

УДК 621.314.5

*к.т.н. Калюжный С. В.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР),
гл. инженер Мокрицкий М. И.,
гл. механик Молочек А. В.,
зам. гл. энергетика Бабкин В. А.
(Филиал № 12 ЗАО «ВНЕШТОРГСЕРВИС» АМК, г. Алчевск, ЛНР)*

РЕКОНСТРУКЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНИЗМА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ МОСТОВЫХ КРАНОВ АЛЧЕВСКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА

Приведена силовая схема компьютерной модели токопараметрического вентильного преобразователя, предназначенного для реконструкции механизма перемещения мостовых кранов, с целью согласования скоростей вращения приводных двигателей. Даются результаты моделирования в сравнении с существующей на кране релейно-контакторной схемой привода.

***Ключевые слова:** мостовой кран, механизм перемещения, согласование скоростей, крановая панель типа ДК, реконструкция панели.*

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. По физической сущности согласования вращения колёс крана, расположенных на противоположных сторонах моста, можно сказать, что это проблема давняя и очень сложная. Существует первая, известная авторам, статья сотрудников Московского ВНИИМЕТМАШ (возможно, есть ещё и более ранние) по этой проблеме [1].

Проблема заключается в том, что ходовая часть перемещения моста любого крана принципиально не может иметь какую-то заведомо детерминированную нагрузочную диаграмму, которую должен обрабатывать электропривод (ЭП). Заводы подъёмно-транспортного оборудования выпускают сейчас краны с разным количеством колёсных тележек, расположенных по сторонам моста. Каждая тележка имеет, как правило, свой индивидуальный двигатель, механические характеристики $\omega = f(M)$ которых не могут быть одинаковыми уже при изготовлении на электромеханическом заводе; редукторы и подшипники колёс в процессе эксплуатации смазываются по-разному из-за усыхания сальников и прокладок; диаметры бочки качения колёс могут отличаться (колёса после наплавки и последующей обработки на токарном станке);

головки подкрановых рельс изношены на разных участках пути, где больше, а где меньше (рельсы меняют не все сразу, а участками); реборды колёс имеют также разный износ; а самое главное — нагрузка на приводные колёса моста крана сильно зависит от положения тележки, перемещающей груз вдоль моста, и от величины самого груза на крюке.

Все указанные выше факторы приводят к различию скоростей вращения двигателей сторон моста крана и, как следствие, к перекосу диагоналей моста при его движении по рельсам, смонтированным на колоннах цеха. Диагонали моста всё время «играют», что приводит к износу реборд колёс и даже появлению трещин в сварных швах балок моста крана. Авторы хорошо изучили эту проблему и провели тензометрию нагрузок в элементах конструкции моста крана [2].

Очевидно, что необходимо согласовывать вращение двигателей сторон моста крана по критерию минимизации износа механического оборудования. Некоторые разработчики предлагают использовать самое радикальное решение — ставить тензодатчики, с помощью которых можно измерять усилия, перекашивающие мост, а затем при помощи ЭП, регулируя его ско-

рость, вводить корректировку. Есть ряд других решений, посвящённых этой проблеме в краностроении, защищённых кандидатскими и докторской диссертациями.

Например, в диссертации Дорофеева А. А., проводившего исследования на базе Липецкого металлургического комбината, предлагается измерять отклонение реборд колёс относительно головки рельса [3]. В другой работе предлагается обеспечивать питание каждого двигателя от своего преобразователя частоты и при помощи наблюдателя состояний (модное сейчас направление в теоретическом электроприводе) производить корректировку скоростей приводных двигателей необходимым образом [4].

В последнем случае можно себе представить, во что превратится, например, 4-двигательный мост крана — в кучу силовой электроники и микропроцессорной техники. Для каких-то ответственных кранов типа металлургических 470-тонных, которые заливают чугун в сталеплавильные конвертеры, указанные решения и подойдут. Однако следует отметить, что на АМК в 2010 году начали работать два конвертерных цеха с такими кранами и с комплектными ЭП фирмы Siemens, но никаких премудростей по согласованию скоростей двигателей на них нет. На мосту такого огромного крана стоит специальный электротехнический вагон с воздушными фильтрами и кондиционерами, в котором расположены преобразователи частоты.

