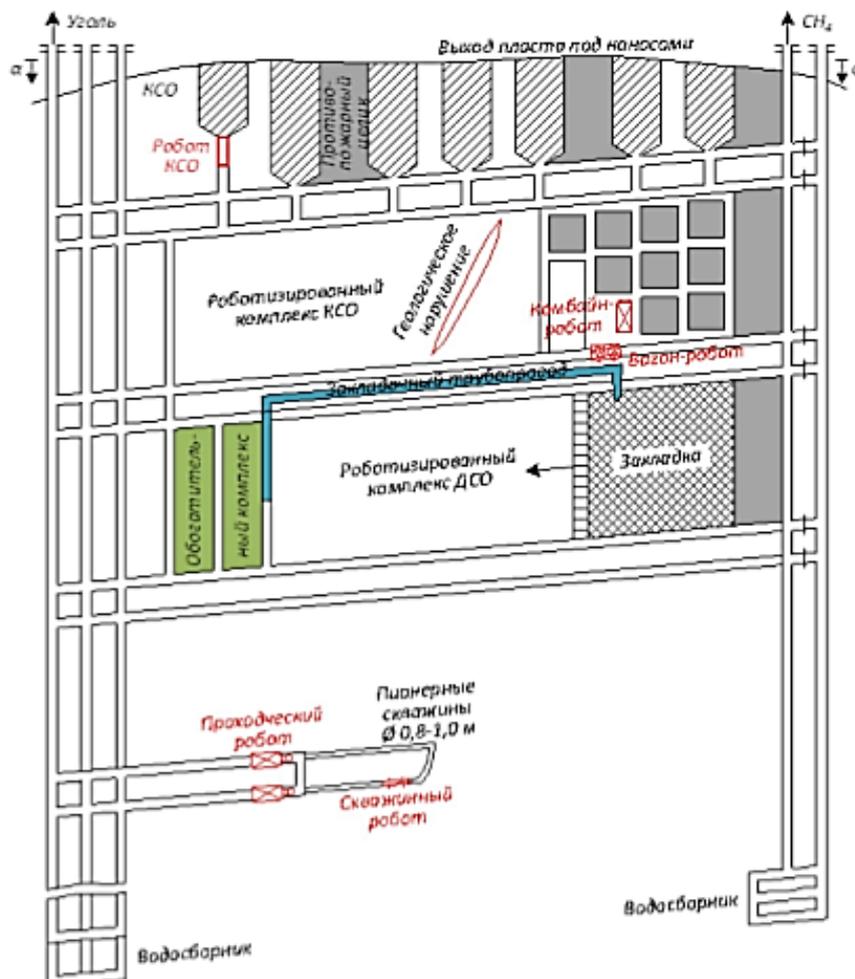


Рисунок 2 - Технологическая схема цифровой шахты

СЕКЦИЯ 2. Информационные и управляющие системы
технологическими процессами и системы автоматизации
технологических процессов и производственных комплексов

3) Управление органами перемещения комплекса и рабочими органами добычи. Предлагается использовать полуавтономный роботизированный комплекс с заранее запрограммированным набором элементарных действий, но с возможностью вмешательства оператора для дополнительных корректирующих управляющих воздействий (рисунок 3).

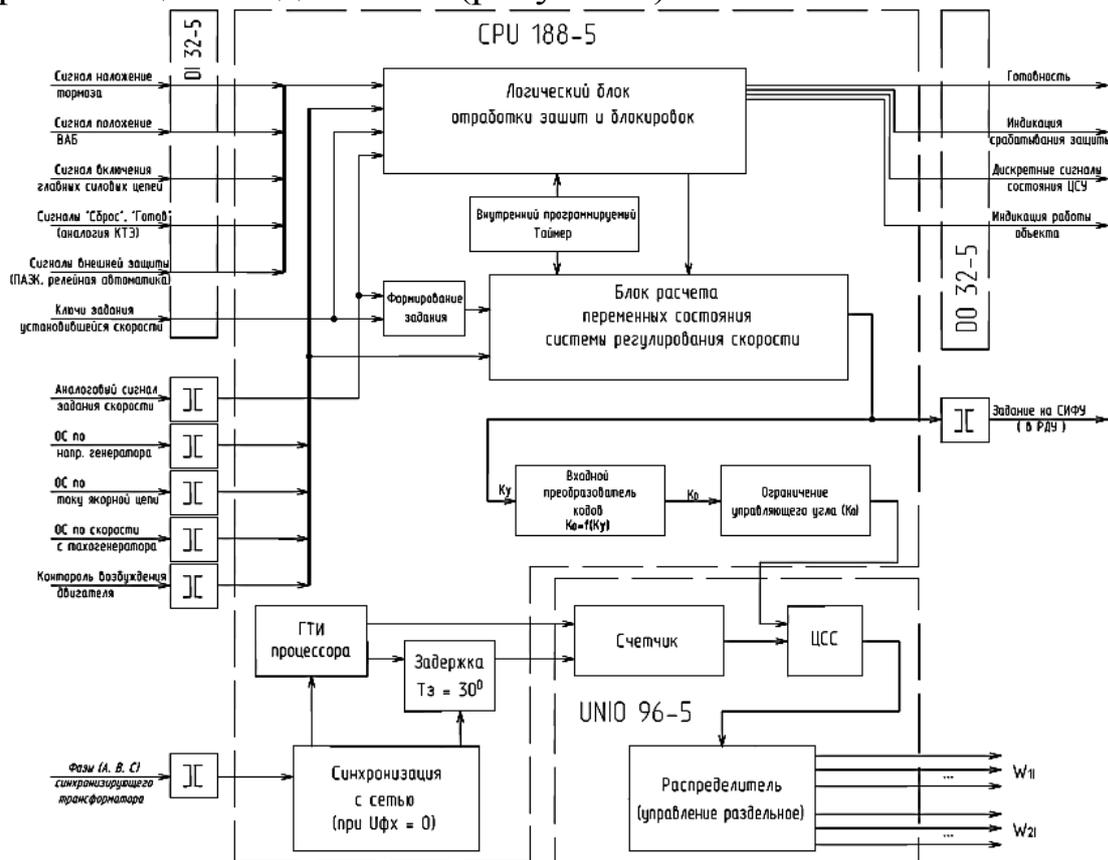


Рисунок 3 – Функциональная схема цифрового устройства автоматизированного управления электроприводом (представлено НИИ АЭМ СибГИУ)

4) Обеспечение каналов передачи данных между роботизированным комплексом и диспетчерской является важнейшей задачей в автоматизированной системе [7]. Учитывая сложные условия внешней среды, предлагается использовать дуплексный канал связи с резервированием.

Представленные задачи интегрируются на основе автоматизированной системы оперативно-диспетчерского управления. Система строится по классической двухуровневой архитектуре: нижний уровень – датчики и система локальной

СЕКЦИЯ 2. Информационные и управляющие системы технологическими процессами и системы автоматизации технологических процессов и производственных комплексов автоматизации; верхний уровень – система диспетчеризации и сервер данных.

Предлагаемый подход можно отнести к инновационному, поэтому внедрение его в реальный сектор экономики позволит создать новые продукты научно-практической деятельности.

Список литературы

1. Fryanov V. N. Theoretical approaches to creation of robotic coal mines based on the synthesis of simulation technologies / V. N. Fryanov, L. D. Pavlova, M. V. Temlyantsev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2017. – Vol. 84. – P. 1 – 8 (012001). – Режим доступа: <http://iopscience.iop.org/issue/1755-1315/84/1>

2. Павлова Л.Д. Обоснование геомеханических параметров роботизированной выемки угольных пластов на больших глубинах по результатам численного моделирования / Л.Д. Павлова, В.Н. Фрянов // Горный журнал. – 2018. – №2. – С. 48 – 52.

3. Николаев П.И. Методика обоснования подземных роботизированных геотехнологий без постоянного присутствия людей в забоях / П.И. Николаев, В.В. Зиновьев // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2016. – №4. – С. 26 – 33.

4. Кизилев С. А., Неоджи Б., Никитенко М.С., Николаев П. И., Кузнецов И.С. Автоматизация управления технологическими процессами при отработке мощных пластов с выпуском угля подкровельной толщи // Горная промышленность. – 2017. – №6 (136) – С. 96 – 99.

5. Kizilov S.A., Nikitenko M.S., Neogi B. Concept of mobile operator position based on neurocomputer interface and augmented reality. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 354 (2018), conference 1. C. 012016. doi:10.1088/1757-899X/354/1/012016 <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/354/1/012016/pdf>

6. Фрянов В.Н. Имитационное моделирование и определение оптимальной траектории движения исполнительного органа роботизированного выемочного агрегата / В.Н. Фрянов, Л.Д.

СЕКЦИЯ 2. Информационные и управляющие системы
технологическими процессами и системы автоматизации
технологических процессов и производственных комплексов

Павлова // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук.
– 2016. – Том 2. – №3. – С. 202 – 210.

7. Ютяев Ю.П. Современные вызовы и перспективы развития
технологии подземной отработки пологих газоопасных угольных
пластов // Уголь. – №5. – 2017. – С. 30 – 36.

СЕКЦИЯ 3

Силовое оборудование, преобразовательная техника и микропроцессорные системы управления

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ПОГРУЖНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В.М. Рулевский*, **Е.Б. Шандарова****, **В.И. Шедько****

**Научно-исследовательский институт автоматики и
электромеханики Томского государственного университета
систем управления и радиоэлектроники, г. Томск*

***Национальный исследовательский Томский политехнический
университет, г. Томск.*

Аннотация. Рассмотрена задача моделирования системы электропитания для передачи энергии переменного тока по кабель-тросу для погружного аппарата. Приведено описание блоков системы электропитания и их параметров. Предложена многомерная математическая модель системы.

Ключевые слова: *система электропитания погружного аппарата, кабель-трос, математическая модель.*

Введение.

Необходимость совершенствования систем электропитания (СЭП) автономных объектов с передачей энергии по кабель-тросу обуславливает применение оптимальных регуляторов для эффективной стабилизации напряжения на потребляющих нагрузках и минимизации массогабаритных характеристик при параметрических и внешних возмущениях [1,2]. Построение таких регуляторов предполагает использование методов синтеза современной теории управления сложными объектами, основанных на описании динамических процессов в пространстве переменных состояния [3,4]. Следует отметить, что наиболее адекватной математической моделью в пространстве переменных состояния многих объектов является система дифференциальных уравнений в форме Коши, которые при определенных допущениях отражают «физику» протекающих явлений и процессов. При этом количество дифференциальных уравнений должно в полной мере

отражать свойства элементов СЭП, представленных схемами замещения с сосредоточенными параметрами.

Описание математической модели

Источник электропитания представляет собой автономный синхронный генератор и выпрямитель, к выходу которого подключен Г-образный LC-фильтр. Модель первичного источника энергии в данной статье не рассматривается и при составлении математической модели СЭП напряжение питания U_s (рис. 1) принимается постоянным и лишенным пульсаций в результате сглаживающего действия фильтра.

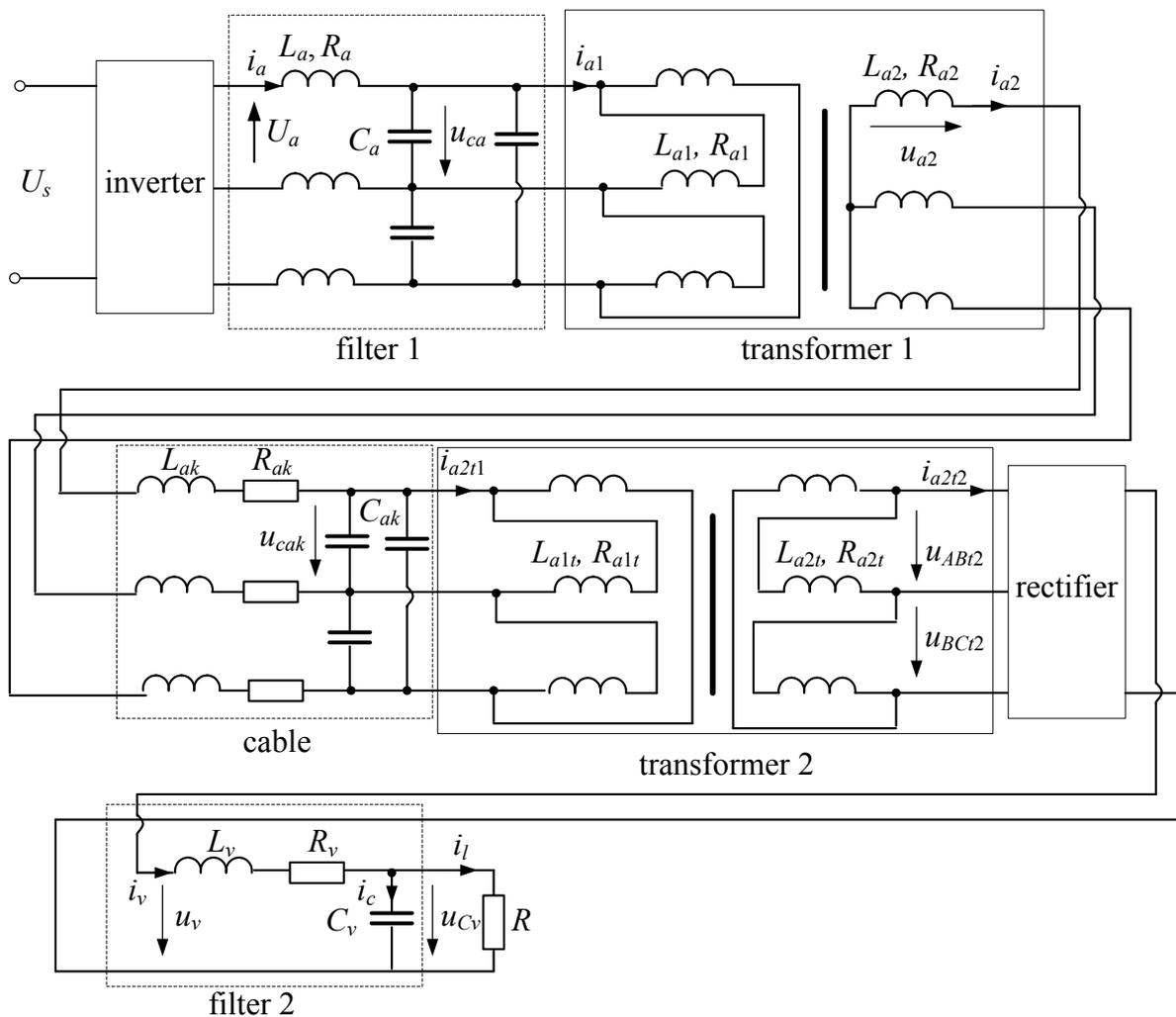


Рисунок 1. — Вариант эквивалентной схемы замещения СЭП

Автономный инвертор напряжения (АИН) представляет собой статический преобразователь постоянного напряжения U_s в переменное. Управление силовым преобразователем осуществляется с помощью широтно-импульсной модуляции

(ШИМ). Кривая выходного напряжения формируется в виде серии высокочастотных импульсов, длительность которых изменяется по закону модулирующего сигнала, при этом тактовая частота f_{ref} равна 48кГц, а частота модуляции – 1кГц. Импульсы управления, подаваемые на базы силовых транзисторов, формируются в результате сравнения модулирующего, низкочастотного трехфазного напряжения, имеющего в своем составе первую и третью гармонику

$$u_{Amd}(t) = \frac{\sin(1000t) + 0.14 \cdot \sin(3000t)}{\cos(30^\circ)};$$

$$u_{Bmd}(t) = \frac{\sin(1000t - 120^\circ) + 0.14 \cdot \sin(3000t)}{\cos(30^\circ)};$$

$$u_{Cmd}(t) = \frac{\sin(1000t + 120^\circ) + 0.14 \cdot \sin(3000t)}{\cos(30^\circ)}$$

с опорным напряжением пилообразной формы, представленным в модели рядом Фурье:

$$u_{ref}(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \left(\sin(\omega_{ref}t) - \frac{1}{2} \sin(2\omega_{ref}t) + \frac{1}{3} \sin(3\omega_{ref}t) - \frac{1}{4} \sin(4\omega_{ref}t) + \dots \right),$$

где $\omega_{ref} = 2\pi f_{ref}$ – угловая тактовая частота.

Применение предмодуляции третьей гармоникой увеличивает максимально достижимое отношение амплитуды первой гармоники к напряжению источника питания U_s и приводит к заметному снижению коэффициента гармоник [5].

Для каждой фазы рассчитываются разностные функции [6]:

$$f_{Adif}(t) = u_{Amd}(t) - u_{ref}(t); \quad f_{Bdif}(t) = u_{Bmd}(t) - u_{ref}(t);$$

$$f_{Cdif}(t) = u_{Cmd}(t) - u_{ref}(t),$$

на основании которых записываются коммутационные функции фаз:

$$K_A(t) = \begin{cases} 1 & \text{if } f_{Adif} \geq 0 \\ 0 & \text{if } f_{Adif} < 0 \end{cases}; \quad K_B(t) = \begin{cases} 1 & \text{if } f_{Bdif} \geq 0 \\ 0 & \text{if } f_{Bdif} < 0 \end{cases}; \quad K_C(t) = \begin{cases} 1 & \text{if } f_{Cdif} \geq 0 \\ 0 & \text{if } f_{Cdif} < 0 \end{cases}.$$

Общая коммутационная функция автономного инвертора записывается в виде

$$K(t) = \left\{ \begin{array}{l} -1/6 \text{ if } K_A(t) = 1 \wedge K_B(t) = -1 \wedge K_C(t) = 1 \\ 1/6 \text{ if } K_A(t) = 1 \wedge K_B(t) = -1 \wedge K_C(t) = -1 \\ -1/6 \text{ if } K_A(t) = 1 \wedge K_B(t) = 1 \wedge K_C(t) = -1 \\ 1/6 \text{ if } K_A(t) = -1 \wedge K_B(t) = 1 \wedge K_C(t) = -1 \\ -1/6 \text{ if } K_A(t) = -1 \wedge K_B(t) = 1 \wedge K_C(t) = 1 \\ 1/6 \text{ if } K_A(t) = -1 \wedge K_B(t) = -1 \wedge K_C(t) = 1 \\ 1/2 \text{ if } K_A(t) = -1 \wedge K_B(t) = -1 \wedge K_C(t) = -1 \\ -1/2 \text{ if } K_A(t) = 1 \wedge K_B(t) = 1 \wedge K_C(t) = 1 \end{array} \right\}.$$

Используя полученную коммутационную функцию, можно записать математическую модель выходного Г-образного фильтра (рис. 1) для фазы A :

$$\frac{di_a(t)}{dt} = \frac{-R_a}{L_a} \cdot i_a(t) + \frac{-1}{L_a} \cdot u_{Caz}(t) + \left(\frac{K_A(t)}{2L_a} + \frac{K(t)}{L_a} \right) \cdot U_s; \quad \frac{du_{Caz}(t)}{dt} = \frac{1}{C_{az}} \cdot i_a(t),$$

где R_a , L_a , C_{az} – параметры выходного фильтра (filter 1 на рис. 1) АИН, $u_{Caz}(t)$ – напряжение на емкости, при соединении «звезда».

Основу моделей трехфазных трансформаторов (рис. 1, блоки «transformer 1», «transformer 2») повышающего и понижающего напряжения составляет Т-образная схема замещения [5]. Параметрами трансформаторов являются активные сопротивления (R_{a1} , R_{a2} , R_{a1t} , R_{a2t}) и индуктивности рассеяния (L_{a1} , L_{a2} , L_{a1t} , L_{a2t}) обмоток, учитывающие влияние потоков рассеяния. Характеристика намагничивания моделируется ветвью, содержащей активное сопротивление R_{m1} для первого трансформатора и R_{m2} для второго и, соответственно, индуктивности L_{m1} и L_{m2} .

Кабельная линия рассматривалась как линия с сосредоточенными параметрами, представленная на рис. 1 блоком «cable».

Трехфазный мостовой выпрямитель (блок «rectifier» на рис. 1) представлен в модели функцией, где выпрямленное напряжение u_v на интервалах, равных одной шестой части периода, определяется разностью фазных ЭДС u_{ABt2} , u_{BCt2} , u_{CAt2} трансформатора (рис. 1):

СЕКЦИЯ 3. Силовое оборудование, преобразовательная техника
и микропроцессорные средства управления.

$$u_v = \left\{ \begin{array}{l} u_{ABt2} - u_{BCt2} \text{ if } u_{ABt2} > u_{BCt2} \wedge u_{ABt2} \geq u_{CAt2} \wedge u_{BCt2} < u_{ABt2} \wedge u_{BCt2} \leq u_{CAt2} \\ u_{ABt2} - u_{CAt2} \text{ if } u_{ABt2} \geq u_{BCt2} \wedge u_{ABt2} > u_{CAt2} \wedge u_{CAt2} < u_{ABt2} \wedge u_{CAt2} \leq u_{BCt2} \\ u_{BCt2} - u_{CAt2} \text{ if } u_{BCt2} \geq u_{ABt2} \wedge u_{BCt2} > u_{CAt2} \wedge u_{CAt2} < u_{BCt2} \wedge u_{CAt2} \leq u_{ABt2} \\ u_{BCt2} - u_{ABt2} \text{ if } u_{BCt2} \geq u_{CAt2} \wedge u_{BCt2} > u_{ABt2} \wedge u_{ABt2} < u_{BCt2} \wedge u_{ABt2} \leq u_{CAt2} \\ u_{CAt2} - u_{BCt2} \text{ if } u_{CAt2} \geq u_{BCt2} \wedge u_{CAt2} > u_{ABt2} \wedge u_{ABt2} < u_{CAt2} \wedge u_{BCt2} \leq u_{CAt2} \\ u_{CAt2} - u_{ABt2} \text{ if } u_{CAt2} \geq u_{ABt2} \wedge u_{CAt2} > u_{BCt2} \wedge u_{ABt2} < u_{CAt2} \wedge u_{ABt2} \leq u_{BCt2} \end{array} \right.$$

Математическая модель СЭП записывалась для одной фазы (фаза A) при этом все соединения параметров по схеме «треугольник» были преобразованы в «звезду» (в уравнениях это преобразование учтено индексом z), при этом в качестве переменных состояния выбраны токи фильтров (i_a, i_v), токи обмоток трансформаторов ($i_{a1}, i_{a2}, i_{a2t1}, i_{a2t2}$), а также напряжения (u_{Caz}, u_{Cakz}) на емкостных элементах фильтров.

