

Павленко Т. П.

Д-р техн. наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна
**ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СКЛАДУ КОМПОЗИЦІЇ ПСЕВДОРІДИННОМЕТАЛЕВИХ КОНТАКТІВ
 ЗА МАТЕМАТИЧНОЮ МОДЕЛЮ**

Електричні контакти являють собою тверду композицію, що складається з пористої матриці, просякненої легкоплавким наповнювачем. Під впливом Джоульова тепла відбувається розплавлення наповнювача. У такому стані електричні контакти працюють як рідиннометалеві. За допомогою математичної моделі визначено перехідний опір в зоні контактування контактів, розподіл пор на їх робочій поверхні. Нові контактні композиції рекомендуються до використання в головних контактах багатоамперних автоматичних вимикачів, в струмообмежувальних блоках автоматичних вимикачів до 1000А, в контакторах.

Ключові слова: математичка модель, електричний контакт, контактна композиція, контактне натискання, перехідний опір, автоматичний вимикач.

Pavlenko T. P.

D-r Sci. Tech, professor, National technical university «Kharkiv politechnik institute», Ukraine

DETERMINATION OF THE COMPOSITION OF THE PSEUDO-LIQUID METAL CONTACTS BY THE MATHEMATICAL MODEL

The electrical contacts are the hard composition. The composition contains the porous matrix saturated with fusible filler. There is the change of the aggregate state composition when the current passes from the electric contacts. The fusible filler is melted under the influence of Joule's heat. The electric contacts work as liquid metallic in such state. It is necessary to analyze the conductivity of contacts and change of their parameters in the contact area for the effective composition exposure of contacts. The article presents the transitional resistance in an area connections of contacts, the distribution of pores on their working surface and co-operation of hard phase matrix with filler by the mathematical model of contact conductivity. In a mathematical model the parameters liquid metallic bridge and probabilistic determination of numbers of such bridges on the working surface by contacts are examined. The new contact compositions are recommended to be used in the main contacts of circuits breakers with the large values of current, in the blocks with current limitation to 1000 A by circuits breakers and in contactors.

Keywords: mathematical model, the electric contact, the contacts composition, the pressure of contacts, the transitional resistance, the circuit breaker.

REFERENCES

1. Belyaev V. L. Osobennosti raboty i konstruksiy mnogoampernih avtomaticheskikh vyklyuchateley. Sankt-Peterburg, SZTU, 2005, 254 p.
2. Pat. № 4513904 SShA, N0IN 11/02. Sposob umensheniya soprotivleniya mezhdru kontaktnymi poverhnostyami.
3. Pat. № 53-3431 Yaponiya, N0IN 29/20. Vyiklyuchatel na osnove metalla s nizkoy temperaturoy plavleniya.
4. Bron O. B., Belyaev V. L. Elektricheskaya stoykost kompozitsionnyih zhidkometallicheskih kontaktov, *Elektromehanika*, 1984, No. 8, pp. 76–81.
5. Pavlenko Yu. P., Gaponenko G. N., Krygina T. P. Novyyiy kontaktnyyiy material dlya mnogoampernih vyklyuchateley, *Nizkovoltnyye apparaty zaschityi i upravleniya*, 1993, pp. 223–229.
6. Pavlenko T. P. Psevdozhidkometallicheskie kontaktyi elektricheskikh apparatov s bezdugovoy kommutatsiey, *Integrovani tehnologii ta energoberezhennya*, 1999, No. 4, pp. 69–72.

УДК 62-83:621.874

Швед Ю. С.¹, Орловский И. А.²

¹Ст. лаборант, Запорожский национальный технический университет, Украина

²Д-р техн. наук, профессор, Запорожский национальный технический университет, Украина, E-mail: i_orlovsky@mail.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ МОСТОВОГО КРАНА

Выполнен анализ экспериментальных исследований процессов в электроприводах передвижения мостовых кранов грузоподъёмностью 15 и 20 тонн. Получены близкие к экспериментальным данным параметры режима электропривода мостового крана при математическом моделировании. Показана методом математического моделирования возможность движение мостового крана без касания ребордами колес рельсов.

Ключевые слова: мостовой кран, математическая модель, электропривод, экспериментальные исследования.