На мосту кранов средней грузоподъёмности (от 16 до 75 тонн) вагон с кондиционером ставить некуда, а если говорить о реконструкции уже действующих кранов, у которых механические узлы ещё сохранились в относительно хорошем состоянии (в советское время умели строить добротно, машиностроительные заводы металл не экономили), вообще эту проблему решить чрезвычайно сложно из-за узкого прохода на приводной балке крана. Эти краны раньше комплектовались реостатными релейно-контакторными панелями типа ДК в шкафном исполнении

производства московского завода «Динамо». На АМК таких кранов работает сейчас до сотни штук. Пыли с металлическими включениями на мосту крана наблюдаются многие миллиметры. В таких условиях не сможет длительно и надёжно работать любая электроника.

Постановка задачи. Для указанных кранов авторы предлагают производить реконструкцию роторных цепей двигателей без замены, собственно, двигателей с фазным ротором при использовании для их питания неуправляемого токопараметрического вентильного преобразователя (ТПВП), представляющего собой источник энергии с «токовой» внешней характеристикой [5]. Ротор каждого двигателя соединяют со своим диодным мостом, далее мосты объединяют по параллельной схеме и через небольшое силовое сопротивление подключают к выпрямителю параметрического источника тока (ПИТ).

Изложение материала и его результаты. На рисунке 1 приведена схема компьютерной модели для двухдвигательного ЭП моста крана в среде *Matlab/Simulink/SimPowerSystem*. Согласование скоростей выполняется за счёт простого перераспределения токов, что происходит на основании первого закона Кирхгофа, широко известного из университетского курса электротехники. Согласование выполняется по роторным цепям двигателей, при этом последние представляют собой машины двойного питания (источник напряжения по статору и источник тока по ротору) [6].

Параметры модели: двигатели краново-металлургические типа МТМ 412–6, 22кВт, 380 В, 960 об/мин, M_n — 220 Нм, $I_{pн}$ — 63 А, $J_{пр}$ — 1,0 кгм²; ПИТ: X_p — 4,6 Ом (в каждой фазе — 0,015 Гн; 0,05 Ом; 700 мкФ), R_d — 3 Ом; моменты статической нагрузки на обеих сторонах моста соответственно равны: M_{c1} — 50 Н·м; M_{c2} — 220 Н·м (реактивные).

Для моделирования упругих и люфтовых связей в электроприводах моста крана на рисунке 1 применяется блок *Mexanizm*, схема модели которого показана на рисун-

ке 2. Отключив от сумматора, связанного со входом Tm (вход нагрузки машины) каждого приводного двигателя, обратную связь по динамическому моменту, рассчитанному в блоке *Mexanizm*, получим разомкнутую конструкцию электромеханической системы. Это делаем с целью оценки рассогласования скоростей вращения двигателей при разных уровнях приведённых к валу статических моментов. Указанная информация полезна для определения эффективности применяемой системы согласо-

вания скоростей по отношению к приводу моста крана, работающему без какого-либо согласования. Таким приводом является, как указано выше, морально и физически устаревшая схема релейно-контакторного управления двигателями моста крана, разработанная ещё в начале прошлого века и применяющаяся по сей день (из-за своей простоты) в составе панелей крановых типа ДК; как отмечалось ранее, производитель — уже несуществующий, московский электромеханический завод «Динамо».