В результате математическая модель СЭП в пространстве переменных состояния может быть представлена следующими уравнениями:

$$\begin{aligned} \frac{di_a}{dt} &= a_{11} \cdot i_a + a_{12} \cdot u_{Caz} + a_{13} \cdot \left(\frac{K_A(t)}{2L_a} + \frac{K(t)}{L_a} \right) \cdot U_s; \\ \frac{di_{a1}}{dt} &= a_{21} \cdot i_{a1} + a_{22} \cdot i_{a2} + a_{23} \cdot u_{Caz} + a_{24} \cdot u_{Cakz}; \\ \frac{di_{a2}}{dt} &= a_{31} \cdot i_{a1} + a_{32} \cdot i_{a2} + a_{33} \cdot u_{Caz} + a_{34} \cdot u_{Cakz}; \\ \frac{di_{a2t1}}{dt} &= a_{41} \cdot i_{a2t1} + a_{42} \cdot i_{a2t2} + a_{43} \cdot u_{Cakz}; \\ \frac{di_{a2t2}}{dt} &= a_{51} \cdot i_{a2t1} + a_{52} \cdot i_{a2t2} + a_{53} \cdot u_{Cakz}; \\ \frac{du_{Caz}}{dt} &= \frac{1}{C_{az}} \cdot i_a - \frac{1}{C_{az}} \cdot i_{a1}; \\ \frac{du_{Cakz}}{dt} &= \frac{1}{C_{akz}} \cdot i_{a2} - \frac{1}{C_{akz}} \cdot i_{a2t1}, \end{aligned} \tag{1}$$

где

$$\begin{aligned} L_{\Sigma 1} &= L_{a1z} (L_{m1} k_1^2 + L_{a2} + L_{ak}) + L_{m1} (L_{a2} + L_{ak}); \\ L_{\Sigma 2} &= L_{m2} (L_{a1tz} k_2^2 + L_2) + L_2 L_{a1tz}; \end{aligned}$$

k_1, k_2 – отношение фазного напряжения вторичной обмотки к фазному напряжению первичной обмотки для первого и второго трансформатора соответственно;

$$\begin{aligned}
 R_2 &= R_{a2tz} + R_{eqv}; \quad L_2 = L_{a2tz} + L_{eqv}; \quad a_{11} = -\frac{R_a}{L_a}; \quad a_{12} = -\frac{1}{L_a}; \quad a_{13} = -\frac{1}{L_a}; \\
 a_{21} &= \frac{-L_{a2}(R_{m1} + R_{a1z}) - L_{ak}(R_{m1} + R_{a1z}) - L_{m1}k_1^2 R_{a1z}}{L_{\Sigma 1}}; \\
 a_{22} &= \frac{-L_{m1}k_1(R_{a2} + R_{ak}) + k_1 R_{m1}(L_{a2} + L_{ak})}{L_{\Sigma 1}}; \quad a_{23} = \frac{L_{a2} + L_{ak} + L_{m1}k_1^2}{L_{\Sigma 1}}; \\
 a_{24} &= \frac{-L_{m1}k_1}{L_{\Sigma 1}}; \\
 a_{31} &= \frac{k_1(R_{m1}L_{a1z} - L_{m1}R_{a1z})}{L_{\Sigma 1}}; \quad a_{32} = \frac{-L_{m1}(R_{a2} + R_{ak}) - L_{a1z}(R_{a2} + R_{ak} + R_{m1}k_1^2)}{L_{\Sigma 1}}; \\
 &; \\
 a_{33} &= \frac{L_{m1}k_1}{L_{\Sigma 1}}; \quad a_{34} = \frac{-L_{a1z} - L_{m1}}{L_{\Sigma 1}}; \quad a_{41} = \frac{-L_2(R_{m2} + R_{a1tz}) - L_{m2}k_2^2 R_{a1tz}}{L_{\Sigma 2}}; \\
 a_{42} &= \frac{k_2(R_{m2}L_2 - L_{m2}R_2)}{L_{\Sigma 2}}; \quad a_{43} = \frac{L_2 + L_{m2}k_2^2}{L_{\Sigma 2}}; \quad a_{51} = \frac{k_2(R_{m2}L_{a1tz} - L_{m2}R_{a1tz})}{L_{\Sigma 2}}; \\
 a_{52} &= \frac{L_{a1tz}(-R_{m2}k_2^2 - R_2) - L_{m2}R_2}{L_{\Sigma 2}}; \quad a_{53} = \frac{L_{m2}k_2^2}{L_{\Sigma 2}}.
 \end{aligned}$$

Фазные напряжения на выходе первого и второго трансформатора рассчитываются через переменные состояния:

$$\begin{aligned}
 u_{a2} &= b_{11} \cdot i_{a1} + b_{12} \cdot i_{a2} + b_{13} \cdot u_{Caz} + b_{14} \cdot u_{Cakz}; \\
 u_{At2} &= b_{21} \cdot i_{a2t1} + b_{22} \cdot i_{a2t2} + b_{23} \cdot u_{Cakz},
 \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned}
 b_{11} &= \frac{L_{ak}k_1(R_{m1}L_{a1z} - L_{m1}R_{a1z})}{L_{\Sigma 1}}; \\
 b_{12} &= \frac{L_{m1}(L_{a2}R_{ak} - L_{ak}R_{a2} + R_{ak}k_1^2 L_{a1z}) + L_{a1z}(L_{a2}R_{ak} - L_{ak}R_{a2} - L_{ak}k_1^2 R_{m1})}{L_{\Sigma 1}};
 \end{aligned}$$

$$b_{13} = \frac{L_{m1}k_1 L_{ak}}{L_{\Sigma 1}}; \quad b_{14} = \frac{L_{a2}(L_{m1} + L_{a1z}) + L_{m1}k_1^2 L_{a1z}}{L_{\Sigma 1}};$$

$$b_{21} = \frac{L_v k_2 (R_{m2} L_{a1tz} - L_{m2} R_{a1tz})}{L_{\Sigma 2}};$$

$$b_{22} = \frac{L_{m2}(L_2 R_v - L_v R_2) + L_{a1tz}(L_2 R_v - L_v R_2 + k_2^2(L_{m2} R_v - L_v R_{m2}))}{L_{\Sigma 2}}; \quad b_{23} = \frac{L_{m2} L_v k_2}{L_{\Sigma 2}}.$$

Напряжение и ток на нагрузке выпрямителя (рис. 1) определяются уравнениями:

$$\frac{di_v}{dt} = \frac{R_v}{L_v} \cdot i_v + \frac{1}{L_v} \cdot u_v + \frac{1}{L_v} \cdot u_{Cv}; \quad \frac{du_{Cv}}{dt} = \frac{1}{C_v} \cdot i_C, \quad (2)$$

где

$$i_C = i_v - \frac{1}{R} \cdot u_{Cv} \quad \text{и} \quad i_l = \frac{1}{R} \cdot u_{Cv}.$$

В результате математическая модель СЭП в пространстве переменных состояния представляется системой уравнений (1) и (2).

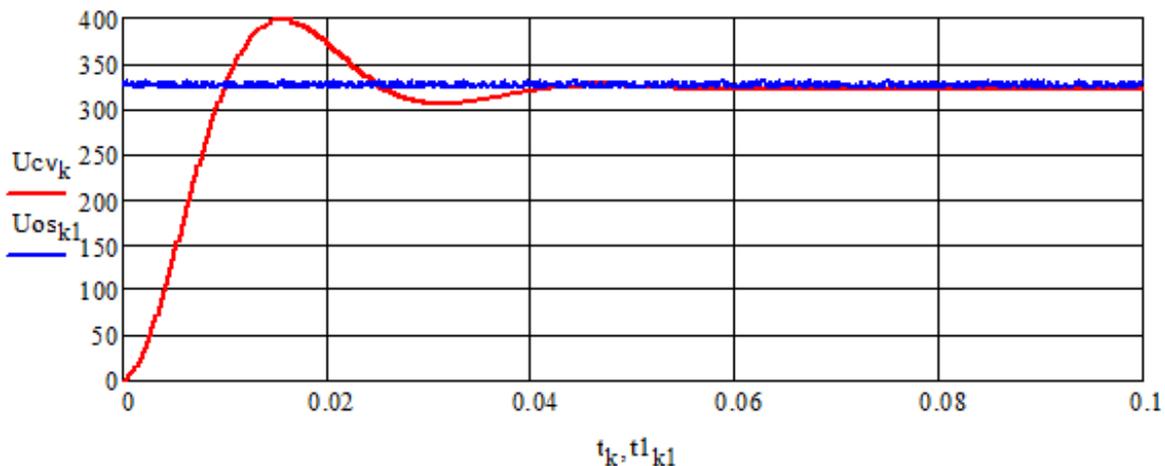


Рисунок 2. Сравнение напряжения на нагрузке, полученного с помощью модели в пакете MathCad, с экспериментальными данными.

Сравнение напряжения на нагрузке $u_{Cv}(t)$, полученного в результате расчета математической модели в пакете MathCad (рис. 2) с результатами экспериментальных исследований $u_{0s}(t)$ (рис. 2) показало, что расхождение в установившемся режиме составляет не более 5%. Таким образом, полученные результаты подтверждают адекватность разработанной модели.

Заключение

В статье приведена математическая модель системы электропитания погружного аппарата с передачей энергии переменного тока по кабель-тросу. Преимуществом данной модели является возможность получения в аналитическом виде значений токов и напряжений, как в установившемся режиме, так и во время переходных процессов.

Библиографический список

1. Inspection-class remotely operated vehicles-a review / R. Capocci, G. Dooly, E. Omerdić, J. Coleman, T. Newe, D. Toal // *Journal of Marine Science and Engineering*. – 2017. – Vol. 5(1), No. 13. – P. 1–6.
2. AC subsea power transmission architectures, design and challenges, the martin linge case / T. Skaanoey, U. Kerin, N. Van Luijk, E. Thibaut, // *Proceedings of the Annual Offshore Technology Conference*. – 2017. – Vol. 4. – P. 2920– 2928.
3. Многомерная модель системы электропитания погружного технологического оборудования / Букреев В.Г., Шандарова Е.Б., Рулевский В.М. // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2018. – Т. 329. – № 4. – С. 119–131.
4. Рулевский, В.М., Чех, В.А., Букреев, В.Г., Мещеряков, Р.В. Система электропитания глубоководного аппарата с высоковольтной передачей энергии постоянного тока по кабель-тросу / В.М. Рулевский, В.А. Чех, В.Г. Букреев, Р.В. Мещеряков // *Перспективные системы и задачи управления*. – 2018. – №1. – С. 155–168.
5. Чаплыгин, Е.Е. Спектральное моделирование преобразователей с широтно-импульсной модуляцией: учебное пособие / Е. Е. Чаплыгин. – М.: Изд-во МЭИ, 2009. – 56 с.
6. Зиновьев, Г.С. Силовая электроника / Г.С. Зиновьев. – М: Издательство Юрайт, 2015. – 667 с.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПАССАЖИРСКОГО ЭЛЕКТРОВОЗА ЭП2К

Киселев А. С., Модзелевский Д. Е.

*Сибирский государственный индустриальный университет
(СибГИУ), Новокузнецк*

В статье описывается совершенствование тягового электродвигателя путем модернизации конструкции, электрической схемы и оптимизации процессов в цепи электропривода пассажирского электровоза ЭП2К.

Ключевые слова: IGBT- транзистор, электровоз ЭП2К, тепловой расчёт вентиля ШИМ-преобразователя, электропривод.

На данный момент совершенствование тягового электродвигателя путем модернизации конструкции, электрической схемы и оптимизации процессов в цепи, на прямую влияет на экономическую составляющую эксплуатации электровоза.

Объектом исследования является тяговый электропривод (ЭП) пассажирского электровоза ЭП2К.

Электровоз пассажирский ЭП2К, шестиосный, постоянного тока, мощностью 4800кВт, предназначенный для вождения пассажирских поездов на железных дорогах Российской Федерации колеи 1520 мм в климатических районах I2,II4 –III0 ГОСТ16350-80.

Электровоз ЭП2К оснащен 6 двигателями ЭД153У1 питающимися от контактной сети 3 кВ постоянного тока.

На рисунке 1 показана исходная электрическая схема системы управления.

Регулирование скорости и момента двигателей осуществляется с помощью реостатов R1, который изменяет сопротивление якорной цепи, то есть тем самым ограничивает ток и реостатов контакторов шунтирующих сопротивлений для работы во второй зоне. В зоне скорости выше, чем основная скорость двигателя.

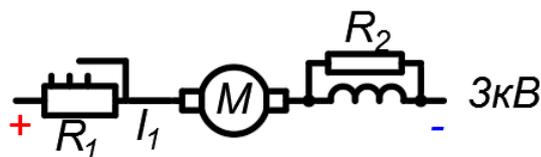


Рисунок 1 - Исходная электрическая схема системы управления.

Предлагается заменить такой устаревший способ управления на преобразователь с широкой импульсной модуляцией (ШИМ).

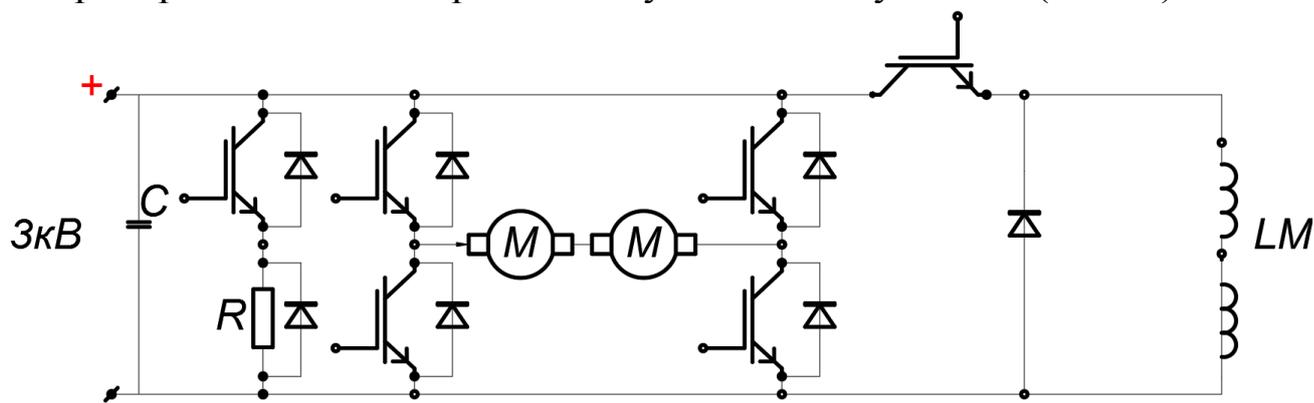


Рисунок 2 - Предлагаемая электрическая схема системы управления.

Двигатель находится в середине Н-моста и регулируется в нем ток с помощью импульсов подаваемых на IGBT-транзистор, ослабление поля будет происходить с помощью импульсов подаваемых на транзисторы, в зависимости от направления тока в обмотке возбуждения.

Предложенная замена позволит:

- улучшились плавность регулирования скорости торможения момента;
- уменьшить энергопотребление;
- сократиться износ оборудования.

Выбор оборудования силовой части для системы регулирования скорости ЭП основан на номинальных параметрах электровоза. Номинальный ток электродвигателя равен 510 А, примем максимально допустимый ток двигателя при разгоне равным $I_{доп}=790$ А. Номинальное напряжение двигателя 1500 В,

Напряжение на выходе активного выпрямителя будем считать равным $U_{AB} = 1700$ В. В качестве вентиляей, составляющих ШИМ – преобразователь выбираем IGBT – транзисторы серии FF800R17KP4B2NOSA2

IGBT- транзисторы имеют встроенный драйвер. Сигнал от контроллера подаётся по оптоволоконному кабелю. В качестве переходников электрического сигнала световой для соединения оптоволоконного кабеля с контроллером используется преобразователь электрического сигнала в световой HFBR-2521Z. Используем оптоволоконный кабель МТА-156.

В схеме для возможности рекуперации предусмотрены обратные диоды Д173-5000. Для измерения величины тока выберем шунт 75ШСМ 1000А на ток 1000 А. Так же в схеме используем датчик RHI 58N-0ААК1RGХN-5000.

В качестве гальванической развязки между датчиком тока и контроллером используем ADAM 3014. Для нормальной работы тиристоров и диодов выберем охладитель ОВ 28.

На рисунке 3 приведена структурная схема системы управления.

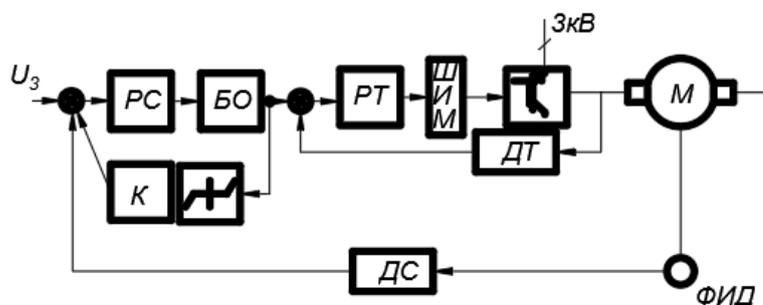


Рисунок 3 – Структурная схема системы управления

На пусковой двигатель с последовательной обмоткой возбуждения подается напряжение от IGBT-преобразователя который получает питание от напряжения 3кВ постоянного тока. Импульс управления поступает от широко импульсного модулятора (ШИМ), на вход к нему приходит регулятор тока (РТ), диапазон регулирования отслеживаем по датчику тока (ДТ). Скорость двигателя регулируется с помощью регулятора скорости (РС), для отслеживания скорости используем датчик скорости (ДС). Блок ограничения (БО), ограничивает максимальные значения пускового тока с регулятора скорости.

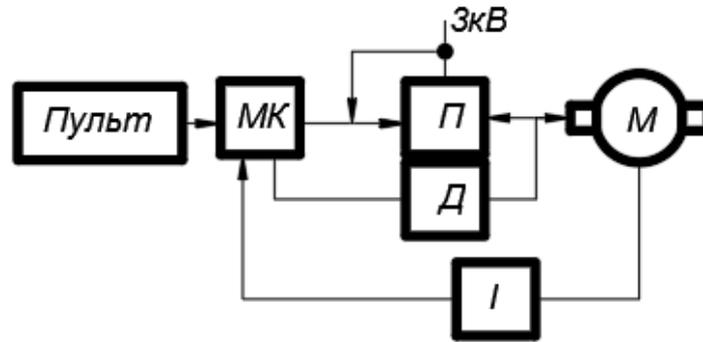


Рисунок 4 – Функциональная схема
(П)-преобразователь; (М)-двигатель; (МК)-микроконтроллер;
(Д) – датчики скорости и тока; (I)-датчик шины постоянного тока;
(Пульт)-управление.

Результаты теплового расчёта вентилей ШИМ-преобразователя позволяют проверить тепловую нагрузку на силовые модули. Выполним проверку транзисторов и обратных диодов ШИМ-преобразователя исходя из принятого предельно допустимого тока двигателя 790 А по формуле[1]:

$$I_{\text{допШИМВД}} = \frac{\sqrt{U_{\text{порВД}}^2 + 4R_{\text{динВД}} \cdot K_{\phi}^2 \cdot (T_{\text{VS}} - T_{\text{охл}}) / (R_{\text{ПКVS}} + R_{\text{КОВS}} + R_{\text{охл}})} - U_{\text{порВД}}}{2R_{\text{динВД}} \cdot K_{\phi}^2};$$

Получаем достаточный запас в 50% по максимально допустимому току в предельных режимах.

Результаты расчёта статических параметров электродвигателя

По формуле Уманского-Леумвилля определили индуктивность якоря двигателя, Гн: [2]

$$L_{\text{я}} = C \frac{U_{\text{ян}}}{I_{\text{ян}} \cdot n_{\text{ян}} \cdot p};$$

$$L_{\text{я}} = 0,000972;$$

Определили сопротивление якорной цепи по формуле:

$$R_{\text{яц}} = R_{\text{я}} + R_{\text{к}} + R_{\text{дп}};$$

Определили сопротивление якорной цепи по формуле:

$$R_{\text{яцпр}} = R_{\text{яц}} \cdot \beta;$$

$$R_{\text{яцпр}} = 0,0326 \text{ Ом};$$

Определили сопротивление обмотки возбуждения по формуле:

$$R_{ОВ} = \frac{U_{ОВ}}{I_{ОВ}};$$

$$R_{ОВ} = 0,9150 \text{ Ом};$$

Определили величину конструктивной постоянной двигателя умноженной на поток по формуле:

$$K\Phi = \frac{U_{ЯН} - I_{ЯН} \cdot R_{ЯЦПР}}{\omega_H};$$

$$K\Phi = 257;$$

Определили напряжение, соответствующее скорости двигателя, рад/с, по формуле:

$$U_{ДЕЙСТВ} = K\Phi \cdot \omega_{ДЕЙСТВ} + I_{ЯН} \cdot R_{ЯЦПР};$$

$$U_{ДЕЙСТВ} = 1147 \text{ В};$$

Расчёт параметров регулятора тока системы регулирования скорости ЭП произведён по методике, изложенной в [3].

По [3] передаточная функция регулятора тока выглядит:

$$W_{РТ} = \frac{T_Я \cdot p + 1}{a_T \cdot T_\mu \cdot \frac{K_{ТП} \cdot K_T}{R_{ЯЦПР}} \cdot p};$$

$$W_{РТ} = \frac{0,0839 \cdot p + 1}{2 \cdot 0,001 \cdot \frac{150 \cdot 0,012}{0,0326} \cdot p} = \frac{0,0839 \cdot p + 1}{0,1104 \cdot p} \cdot 28,56;$$

Результаты расчёта параметров регулятора скорости системы регулирования скорости ЭП позволяет настроить контур скорости на модульный оптимум. Расчёт параметров регулятора скорости системы регулирования скорости ШПУ произведён по методике, изложенной в [3].

По [3] передаточная функция регулятора скорости выглядит:

$$W_{РС} = \frac{T_M \cdot (b_c \cdot a_c \cdot T_\mu \cdot p + 1)}{\frac{K_c \cdot R_Я}{K_T \cdot K_V} \cdot b_c \cdot a_c^2 \cdot T_\mu^2 \cdot p};$$

$$W_{PC} = \frac{0,58 \cdot (2,5 \cdot 375 \cdot 0,001 \cdot p + 1)}{\frac{1,74 \cdot 0,024}{0,012 \cdot 1964,3} \cdot 2,5 \cdot 375^2 \cdot 0,001^2 \cdot p} = \frac{0,58 \cdot (0,9375 \cdot p + 1)}{0,00622 \cdot p}$$

Для ограничения выходного сигнала регулятора скорости охватим регулятор отрицательной обратной связью в соответствии с рисунком 5.

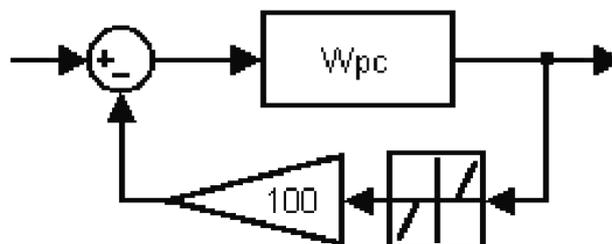


Рисунок 5 – Ограничение выходного сигнала регулятора скорости

Так как входное напряжение контроллера 10 В, то при моделировании предельно допустимым сигналом на выходах регуляторов будет сигнал 10 В. Тогда блок ограничения настроим на -10 и 10 В.

В ходе проектирования была разработана система регулирования скорости двигателя электровоза ЭП2К и ШИМ-преобразователь постоянного тока в постоянный, осуществляющий функции регулирования уровня напряжения на якоре двигателя.

Спроектирована силовая часть. С помощью компьютерного моделирования получены графики основных координат электропривода в переходных процессах, позволяющие сделать вывод о приемлемом качестве переходных процессов САР скорости электропривода.

Библиографический список

1. Замятин В. Я. Мощные полупроводниковые приборы. Справочник / В. Я. Замятин. - М.: Радио и связь, 1986. – 576 с.
2. Пронин М.В., Воронцов А.Г. Силовые полностью управляемые полупроводниковые преобразователи (моделирование и расчет) / Под ред. Крутякова Е.А. СПб: Электросила, 2003. – 172 с.

3. Мурышкин А. К. Расчет системы подчиненного регулирования электроприводом постоянного тока: Учеб. пособие / А.К. Мурышкин, С.А.Дружилов, Т.В. Богдановская. - СибГИУ, Новокузнецк, 2007. - 55 с.

УДК 621.313

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕЛИЧИН В ПРИВОДЕ ПОДЪЁМА МОСТОВЫХ КРАНОВ ПРИ ЧРЕЗМЕРНОЙ МАССЕ ГРУЗА

¹Аниканов Д.С. ²Кипервассер М.В.,

³Герасимук А.В., ²Лактионов С.А.

¹ООО «НТЦ «Сибшахтострой-инжиниринг»», ²ФБГОУ ВО
Сибирский государственный индустриальный университет,
³АО «Сибирский Тяжпромэлектропроект» г. Новокузнецк

Аннотация. Описан мостовой двухбалочный кран и характерные аварийные ситуации узлов и агрегатов крана. Приведено математическое описание взаимных связей величин и параметров электропривода подъёма крана. Предложено устройство защиты крана от подъёма груза чрезмерной массы. Устройство содержит девять логических блоков различных функций, соединенных между собой. Описана последовательность взаимодействия между собой блоков устройства в процессе работы механизма подъёма. Приведено обоснование эффективности предлагаемого устройства.

Ключевые слова: кран, электродвигатель, ток статора, защита.

Ведение технологических процессов на горных и металлургических предприятиях Кузбасса обеспечивается значительным количеством технологического и ремонтного оборудования. Одним из основных является грузоподъемное оборудование – мостовые краны и кран – балки различного назначения.

Доля грузоподъемных механизмов в общем количестве технологического оборудования на горных и металлургических предприятиях составляет 13...17%. От надёжной и безопасной работы грузоподъемных кранов зависит безопасность персонала, ритмичность технологических процессов и экономические показатели предприятий.