Мостовые краны широко применяются практически во всех отраслях народного хозяйства при технологических, погрузочно-разгрузочных, монтажных, складских и

других работах. Современные технологии повышают требования к точности и плавности перемещения грузов, к снижению потребления электроэнергии оборудо-

© Швед Ю. С., Орловский И. А., 2013

ванием и износу колес и рельсов, поэтому задача совершенствования электроприводов (ЭП) кранов является актуальной.

В настоящее время в Украине большая часть исследований по совершенствованию ЭП механизмов крана [1–6] выполняется с использованием математического моделирования, что связано с отсутствием финансирования исследований на реальных кранах и ограничением фирмами производителями доступа к измерению параметров режима ЭП современных кранов. С другой стороны, для разработанных различной точности математических моделей ЭП передвижения крана, требуется сравнение их параметров режима с результатами работы реального оборудования. В таких условиях важным является обзор и анализ доступных в научной литературе экспериментальных исследований электромеханических процессов в ЭП кранов и сравнение этих процессов с результатами математического моделирования работы оборудования.

Цель статьи. Обзор и анализ экспериментальных исследований процессов в ЭП передвижения мостовых кранов и их сравнение с результатами математического моделирования.

ОБЗОР И АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

К одним из фундаментальных исследований ЭП передвижения кранов относятся работы профессора Р. П. Герасимьяка [7–13]. Согласно [8] отмечается существенное влияние упругости конструкции крана на процессы при его перемещении. Автор отмечает, что эксперименты на козловом кране убеждают, что разомкнутая система асинхронного ЭП передвижения, состоящего из 2-х асинхронных двигателей (АД) на каждой стороне моста, работает устойчиво (рис. 1, а), однако при замкнутой системе параметрического регулирования скорости перемещения, настроенной без учета упругостей конструкций крана, возникают значительные (более 50 %) колебания скорости крана ω и тока двигателя i_r (рис. 1, б), что неудовлетворительно сказывается на его работе. Это свидетельствует о том, что упругие связи механизма при определенных сочетаниях параметров оказывают отрицательное влияние на движение крана особенно при использовании замкнутой системы регулирования ЭП, поэтому при исследованиях движения крана методом математического моделирования необходимо учитывать упругости различных звеньев крана [8].