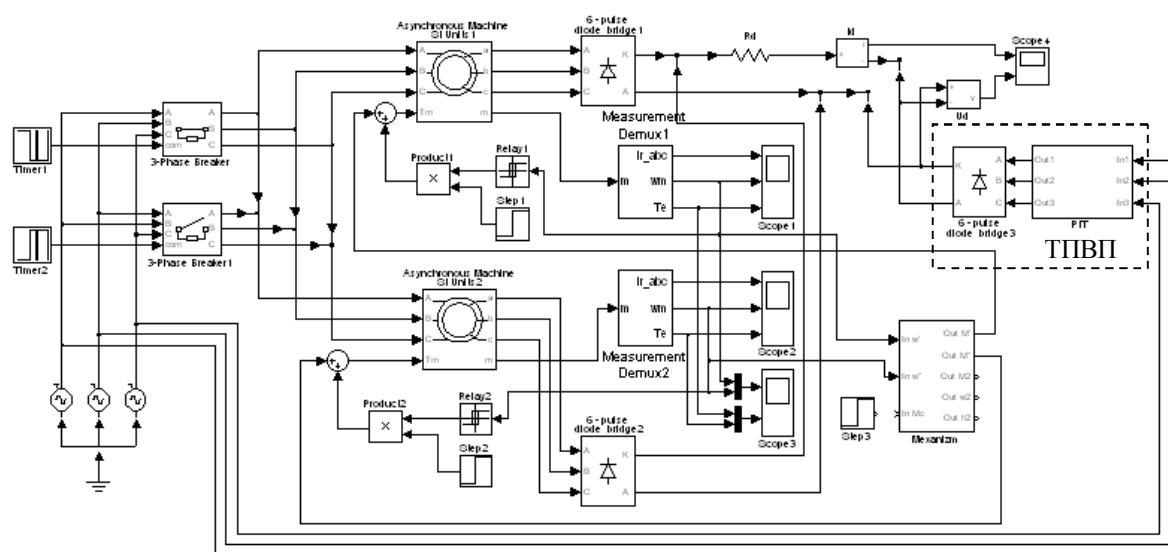


Рисунок 1 Схема модели ЭП моста крана с ТПВП в роторных цепях

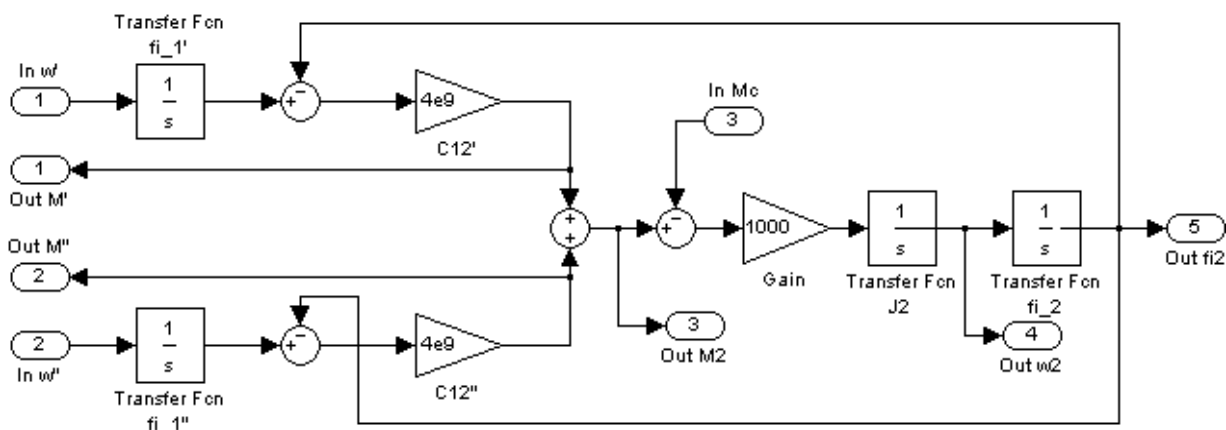


Рисунок 2 Схема, моделирующая взаимосвязь двух приводов через механическую часть моста крана

На рисунке 3 показана схема модели существующего ЭП моста крана с релейно-контакторным управлением. Взамен крановой панели типа ДК авторами разработана и подготовлена для серийного производства панель типа ДКСС–63, модель которой представлена на рисунке 1. На рисунке 4 приведены результаты моделирования скорости и момента двигателей моста крана средней грузоподъёмности, работающего с новой панелью типа ДКСС, обеспечивающей согласование скоростей (рис. 4а), и со старой панелью типа ДК (рис. 4б) без согласования.