Согласно обобщению статистических данных по неисправностям оборудования на предприятиях г. Новокузнецка, представленных в диаграмме рисунка 1, доля подъемно-транспортного оборудования (в том числе различного рода кранов) в общем объеме неисправностей значительна и достигает 39%, что в свою очередь подтверждает актуальность разработки средств защиты и диагностики грузоподъемных механизмов от аварийных ситуаций [1].

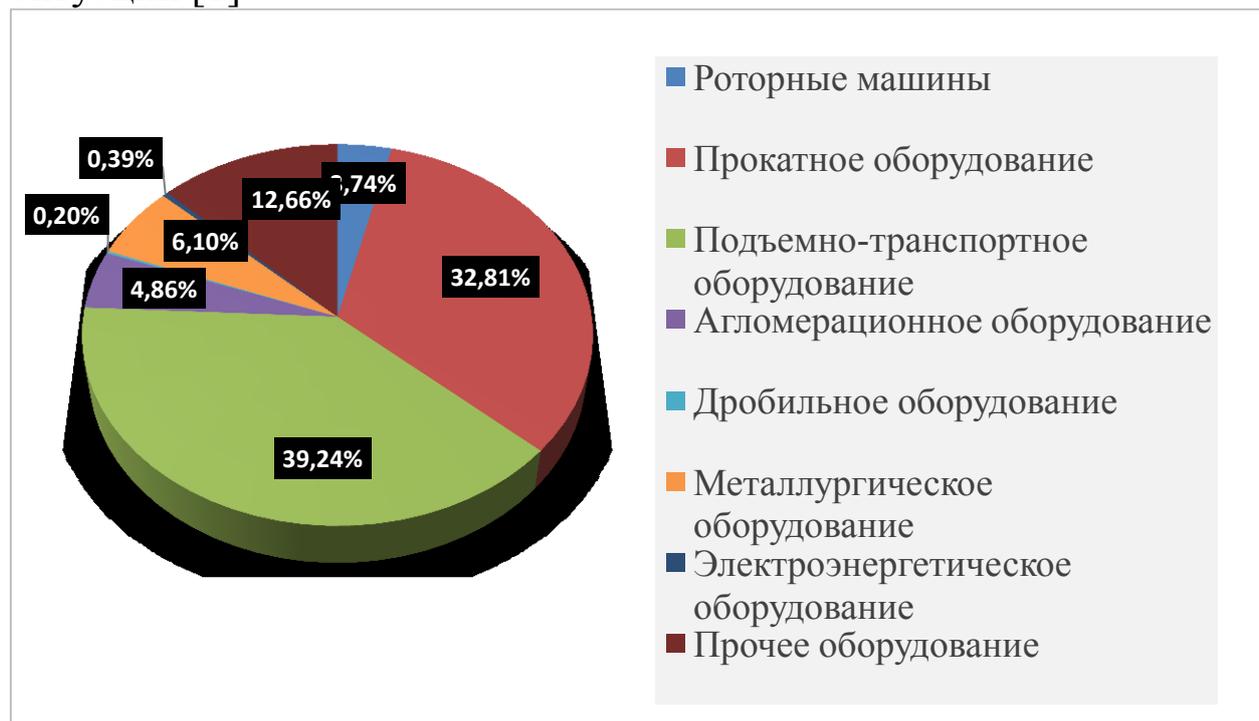


Рисунок 1 – Диаграмма распределения типов неисправного оборудования по предприятиям города Новокузнецка.

Основными аварийными ситуациями мостовых кранов являются следующие события: обрыв канатов механизма подъема, переподъем грузозахватного органа, нарушение целостности и геометрии конструкции крана (трещины, разрушение балок и других составных частей конструкции), выход из строя электродвигателя подъема. Значительная часть перечисленных аварийных ситуаций вызвана увеличением нагрузки при подъеме груза недопустимой массы.

Для предотвращения аварийных режимов, вызванных подъемом грузов чрезмерной массы, используются предохранительные устройства (ограничители грузоподъемности) [2]. Существующие схемы и конструкции таких устройств

подвержены ряду недостатков, снижающих чувствительность, быстродействие и надёжность их срабатывания.

С учётом изложенного, а также в условиях недостатка эксплуатирующего и ремонтного персонала для полноценного надзора и обслуживания грузоподъёмных механизмов необходимо использовать все технические возможности, в том числе – методы косвенного контроля аварийных ситуаций.

Идентификация аварийной ситуации подъёма груза чрезмерной массы возможна с использованием косвенного метода, основанного на контроле электрических параметров электродвигателя механизма подъёма [3].

Механическая часть привода подъёма описывается трёхмассовой моделью [4]. Движение масс трёхмассовой модели после отрыва груза описывается выражениями (1):

$$\begin{cases} m_1 x_1'' = P - F_k(t); \\ m_2 x_2'' = F_k(t) - Q + m_2 x_3''; \\ m_3 x_3'' = G + F_k(t) - F_{\text{упр.моста}}(t), \end{cases} \quad (1)$$

где m_1, m_2, m_3 – приведённые к канату массы груза, моста и вращающихся частей механизма подъёма; c_1, c_2 – жёсткости каната и моста крана; P – среднепусковая сила двигателя; x_1, x_2, x_3 – перемещения масс; $Q = m_1 g$ – вес поднимаемого груза; $G = m_3 g$ – вес моста крана с тележкой; $F_k(t)$ – сила натяжения подъёмного каната; $F_{\text{упр.моста}}(t)$ – упругая сила балок моста.

Усилия в упругих связях моста и каната составят:

$$F_{k(t)} = Q + c_1(x_1 - x_2); \quad (2)$$

$$F_{\text{упр.моста}(t)} = F_{\text{упр.моста}(0)} + c_2 x_3; \quad (3)$$

Для описания приводного асинхронного электродвигателя принята система (α, β) координат, неподвижных относительно статора электродвигателя (2):

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \frac{d\psi_{s\alpha}}{dt} + R_s i_{s\alpha} = U_{m\phi} \sin(\omega t); \\
 \frac{d\psi_{s\beta}}{dt} + R_s i_{s\beta} = 0; \\
 \frac{d\psi_{r\alpha}}{dt} + R_r i_{r\alpha} + \left(i / R_{\sigma ap} \right) x_1' \psi_{r\beta} = 0; \\
 \frac{d\psi_{r\beta}}{dt} + R_r i_{r\beta} - \left(i / R_{\sigma ap} \right) x_1' \psi_{r\alpha} = 0; \\
 \psi_{s\alpha} = L_s i_{s\alpha} + L_m i_{r\alpha}; \\
 \psi_{s\beta} = L_s i_{s\beta} + L_m i_{r\beta}; \\
 \psi_{r\alpha} = L_r i_{r\alpha} + L_m i_{s\alpha}; \\
 \psi_{r\beta} = L_r i_{r\beta} + L_m i_{s\beta}; \\
 P = \left(i_m / R_{\sigma ap} \right) \left(\psi_{s\alpha} i_{s\beta} - \psi_{s\beta} i_{s\alpha} \right);
 \end{array} \right. \quad (4)$$

В системе (4) в уравнениях ЭДС использовано приведение частоты вращения ротора к реальной скорости движения каната. Величина момента на валу приведена к усилию в канате привода подъёма.

При переходе к величинам токов в (4) получим (5):

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\psi_{s\alpha}}{dt} = -U_{\alpha} - r_s i_{s\alpha}; \\ \frac{d\psi_{s\beta}}{dt} = -U_{\beta} - r_s i_{s\beta}; \\ \frac{d\psi_{r\alpha}}{dt} = -r_r i_{r\alpha} + kx_1 \psi_{r\beta}; \\ \frac{d\psi_{r\beta}}{dt} = -r_r i_{r\beta} - kx_1 \psi_{r\alpha}; \\ i_{s\alpha} = \frac{1}{\sigma X_s} \psi_{s\alpha} - \frac{X_m}{\sigma X_r X_s} \psi_{r\alpha}; \\ i_{s\beta} = \frac{1}{\sigma X_s} \psi_{s\beta} - \frac{X_m}{\sigma X_r X_s} \psi_{r\beta}; \\ i_{r\alpha} = \frac{1}{\sigma X_r} \psi_{r\alpha} - \frac{X_m}{\sigma X_r X_s} \psi_{s\alpha}; \\ i_{r\beta} = \frac{1}{\sigma X_r} \psi_{r\beta} - \frac{X_m}{\sigma X_r X_s} \psi_{s\beta}; \\ M_{\text{ЭМ}} = \frac{3}{2} X_m (i_{r\alpha} i_{s\beta} - i_{s\alpha} i_{r\beta}); \\ U_{\alpha} = U_{m\phi} \cos(\omega t); \\ U_{\beta} = U_{m\phi} \sin(\omega t). \end{array} \right. \quad (5)$$

где $\sigma = 1 - X_m^2 / (X_s X_r)$ – полный коэффициент рассеяния; U_{α} , U_{β} – напряжения, подведённые к эквивалентным обмоткам по осям α и β ; ψ_{α} , ψ_{β} , ψ_{ar} , $\psi_{\beta r}$ – потокосцепления эквивалентных обмоток статора и ротора; i_{α} , i_{β} , i_{ar} , $i_{\beta r}$ – токи эквивалентных статорных обмоток; r_r , r_s , X_r , X_s – активные и индуктивные сопротивления статорных и роторных обмоток; $M_{\text{ЭМ}}$ – электромагнитный момент; t – время

Описание электромеханической системы в целом для независимых переменных имеет вид (6):

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\psi_{s\alpha}}{dt} = -U_{\alpha} - r_s i_{s\alpha}; \\ \frac{d\psi_{s\beta}}{dt} = -U_{\beta} - r_s i_{s\beta}; \\ \frac{d\psi_{r\alpha}}{dt} = -r_r i_{r\alpha} + kx_1 \psi_{r\beta}; \\ \frac{d\psi_{r\beta}}{dt} = -r_r i_{r\beta} - kx_1 \psi_{r\alpha}; \\ m_1 \frac{d^2 x_1}{dt^2} = P - F_{\kappa}(t); \\ m_2 \frac{d^2 x_2}{dt^2} = F_{\kappa}(t) - Q + m_2 x_3''; \\ m_3 \frac{d^2 x_3}{dt^2} = G + F_{\kappa}(t) - F_{\text{упр.моста}}(t). \end{array} \right. \quad (6)$$

Для переменных системы выполняются соотношения:

$$\left\{ \begin{array}{l} i_{s\alpha} = \frac{1}{\sigma X_S} \psi_{s\alpha} - \frac{X_m}{\sigma X_r X_S} \psi_{r\alpha}; \\ i_{s\beta} = \frac{1}{\sigma X_S} \psi_{s\beta} - \frac{X_m}{\sigma X_r X_S} \psi_{r\beta}; \\ i_{r\alpha} = \frac{1}{\sigma X_r} \psi_{r\alpha} - \frac{X_m}{\sigma X_r X_S} \psi_{s\alpha}; \\ i_{r\beta} = \frac{1}{\sigma X_r} \psi_{r\beta} - \frac{X_m}{\sigma X_r X_S} \psi_{s\beta}; \\ P = \frac{i \cdot m}{R_{\text{бар}}} (\psi_{s\alpha} i_{s\beta} - \psi_{s\beta} i_{s\alpha}) \\ M_{\text{ЭМ}} = \frac{3}{2} X_m (i_{r\alpha} i_{s\beta} - i_{s\alpha} i_{r\beta}); \\ U_{\alpha} = U_{m\phi} \cos(\omega t); \\ U_{\beta} = U_{m\phi} \sin(\omega t); \\ F_{\kappa(t)} = Q + c_1(x_1 - x_2); \\ F_{\text{упр.моста}(t)} = F_{\text{упр.моста}(0)} + c_2 x_3. \end{array} \right. \quad (7)$$

По [4] сила натяжения каната на этапе движения после отрыва груза от опорной поверхности описывается в общем виде выражением:

$$F_{\kappa(t)} = A_1 \cos \omega t + B_1 \sin \omega t + A_2 \cos \omega_2 t + B_2 \sin \omega_2 t + D, \quad (8)$$

где D – постоянная составляющая; A_1, A_2, B_1, B_2 – амплитуды гармонических составляющих; ω_1 и ω_2 – частоты гармонических составляющих.

Совместное решение (1) – (8) позволяет получить величины электрических величин электродвигателя (токов статора) на этапе начала движения при отрыве груза от опорной поверхности.

Приведенная методика была использована для расчётов токов статора двигателя механизма подъёма мостового крана грузоподъёмностью 32 т обогатительной фабрики «Калтанская» Энергетическая». Результаты моделирования приведены на рисунке 2.

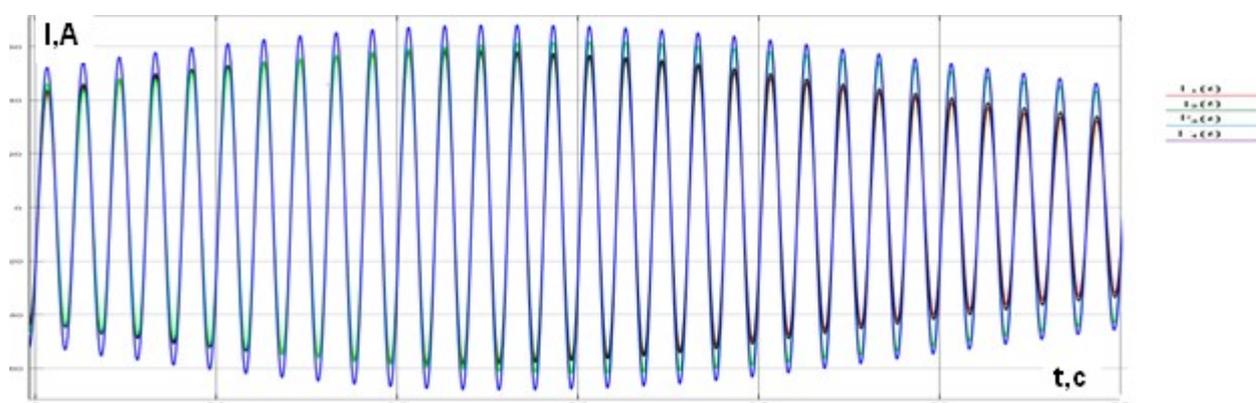
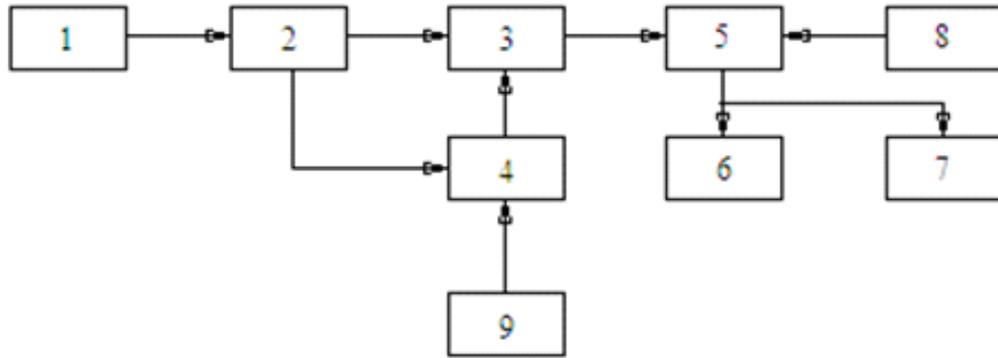


Рисунок 2 – Величины токов статора электродвигателя подъёма при отрыве от поверхности грузов массой 32000 кг, 33000 кг, 36000 кг и 40000 кг ($I_1(t)$, $I_2(t)$, $I_3(t)$ и $I_4(t)$ соответственно).

Результаты моделирования свидетельствуют о наличии поддающейся фиксации разнице величин токов статора после отрыва груза от опорной поверхности.

В [5] описано устройство защиты мостового крана с использованием изученных электрических величин электродвигателя. Принцип работы предлагаемого устройства основан на контроле электрических параметров приводного асинхронного двигателя. Структурная схема устройства защиты приведена на рисунке 3.



1 – измерительный блок, 2 – блок измерения массы, 3 – ключ, 4 – первый блок сравнения, 5 – второй блок сравнения, 6 – блок управления асинхронным двигателем, 7 – блок индикации, 8 – блок задания величины скачка, 9 – блок задания максимальной массы поднимаемого груза.

Рисунок 3 – Структурная схема устройства.

Устройство ограничения грузоподъемности мостового крана работает следующим образом. В момент пуска механизма посредством релейной схемы из измерительного блока 1 подается информационный сигнал на блок 2 измерения массы, далее поступает на вход ключа 3 и первого блока 4 сравнения. С первого блока 4 сравнения сигнал подается на вход ключа 3, далее на вход второго блока 5 сравнения, с выхода которого на входы блока 6 управления асинхронным двигателем и блока 7 индикации. С выхода блока 8 задания величины скачка на вход второго блока 5 сравнения, с выхода блока 9 задания максимальной массы поднимаемого груза на вход первого блока 4 сравнения.

В первом блоке 4 сравнения реализуется следующая логическая функция:

$$x(\tau) = \begin{cases} \text{откл.}, m_{\text{дейс.}} \geq m_{\text{макс}}; \\ \text{раб.}, m_{\text{дейс.}} \leq m_{\text{макс}} \end{cases} \quad (9)$$

где $x(\tau)$ – выходной сигнал первого блока 4 сравнения, имеющий два уровня Откл. и Раб.; $m_{\text{дейс.}}$ и $m_{\text{макс.}}$ – величина текущей и максимальной массы груза.

Если разность величин больше или равна чем сигнал, то сигнал с выхода первого блока 4 сравнения, не проходит на ключ 3

и работа останавливается. В противном случае сигнал не считается аварийным и работа продолжается.

Во втором блоке 5 сравнения реализуется следующая логическая функция:

$$y(\tau) = \begin{cases} \text{откл.}, (m_{\text{тек}} - m_{\text{зад.}}) \geq m_{\text{ск.доп.}}; \\ \text{раб.}, (m_{\text{тек}} - m_{\text{зад.}}) < m_{\text{ск.доп.}} \end{cases} \quad (10)$$

где $y(\tau)$ – выходной сигнал второго блока 5 сравнения; $m_{\text{тек}}$ – величина текущей массы груза; $m_{\text{зад.}}$ – величина допустимой массы груза; $m_{\text{ск.доп.}}$ – величина допустимого превышения массы.

Если разность величин будет больше, то с выхода второго блока 5 сравнения поступит сигнал на вход блока 6 управления асинхронным двигателем

Выходное напряжение U измерительного блока 1, пропорционально току двигателя:

$$U = I_{\delta} K_{\text{ТТ}} K_{\text{ДТ}}, \quad (11)$$

где I_{δ} – ток статора электродвигателя; $K_{\text{ТТ}}$ – коэффициент трансформатора тока; $K_{\text{ДТ}}$ – коэффициент схемы датчика тока.

Появление аварийного сигнала обеспечивается последовательным срабатыванием четырех блоков при контроле массы груза на участке включения питания крана и шести блоков при контроле массы груза на протяжении всего периода работы. Точность замера усилий в приводе определяется погрешностью измерительных трансформаторов тока, которая при классе точности 1,0 составляет $\pm 1\%$.

Вывод: Контроль электрических величин приводного электродвигателя позволяет организовать защиту грузоподъемного механизма от аварийных ситуаций. Предлагаемое устройство позволяет распознать наличие перегрузки механизма подъема уже на пределе $+1\%$, и предотвратить развитие аварий, связанных с подъемом груза чрезмерной массы.

Литература

1. Б.И. Прокофьев. Безопасная эксплуатация крановых сооружений [Текст]: учебное пособие с грифом УМО / Б.И. Прокофьев, М.Ю. Попов. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.–строит. ун-та, 2014. – 160 с.

2. РД 36–62–00. Оборудование грузоподъемное. Общие технические требования.

3. Савельев А.Н. Кипервассер М.В. Инжелевская О.В. Распознавание аварийных ситуаций механического оборудования с электроприводом постоянного тока. Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2011. № 6. С. 42 – 45.

4. Казак С.А. Динамика мостовых кранов. М., изд-во «Машиностроение». 1968. – 332с.

5. Аниканов Д.С., Кипервассер М.В. А. В. Герасимук, Лактионов С.А. Защита мостовых кранов углеобогатительных фабрик. Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. сб. науч. статей / Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк, 2018. – 4. – С. 361 - 365

УДК 621.314.21

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СИСТЕМ УЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

В.А. Кузнецов, Е.С. Кузнецова, С.А. Кузьмин

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Аннотация: В статье рассматривается история развития системы учета электрической энергии, а так же современное состояние этой системы в качестве автоматизированной информационно-измерительной системы коммерческого учета электроэнергии (АИИС КУЭ) и особенности, приведена краткая история создания и развития счетчиков электрической энергии.

Ключевые слова: электроэнергия, автоматизированная система учета, счетчик электроэнергии, расходы.

Прежде чем говорить о современном состоянии систем учета электроэнергии, необходимо проанализировать историю этой системы.

Самым первым шагом к созданию вышеуказанной системы стало изобретение и создание счетчика электроэнергии. Первый электросчетчик, запатентованный в 1872 году, был счетчик подсчета часов работы лампы Самюэля Гардинэра. Он измерял

время работы этих ламп, включенных в одну электрическую цепь. Однако, когда Томас Эдисон улучшил лампу накаливания, цепи освещения соответственно стали сложнее, и такой счетчик перестал использоваться в силу своей бесполезности.

Следующим шагом в истории электросчетчиков стало предложение Томаса Эдисона для учета электроэнергии использовать принцип учета природного газа, который использовался в то время (1881 г.). Запатентованный счетчик Эдисона использовал принцип электрохимического эффекта тока, который заключается в следующем: проходя через медную пластину, помещенную в электролит, ток вызывал осаждение меди. Следовательно, разница в весе пластины до и после измерений показывала расход электроэнергии. Позже, с целью упрощения использования такого счетчика, Эдисон добавил к счетчику счетный механизм.

В 1884 году немецкий изобретатель Герман Арон сконструировал маятниковый счетчик. Принцип его работы состоял в подсчете электроэнергии, которая запускала маятник. Этот принцип был сформулирован еще в 1881 году американцами В. Е. Эйртоном и Д. Пери.

Следующий тип счетчика электроэнергии, моторный, в 1889 году изобрел инженер Элиу Томсон. Счетчик Томсона работал по принципу измерения произведения силы тока и напряжения, которое было пропорционально вращающему моменту.

После открытия эффекта вращающегося электрического поля, которое сделали независимо друг от друга Галилео Феррарис в 1885 году и Никола Тесла в 1888 году, встала необходимость создания нового счетчика учета электроэнергии в сетях переменного тока. В 1889 году Отто Титус Блати запатентовал “Электрический счетчик для переменных токов”. Первые счетчики Блати весили около 23 кг. Со временем их вес удалось снизить до 2,6 кг.

В 1894 году Шелленбергер разработал счетчик ватт-часов индукционного типа. Он имел барабанный счетный механизм. Катушки тока и напряжения были расположены на противоположных сторонах вращающегося диска, а установленные два постоянных магнита замедляли движение диска.

В 1899 году Людвиг Гутманн разработал усовершенствованный счетчик ватт-часов энергии переменного тока. В нем ротор в виде цилиндра, ко дну которого был прикреплен диск, вращался в полях катушек напряжения и тока. Торможение происходило с помощью постоянного магнита.

В наше время в автоматизированных системах учета электроэнергии используются цифровые микропроцессорные многофункциональные счетчики. Их огромным преимуществом являются как оперативная передача необходимых данных по различным каналам связям, так и различные сервисные функции (удаленный доступ к счетчику, информация о потребленной энергии и др.) Так же благодаря наличию на таком счетчике дисплея и кнопок управления, можно на месте посмотреть различную информацию, к примеру: вывести на дисплей информацию о потребленной энергии за каждый месяц, по различным тарифам и так далее.

Теперь, проанализировав историю создания и развития счетчика, необходимо перейти к истории развития самой системы учета электроэнергии. Первый шаг в направлении создания такой системы был сделан в области систем технического и коммерческого учета электрической энергии. Этим шагом стало появление первых устройств сбора данных, которые представляли из себя устройства формирования импульсов и сумматоров. Все эти устройства и являются первым поколением автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ).