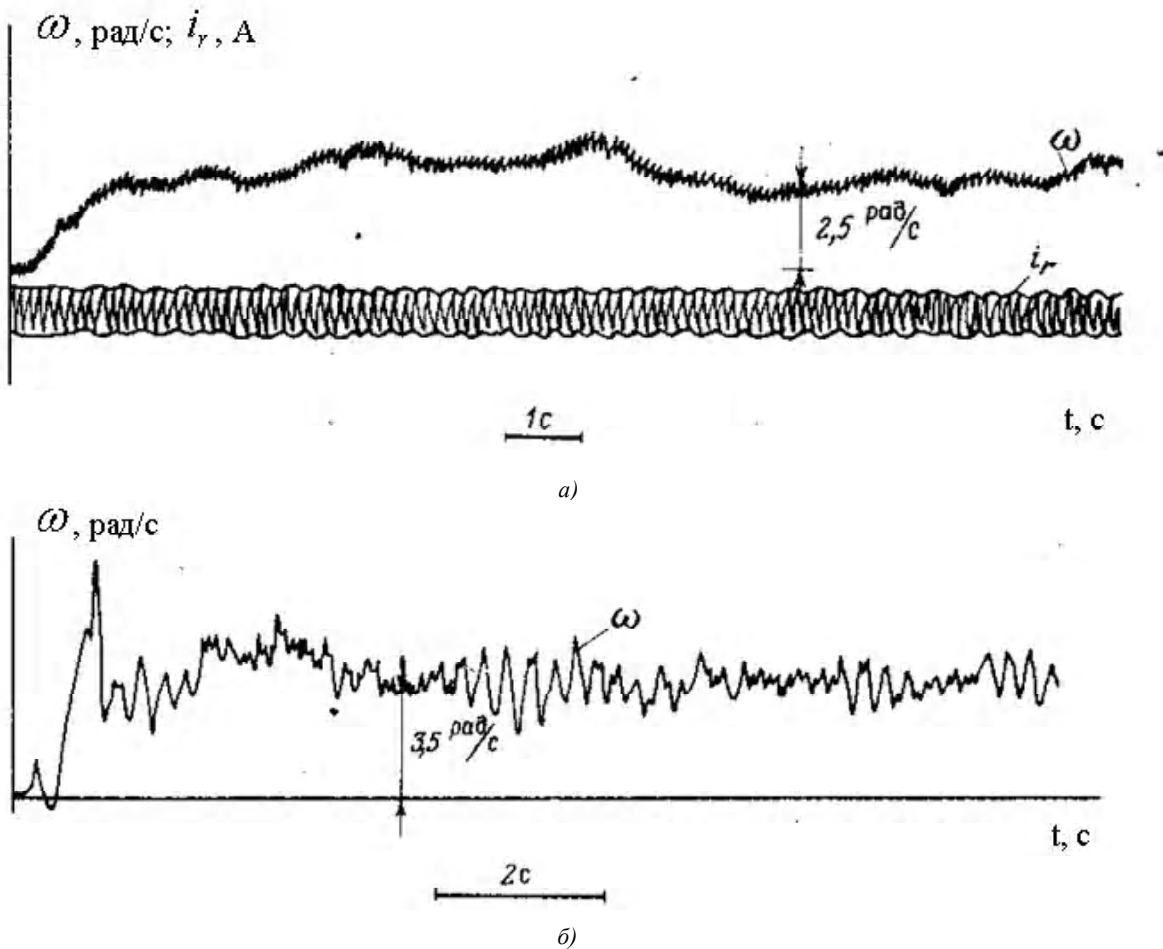


Рис. 1. Осциллограммы работы ЭП механизма передвижения крана при разных системах регулирования [8]; а – разомкнутой, б – замкнутой

Возникающие колебания приводят к ограничению диапазона регулирования скорости, снижению точности выполняемых операций, увеличению динамических составляющих нагрузок в различных узлах машин и, как следствие, к повышению их износа, снижению надежности и долговечности работы оборудования. Частота колебаний скорости перемещения крана составляет от 15 Гц (в разомкнутой системе ЭП) до 3 Гц (в замкнутой).

В [14] выполнено экспериментальное исследование процессов нагружения элементов мостового крана в периоды пуска, установившегося движения и торможения ЭП передвижения моста. Исследования проводились на кране грузоподъемностью 20/5 т, работающем на Московском заводе АЗЛК, и на магнитном кране М15 грузоподъемностью 15 т, установленном в цехе гнутых профилей Череповецкого металлургического комбината (ныне АОО «Северсталь»). Электропривод передвижения моста имел четыре колеса (по два на каждой стороне моста) и два АД с фазным ротором (по одному на каждой стороне моста).

При экспериментальном исследовании записывались осциллограммы изменения следующих величин:

- токов роторов двух двигателей механизма передвижения;
- крутящих моментов быстроходных валов обоих механизмов передвижения;
- крутящего момента тихоходного вала одного механизма передвижения;
- частот вращения быстроходных валов механизмов;
- ускорений средин обеих концевых балок моста;
- ускорений главных балок и грузовой тележки, находящейся в середине пролета;
- углов отклонения канатов от вертикали.

При экспериментальном исследовании второго крана (М15) записывались:

- ток ротора и частота вращения одного двигателя;
- поперечные нагрузки, действующие на все четыре колеса крана;
- поперечные смещения ходовых колес относительно рельса.

Применялась следующая методика измерения перечисленных величин. Ток ротора двигателя измерялся с использованием шунта, подключенного в одну из фаз ротора. Крутящие моменты быстроходных и тихоходных валов механизма передвижения измерялись с помощью тензорезисторов, наклеиваемых на соответствующие валы. Частота вращения быстроходных валов измерялась тахогенераторами типа ТГ-3, соединяемых с валами резиновыми ремнями. Ускорения отдельных точек крана замерялись индуктивными датчиками ускорения типа ДУ-5. Угол отклонения подъемных канатов от вертикали в направлении движения крана измерялся потенциометрическим датчиком, движок которого связан струной с подъемным канатом в точке, находящейся на расстоянии 2300 мм от оси барабана. Поперечные нагрузки, действующие на ходовые колеса, измерялись специаль-

но разработанным методом [14]. Поперечные смещения ходовых колес относительно рельса измерялись с помощью виброизмерительной аппаратуры ВИ6-5МА.