Результаты моделирования убедительно показывают, что при питании роторных цепей приводных двигателей моста крана от ТПВП рассогласование скоростей перемещения сторон крана снижается с 45–50 % до 5–10 %, что позволяет существенно уменьшить перекосы в диагоналях моста крана. Так как известно, что перекосы диагоналей приводят к дополнительным напряжениям в сварных металлоконструкциях крана, то их уменьшение снижает веро-

ятность появления трещин в сварных швах поперечных и продольных балок крана, а также к уменьшению истирания реборд колёс и головок подкрановых рельс.

Снижаются также амплитудные значения электромагнитных моментов, развиваемых двигателями, что положительно влияет на ресурс эксплуатации промвалов, редукторов и подшипников. Наблюдается плавность разгона и торможения двигателей, для осуществления которых совершенно не требуется правильная настройка пусковых реле времени, как это обязательно должно делаться в старых крановых панелях типа ДК.

Вышеуказанные выводы соответствуют результатам непрерывной (с 1999 г.) опытно-промышленной эксплуатации крана № 15, работающего в ЛПЦ-2 на участке погрузки с помощью электромагнитов готовых листов в вагоны. По информации крановой механической службы цеха межремонтный цикл по указанному крану увеличился в два раза.

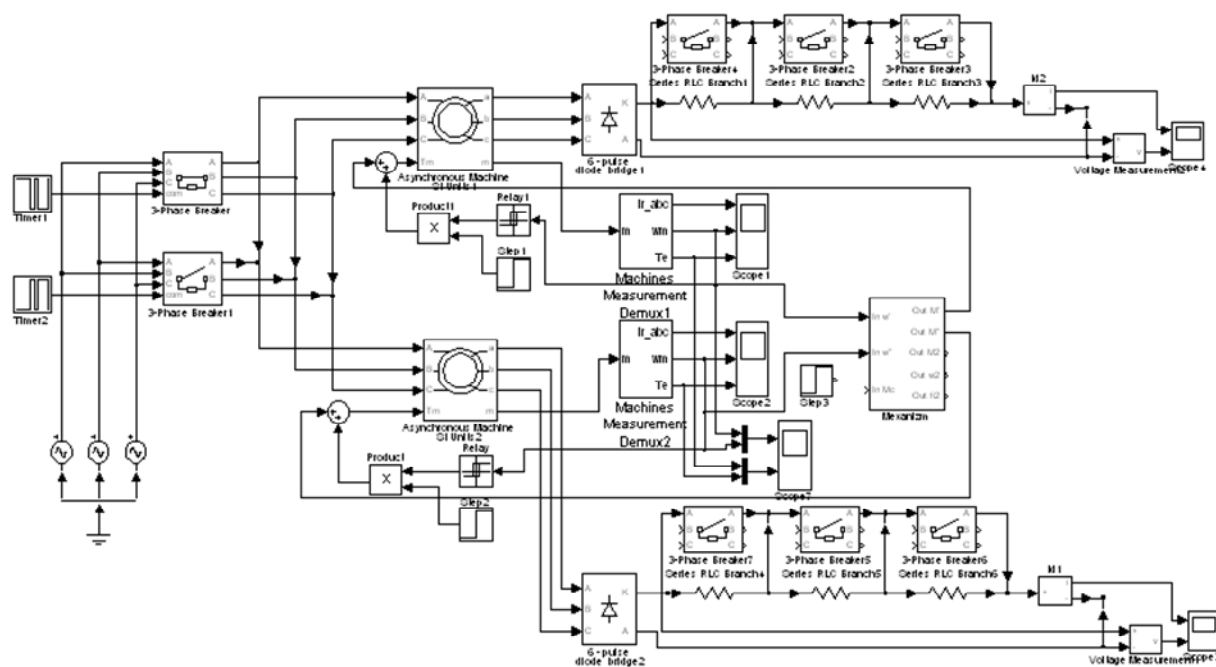
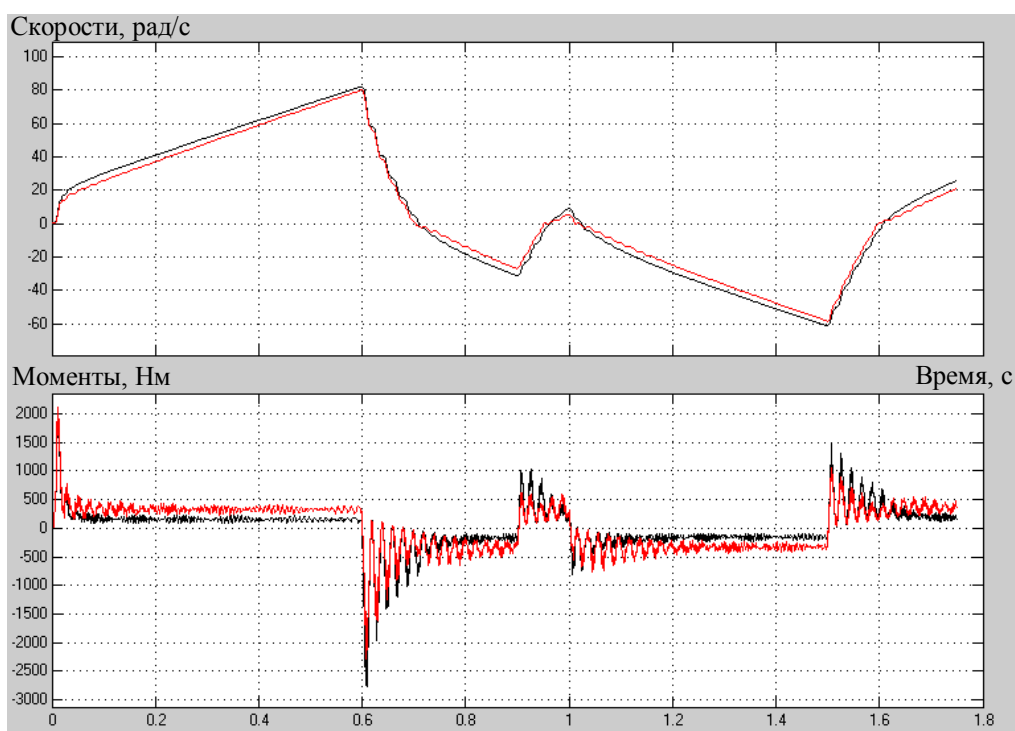
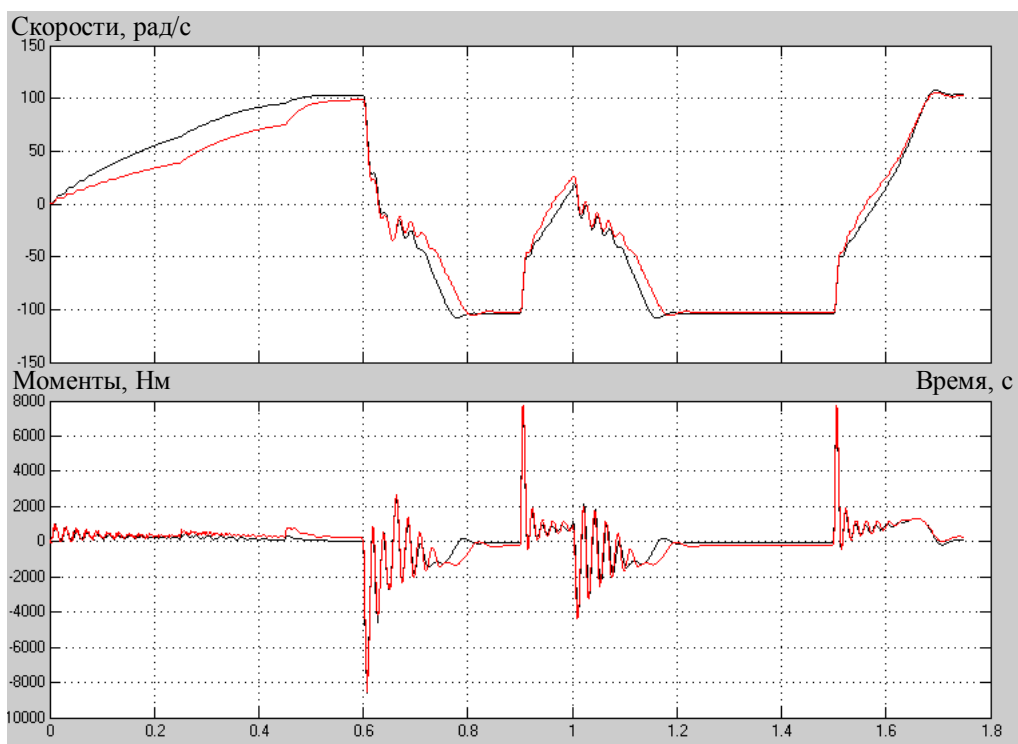