Следующие шаги в области систем АСКУЭ были сделаны в 70-е и 80-е годы благодаря появлению интегральных технологий. И начиная с этого времени новые поколения систем АСКУЭ строились на базе компьютерных и микропроцессорных технологий.

Мощным толчком к развитию систем АСКУЭ стал распад плановой экономики, и соответственно конец эпохи дешевых и практически неограниченных энергоресурсов. Наблюдая за ростом цен на энергоресурсы, многие промышленные компании приходят к выводу, что для достижения максимальной экономической выгоды при использовании энергоресурсов, необходимо

**СЕКЦИЯ 3. Силовое оборудование, преобразовательная техника
и микропроцессорные средства управления.**

установить на своем предприятии систему по учету электроэнергии.

В таблице, представленной ниже, приведена краткая информация по развитию систем АСКУЭ с 1980-го года до 2000-го года.

Год появления на рынке	Особенности	Тип архитектуры, протоколы	Примеры реализации
Первое поколение АСКУЭ, 1980	Электроиндукционные счетчики классов 2.0 и 1.0, устройства формирования импульсов, счетчики импульсов	Два уровня, ПЭВМ отсутствует	ИИСЭ1-43 (завод ВЗЭТ)
Второе поколение АСКУЭ, 1990	Электроиндукционные счетчики классов 2.0 и 1.0, электронные счетчики 1-го поколения, устройства сбора данных, контроллеры, ПЭВМ, кабельные и телефонные линии связи. Применяются ОС MS-DOS, Windows, QNX, OS-9 и др.	Два и три уровня, ПЭВМ, архивы данных ведутся в ПЭВМ	ИИСЭ-3, 4 ЦТ-5000 (завод Точмаш), КТС "Энергия", ИВК "Метроника", КТС "Телескоп"
Третье поколение АСКУЭ, 1995	Электронные счетчики 2-го поколения, контроль количества и качества энергии, устройства сбора данных с архивами данных, контроллеры, ПЭВМ, кабельные, телефонные и оптоволоконные линии связи, развитые системы протоколов открытых систем - OPC client/sever, DDE client/server	Два и три уровня, на верхнем уровне сеть ПЭВМ, две сети – две ОС	АСКУЭ "Омь", АСКУЭ "Альфа СМАРТ", АСКУЭ КТС "Энергия", КТС "Сименс" "Лэндис и Гир", АСКУЭ "Сикон", КТС "Ток-3", КТС "Мегадата"
Четвертое поколение АСКУЭ, 2000	Электронные счетчики 3-го поколения, контроль количества и качества энергии, цифровые технологии, кабельные, телефонные, электрические, оптоволоконные и сотовые линии связи, развитые системы протоколов открытых систем для корпоративных СУ SQL/ODBC, Интернет/интранет. Поддержка астрономического времени, ФОРЗМ	Три и более уровней, на верхнем уровне сеть ПЭВМ, корпоративная сеть, дублированные каналы связи	АСКУЭ КТС "Энергий Плюс, ПО в. 6.0 АСКУЭ "Альфа Центр", АСКУЭПР Москва, КТС "Ток-С"

Современное поколение систем учета электроэнергии на промышленных предприятиях представляют из себя единую, интегрированную, иерархическую, распределенную человек - машина систему, которая, как правило, состоит из трех уровней:

1. Нижний уровень (полевой) состоит из преобразовательных трансформаторов и счетчиков электроэнергии, которые передают данные на следующий уровень;

2. Информационно-вычислительный комплекс электроустановки (средний уровень) состоит из устройства сбора и обработки данных (УСПД), которое отвечает за сбор данных со всех счетчиков, которые к нему подключены, обработку этих данных и их хранение, а также за отправку на следующий уровень;

3. Информационно-вычислительный комплекс (верхний уровень), уровень приёма, хранения и обработки информации поступающего с УСПД (или групп УСПД) в персональный компьютер или сервер центра сбора и обработки данных.

Связь между уровнями обеспечивается благодаря каналам связи (RS-484, модемные линии связи и локальные сети).

Список использованной литературы

1. Дроздов А.Д. Автоматизация энергетических систем / А.Д. Дроздов. – М.: Энергия, 1977 – 440.

2. Системы АСКУЭ: Учебное пособие / А. Н. Ожегов. - Киров: Изд-во ВятГУ, 2006, - 102 с.

3. Труб И.И. Обслуживание индукционных счетчиков и цепей учета в электроустановках. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1983.

4. Ерёмина М. А. Развитие автоматизированных систем коммерческого учета энергоресурсов (АСКУЭ) // Молодой ученый. — 2015. — №3. — С. 135-138. — URL <https://moluch.ru/archive/83/15320/> (дата обращения: 12.11.2018).

УДК 621.316

ПРОБЛЕМЫ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Воронцов А.В., Кузнецова Е.С., Кузнецов В.А.

*Сибирский Государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Аннотация. В данной статье рассмотрены варианты решения проблем, связанных с компенсацией реактивной мощности (РМ) на промышленных предприятиях.

Проанализированы варианты выбора конденсаторных установок для компенсации РМ и их применение.

Ключевые слова: компенсация реактивной мощности, конденсаторные батареи, электрические сети, промышленные установки.

Одним из основных вопросов, касающихся повышения качества электроэнергии в сетях, возникающих как на стадии проектирования, так и на стадии эксплуатации систем промышленного электроснабжения, является вопрос о компенсации реактивной мощности, содержащий выбор целесообразных источников, расчет и регулирование их мощности, размещение источников в системе электроснабжения.

В большинстве промышленных и коммерческих объектов основная доля электрического оборудования представляет собой индуктивную нагрузку: асинхронные двигатели, индукционные печи, трансформаторы и лампы с ПРА. Проблемы качества электроэнергии на промышленных предприятиях растут в связи с увеличением количества двигателей, управляемых выпрямителями, и общего увеличения гармоник и интергармоник. Такие нагрузки являются причиной низкого коэффициента мощности промышленных предприятий. Низкий коэффициент мощности свидетельствует о неэффективном использовании электроэнергии и приводит к увеличению общих расходов на энергоснабжение. Эти проблемы решаются при правильном выборе конденсаторной установки для компенсации реактивной мощности.

Реактивная мощность – это технические потери электроэнергии, вызванные электромагнитными процессами в сетях. Недостаток её вызывает повышенный нагрев проводников и создает избыточную нагрузку на сеть, в результате чего источник электроэнергии работает в усиленном режиме. В настоящее время нет механизмов регулирования реактивной мощности, которая продолжает расти уменьшая пропускную способность сетей и увеличивая дополнительные потери электроэнергии.

При низком коэффициенте мощности предприятия, потребляется намного больше мощности, чем необходимо для работы. Необходимо корректировать низкий коэффициент мощности, так как затраты предприятия значительно увеличиваются. Одним из наиболее экономичных средств

повышения коэффициента мощности является установка КРМ (Конденсаторные установки).

На предприятии необходимо выбирать оптимальный тип, номинал и количество конденсаторов для конденсаторной установки.

Существует 4 способа установки конденсаторов:

- конденсатор на нагрузке;
- нерегулируемая конденсаторная батарея;
- автоматическая конденсаторная батарея;
- сочетание способов.

Компенсация реактивной мощности использовалась уже с начала 20 века для восстановления значения коэффициента мощности до значения, наиболее близкого к единице. Это возможно, благодаря подключению к сети конденсаторов, которые компенсируют потребление реактивной мощности индуктивными нагрузками и тем самым снижают нагрузку на источник. Но при этом, на работу электрооборудования не должно быть никакого влияния.

Для преобразования в механическую, тепловую и другие полезные виды энергии чаще всего используется активная мощность, а вот реактивная мощность не подходит для использования в этих целях, но без нее невозможна работа электрооборудования, функционирование которого основано на свойствах электромагнитного поля.

Уровень потребляемой электроэнергии на предприятиях постоянно изменяется, то есть cosφ может расти или понижаться. Следовательно, чем больше коэффициент мощности, тем выше активная составляющая и наоборот. Данный процесс необходимо регулировать с помощью конденсаторных установок, которые компенсируют реактивную составляющую.

Конденсаторы, на основе которых построена эта компенсационная аппаратура, удерживают значение напряжения на заданном уровне. В противоположность индуктивности, ток в конденсаторах работает на опережение. Соответственно, конденсаторы представлены как фазосдвигающее оборудование.

По компенсации реактивной мощности компенсаторные установки делятся на регулируемые и нерегулируемые. Одним из главных недостатков нерегулируемого вида является то, что при

значительном изменении нагрузки и коэффициента мощности, возможен риск перекомпенсации. Если существенный рост $\cos\varphi$ в цепи вероятен, то использование нерегулируемого КРМ не рекомендуется.

Регулируемые устройства работают в динамическом режиме, и способны проводить мониторинг и отслеживать показания для дальнейшего анализа. Входящий в состав этого оборудования контроллер, отслеживает и рассчитывает сразу несколько показателей:

- уровень реактивной нагрузки во внешней цепи;
- устанавливает существующий коэффициент мощности;
- делает сравнение коэффициента с заданными значениями.

Если же исходное значение отличается от эталона, регулятором подключаются или отключаются определенные конденсаторы, которые входят в компенсаторную установку. Используя данное оборудование появляется возможность полностью контролировать уровень подачи электроэнергии на предприятиях с большим количеством разных по назначению приборов. Это очень важно, если точно отследить, как изменяется реактивная составляющая по сети, довольно сложно.

Несмотря на то, что компенсировать реактивную составляющую удобнее всего напрямую у потребителя, для улучшения качества передаваемой электроэнергии первые установки применяются еще на подстанциях. Это позволяет разгрузить сеть и уже сэкономить от 10 до 20% энергии. Поэтому на подстанциях в 0,4 кВ проводится переключение пользователей с перегруженных фаз на недогруженные.

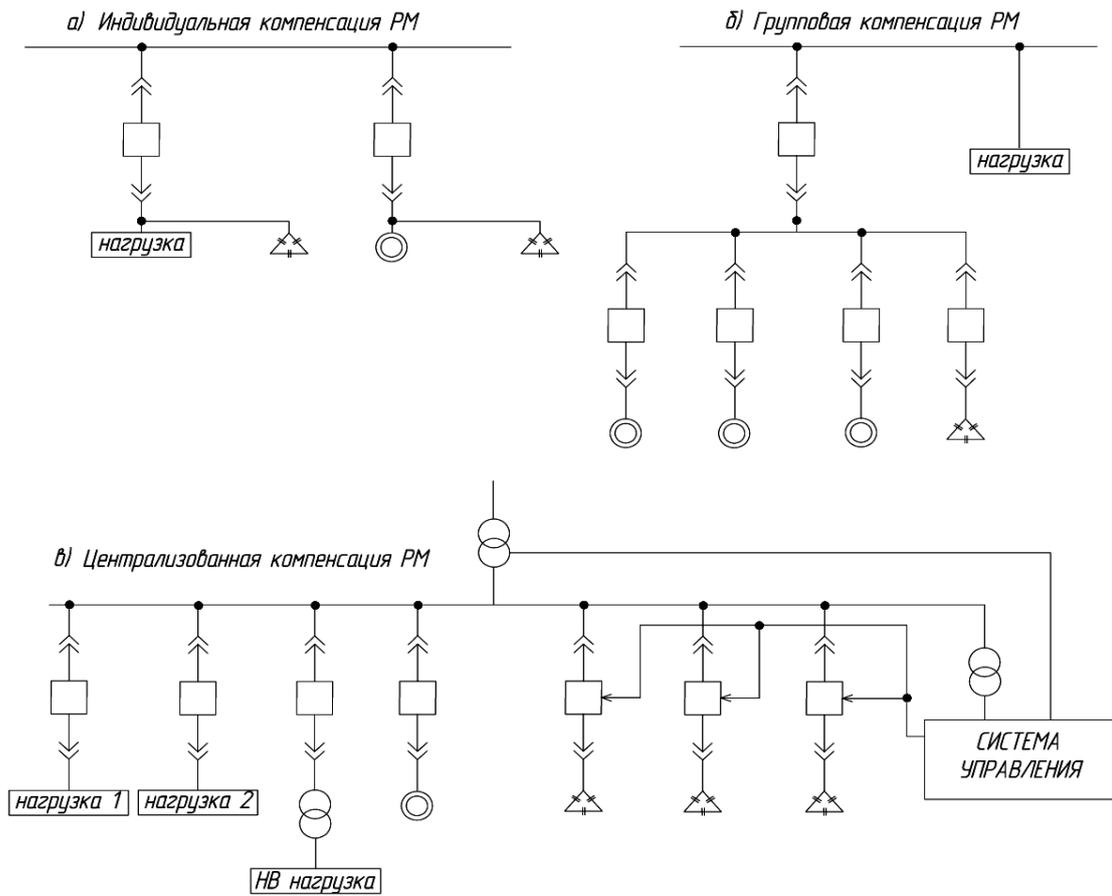


Рисунок 1. Индивидуальные, групповые и централизованные КРМ

Номинальное напряжение конденсаторных установок может быть самым разным. Высоковольтное оборудование 6, 10, 35кВ используют на подстанциях. Низковольтные устройства 0,4-0,66кВ применяют непосредственно на нагрузках. За счет высокого быстродействия низковольтные приборы могут стабилизировать не только постоянную, но и скачкообразную реактивную мощность.

В общем случае компенсация реактивной мощности состоит из 2 этапов:

1) Централизованный мониторинг качества (грубая компенсация) путем выравнивания фаз и фильтрации тока на подстанциях;

2) Индивидуальная компенсация на промышленных предприятиях, их отдельных подразделениях, а также на уровне мелких потребителей. В ходе этих работ устройство компенсации реактивной мощности уменьшает энергопотери за счет обеспечения синусоидальности тока.

Раньше проблемам энергосбережения за счет КРМ на крупных потребителях не уделялось должное внимание. Считалось, что реактивная составляющая оказывает влияние только на работу тех крупных предприятий, где используются индукционные печи, асинхронные двигатели, понижающие трансформаторы и другие приборы. В настоящее время реактивная мощность продолжает расти, оказывая негативное влияние на энергоэффективность электрических сетей, что требует оптимизации по компенсации реактивной мощности.

Список используемой литературы

1. Оптимизация компенсации реактивной мощности на горно-шахтных предприятиях. Кузнецова Е.С., Балицкая Н.В., Топильская Е.Н. Научно-технические разработки и использования минеральных ресурсов. 2015. № 2. С. 264-267.

2. Анализ реактивной мощности городских подстанций. Кузнецова Е.С., Свирская Г.С., Дивин Г.В., Карачевцев И.О. В сборнике: Автоматизированный электропривод и промышленная электроника Труды Шестой Всероссийской научно-практической конференции. Под общей редакцией В.Ю. Островляничика. 2014. С. 258-261.

УДК 621.314.21

СТРУКТУРА И ВИДЫ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

В.А. Кузнецов, Е.С. Кузнецова, К.А. Крестьянников

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Аннотация: В статье рассматривается структура потерь энергии в электроприводе, который состоит из силового преобразователя, редуктора, электродвигателя, системы автоматического управления.

Ключевые слова: электропривод, двигатель, потери электроэнергии, силовой преобразователь, редуктор, режимы работы.

Электропривод является одним из основных потребителей электроэнергии. На него приходится до 70 % всей потребляемой электроэнергии.

Основное условие эффективной работы электропривода - это соответствие электрической мощности двигателя и требуемой механической мощности.

Электропривод состоит из электродвигателя, преобразователя, передаточного устройства и системы управления.

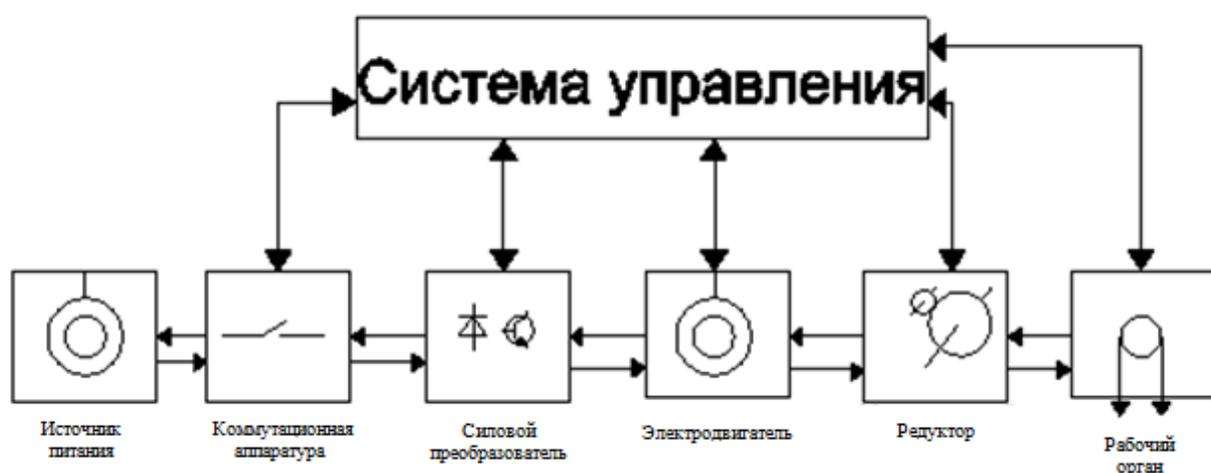


Рисунок 1. Структурная схема электропривода

Электрические потери в двигателях можно разбить на следующие:

- потери электроэнергии в обмотках двигателя (вызывают нагрев обмоток);
- потери в стали (потери намагничивания). Эти потери не зависят от нагрузки двигателя и зависят лишь от напряжения питания;
- потери на рассеивание магнитного потока. Эти потери зависят от нагрузки;
- потери на трение. Зависят от скорости вращения двигателя, но не зависят от нагрузки.

Преобразователь – это электротехническое устройство, преобразующее электроэнергию одних параметров в электроэнергию с другими значениями параметров. По степени управляемости преобразователи электрической энергии

подразделяются на неуправляемые и управляемые. В управляемых преобразователях выходные переменные: напряжение, ток, частота — могут регулироваться.

По элементной базе преобразователи электроэнергии подразделяются на электромашинные (вращающиеся) и полупроводниковые (статические). Электромашинные преобразователи реализуются на основе применения электрических машин и в настоящее время находят относительно редкое применение в электроприводах. Полупроводниковые преобразователи могут быть диодными, тиристорными и транзисторными.

По характеру преобразования электроэнергии силовые преобразователи подразделяются на выпрямители, инверторы, преобразователи частоты, регуляторы напряжения переменного и постоянного тока, преобразователи числа фаз напряжения переменного тока.

В современных автоматизированных электроприводах применяются главным образом полупроводниковые тиристорные и транзисторные преобразователи постоянного и переменного тока.

Редуктор – механизм, служащий для изменения скорости вращения при передачи вращательного движения от одного вала к другому.

Потери в редукторе можно разбить на следующие:

- а) потери в зацеплении
- б) потери в подшипниках опор валов
- в) потери в контактных уплотнениях
- г) потери на движение в масле, в картере редуктора
- д) потери холостого хода в зацеплении, подшипниках и размешивании масла.

Системы автоматического управления по типу применяемых аппаратов классифицируют на системы релейно-контакторные, электромашинные, магнитные, полупроводниковые. В современных системах автоматического управления, которые основаны на микропроцессорах. Современные системы управления основаны на микропроцессорах и имеют небольшие потери энергии

Существенное влияние на потери энергии оказывают режимы работы—продолжительный, кратковременный, повторно—кратковременный, т.к пусковой ток превышает номинальный.

Анализ структур потерь с учетом вероятностного режима работы электропривода даст возможность оптимизировать потери электроэнергии в приводе для различных производственных механизмов.

Библиографический список

1. Энергосбережение в электроприводе. Ильинский Н.Ф., Ронанновский Ю.В., Горнов А.О. Энергосберегающая технология электроснабжения народного хозяйства. Под редакцией В.А Веникова.1989. С.127.

2. Энергетический менеджмент на промышленных предприятиях. Кузнецова Е.С., Свирская Г.С., Кипервассер М.В. В сборнике: *Металлургия : новые технологии, управление, инновации и качество Труды Всероссийской научно-практической конференции.* Под редакцией Е.В Протопопова. - 2008. С.385-387.

УДК 621.316

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОСТИМУЛИРОВАННЫМ ВОЛОЧЕНИЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОЩНЫХ ИМПУЛЬСОВ ТОКА

Кузнецов В.А., Полковников Г.Д., Кузнецова Е.С., Громов В.Е.
*Сибирский Государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Аннотация. В данной статье приведена модель волочильного стана с использованием генератора мощных импульсов тока. Симулирование проводится в среде Matlab Simulink, подтверждающей работу данной модели.

Ключевые слова: волочильный стан, электропривод, электростимулированное волочение, генератор мощных импульсов тока, система автоматического управления процессом электростимулированного волочения, контур регулирования температуры, контур регулирования усилия волочения.

В настоящее время интенсификация процессов волочения, возможна только за счёт применения дополнительной энергии, вводимой в зону обработки металлов давлением. Такой процесс называется электростимулированной обработкой металлической заготовки [4; 5].

Источником дополнительной энергии, снижающей усилие волочения, является генератор мощных импульсов тока, принцип действия которого основан на использовании периодического разряда предварительно заряженных конденсаторов через тиристорный ключ на низкоомную нагрузку.

Для реализации волочения с использованием электропластического эффекта применяется уникальная система автоматического управления (САУ), что обусловлено высоким быстродействием переходных процессов при электростимулированном волочении, поэтому регулирование параметров вручную практически невозможно.

Предложена модель, имитирующая работу волочильного стана с использованием генератора мощных импульсов тока (рис. 1) [1; 3].

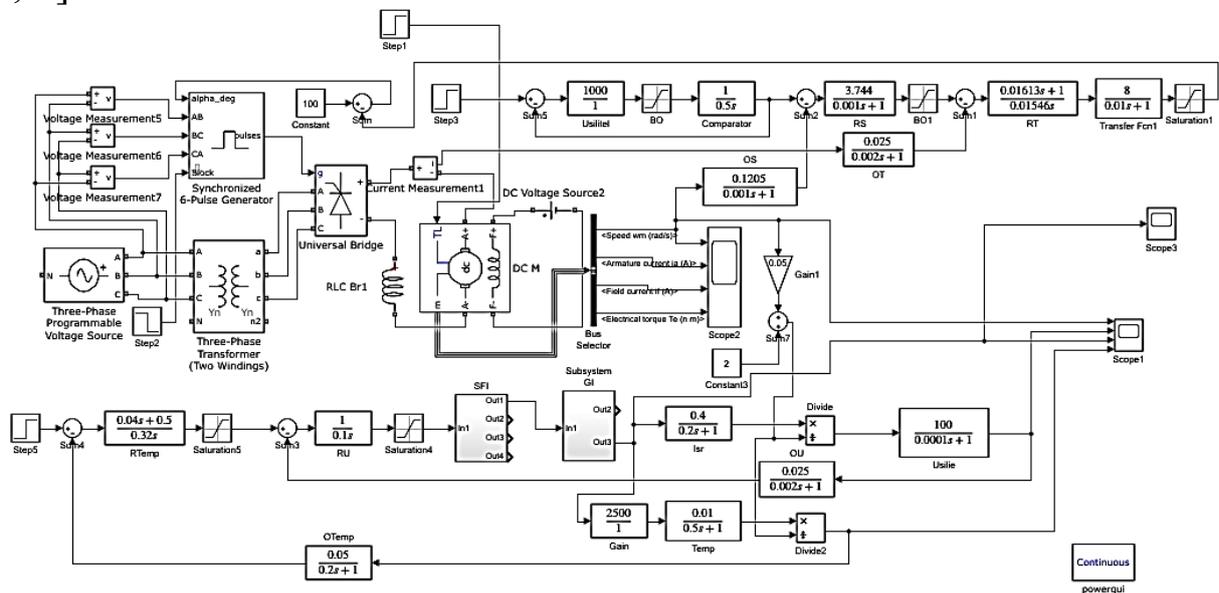


Рисунок 1 – Схема системы автоматического управления (САУ) электростимулированным волочением (ЭСВ) с использованием генератора мощных импульсов тока

Схема содержит модели:

- электропривода постоянного тока с системой подчиненного регулирования скорости, темпа изменения скорости и ограничения максимального тока (блоки Universal Bridge, DC M);
- генератора мощных импульсов тока с системой формирования управляющих импульсов (блоки SFI, Subsystem GI);
- двухконтурной САУ ЭСВ (блоки RTemp, RU).