Мостовой электрический кран грузоподъемностью 20/5 т, тяжелого режима работы с магнитом на вспомогательном подъеме и с кабиной в середине пролета имеет следующие технические данные: пролет – 28,5 м; база крана – 5 м; колея тележки – 2 м; общая масса крана – 47,2 т; масса тележки – 8,06 т; масса моста с электрооборудованием – 32,7 т; масса кабины с электрооборудованием – 0,778 т; масса одной приводной части механизма передвижения – 1,47 т; масса одной ведомой части механизма передвижения – 0,502 т; масса электромагнита М42-1,67 т; подкрановый рельс – типа КР-70; механизм передвижения крана (вид) – раздельный; двигатель типа МТВ-41 1-8 мощностью 16 кВт при ПВ=25 %; редуктор – навесной типа ГПШ-500 с передаточным числом 12,64; номинальная скорость передвижения крана 2,07 м/с; диаметр ходового колеса – 0,7 м; контроллер – кулачковый НТ-102.

Экспериментально определены [14] следующие параметры: коэффициент жесткости механизма передвижения, приведенный к перемещению крана $C_{II} = 4800$ кН/м; коэффициент жесткости моста в горизонтальной плоскости в середине пролета $C_M = 6900$ кН/м; величины роторных сопротивлений приводных двигателей при каждом положении контроллера.

При осциллографировании процессов передвижения крана производились следующие опыты:

- разгон крана с грузом 16 т на длине отвеса каната 7,22 м (осциллограмма начального периода приведена на рис. 2);
- «форсированный» разгон крана без груза (рис. 3);
- торможение крана без груза двигателями, работающими в режиме противовключения (рис. 4).

На осциллограммах использовались следующие обозначения: V – скорость передвижения моста крана; i_p – ток ротора одного из двигателей; M_1, M_2 – моменты быстроходного и тихоходного валов одного ЭП; α – угол отклонения каната от вертикали; j_c, j_k – ускорения средин главной и концевой балок. Во всех описанных опытах грузовая тележка находилась в середине пролета.

Анализируя результаты экспериментов, в работе [14] в частности сделаны следующие выводы.

1. Характер изменения ускорений середины пролета обеих главных балок, а также тележки в середине пролета, совершенно одинаков, что позволяет рассматривать в динамике обе главные балки как единую балку удвоенной массы и удвоенного сечения.

2. При разгоне и торможении крана с грузом для динамических процессов нагружения трансмиссии механизма передвижения и металлоконструкции крана характерно наличие, по меньшей мере «трех колебаний существенно различных частот» [14], величины которых для экспериментального крана, соответственно, были равными 0,18; 4,5 и 16 Гц. Эти частоты близки по величине к