Рисунок 3 Схема модели ЭП моста крана с панелью типа ДК



а)



б)

Рисунок 4 Результаты моделирования скорости и момента двигателей ЭП моста крана при работе с панелями: ДКСС (а) и ДК (б)

Дополнительно авторы отмечают, что для диагностики работы ЭП моста крана с панелью ДКСС в составе необходимо периодически (хотя бы, раз в месяц) производить с помощью измерительных токовых клещей контроль роторных токов двигателей. Сравнивать результаты измерений необходимо со значениями токов роторов двигателей, полученными после проведения текущего планового ремонта (смены колёс, подшипников, пополнения смазки). Увеличение роторного тока одного из двигателей должно указать механику крановой службы на приближающиеся неполадки с правой или левой стороны моста. Конечно, при этом кран необходимо «прогонять» с контрольным грузом по одному и тому же участку рельсового пути.

При частичной реконструкции крановой панели типа ДК в шкафом исполнении демонтируются из панели 10 электромагнитных приборов (для каждого двигателя: два контактора ускорения и тормозной контактор противовключения и два реле времени), расположенных в нижней части панели.

На освободившейся части размещают три трёхфазные диодные мостовые схемы, выполненные на базе модулей типа МДЗ-580-20 производства ЗАО «Протон-Электротекс», один трёхфазный контактор, позволяющий получить пониженную скорость «дотяжки», и автоматический выключатель для питания ПИТ.

Рядом со шкафом панели ДК на полу моста крана размещают три силовые конденсатора и трёхфазный реактор ПИТ, а также три ящика фехралевых сопротивлений. Установленное непосредственно на мосту перечисленное выше электрооборудование закрывается разборными рамками, затянутыми сеткой-рабицей.

Стоимость указанного выше нового электрооборудования составляет: конденсаторы — $18500 \times 3 = 55500$ руб.; диодные модули — $5800 \times 9 = 52200$ руб.; реактор трёхфазный — 50000 руб.; трёхфазные контактор и автоматический выключатель — 10000 руб.; ящики сопротивлений — 15000 руб.; провод силовой монтажный (многожильная медь) — 5000 руб.; уголок стальной и сетка-рабица — 3000 руб. Итого по новому оборудованию — 198700 руб. С учётом возврата в эксплуатацию 10-ти единиц демонтированных (уже не выпускающихся промышленностью) электромагнитных приборов стоимость по материалам может составить примерно 180 тыс. руб. Общая стоимость реконструкции (с учётом трудозатрат по монтажу) может составить 300–350 тыс. руб., что должно окупиться затратами на несколько текущих ремонтов по механической части кранового оборудования.