Система подчиненного регулирования координат электропривода, содержащая ПИ-регулятор тока якоря и П-регулятор скорости, настроенные на модульный оптимум. Режимы работы показаны на рисунке 2.

Электростимулированное волочение имеет существенные отличия от обычного:

- высокая степень нарастания температуры в зоне деформации из-за значительной величины токового импульса (до 10 кА) и частоты его воспроизведения (до 400 Гц);
- снижение усилия до 15 % при воздействии на обрабатываемую заготовку импульсов тока.

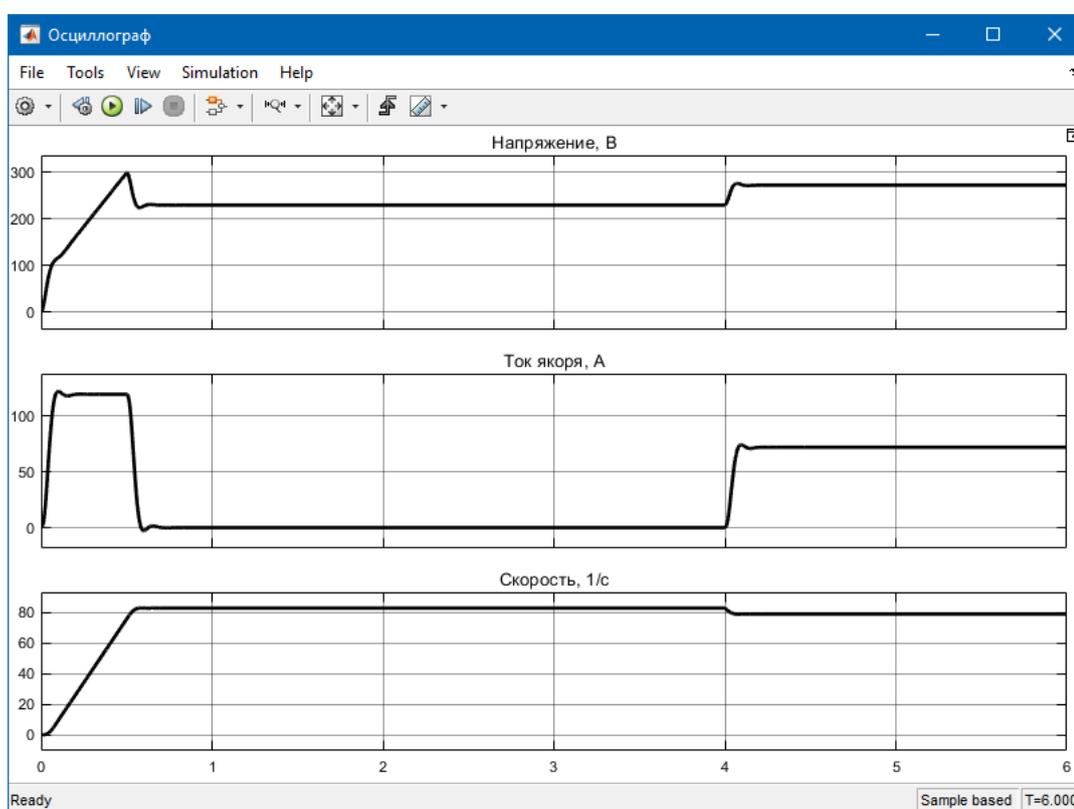


Рисунок 2 – Осциллограммы переходных характеристик системы подчиненного регулирования двигателя постоянного тока

Частота воспроизведения импульсов должна соответствовать скорости движения заготовки. При их несоответствии это может привести к выходу из строя заготовки и волочильного инструмента.

Контур температуры содержит ПИ-регулятор температуры, на выходе которого установлен блок ограничения. Сигнал с выхода блока ограничения формирует задание на контур усилия. Контур усилия содержит И-регулятор усилия, на выходе которого установлен блок ограничения, который формирует частоту воспроизведения управляющих импульсов. Задание на температуру поступает из блока Step5.

Схема системы формирования управляющих импульсов представлена на рисунке 3. Сигнал с первого выхода (Out1) системы формирования импульсов, поступает на вход (In1) генератора импульсов (GI) (рисунок 4) [2].

Напряжение из третьего выхода генератора импульсов поступает на звено среднего тока (I_{sr}), которое представлено апериодическим звеном.

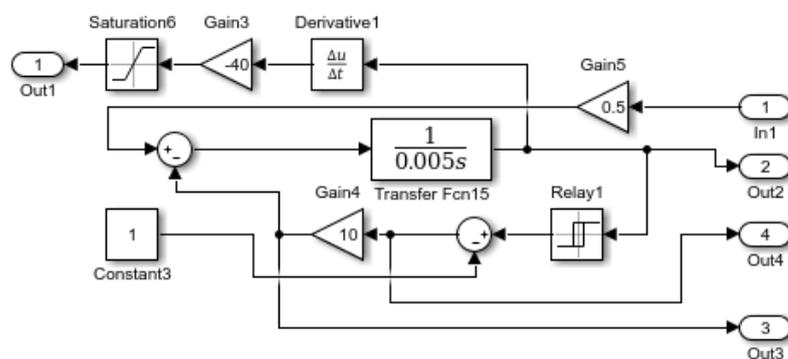


Рисунок 3 – Развёрнутая схема блока системы формирования импульсов

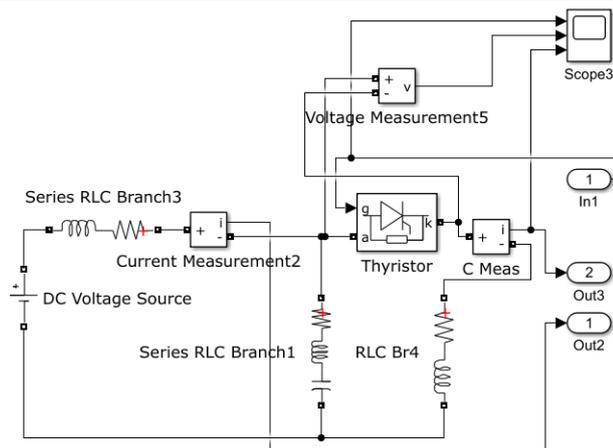
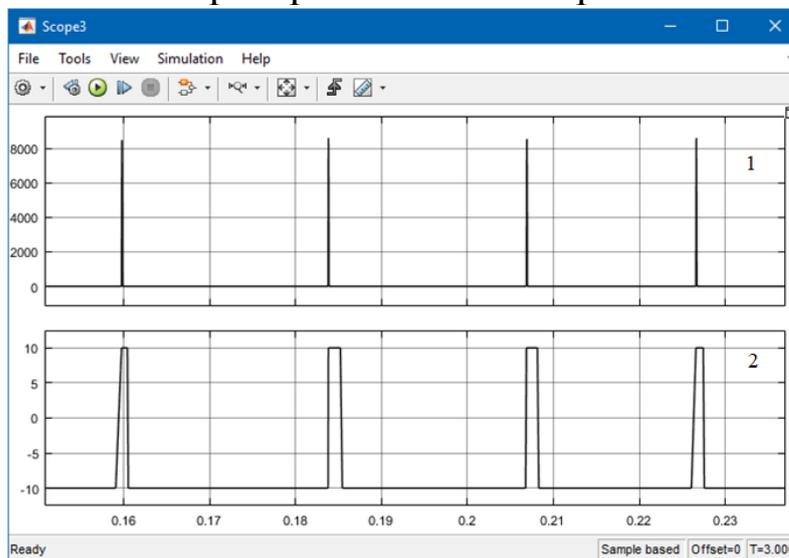


Рисунок 4 – Схема генератора импульсов
Режимы работы генератора показаны на рис. 5.



1 – выход генератора импульсов тока; 2 – выход системы
формирования импульсов.

Рисунок 5 – Осциллограммы сигналов на выходе генератора и
системы формирования импульсов

Итогом работы системы управления волочением будут
являться осциллограммы (рис.6,7).

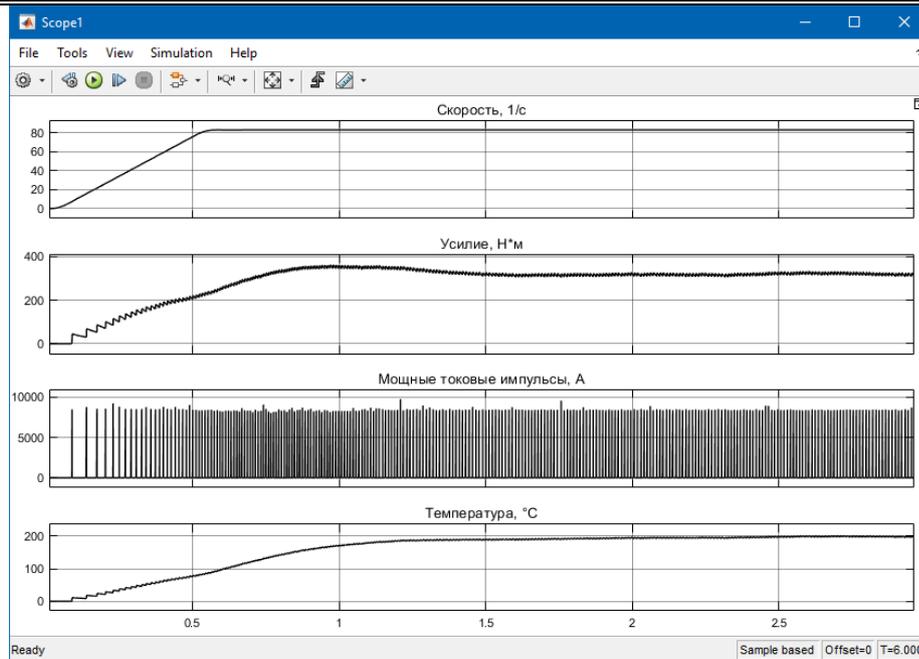


Рисунок 6 – Осциллограммы системы
электростимулированного волочения

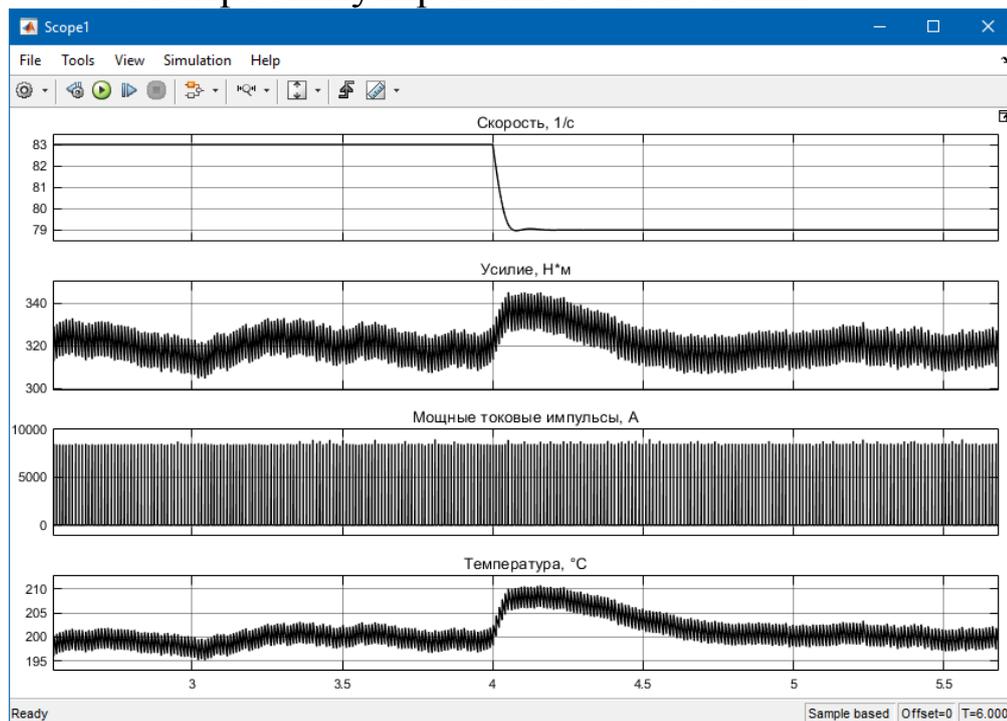


Рисунок 7 – Осциллограммы реакции системы на снижение
скорости

Выводы.

1. Температура при обработке металлической заготовки соответствует допускам, используемым при холодном волочении - $250 \div 300$ °C (рис.6, 7).
2. Для повышения надежности и безотказности процесса ЭСВ, а также для оптимизации его режимов разработана

двухконтурная система автоматического управления усилием волочения (САУ ЭПВ).

3. Выполнена имитационная модель разработанной системы.

4. Предложенная схема проста, легко налаживается и ремонтируется. Параметры разработанного генератора синусоидальной формы: импульсы с длительностью 80 - 150 мс, с частотой до 1000 Гц и амплитудой до 10 кА.

Список используемой литературы

1. Кузнецов В.А., Громов В.Е., Перетяцько В.Н. – Применение генератора мощных импульсов тока при электростимулированном волочении. Промышленная энергетика. 1986.
2. В.А. Кузнецов, В.Е. Громов, В.П. Симаков - Генератор мощных однополярных импульсов тока // Техническая электродинамика. – 1981. - № 5. – С. 46-49.
3. Жмакин Ю.Д., Загуляев Д.В., Коновалов С.В., Кузнецов В.А., Громов В.Е. - Генератор мощных токовых импульсов для интенсификации обработки металлов давлением. Известия ВУЗов. Черная мет.- 2008.- № 8. – С. 37- 40.
4. Кузнецов В.А., Громов В.Е., Кузнецова Е.С., Гагарин А.Ю. Аппаратурное обеспечение электростимулированной обработки металлов // Изв. ВУЗов. Черная металлургия. – 2017. - Том 60 – № 2. – С. 157 – 162.
5. Громов В.Е., Целлермаер В.Я., Базайкин В.И. – Электростимулированное волочение: структура и анализ. М.: Недра, 1996. 160 с.

СЕКЦИЯ 4

Подготовка и переподготовка инженерных и научных кадров. Моделирование систем автоматизированного электропривода, промышленной электроники и автоматического управления

ВЫБОР АВТОНОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В.А. Корнеев, П.А. Корнеев

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

В статье рассмотрены достоинства и недостатки различных конструкций автономных электростанций. Приведен пример расчета мощности бензинового генератора, необходимой для работы установки алмазного бурения.

Ключевые слова: автономная электростанция, мощность, генератор, бензин, дизель, газ.

Проведение научно-исследовательских работ в полевых условиях требует, как правило, наличия автономного источника электроснабжения. Обычно в качестве электростанции используется электрогенератор, приводимый в движение двигателем внутреннего сгорания. Выбор автономного генератора электроэнергии, оптимально подходящего для решения конкретных задач, требует учета конструктивных особенностей различных типов электростанций, представленных на рынке. Решению этого вопроса посвящена настоящая статья.

Существующие автономные генераторы электрической энергии можно классифицировать:

1. По типу двигателя внутреннего сгорания (двухтактные и четырехтактные);
2. По виду потребляемого топлива (бензин, дизельное топливо, газ);
3. По типу запуска (ручной и автоматический);
4. По количеству фаз (однофазные и трехфазные);
5. По типу используемого генератора (синхронный и асинхронный);

6. По мощности.

Автономные электростанции, использующие двухтактные двигатели внутреннего сгорания, имеют более низкую стоимость, меньший вес и размеры в сравнении с четырехтактными моделями. Также, достоинством двухтактных двигателей является хорошая динамика разгона из-за меньшего количества тактов и более легкий запуск в условиях мороза [1].

Однако, упрощенная конструкция двухтактного двигателя внутреннего сгорания требует его заправки специально приготовленной бензиново-масляной смесью, что приводит к дополнительным затратам времени. Кроме того, такие двигатели обладают повышенным расходом топлива из-за частичного выброса топливной смеси с выхлопом при заполнении цилиндра, низкими экологическими характеристиками из-за сжигания бензиново-масляной смеси, высоким уровнем шума. Ресурс работы двухтактных двигателей в половину меньше четырехтактных. При этом четырехтактные двигатели обладают более высоким КПД и реже нуждаются в обслуживании [2].

В настоящее время на рынке представлены автономные электростанции, использующие для работы бензин, дизельное топливо и газ. Бензиновые электрогенераторы являются наиболее распространенными. Достоинствами таких электростанций в сравнении с дизельными являются: сравнительно невысокая стоимость, меньшие габариты и вес, легкий старт при отрицательных температурах и низкий уровень шума. Однако бензиновые электростанции обладают сравнительно невысоким моторесурсом (около 5000 моточасов), требуют регулярного технического обслуживания и обладают высокими требованиями к качеству топлива. При этом максимальная мощность таких электростанций, как правило, не превышает 15 кВт [3].

В отличие от бензиновых, бытовые дизельные электростанции обладают большим моторесурсом, могут выдавать значительную мощность (до 25 кВт.) и являются менее требовательными к качеству топлива [3]. Так как воспламенение топлива в дизельном двигателе осуществляется за счет сжатого горячего воздуха [4], запуск такого мотора при низких температурах весьма затруднителен, что является существенным

недостатком дизельных электростанций. Кроме того, дизельные электростанции обладают значительно большей стоимостью, габаритами и весом в сравнении с бензиновыми аналогами [3].

Газовые автономные генераторы электрической энергии, как правило, приводятся в движение бензиновым двигателем с установленным на нем газобаллонным оборудованием. Такая универсальная конструкция сохраняет все достоинства и недостатки бензиновых генераторов и обладает дополнительными преимуществами. Использование газа в качестве топлива за счет его низкой цены позволяет добиться наименьшей стоимости киловатт-часа электрической энергии. Газовые электростанции обладают более длительным сроком службы, чем бензиновые, так как при сгорании газа образуется меньше нагара. Кроме того, при наличии в конструкции генератора редуктора, становится возможным применять в качестве топлива несколько видов газа: природный, сжиженный, коксовый, пиролизный, биогаз и прочие, использующиеся в промышленности [3].

Еще одним существенным параметром, учитываемым при выборе автономной электростанции, является тип генератора, используемый в ее конструкции: синхронный или асинхронный. Конструктивно асинхронный генератор не содержит обмотки на роторе. В результате этого он обладает более низкой стоимостью, способен выдерживать токи короткого замыкания, устойчив к действию повышенной влажности и загрязнению. Основным достоинством синхронного генератора является более стабильное напряжение [1,3].

Выбор электростанции по мощности производится на основании расчета, исходными данными для которого являются характеристики потребителя, а также желаемый запас по мощности. Ниже приведен расчет, показывающий определение требуемой мощности для питания оборудования на примере установки алмазного бурения Proalmaz PRO160LED-N (рисунок 1).

Буровая установка будет использоваться для выбуривания кернов из обнажения массива горной породы в полевых условиях при проведении исследований, связанных с разработкой нового способа определения сопротивляемости горных пород хрупкому разрушению [5]. Установка алмазного бурения Proalmaz

СЕКЦИЯ 4. Подготовка и переподготовка инженерных и научных кадров.
Моделирование систем автоматизированного электропривода,
промышленной электроники и автоматического управления.

PRO160LED-N обладает мощностью 2,1 кВт и позволяет бурить скважины диаметром от 20 до 160 мм [6].



Рисунок 1 – Установка алмазного бурения
Proalmaz PRO160LED-N

Полная мощность, потребляемая установкой в процессе работы, может быть определена из следующей зависимости:

$$S_Y = \frac{P_Y}{\cos \varphi_Y}, \quad (1)$$

где S_Y - полная потребляемая мощность, КВА; P_Y - активная мощность, потребляемая установкой, кВт, $\cos \varphi_Y$ - коэффициент активной мощности буровой установки.

С учетом роста тока при пуске буровой установки, а также потребности в 25% резервном запасе мощности, зависимость (1) может быть переписана в следующем виде:

$$S_Y = \frac{P_Y}{\cos \varphi_Y} \cdot k_{II} + 25\%, \quad (2)$$

где k_{II} - коэффициент пусковых токов буровой установки.

Необходимая активная мощность генератора может быть представлена из зависимости (2) как

$$P_G = \left(\frac{P_Y}{\cos \varphi_Y} \cdot k_{II} + 25\% \right) \cdot \cos \varphi_G, \quad (3)$$

где P_G - требуемая активная мощность генератора, кВт, $\cos \varphi_G$ - коэффициент активной мощности генератора по паспортным данным.

В расчетах можно принять $\cos \varphi_Y = 0,8$, коэффициент пусковых токов $k_{II} = 2$ (в соответствии с таблицами для различных классов потребителей [7]), $\cos \varphi_G = 1$ (по паспорту большинства реализуемых на рынке генераторов).

Тогда требуемая активная мощность генератора составит $P_G = 6,6$ кВт.

С учетом результатов расчета, для питания установки алмазного бурения был выбран бензиновый генератор Fubag BS 7500 рисунок 2 [8].



Рисунок 2 – Бензиновый генератор Fubag BS 7500 (б)

Электростанция Fubag BS 7500 содержит синхронный генератор, приводимый в движение четырехтактным двигателем воздушного охлаждения. Генератор способен выдавать номинальную мощность 7 кВт, при пиковой нагрузке – 7,3 кВт, что вполне достаточно для электроснабжения буровой установки.

Статья выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для молодых российских ученых - кандидатов наук № МК-6689.2018.8

Библиографический список

1. Какой лучше выбрать бензиновый генератор [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.vseinstrumenti.ru/silovaya_tehnika/generatory_elektrstantsii/benzinovye/articles/kak_vybrat/ . – Заглавие с экрана. – (дата обращения 10.10.2018)

2. Какой бензиновый генератор лучше выбрать? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://generatorexperts.ru/benzinovye/generator-vybrat.html> . – Заглавие с экрана. – (дата обращения 10.10.2018)

3. Как выбрать бензогенератор в зависимости от потребностей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://srbu.ru/elektrika-v-dome-i-kvartire/421-kak-vybrat-benzogenerator.html> . – Заглавие с экрана. – (дата обращения 10.10.2018)

4. Принцип работы дизельного двигателя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mashintop.ru/articles.php?id=2528> . – Заглавие с экрана. – (дата обращения 10.10.2018)

5. Заявка 2018114343 РФ, МПК Е 21 С 39/00 (2006.01). Способ определения сопротивляемости горных пород хрупкому разрушению / Дворников Л.Т., Корнеев В.А. – заявл. 18.04.2018. – 6 с. : ил.

6. Установка алмазного бурения Проалмаз PRO-160 LED N [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.proalmaz.ru/shop/product/view/10/6> . – Заглавие с экрана. – (дата обращения 10.10.2018)

7. Выбираем генератор для дома – что важно знать? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://samelectrik.ru/vybiraem-generator-dlya-doma.html> . – Заглавие с экрана. – (дата обращения 10.10.2018)

8. Fubag BS 7500 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fubag.ru/catalog/benzinovye-generatory-bs-s-dvigatelim->

УДК 62-799

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СИСТЕМЫ РЕМОНТОВ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Е.С. Кузнецова, А.В. Дроздова

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

В данной статье рассматриваются системы ремонтов и принципы их осуществления, причины проведения ремонтов и рассматриваются современные компьютерные компоненты, направленные в помощь проведения ремонтов.

Ключевые слова: износ, электрооборудование, эксплуатация, диагностика, мониторинг, техническое обслуживание, ремонт.

Все оборудование, которое было создано человеком или при его участии, всегда подлежит износу с момента окончания производства данного объекта, то есть его изготовления. Износ оборудования происходит не только во время его непосредственной работы, но и при его хранении. Это касается и электрооборудования. Износ бывает трех видов: механический, моральный и электрический. Механический износ представляет собой изменение первоначальной формы агрегата, составляющих его частей или отдельных деталей, которые происходят в связи с длительными переменными или постоянными воздействиями на его отдельные части или сборочные узлы. Электрический износ – это невозможная потеря электроизоляционных свойств отдельных элементов электрооборудования. В связи с устареванием исправного оборудования без его дальнейшей эксплуатации из-за внедрения нового, более технически совершенного оборудования возникает моральный износ.