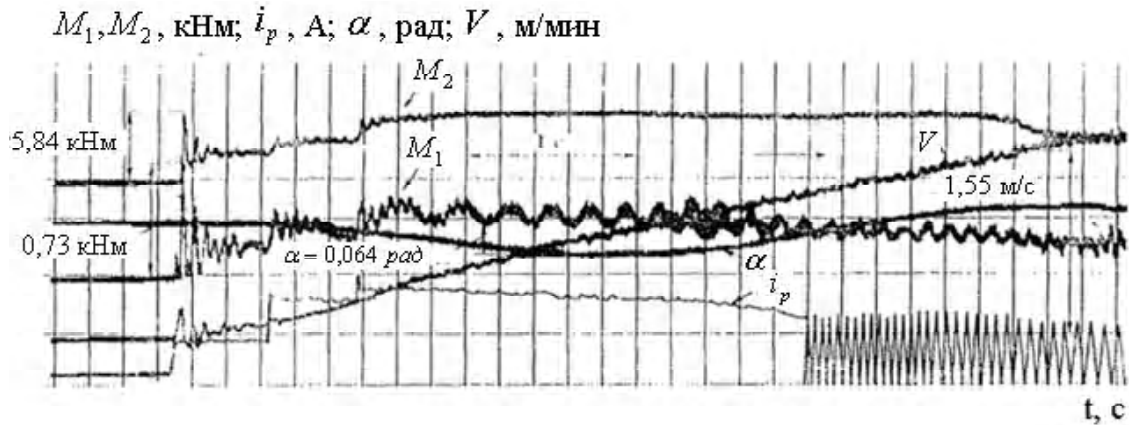


Рис. 2. Осциллограмма начального периода разгона крана

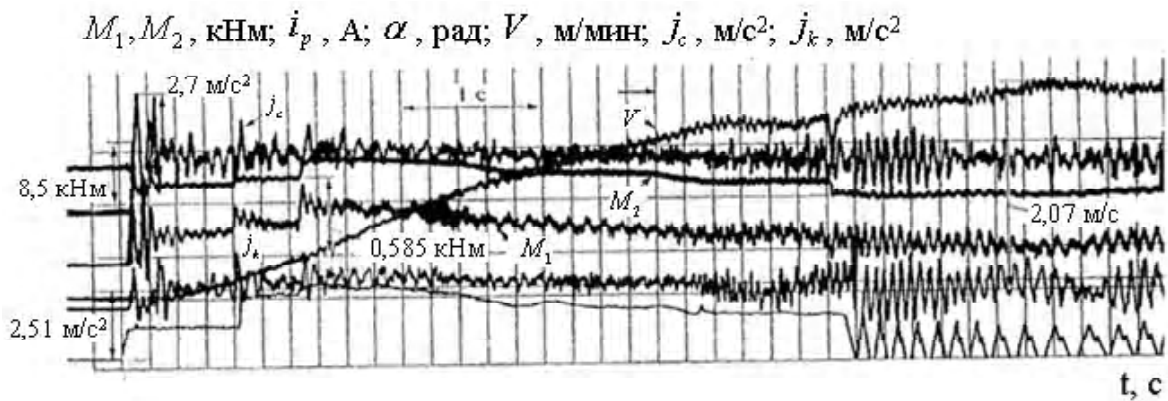


Рис. 3. Осциллограмма форсированного разгона крана без груза

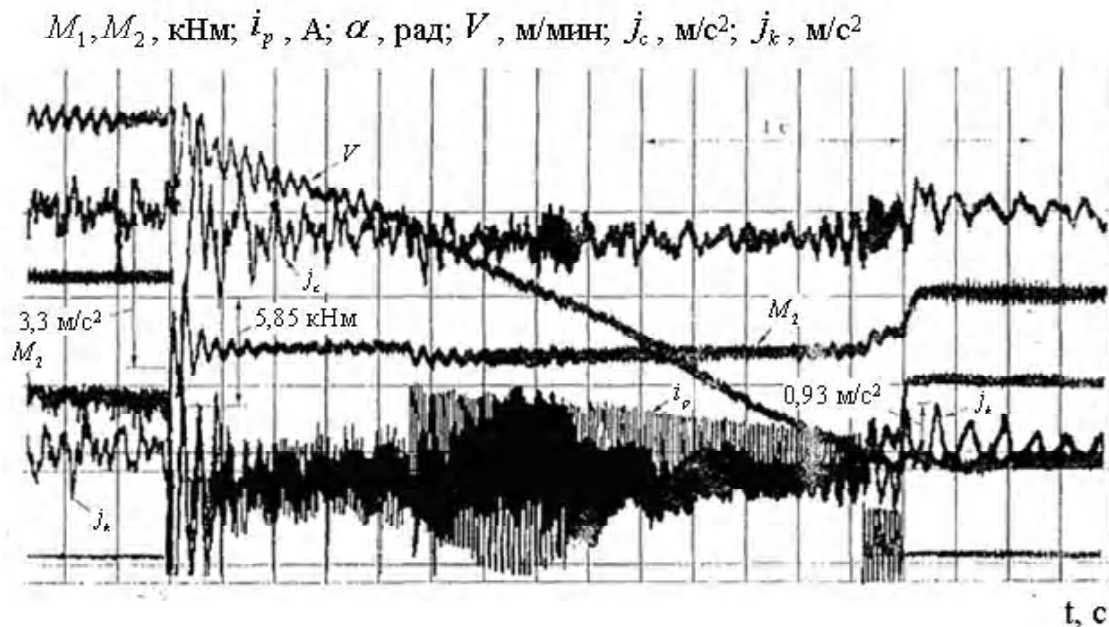


Рис. 4. Осциллограмма торможения двигателями крана без груза

собственным частотам колебаний трех парциальных систем. Самая низкая частота близка к частоте маятниковых колебаний груза на канатах относительно абсолютно жесткого крана. Высшая частота колебаний (16 Гц) примерно равна частоте собственных колебаний механизма

передвижения относительно абсолютно жесткого моста. Средняя частота близка к низкой собственной частоте крановой металлоконструкции. Указанную особенность динамики крановой системы необходимо использовать при обосновании динамических моделей крана.