Библиографический список

1. Гарцман, С. Д. Снижение динамических нагрузок и повышение долговечности мостовых кранов [Текст] / С. Д. Гарцман, А. А. Жуков, З. П. Каретный, А. А. Филатов. — М. : Сталь, 1999. — № 3. — С. 50–52.
2. Калюжный, С. В. Снижение динамических нагрузок мостовых кранов [Текст] / С. В. Калюжный, В. В. Калюжный, И. А. Бондарь, С. С. Луковка, В. К. Роменский // Подъёмные сооружения. Специальная техника. — Одесса, 2013. — № 11. — С. 12–13.
3. Дорофеев, А. А. Разработка и исследование систем электроприводов, обеспечивающих бесперекусное движение мостовых кранов [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.09.03 / Алексей Александрович Дорофеев. — Липецк : Липецк. гос. техн. ун-т. — 2010. — 18 с.
4. Герасимьяк, Р. П. Оптимальное управление крановым механизмом передвижения [Текст] / Р. П. Герасимьяк, Л. В. Мельникова // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. — 1999. — № 1. — С. 87–94.
5. Калюжный, С. В. Топопараметрическое согласование скоростей взаимосвязанных через механическое оборудование многодвигательных электромеханических систем [Текст] / С. В. Калюжный // Электричество. — М. : НИУ «МЭИ». — 2017. — № 6. — С. 59–64.

6. Калюжный, С. В. Энергетическая электроника в свете компенсации или поглощения источником тока источника напряжения в электрических цепях [Текст] / С. В. Калюжный, В. В. Калюжный // Вести высших учебных заведений Черноземья. — Липецк : ЛГТУ. — 2018. — № 4. — С. 18–29.

© Калюжный С. В.

© Мокрицкий М. И.

© Молочек А. В.

© Бабкин В. А.

Рекомендована к печати к.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Ульяницким В. Н., д.т.н., проф., председателем правления Международного консорциума «Энергосбережение» Барским В. А.

Статья поступила в редакцию 03.06.19.

к.т.н. Калюжный С. В. (ДонГТУ, м. Алчевськ, ЛНР), **Мокрицкий М. И., Молочек О. В., Бабкин В. О.** (Філія № 12 ЗАТ «ВНЕСШТОРГСЕРВІС» АМК, м. Алчевськ, ЛНР)

РЕКОНСТРУКЦІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНІЗМУ ПЕРЕМІЩЕННЯ МОСТОВИХ КРАНІВ АЛЧЕВСЬКОГО МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМБІНАТУ

Наведено комп'ютерну модель силової схеми струмопараметричного вентиляного перетворювача, призначеного для реконструкції механізму переміщення мостових кранів, з метою узгодження швидкостей обертання приводних двигунів. Даються результати моделювання в порівнянні з існуючою на крані системою привода.

Ключові слова: мостовий кран, механізм переміщення, узгодження швидкостей, кранова панель типу ДК, реконструкція панелі.

PhD in Engineering Kaluzhniy S. V. (DonSTU, Alchevsk, LPR), **Mokritskiy M. I., Molochek A. V., Babkin V. A.** (Branch № 12 ZAO «VNESHSTORGSERVIS» AISW (Closed Joint-Stock Company), Alchevsk, LPR)

RECONSTRUCTION OF THE ELECTRICAL DRIVE OF MECHANISM OF THE OVERHEAD TRAVELLING CRANES OF ALCHEVSK IRON-AND-STEEL WORKS

There has been given the main circuit of computer model of the current-parametric valve converter intended for reconstruction of mechanism of the overhead travelling cranes to coordinate the rate of rotation of drive engines. The simulation results in comparison with the existing crane drive system are presented.

Key words: overhead crane, mechanism of travelling, coordination of rate, crane panel DK, reconstruction panel.