Любой износ несет за собой необходимость проведения технического обслуживания, ремонтных работ или системы

СЕКЦИЯ 4. Подготовка и переподготовка инженерных и научных кадров.
Моделирование систем автоматизированного электропривода,
промышленной электроники и автоматического управления.

ремонт над электрооборудованием. Система ремонтов выступает, как совокупность взаимосвязанных положений и норм, которые определяют организацию и выполнение работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования.

Существует три подхода к организации системы ремонтов – это планово – предупредительный ремонт (ППР), техническое обслуживание и ремонт (ТОиР) и внеплановый ремонт (ВР). Система планово – предупредительных ремонтов представляет собой организационных и технических мероприятий по уходу, надзору, ремонту эксплуатации технологического оборудования, которые направлены на предупреждение преждевременного износа деталей, узлов и механизмов, а также содержание их в работоспособном состоянии. Техническое обслуживание и ремонт — комплекс технологических операций и организационных действий по поддержанию работоспособности или исправности объекта при его использовании по назначению, ожидании, хранении и транспортировании. ТОиР могут быть как плановыми (регламентированными), так и неплановыми.

В настоящее время существует множество автоматизированных программ и диагностик, предназначенных в помощь ТОиР. Рассмотрим основные из них.

Техническая диагностика представляет собой область знаний, которая охватывает теорию, методы и средства определения технического состояния объекта. На предприятиях используют техническое диагностирование, целью которого является определение технического состояния оборудования. Благодаря периодическому и плановому диагностированию можно выполнять следующие операции: выполнение входного контроля агрегатов и запасных узлов при их покупке; сведение к минимуму незапланированные внеплановые остановки технического оборудования; управление старением оборудования.

Произведя комплексное диагностирование можно решить в 3 раза больше проблем. Данное диагностирование позволяет:

- проведение ремонтов по фактическому состоянию;
- увеличение среднего времени между ремонтами;

СЕКЦИЯ 4. Подготовка и переподготовка инженерных и научных кадров.
Моделирование систем автоматизированного электропривода,
промышленной электроники и автоматического управления.

- уменьшение расхода деталей в процессе эксплуатации различного оборудования;
- уменьшение объема запасных частей;
- сокращение продолжительности ремонтов;
- повышение качества ремонтов и устранение вторичных поломок;
- продление ресурса работающего оборудования на строгой научной основе;
 - повышение безопасности эксплуатации электрооборудования;
 - уменьшение потребления ТЭР.

Внеплановый ремонт выполняется по факту отказа оборудования. Чем старше оборудование, тем выше его отказы, тем чаще будет производиться внеплановый ремонт.

Системы мониторинга электрооборудования VEGA 4.7 SM и РССПТО представляет собой аппаратно – информационные системы, представляющие собой постоянно действующий Web – сервер в существующей информационной компьютерной сети. Доступ к этому серверу пользователи получают с помощью браузера Internet Explorer или Netscape.

Используя данную систему мониторинга электрооборудования можно достигнуть снижения затрат на обслуживание, анализировать качество работы технологического оборудования, производить прогнозирование и предупреждение аварийных ситуаций.

Для автоматизации планирования работ по ТО и ремонту оборудования; обеспечения административного, оперативного и ремонтного персонала оперативной информацией; повышения полноты, оперативности и точности информации; автоматизации получения аналитических отчетов; хранения и предоставления данных с целью оценки и прогноза технического состояния оборудования и для точной оценки потребности в материалах и комплектующих, а также заказа своевременной их доставки можно использовать такой программный комплекс, как Global – EAM.

Еще один продукт, использующийся при мониторинге и анализе технического состояния оборудования, а также для

СЕКЦИЯ 4. Подготовка и переподготовка инженерных и научных кадров.
Моделирование систем автоматизированного электропривода,
промышленной электроники и автоматического управления.

автоматического планирования ремонтных работ – NERPA ERP система. Основное назначение данной программы – это учет оборудования и основных активов в организации, мониторинг технического состояния активов, управление ремонтными работами и обслуживанием, контроль над работой ремонтного персонала.

Система управления активами TRIM - это программный продукт класса EAM/MRO (Repair and Overhaul), предназначенный для управления физическими активами организации.

Maintenance, Repair and Overhaul (MRO) — техническое обслуживание, ремонт и модернизация. Объектом управления являются процессы жизненного цикла таких активов как транспортные средства, специальная, военная и другая сложная техника, с учетом участия в них производителя (поставщика) техники и сервисных организаций. В системе имеется специфический функционал для решения и информационного обеспечения задач сервисного обслуживания техники, управления сроками службы и списанием, управления отказами, оптимизации структуры и численности парка, поддержки территориально распределенной инфраструктуры ТООР и т.д.

Список использованной литературы

1. Мандрыкин С.А., Филатов А.А. Эксплуатация и ремонт электрооборудования и сетей: Учебник для техникумов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 344 с., ил.
2. Касобов Л.С., Немихин Ю.Е. Эксплуатация электрооборудования: Учебное пособие, Екатеринбург, УрФУ, 2016 г. - 220 с.
3. Сибикин Ю.Д. Техническое обслуживание, ремонт электрооборудования и сетей промышленных предприятий: Учебник для студ. учреждений сред. проф. образования. — 9-е изд., стер. — М.: Издательский центр «Академия», 2014. — 208 с.

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ С
ПРИМЕНЕНИЕМ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ ДЛЯ
ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСТИМУЛИРОВАННОЙ
ДЕФОРМАЦИИ

**А.Ю. Гагарин, В.А. Кузнецов, В.Е. Громов, В.Д. Сарычев, А.Е.
Дьяченко**

Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк

Аннотация: представлены результаты разработки лабораторной установки компактной формы для исследования электропластического эффекта. Базовым элементом установки является генератор импульсов тока. Для формирования управляющих импульсов генератора, а также измерения и записи изучаемых процессов используются микроконтроллеры типа STM32. Результатами исследования являются приведенные термограммы и диаграммы нагружения.

Ключевые слова: обработка давлением, электропластический эффект, генератор импульсов тока, микроконтроллер, электробезопасность.

Введение

В настоящий момент исследователи проявляют интерес к изучению изменения физических свойств металлов при воздействии на них мощных импульсов тока, что обусловлено перспективами применения электротехнологий при металлообработке. До настоящего времени не до конца понятны физические механизмы такого воздействия, что требует создания лабораторных установок для дальнейшего изучения получаемых электропластических эффектов. В качестве устройства, формирующего мощные синусоидальные однополярные импульсы тока до 10 кА, длительностью – до 150 мксек и частотой воспроизведения до 500 Гц используют обычно генераторы

импульсов тока, принцип действия которых основан на периодическом разряде предварительно заряженной батареи конденсаторов на активно-индуктивную нагрузку [1, 2].

К генератору мощных токовых импульсов, работающему в лабораторных условиях, предъявляются прежде всего требования по электробезопасности, которая обеспечивается эффективной работой защит и блокировок во внештатных режимах, быстродействия при обработке и хранению массивов данных, настройке работы генератора в широких диапазонах изменения частоты воспроизведения импульсов электрического тока. Эти задачи можно решить с использованием в качестве управляющего устройства генератора логического контроллера [3].

Применение контроллеров стало необходимым в связи с усложнением работы технологических устройств и высокими требованиями промышленности к рациональному и эффективному использованию рабочего пространства машины, а также повышению качества динамических и статических характеристик силовых систем. Используемые в настоящее время программируемые логические контроллеры дают возможность в полной мере реализовать вышеуказанные требования за счет быстрого изменения алгоритмов работы без изменения её конструктивных элементов, быстродействия, точности, а также больших объемов обработки информации и др. Сегодня контроллерами снабжаются все современные сложные системы.

В настоящей статье обобщен опыт применения микроконтроллеров для лабораторной установки.

1. Электрическая схема и элементная база

Для реализации систем управления и измерения установки был использован контроллер STM32 DISCOVERY F3 на базе процессора серии STM32 (рис.), который получил широкое распространение за рубежом.

Минимальный диапазон значений цикла работы программируемого логического контроллера (MinCycleLength, ms) составляет от 0 до 50 мс , значение по умолчанию – 1 мс.

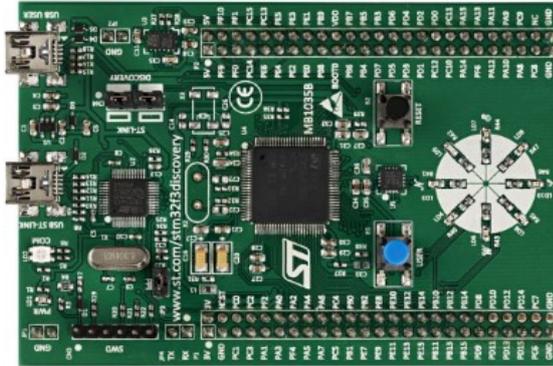


Рисунок 3 – Внешний вид контроллера STM 32

Одной из задач контроллера является выполнение измерений параметров импульса. Ниже представлен расчет параметров процесса импульсного разряда конденсаторов генератора импульсов на низкоомную нагрузку. Для LC-контура период собственных электромагнитных колебаний рассчитывается по формуле (1).

$$T_0 = \frac{1}{\omega_0} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}} \quad (1)$$

$$T_0 = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{60 \cdot 10^{-9} \cdot 140 \cdot 10^{-6}} - \frac{0,0414^2}{4 \cdot 60 \cdot 10^{-9}}}} = 240 \text{ мкс}$$

где L, C – собственные индуктивность и емкость конденсаторов, R – сопротивление цепи разряда.

Длительность импульса, имеющего форму полусинусоиды, составит $\frac{1}{2}$ периода – 120 мкс. Для получения 100 точек измерения импульса период дискретизации должен быть соответственно 2,4 мкс, что соответствует частоте внутреннего прерывателя 417 кГц. Работа прерывателя контроллера на предельных параметрах достигает 72 МГц. Регулирование внутренней частоты происходит в настройках программы CubeMX, как изображено на рисунке 4.

СЕКЦИЯ 4. Подготовка и переподготовка инженерных и научных кадров.
Моделирование систем автоматизированного электропривода,
промышленной электроники и автоматического управления.

Переключатель PLL Source Mux должен быть установлен в положение HSE (High Speed External), чтобы формировать тактовые импульсы от кварцевого резонатора.

PLL (Phase Lock Loop), или ФАПЧ (фазовая автоподстройка частоты), служит для умножения внешней частоты. Если множитель PLLMul настроить на 9, то можно достигнуть максимальной возможной частоты – 72 МГц.

System Clock Mux должен находиться в положении PLLCLK, чтобы для тактирования контроллера использовалась частота, сформированная в PLL, - 72 МГц.

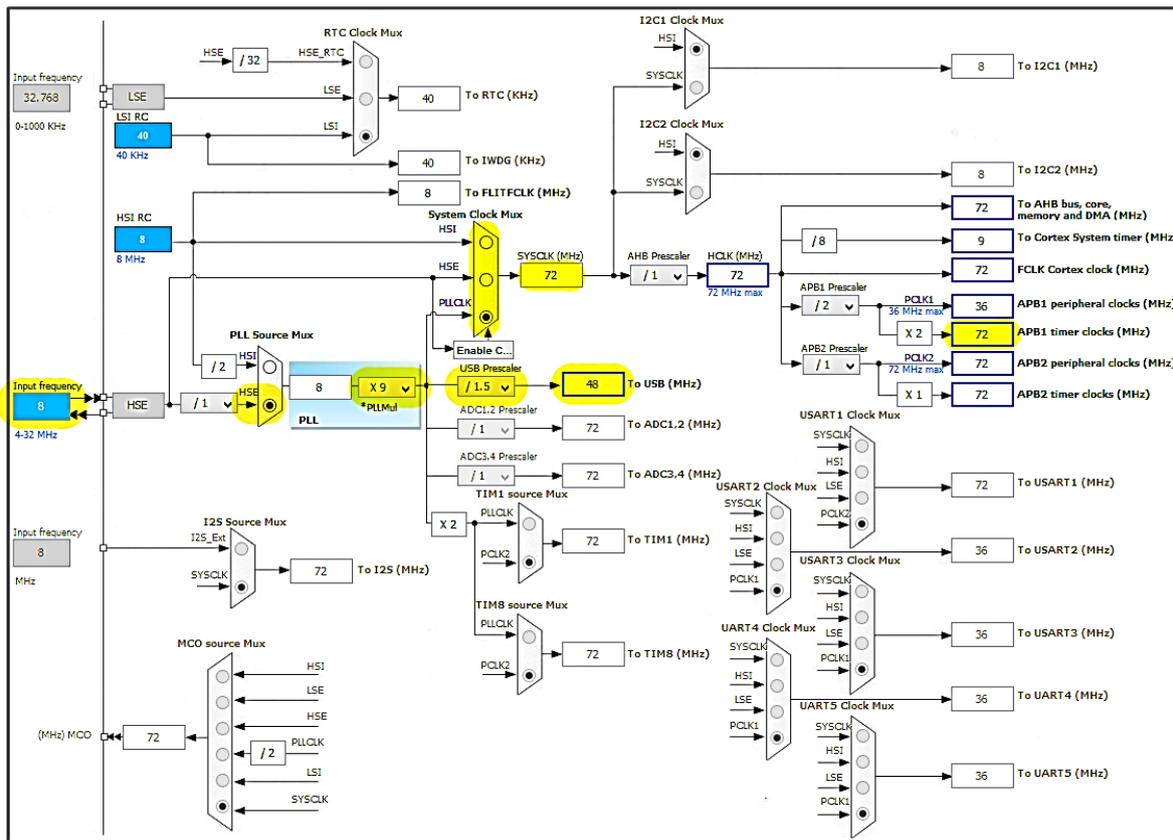


Рисунок 4 - Схема регулирования внутренней частоты STM32

Отличительной особенностью контроллера является то, что передача данных на ПК у STM32 выполнена с помощью встроенного USB порта, что дает возможность записывать необходимые данные на флеш-накопитель, если на месте установки генератора отсутствует компьютер.

Для безотказной работы контроллера необходимо выполнить его корпус со степенью защиты не менее IP20.

2. Описание схемы работы генератора

Для измерения импульсного тока генератора используются специальные, часто уникальные схемы, например, пояс Роговского, который является быстродействующим и беспроводным датчиком, позволяющим получить данные в подходящем диапазоне выходного напряжения, до 5 В.

Для расчета пояса Роговского [4] зададимся параметрами выходного сигнала $V_0 = 5$ В, при максимальной амплитуде тока $I_0 = 15$ кА. Катушку необходимо выполнить на ферритовом сердечнике с параметрами внутреннего и внешнего кольца соответственно $r = 12$ мм $R = 21$ мм, при этом требуется изолировать кольцо фторопластом и намотать 125 витков изолированного провода.

Величина нагрузочного резистора определяется в соответствии с формулой (2):

$$V_0 = \frac{I_0 \cdot R_H}{n} \quad (2)$$
$$R_H = \frac{V_0 \cdot n}{I_0} = \frac{5 \cdot 125}{15\,000} = 0.0417 \, \Omega$$

Резистор в свою очередь выполняет так же и функцию интегратора для токового трансформатора. С целью подавления помех, наводящихся в проводнике измерительной цепи корпус, в который помещен пояс Роговского, выполнен из латуни, с воздушным зазором на внутреннем кольце. Для подавления волновых помех в коаксиальном проводе, возникающих из-за наличия волнового сопротивления, на конце волновода установлено омическое сопротивление, эквивалентное волновому. Так как коаксиальный измерительный щуп выполнен по ГОСТ 23542-79 его волновое сопротивление известно и составляет 50 Ом/м. При длине провода, равной 1 м, в соответствии с формулой (3) рассчитывается сопротивление:

$$R_{\text{Э}} = \rho_{\text{в}} \cdot l_{\text{пр}} \quad (3)$$

$$R_{\Sigma} = 50 \cdot 1 = 50 \Omega$$

где R_{Σ} – эквивалентное сопротивление, Ом; $\rho_{\text{в}}$ – удельное волновое сопротивление провода, Ом/м; $l_{\text{пр}}$ – длина проводника, м.

На рисунке 8 представлена схема генерации и усиления сигналов управления тиристором VS. Генерация широтно-импульсного модулятора (ШИМ) происходит со скважностью 50%. Двуполярный сигнал, проходя через конденсатор, дифференцируется (рис. 5). После оптопары D1-Q1 типа MOC8104, предназначенной для гальванической развязки высокочастотного выхода контроллера от цепи управления силовым тиристором VS, сигнал становится однополярным.

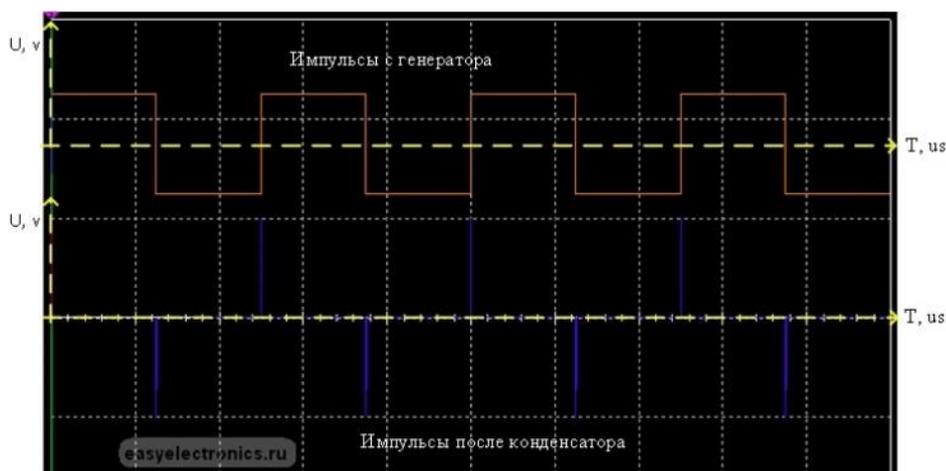


Рисунок 5- Осциллограммы исходящих сигналов

Параметры переключения представлены в таблице Таблица 2, с пояснительной диаграммой (рис. 6).

Таблица 2 – Параметры переключения оптопары

SWITCHING CHARACTERISTICS						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Turn-on time	$V_{CC} = 10 \text{ V}, I_C = 2.0 \text{ mA}, R_L = 100 \Omega$	t_{on}		3.0		μs
Turn-off time	$V_{CC} = 10 \text{ V}, I_C = 2.0 \text{ mA}, R_L = 100 \Omega$	t_{off}		2.3		μs
Rise time	$V_{CC} = 10 \text{ V}, I_C = 2.0 \text{ mA}, R_L = 100 \Omega$	t_r		2.0		μs
Fall time	$V_{CC} = 10 \text{ V}, I_C = 2.0 \text{ mA}, R_L = 100 \Omega$	t_f		2.0		μs
Cut off frequency		f_{co}		250		kHz

СЕКЦИЯ 4. Подготовка и переподготовка инженерных и научных кадров.
Моделирование систем автоматизированного электропривода,
промышленной электроники и автоматического управления.

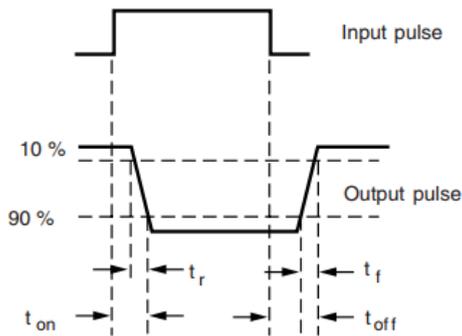


Рисунок 6 – диаграмма переходных процессов оптопары

Усилитель сигналов Q2 выполнен на полевом N- канальном транзисторе типа КП 505А.

Тиристор VS (ТБ-253-1000-10) таблеточного типа исполнения имеет следующие параметры:

- постоянный ток в открытом состоянии 1000 а;
- повторяющееся импульсное напряжение в закрытом состоянии 1000 в;
- ударный ток в открытом состоянии 10 ка;
- критическая скорость нарастания тока в открытом состоянии 800 А/мксек;
- отпирающий постоянный ток управления 300 ма;
- отпирающее постоянное напряжение управления 3,5 В.

Для ограничения скорости нарастания импульса тока тиристора последовательно с ним включён дроссель насыщения, который до момента насыщения снижает темп нарастания импульса тока за счет индуктивности, а после насыщения, наступающего при величине тока 5 – 10 % от максимального значения, не оказывает существенного влияния на параметры тока. С целью обеспечения безопасного отпирания тиристора в импульсном режиме помимо снижения производной тока в первые микросекунды, необходимо обеспечить полное открывание тиристора за это время. В противном случае протекание тока происходит не по всей подложке тиристора, а лишь по его части, появляются локальные превышения допустимой температуры и тиристор выходит из строя через некоторое количество импульсов.

СЕКЦИЯ 4. Подготовка и переподготовка инженерных и научных кадров.
Моделирование систем автоматизированного электропривода,
промышленной электроники и автоматического управления.

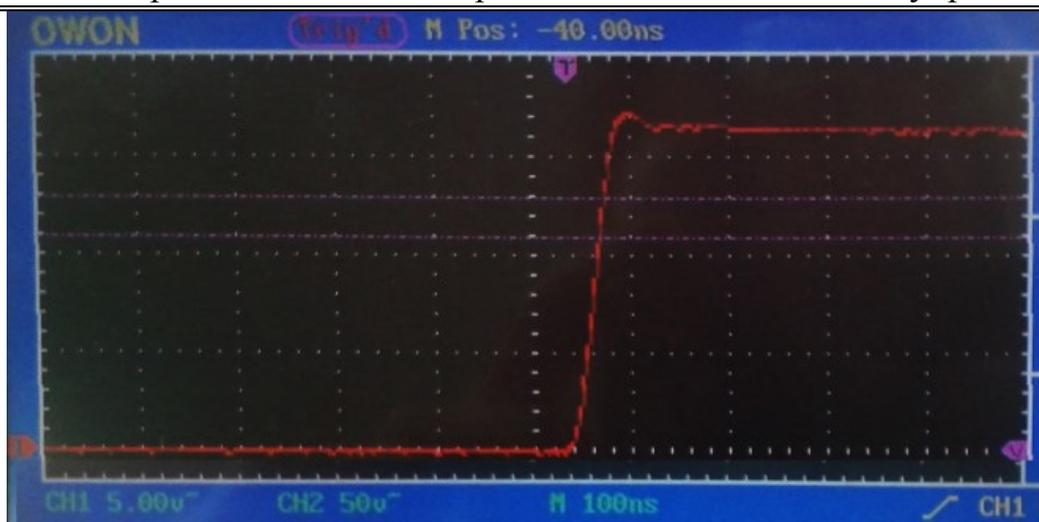


Рисунок 6 – Передний фронт управляющего импульса

На рисунке 6 изображена осциллограмма переднего фронта импульса, подаваемого на оптопару. Как видно из рисунка 6 быстродействие оптопары на порядок меньше и составляет 2 μ s. Транзистор имеет разные параметры переднего и заднего фронтов: включения (33 ns) и выключения (180 ns). Так как самым инерционным элементом схемы является оптопара, то она определяет инерционность всей системы управления импульсами.

Форма импульсов, подаваемых на управляющий электрод тиристора представлена на рисунке 7.

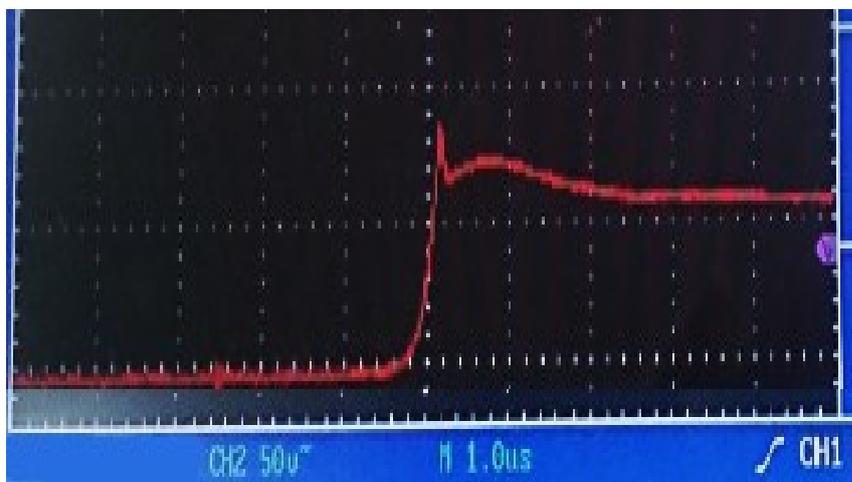


Рисунок 7 – Передний фронт импульса на тиристоре

СЕКЦИЯ 4. Подготовка и переподготовка инженерных и научных кадров.
Моделирование систем автоматизированного электропривода,
промышленной электроники и автоматического управления.