3. При «форсированном» разгоне (рис. 3) крана (контроллер механизма передвижения переводился из нулевого положения в следующие положения несколько быстрее (примерно вдвое), чем при нормальном пуске) АД механизма передвижения некоторое время работают на неустойчивых участках механических характеристик, в результате чего возникают нестационарные вынужденные колебания с возрастающей амплитудой. При увеличении амплитуд колебаний темп увеличения скорости крана заметно снижается, что объясняется потерей энергии в элементах конструкции.

Экспериментальное исследование крана М15 [14]. Мостовой магнитный кран грузоподъемностью 15 т тяжелого режима работы имеет следующие технические данные: пролет – 28 м; масса крана – 41,3 т; масса тележки – 5,24 т; масса моста с электрооборудованием – 23,7 т; диаметр ходового колеса – 0,71 м. База крана, механизм передвижения крана, подкрановый рельс такие же, как в рассмотренном выше кране грузоподъемностью 20/5т.

Экспериментально определялись следующие параметры: роторные сопротивления приводных двигателей при всех положениях контроллера, углы установки ходовых колес в горизонтальной плоскости, пролет крана по двум парам ходовых колес, пролет рельсового пути. Углы перекоса колес (i – номер колеса) принимались положительными, если колеса повернуты относительно продольной (по направлению движения) оси крана против часовой стрелки. По результатам измерения углы перекоса колес составили: $\beta_1 = -0,003$ рад; $\beta_2 = -0,0038$ рад; $\beta_3 = -0,003$ рад; $\beta_4 = +0,0052$ рад при нормативной величине $\pm(0,002 - 0,003)$ рад. Пролеты крана по передним и задним колесам, соответственно, равны: $L_1 = 27987$ мм и $L_2 = 27997$ мм. На участке испытания крана длиной 35 м величина пролета рельсового пути колебалась от 28000 до 28010 мм. Суммарный зазор между ребордой каждого колеса и рельсом составлял 30 мм.

Записывались осциллограммы полного цикла передвижения крана при его движении «вперед» (приводными колесами сзади) и «назад». Грузовая тележка без груза находилась в среднем положении на мосту. Перед движением «вперед» колеса одной стороны крана поднимались над рельсом с целью разгрузки моста от усилий, возникших в результате предшествующего цикла движения крана. Вследствие этого, все поперечные усилия на ходовые колеса в начале движения «вперед» были равны нулю [14]. Ходовые колеса устанавливались так, чтобы ни одна из реборд всех четырех колес не касалась головок рельсов. Благодаря этому, кран некоторое время двигался без контакта реборд с рельсами, что позволило оценить влияние «внешней статистической неопределенности моста» и его упругих колебаний на формирование поперечных нагрузок, действующих на ходовые колеса во время пуска крана, его торможения и движения с постоянной скоростью. Запись роторных токов проводилась для идентификации механических характеристик электродвигателей.

На всех осциллограммах (рис. 5 и рис. 6) приняты следующие обозначения: F_i ($i = 1,2,3,4$) – поперечные силы, действующие на соответствующие колеса со стороны моста; x_2, x_4 – поперечные смещения второго и четвертого колес, отсчитываемые от положения, при котором зазоры между головкой левого рельса и обеими ребордами колес равны между собой; $i_{пр}, i_{лев}$ – токи роторов, соответственно, правого и левого двигателей; $V_{лев}$ – скорость передвижения крана, определяется по частоте вращения левого двигателя.

На рис. 5 и рис. 6 приведены осциллограммы движения в направлении «вперед» и «назад» крана с тележкой без груза в середине пролета [14].

По результатам проведенного эксперимента можно сделать следующие выводы.

1. Поперечные смещения колес, возникающие вследствие поперечного смещения моста и его вращательного движения в пределах зазоров между ребордами колес и рельсами, происходят сравнительно медленно и достигают предельных значений, как правило, в период «стационарного» движения крана [14]. Свободное движение крана без касания ребордами рельсов осуществлялось не более 3 секунд.