Для дополнительной защиты персонала в случае пробоя изоляции на корпус установки выполнена схема, представленная на рис. 8. Катушка реле КН1 соединена с корпусом устройства через высокоомный резистор. При появлении на корпусе напряжения в пределах 175 –245 В, срабатывает реле КН1 и размыкает свой контакт в цепи питания магнитного пускателя КМ1. При этом установка отключается от сети.

Работа генератора осуществляется следующим образом: при включении автоматического выключателя Qf1 подается питание в цепи управления, включается контроллер, загорается сигнальная лампа HL1.

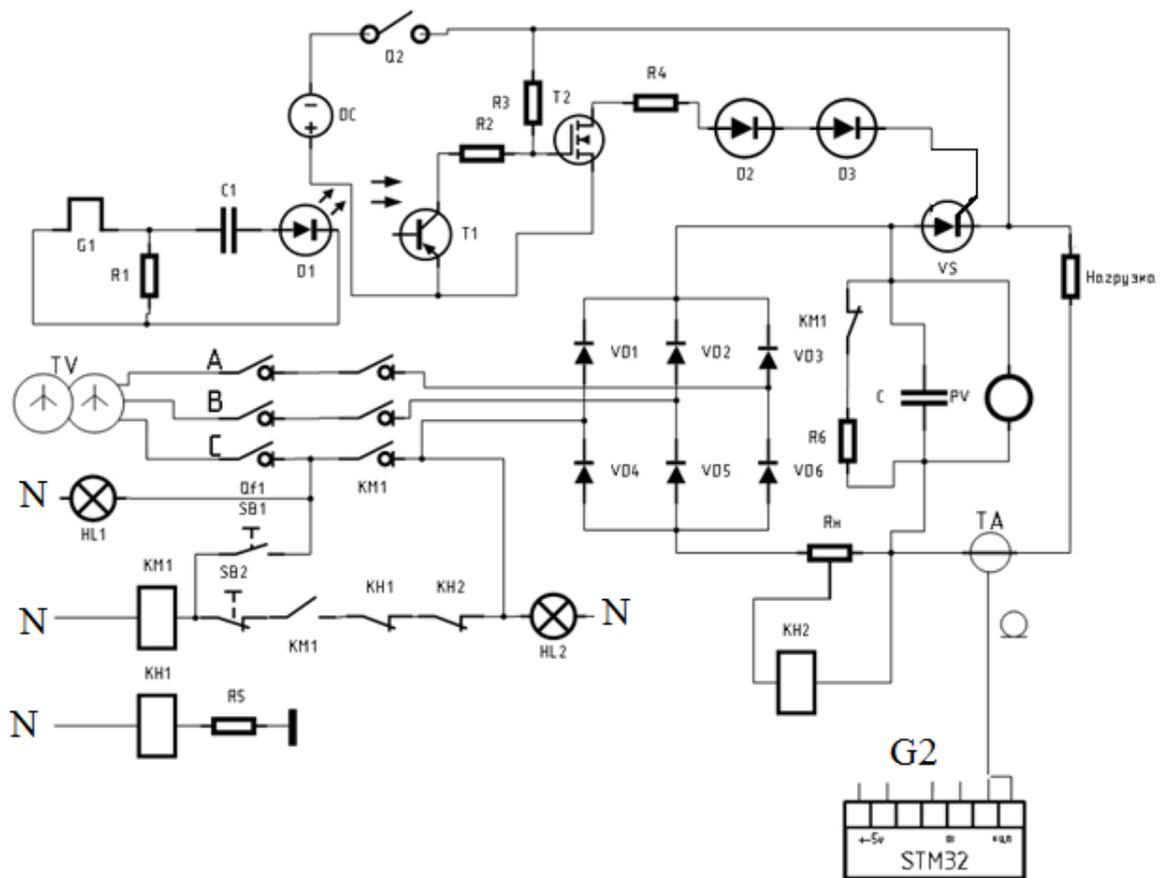


Рисунок 8 – Принципиальная схема генератора токовых импульсов

При подключении ПК к контроллеру задается режим его работы, а именно частота повторения отпирающих импульсов. Далее по готовности нажимается кнопка SB1, подающая питание

СЕКЦИЯ 4. Подготовка и переподготовка инженерных и научных кадров.
Моделирование систем автоматизированного электропривода,
промышленной электроники и автоматического управления.

на катушку управления пускателем КМ1, загорается сигнальная лампа HL2, пускатель включается и становится на самоблокировку. Трёхфазное напряжение 380 В подается на диодный мост и по цепи VD1-6 – Rн – С – VD1-6 происходит заряд конденсатора С. Вольтметр PV показывает величину постоянного напряжения на конденсаторе. При включении тумблера Q2 подается напряжение в цепь усилителя импульсов. Усиленные и гальванически развязанные с контроллером импульсы поступают на управляющий электрод тиристора VS. Согласно программы, заданной оператором, импульсы могут быть прекращены как переключением тумблера Q2 в положение Выкл., так и отработав нужное время или количество импульсов, автоматически. При протекании тока по разрядной цепи регистрируется форма тока с помощью пояса Роговского ТА. По коаксиальному проводу сигнал передается на вход АЦП контроллера и фиксируется в его ячейке памяти. По завершению опыта данные записанные контроллером передаются на флешкарту в виде текстового файла.

По завершению опытов необходимо нажать кнопку SB2 тем самым разорвав цепь питания контактора. Конденсатор разряжается на резистор R6, о чём свидетельствует аналоговый вольтметр PV. Далее следует отключить питание автоматическим выключателем Qf1.

В цепи предусмотрена нулевая защита на базе реле КН1, посредством участия дополнительных контактов магнитного пускателя в цепи его питания. Защита от срыва генерации и как следствие, выхода из строя нагрузочного резистора выполнена с помощью реле КН2, блок-контакты которого расположены в цепи магнитного пускателя. Регулирование плотности тока осуществляется изменением ёмкости батареи разрядных конденсаторов.

3. Экспериментальная часть

На рисунке 9 приведена кривая деформационного нагружения в координатах «усилие – время» при воздействии электрического тока. Видно, что приложение электрического тока приводит к осцилляции деформирующего усилия, связанной со скачками

пластической деформации, что согласуется с принятыми представлениями об электропластическом эффекте [5,6].

Проанализируем основные факторы, приводящие к снижению деформирующего усилия при воздействии тока. Одним из таких факторов является изменение температуры материала вследствие эффекта Джоуля – Ленца. Термографические исследования (рис. 10а) показали, что максимальная температура образца при первой обработке токовыми импульсами составила 43 °С, а снижение нагрузки (рис. Рисунок) 7,43%. При второй и третьей обработках значение максимальной температуры составило 51,7 °С и 53 °С, а снижение нагрузки соответственно 6,87 % и 4,43%. Такое повышение температуры может быть объяснено тем, что тепло не успевает рассеиваться при частоте следования импульсов 10 Гц. В среднем образец нагревается до 55 0С, причём градиент температуры направлен от центра образца к зажимам (рис. Рисунок0б).

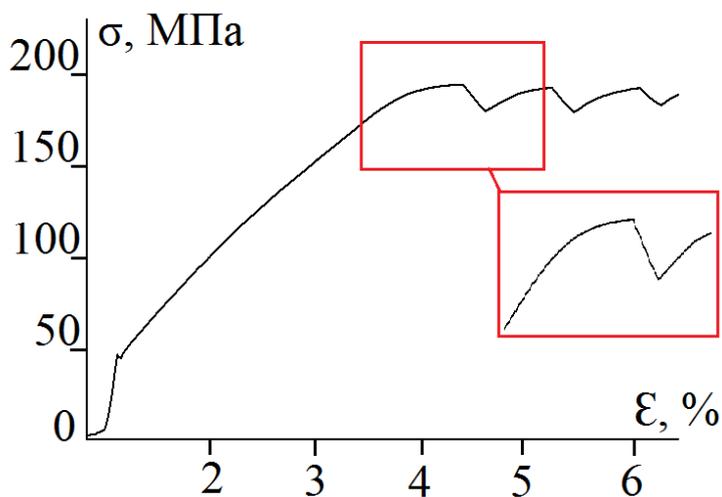


Рисунок 9 - диаграмма нагружения

СЕКЦИЯ 4. Подготовка и переподготовка инженерных и научных кадров.
 Моделирование систем автоматизированного электропривода,
 промышленной электроники и автоматического управления.

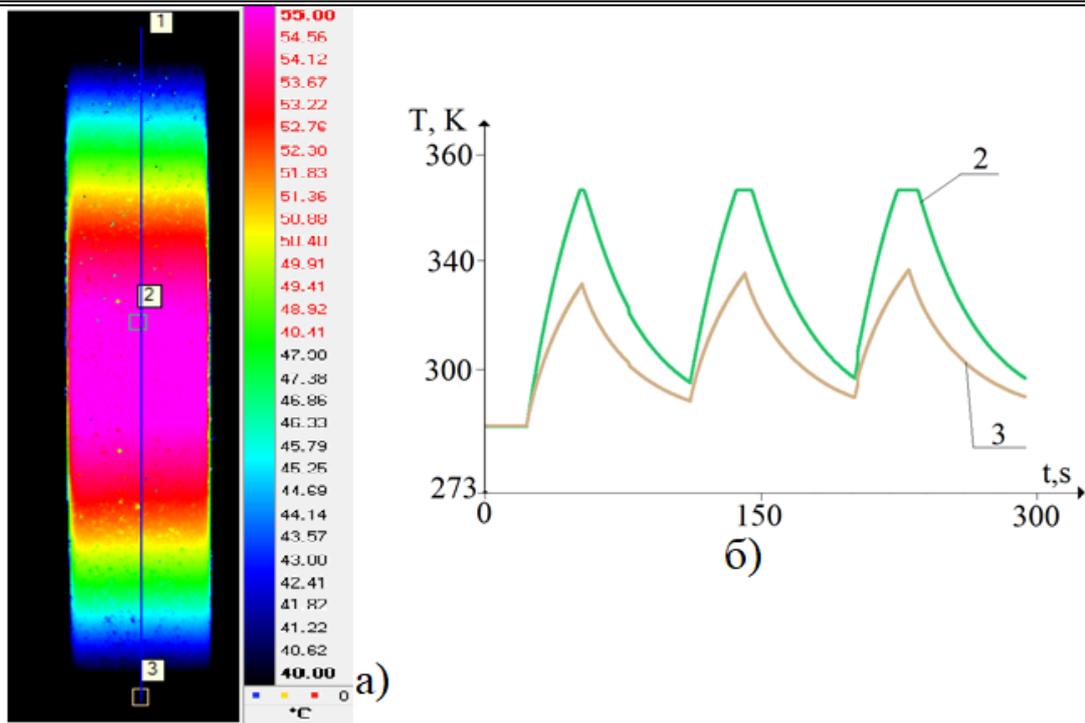


Рисунок 10 - а) распределение температуры б) величина средней температуры в секторах 2 и 3.

Изменение температуры вследствие Джоулева нагрева может быть вычислено по формуле, предложенной в [6]:

$$\Delta T = \frac{t_1 f}{cm} R \int_0^{\tau} i(t)^2 dt \quad (4)$$

где

$$i(t) = \begin{cases} I_m \sin\left(\frac{2\pi}{T} t\right), & 0,1n < t < 10^{-4} + 0,1n \\ 0, & 10^{-4} + 0,1n < t < 0,1(n+1) \end{cases}, \quad (5)$$

$R = \frac{\rho l}{S}$, $n = 0, 1, 2..$ ρ – удельное электрическое сопротивление, l – длина рабочей части образца, S – площадь поперечного сечения, t – время, c – удельная теплоёмкость, γ – плотность вещества, T – период импульса, f – частота следования импульсов, m – масса образца. Оценки ΔT показали, что для стали ($\rho = 1,78 \cdot 10^{-7}$ Ом·м; $c = 482$ Дж/кг·К; $\gamma = 7843$ кг/м³) оно составило 21 К за время одного импульса, что не противоречит данным эксперимента. Энергия, которая приходится на один атом составляет $\approx 10^{-3}$ эВ. С другой

стороны, упругая энергия на один атом составляет 10^{-6} эВ [7], что позволяет сделать вывод о том, что структурная перестройка является более быстрым каналом диссипации по сравнению с теплопроводностью [8].

Заключение

1. Сконструирован генератор мощных импульсов тока для использования в лабораторной установке при исследованиях электропластического эффекта.

2. Особенностью генератора является потенциальное разделение цепей управления с устройством контроля изоляции, что значительно повышает надежность и электробезопасность изделия при его эксплуатации.

3. С целью повышения быстродействия, качества процессов и снижения массо-габаритных показателей в системе управления установлены два микроконтроллера STM32 F3 (G1, G2). Один из них формирует регулируемые по частоте воспроизведения управляющие импульсы для различных режимов исследования, задаваемых оператором, а другой служит для измерения и записи в электронную память параметров (формы, амплитуды, длительности и частоты воспроизведения) импульсов тока (используется вместо осциллографа).

4. Выполнены исследования поведения низкоуглеродистой стали при различных видах нагружения и параметрах импульсов. По результатам экспериментов сделан вывод о том, что структурная перестройка является более быстрым каналом диссипации энергии по сравнению с теплопроводностью.

Список использованной литературы

1. Кузнецов В.А., Громов В.Е., Симаков В.П. и др. Генератор мощных однополярных импульсов тока // Техническая электродинамика. 1981. №5. С. 46 – 49.

2. Кузнецов В.А., Громов В.Е. Экономичный тиристорный генератор мощных импульсов тока // Изв. ВУЗов. Электромеханика. 1986. №6. С. 122 – 124.

3. Громов В.Е., Семакин Е.В., Кузнецов В.А., Перетяцько В.Н. МП-система в установке электростимулированного волочения

СЕКЦИЯ 4. Подготовка и переподготовка инженерных и научных кадров.
Моделирование систем автоматизированного электропривода,
промышленной электроники и автоматического управления.

проволоки // Известия ВУЗов. Черная металлургия. 1990. № 4. С. 40 – 41.

4. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. – 9-е изд., перераб. и доп. – М.: «Высшая школа», 1996. 638 с.

5. Ruszkiewicz B.J., Grimm T., Ragai I., Mears L., Roth J.T. A Review of Electrically-Assisted Manufacturing With Emphasis on Modeling and Understanding of the Electroplastic Effect. Journal of Manufacturing Science and Engineering. 2017. Vol. 139. P. 110801 (1-15)

6. Громов В.Е., Зуев Л.Б., Козлов Э.В., Целлермаер В.Я. Электростимулированная пластичность металлов и сплавов. М.: Наука, 1996. 293 с.

7. Electroplastic Tensile Behavior of 5A90 Al–Li Alloys / Pengchao Song, Xifeng Li, Wei Ding, Jun Chen // Acta Metall. Sin. (Engl. Lett.), 2014, 27(4), 642–648

8. Каминский П.П. Необратимая деформация кристаллов как структурное превращение, инициируемое изменением межатомного взаимодействия. Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. – Томск: ИФПМ СО РАН, 2015. – 243 с.

УДК 621.313.333.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ И НЕЧЕТКИХ РЕГУЛЯТОРОВ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В MATLAB

Богдановская Т.В., Полковников Г. Д.

Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк

В современном мире неотъемлемой частью стали цифровые системы управления. На данном этапе развития они активно развиваются в области автоматизации и систем управления промышленными технологическими объектами. Без них сейчас

СЕКЦИЯ 4. Подготовка и переподготовка инженерных и научных кадров.
Моделирование систем автоматизированного электропривода,
промышленной электроники и автоматического управления.

сложно представить точную, энергоэффективную, качественную и безопасную работу различных промышленных объектов.

В профессиональной деятельности инженеров в области настройки систем управления электроприводов актуально понимание различных методов настройки цифровых регуляторов и специфики применения их на различных технологических объектах.

В нашем случае это система электропривода с отдельным подчиненным регулированием основных параметров электропривода, когда число последовательно-каскадно включенных регуляторов равно числу регулируемых координат. Задача заключается в оптимальном выборе параметров регуляторов, при котором регулируемый параметр реагирует на изменение задающего воздействия без запаздывания и без колебаний. Препятствием к движению этого являются инерционности объекта и невозможность практической реализации бесконечных форсировок с сохранением достаточной помехоустойчивости.

С целью исследования двух вариантов моделирования управления системы электропривода используем известную систему, настроенную на модульный оптимум [1] представленную на рисунке 3.

При такой настройке ПФ регулятора тока определится:

$$W_{\text{рт}}(p) = W_{\text{рт}}(p) = \frac{(T_{\text{я}}p+1)/R_{\text{я}}}{K_{\text{п}} \cdot K_{\text{дт}} \cdot 2 \cdot T_{\text{п}}p} = \frac{(0.025p+1)/0.064}{44 \cdot 0,0133 \cdot 2 \cdot 0.01p} = \frac{0.025p+1}{0,183p}.$$

Передаточная функция пропорционального регулятора скорости:

$$W_{\text{РС}}(p) = k_{\text{РС}} = \frac{T_{\text{М}}}{k_{\text{д}} \cdot R_{\text{я}} \cdot k_{\text{ДС}} \cdot k_{\text{Т}} \cdot 4T_{\text{П}}} = 7,3$$

Таким образом, двухконтурную систему управления электроприводом будем использовать как эталонную для сравнения исследуемых методов настройки цифровых регуляторов.

Первый метод моделирования (настройки) цифрового регулятора для внутреннего контура – контура тока используем из стандартной библиотеки MatLab Simulink с функцией Forward Euler – Прямой Эйлера (рисунок 1).

СЕКЦИЯ 4. Подготовка и переподготовка инженерных и научных кадров.
Моделирование систем автоматизированного электропривода,
промышленной электроники и автоматического управления.

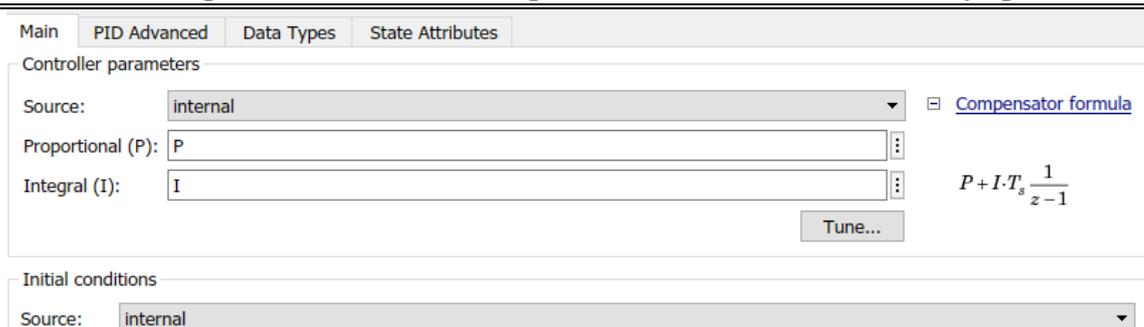


Рисунок – 1 Параметры цифрового ПИ-регулятора

Схема моделирования двухконтурной системы управления электроприводом для этого исследования представлена на рисунке 3.

Исходные данные для исследования представлены в отдельном m-файле (иллюстрация на рисунке 2).

```
Editor - C:\Users\1\Desktop\Param.m
Param.m
1 -   clc;
2 -   KF=1.258;
3 -   Kd=0.795;
4 -   Kdt=0.4;
5 -   Kdc=0.157;
6 -   Kp=27.676;
7 -   Kpc=231;
8 -   Ra=0.06585;
9 -   Ta=0.0085;
10 -  Tm=0.19;
11 -  Tp=0.01;
12 -  P=(Ta*Ra)/(Kp*Kdt*2*Tp);
13 -  I=Ra/(Kp*Kdt*2*Tp);
```

Рисунок 2 – Файл с исходными данными к моделированию

СЕКЦИЯ 4. Подготовка и переподготовка инженерных и научных кадров.
 Моделирование систем автоматизированного электропривода,
 промышленной электроники и автоматического управления.

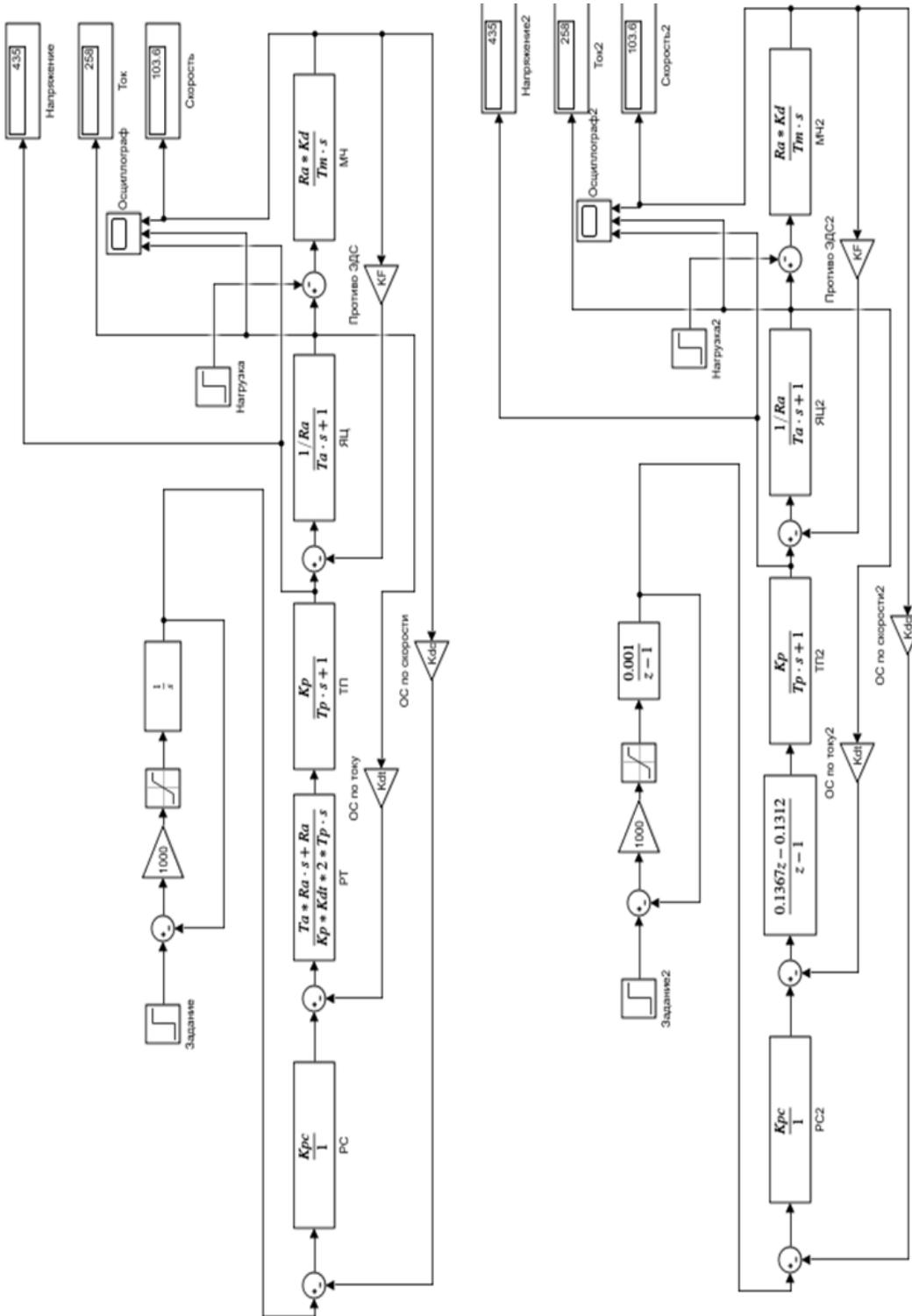


Рисунок 3 – Схемы моделирования в MatLab Simulink схемы контура тока с аналоговым регулятором и цифровым

СЕКЦИЯ 4. Подготовка и переподготовка инженерных и научных кадров.
Моделирование систем автоматизированного электропривода,
промышленной электроники и автоматического управления.

Внешний контур остается без изменений, так как изначально в нем используется пропорциональный регулятор, и он не представляет особых трудностей. Внутренний с ПИ-регулятором в эталонной модели выбирается из библиотеки образов и в него вводятся коэффициенты П и И части, настроенные по модульному оптимуму.

Очевидно, что результаты моделирования практически идентичны, но в настоящее время целесообразнее применять цифровой регулятор – контроллер.

По сравнению с аналоговым регулятором, цифровой регулятор в состоянии обеспечить лучшее качество управления.

Другое их преимущество состоит в том, что алгоритм управления может быть легко изменен заменой программы.

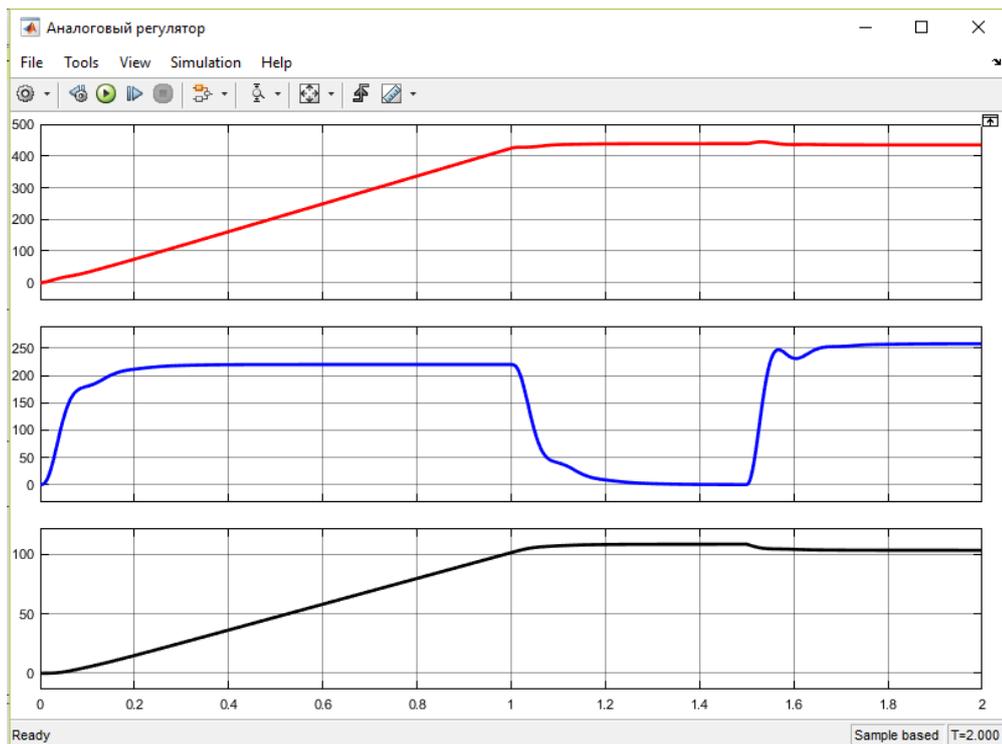


Рисунок 4 – Переходные процессы напряжения тиристорного преобразователя, тока якоря и скорости в схеме с аналоговым регулятором тока

СЕКЦИЯ 4. Подготовка и переподготовка инженерных и научных кадров.
Моделирование систем автоматизированного электропривода,
промышленной электроники и автоматического управления.

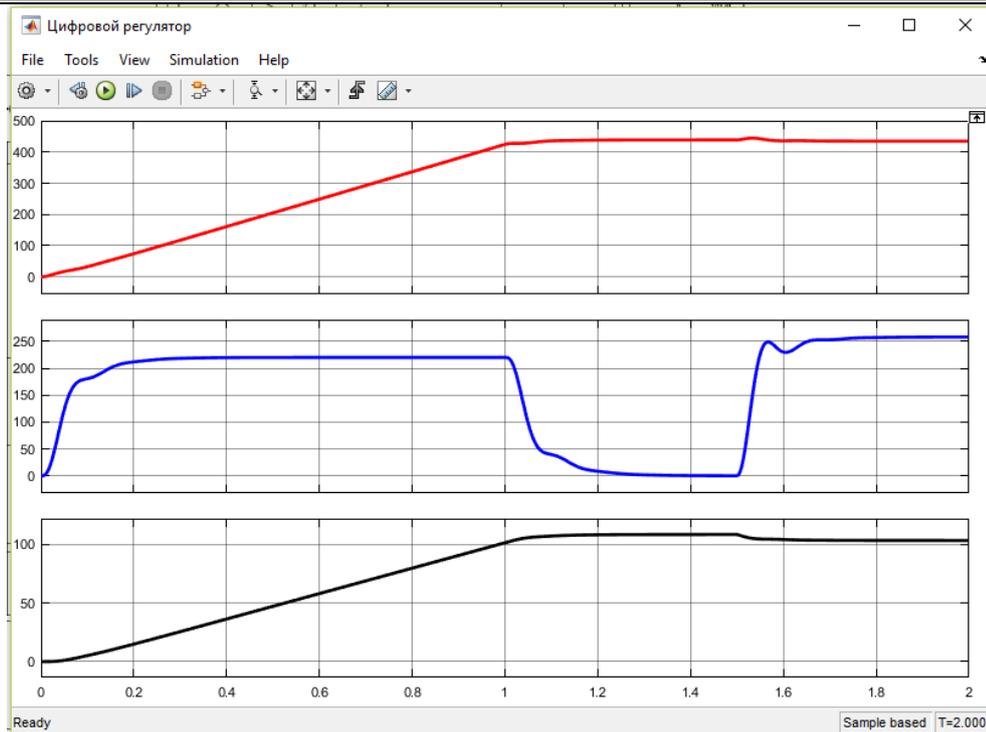


Рисунок 5 – Переходные процессы напряжения тиристорного преобразователя, тока якоря и скорости в схеме с цифровым регулятором тока

Второй метод моделирования (настройки) базируется на своде правил (Rules), которые описывают нечеткую логику управления. Свойства нечеткой логики обрабатывать неполную информацию, моделировать человеческие знания и выдавать обоснованные решения предполагают ее интенсивное использование для наблюдения в реальном времени за технологическими процессами, а также решением проблем, связанных с практической реализацией систем управления технологическими процессами [1]. Использование нечеткой логики в системах управления позволяет уменьшить вмешательство оператора в процесс управления и, следовательно, позволяет разработать новые методики управления, более адаптированные к промышленной среде регуляторы, построенные на базе нечеткой логики, в ряде случаев способны обеспечить более высокие показатели качества переходных процессов по сравнению с классическими регуляторами.

Рассмотрим применение пропорционально-интегрального (ПИ) регулятора. Структурная схема модели объекта та же двухконтурная с классическим и нечетким ПИ-регулятором,

СЕКЦИЯ 4. Подготовка и переподготовка инженерных и научных кадров.
 Моделирование систем автоматизированного электропривода,
 промышленной электроники и автоматического управления.

выполненная в программном комплексе MatLab Simulink, представлена на рисунке 8. Нечеткая система выполнена по типу Мамдани [2] с двумя входами: для пропорциональной x_1 и интегральной x_2 составляющих. Для лингвистического описания каждой входной переменной выбраны семь треугольных термов (NB , NM , NS , ZE , PS , PM , PB) и симметричные диапазоны изменения. Исследуем применение ПИ-регулятора. Лингвистические правила в этом случае приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Лингвистические правила

$x_2 \backslash x_1$	N	Z	P
N	NB	PM	NB
Z	NM	ZE	PM
P	ZE	PM	PB

Переходные процессы для модели с fuzzy-регулятором при ступенчатом изменении задания на входе и обработке единичного возмущающего воздействия на объект представлены на рисунке 8. Отличие ПИ-регулятора с контроллером, основанным на нечеткой логике, от обычного заключается в том, что коэффициенты усиления в пропорциональной и интегрирующей цепях регулятора не являются статическими, т. е. зависят от состояния системы в текущий момент времени. Это позволяет качественно изменить процесс управления, учесть параметры сигналов в системе (скорость изменения сигнала, ускорение), а также сделать процесс управления более адаптивным. Лингвистические правила на основе нечеткой логики представлены ниже на рисунке 6 и на рисунке 7 в графическом виде.

СЕКЦИЯ 4. Подготовка и переподготовка инженерных и научных кадров.
Моделирование систем автоматизированного электропривода,
промышленной электроники и автоматического управления.

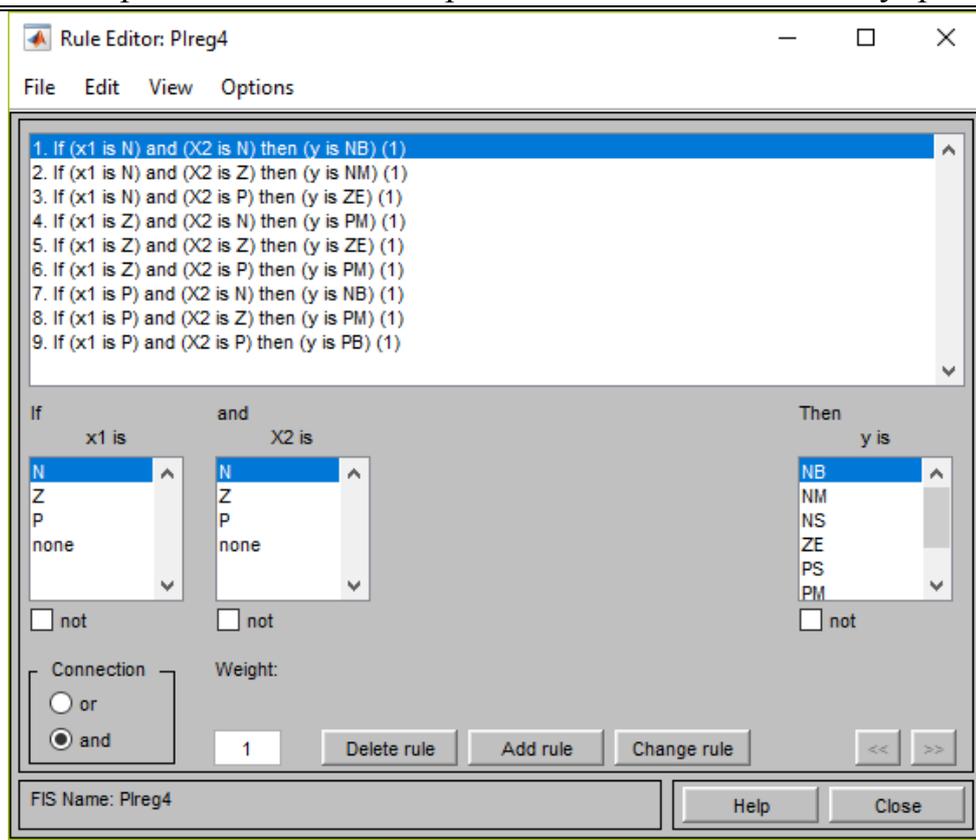


Рисунок 6 – Лингвистические правила в MatLab Simulink

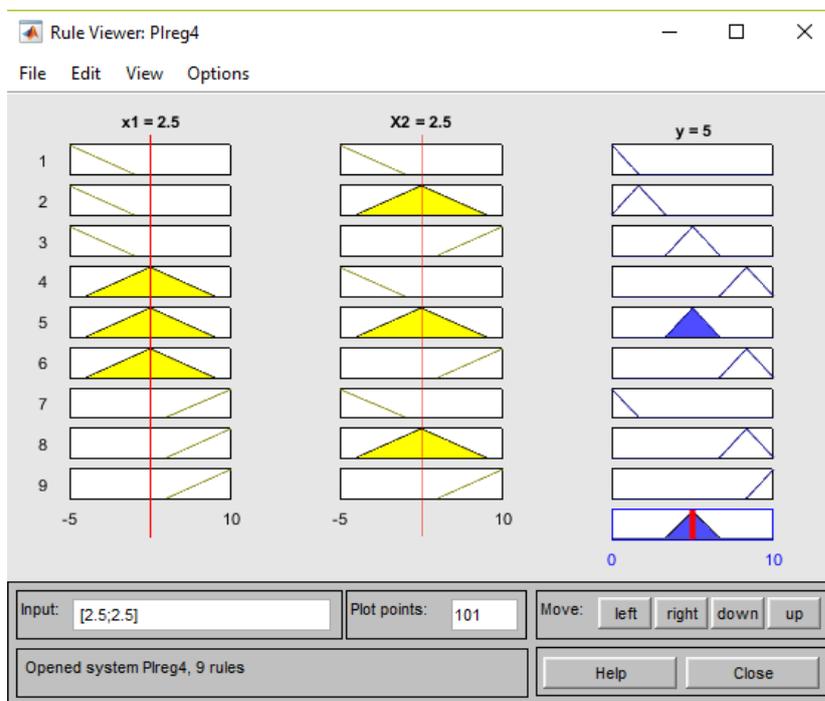


Рисунок 7 – Лингвистические правила в графическом виде

СЕКЦИЯ 4. Подготовка и переподготовка инженерных и научных кадров.
Моделирование систем автоматизированного электропривода,
промышленной электроники и автоматического управления.

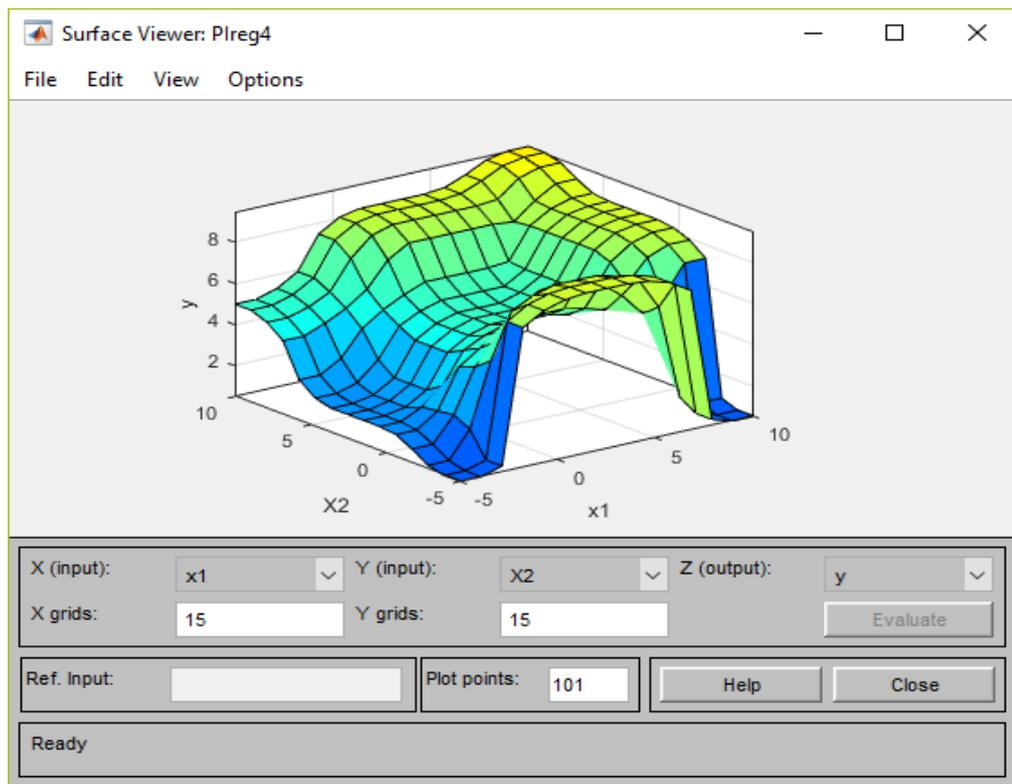


Рисунок 9 – Лингвистические правила в 3D виде

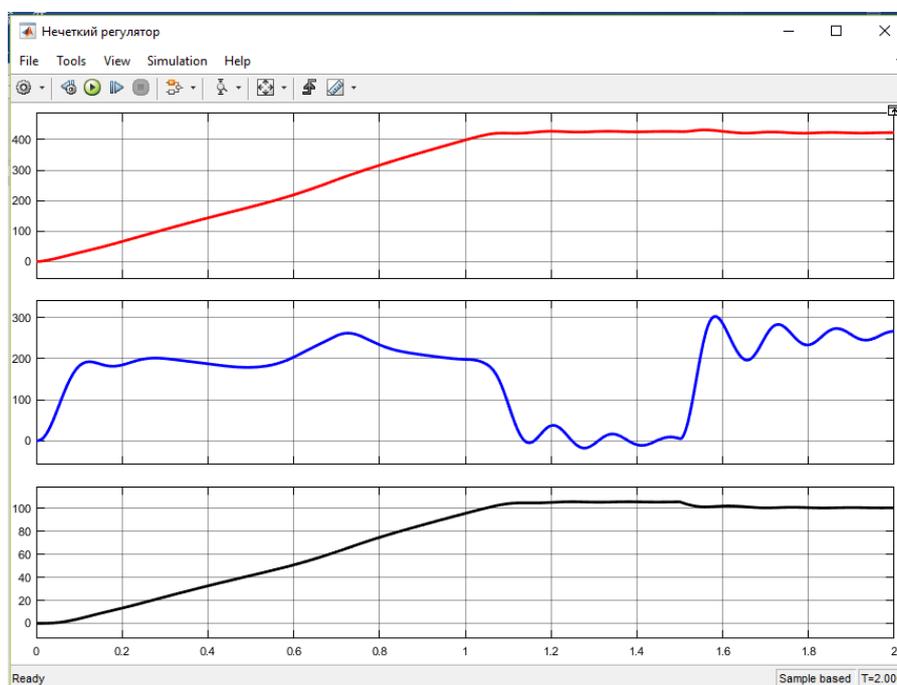


Рисунок 10 – Переходные процессы напряжения
тиристорного преобразователя, тока якоря и скорости в схеме с
нечетким регулятором тока

Очевидно, что система с нечетким регулятором тока при более тонкой настройке будет полностью соответствовать системе с обычным цифровым регулятором. Но особого смысла для конкретной исследуемой системы не видно.

Однако из-за того, что в настоящее время сложность систем управления возросла создание алгоритма исследования для проверки модели управления усложняется. А в большинстве случаев, в работах об исследовании той или иной системы представляют только результаты математического моделирования. Поэтому важно более детализировать процесс моделирования для различных систем управления технологическими процессами с целью накопления практического опыта.

Математическое моделирование дает нам возможность, не имея физического объекта изучить его свойства, что является первым и важным шагом для дальнейшего изучения.

Список литературы

1. Мурышкин А.К. Расчет системы подчиненного регулирования электроприводом постоянного тока [текст]: учебное пособие/ А.К. Мурышкин, С.А. Дружилов С.А., Т.В. Богдановская; – СибГИУ.– Новокузнецк, 2007.– 55 с.
2. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976.
3. Takagi T., Sugeno M. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control // IEEE Trans. Systems Man Cybernet. – 1985. – Vol. 15. – No. 116. – P. 116–132.
4. Бобиков А. И., Сурков И. И. Нейросетевое управление скоростью двигателя постоянного тока // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2015. №52-2. С. 105 – 112.
5. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.
6. Гостев В.И. Проектирование нечетких регуляторов для систем автоматического управления. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 416 с.: ил.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Секция 1 Теоретические аспекты и методология построения современного электропривода	
Функциональная схема комбинированного электропривода подъемной установки на основе машины двойного питания.....	6
В. Ю. Островлянчик, И. Ю. Поползин, Д. А. Маршев, А. В. Толстых, А. В. Дроздова.....	6
Расчет механических характеристик для асинхронного двигателя с фазным ротором и роторной станцией и машины двойного питания с управляемым преобразователем тока в цепи ротора	
В. Ю. Островлянчик, И. Ю. Поползин, А. В. Толстых, А. В. Дроздова.....	12
Алгоритмизация процесса расчета роторных сопротивлений асинхронного электродвигателя	
В.Ю. Островлянчик, Д.А. Маршев, А.В. Толстых	17
Диагностика неисправностей магнитных усилителей карьерных экскаваторов используя теорию графов и ранжирования	
Забегаев М.В.....	25
Многодвигательный вентильный электропривод с произвольным числом электродвигателей	
П.Н. Кунинин, А.И. Рыбаков	34
Модернизация системы управления электропривода вращения валков	
Кузнецов В.А., Харенко В.Н., Кузнецова Е.С., Чураков А.С.	41
Секция 2 Информационные и управляющие системы технологическими процессами и системы автоматизации технологических процессов и производственных комплексов	
Автоматическая Система Контроля И Регулирования Микроклимата Тепличного Комплекса	
К.А. Змиева	49
Вычисление энергетически оптимальной температуры холодной панели в системе осушения	
Нгуен Ван Вьонг, С.В. Прохоров	53

Проектирование и настройка технологических контуров с применением теории подобия систем управления Макаров Г.В., д.т.н. Мышляев Л.П., к.т.н. Венгер К.Г., Саламатин А.С.....	58
Метод подбора оптимального воздушного потока для пиролизного котла А. С. Михайлёв	64
Оптимизация электропотребления рудника с использованием вентилятора главного проветривания ВОД-30 Сумин Н.А., Модзелевский Д.Е.	69
Эффективность типизации программных модулей для управления технологическими агрегатами на примере углеобогатительной фабрики Саламатин А.С., д.т.н. Мышляев Л.П., Макаров Г.В., к.т.н. Ляховец М.В., Сергеев В.С.	78
Особенности и проблемы эксплуатации рекуператора воздуха с промежуточным теплоносителем С.В. Прохоров.....	84
Разработка концептуальной модели управления роботизированным проходческим комплексом при подземной угледобыче Кубарев В.А., Ляховец М.В., Огнев С.П., Павлова Л.Д., Фрянов В.Н	90
Секция 3 Силовое оборудование, преобразовательная техника и микропроцессорные системы управления Особенности моделирования системы электропитания погружного технологического оборудования В.М. Рулевский, Е.Б. Шандарова, В.И. Шедько.....	97
Модернизация тягового электропривода пассажирского электровоза ЭП2К Киселев А. С., Модзелевский Д. Е.	105
Моделирование величин в приводе подъёма мостовых кранов при чрезмерной массе груза Аниканов Д.С. Кипервассер М.В., Герасимук А.В., Лактионов С.А.....	111
Современное состояние систем учета электрической энергии В.А. Кузнецов, Е.С. Кузнецова, С.А. Кузьмин	120

Проблемы компенсации реактивной мощности на промышленных предприятиях	
Воронцов А.В., Кузнецова Е.С., Кузнецов В.А.	124
Структура и виды потерь электроэнергии в электроприводе	
В.А. Кузнецов, Е.С. Кузнецова, К.А. Крестьянников	129
Разработка системы автоматического управления электростимулированным волочением с использованием мощных импульсов тока	
Кузнецов В.А., Полковников Г.Д., Кузнецова Е.С., Громов В.Е.	132
Секция 4 Подготовка и переподготовка инженерных и научных кадров. Моделирование систем автоматизированного электропривода, промышленной электроники и автоматического управления	
Выбор автономной электростанции для энергоснабжения оборудования при проведении полевых исследований	
В.А. Корнеев, П.А. Корнеев	140
Современное состояние системы ремонтов электрооборудования	
Е.С. Кузнецова, А.В. Дроздова	146
Разработка лабораторной установки с применением микроконтроллеров для исследования электростимулированной деформации	
А.Ю. Гагарин, В.А. Кузнецов, В.Е. Громов, В.Д. Сарычев, А.Е. Дьяченко	150
Исследование цифровых и нечетких регуляторов в системах управления технологическими процессами в MatLab	
Богдановская Т.В., Полковников Г. Д.	163
Оглавление	174

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД И ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

***ТРУДЫ ВОСЬМОЙ ВСЕРОССИЙСКОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ***

20-21 НОЯБРЯ 2018 г.

Под. общ. ред.: д.т.н., проф. Островлянчика В.Ю.

Техническая редакция: Кубарев В.А., Поползин И. Ю.

Компьютерная верстка:
Кубарев В.А.

Подписано в печать _____
Бумага писчая Печать цифровая
Усл. печ. л. 10,29 Уч.-изд. л. 10,67

Формат 60x84 1/16
Тираж 50 экз.
Заказ №

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42
Издательский центр СибГИУ