2. При движении крана с постоянной скоростью поперечные силы имеют колебательный нестационарный характер, что можно объяснить [14] наличием поперечных упругих колебаний моста с одновременным поперечным смещением всех колес, нерегулярным изменением вертикальных нагрузок крановых колес, а также возникновением контактных сил, действующих на реборды колес со стороны рельсового пути.

3. В многочисленной серии опытов при интенсивном пуске крана и его торможении «противотоком» и различных положениях тележки в пролете с грузом и без него никогда [14] не наблюдалось поперечного юза холостых колес или пробуксовки приводных колес, а, следовательно, и их юза в поперечном направлении.

РЕЗУЛЬТАТЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭП ПЕРЕДВИЖЕНИЯ МОСТОВОГО КРАНА

В [15] разработаны уточненные математическая и имитационная модели движения в горизонтальной плоскости мостового крана с четырехдвигательным ЭП перемещения, учитывающие упругости приводных валов, упругости главной и концевых балок, углы установочного перекоса колес, динамику взаимодействия цилиндрических двухребордных колес с рельсами.

При построении модели приняты следующие допущения: тележка неподвижна и находится в центре моста, распределенные массы отдельных узлов крана представлены в виде сосредоточенных, проскальзывания между колесами и рельсами отсутствует, подъемные канаты приняты абсолютно жесткими, упрощенно учитывается сопротивление вязкого трения, принимаются абсолютно жесткими колеса, рельсы и подкрановый рельсовый путь.

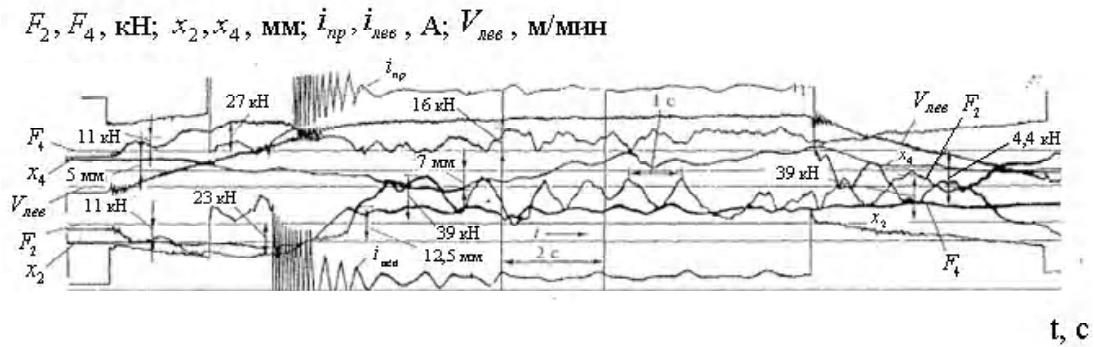


Рис. 5. Осциллограмма движения «вперед» крана с тележкой без груза в середине пролета

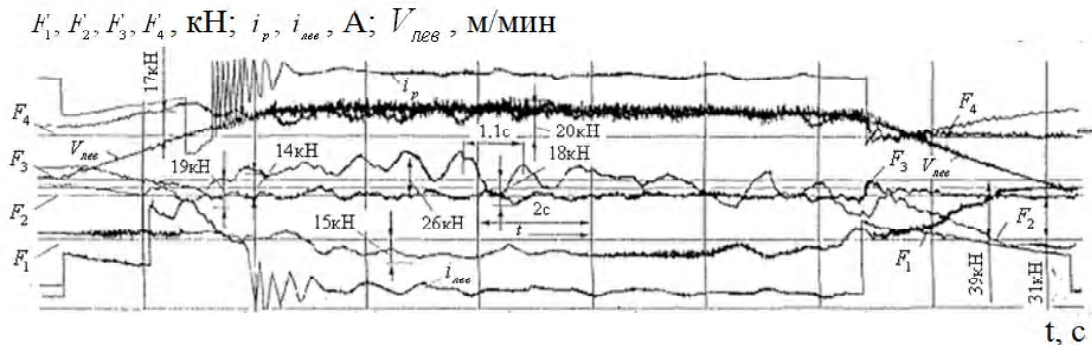


Рис. 6. Осциллограмма движения «назад» крана с тележкой без груза в середине пролета

В математической модели задавались следующие параметры реального мостового крана грузоподъемностью 20/5 т: приведенные массы для правой и левой концевых балок моста – 7,1 т; масса груза – 15 т; приведенные к сосредоточенным массы половины концевых балок моста (вместе с колесами, редукторами и двигателями) – 3,625 т; коэффициент жесткости приводных валов, соединяющих колеса крана и соответствующие двигатели, – $6,9 \cdot 10^6$ Н/м; коэффициенты жесткости, соответственно, правой и левой концевых балок крана – $6,9 \cdot 10^8$ Н/м; момент инерции моста крана при вращении в горизонтальной плоскости вокруг центра масс – $2,21 \cdot 10^6$ кгм²; коэффициент жесткости моста при действии на него в точках установки колес поперечной силы – 24,5 кН/м; жесткости механических характеристик, приведенные к поступательной скорости колеса, – 30 кН/м; коэффициент трения скольжения – 0,018; угол уклона реборды – 0,035 рад; силы сопротивления передвижению соответствующим колесам крана – 1010 Н; длина троса (расстояние между осью барабана и центром массы груза) Н=10 м; расстояния между точками контакта колес с рельсами и, соответственно, правыми и левыми ребордами $\delta_{11} = \delta_{12} = 0,002$ м; $\delta_{21} = \delta_{22} = 0,003$ м; $\delta_{31} = \delta_{32} = 0,004$ м; $\delta_{41} = \delta_{42} = 0,005$ м; углы установочного перекоса ходовых колес $\beta_1 = \beta_4 = 0,001$ рад; $\beta_2 = \beta_3 = -0,001$ рад. Общая масса крана, масса одной приводной части механизма передвижения, масса моста с электрооборудованием, диаметр ходового колеса, пролет, база крана такие же, как в кране 20/5 т, работающем на Московском заводе АЗЛК, описанного выше.

В статье [15] выполнялось моделирование перемещения крана при движении без касания ребордами ходовых колес рельсов и с учетом их контакта с рельсов. Исследовалось движение крана с учетом и без учета упругостей с различными установочными углами перекоса колес.

В модели крана [15] для сравнения параметров режима крана при моделировании и экспериментах (рис. 2) выполнены следующие изменения: движущие моменты создавались двумя (а не четырьмя) электродвигателями (по одному на каждой стороне моста); электромагнитные моменты двигателей соответствовали многоступенчатому реостатному пуску АД с фазным ротором; тележка с грузом 15 т находилась в середине пролета.

Из экспериментальных данных (рис. 2) видно, что моменты быстроходного и тихоходного валов одного ЭП за 0,2 с совершают три колебания (период колебаний около 0,07 с). Средние значения момента быстроходного вала изменялись ступенчато и составляли 2,8 кН, в первые 0,45 с, 3,4 кН в следующие 0,45 с и далее достигали максимального значения равного 5,8 кН.

Согласно результатам моделирования (рис. 7) момент быстроходного вала первого колеса совершает четыре колебания за 0,4 с (период колебаний около 0,1 с). Значение момента быстроходного вала изменяется также ступенчато, при этом средние значения момента составляют 2,85 кН, в первые 0,45 с, 3,25 кН в следующие 0,45 с и момент достигает максимума 4,05 кН.

Исходя из рис. 2, время разгона крана до скорости $V = 1,55$ м/с составляет 5 с. А согласно рис. 7, кран разгоняется за 5 с до скорости 1,45 м/с, что объясняется задани-

ем в модели меньших значений моментов быстроходного вала (соответственно 4,05 кН по сравнению с 5,8 кН).

Преимуществом математического моделирования является возможность исследовать изменения сложных или не возможных для измерения параметров, например, сил и поперечных перемещений колес (рис. 8 и рис. 9). Согласно этим графикам, при передвижении моста без использования общей системы управления (СУ) возрастают поперечные силы, действующие на поперечные перемещения колес (рис. 8), и возникают поперечные смещения колес, приводящие к наезду на рельс реборды колеса (перемещение x_1 первого колеса, рис. 9). Подобные явления происходят и при движении реального крана.

Для снижения поперечных перемещений колес в работах [16] и [17] исследовалось перемещение моста с общими СУ и датчиками поперечного перемещения колес. На рис. 10 даны результаты моделирования перемещения мостового крана с общей релейной СУ [16], а на рис. 11 – с многокритериальной СУ [17]. Учет в СУ [17] сложной кинематики крана и управления четырьмя

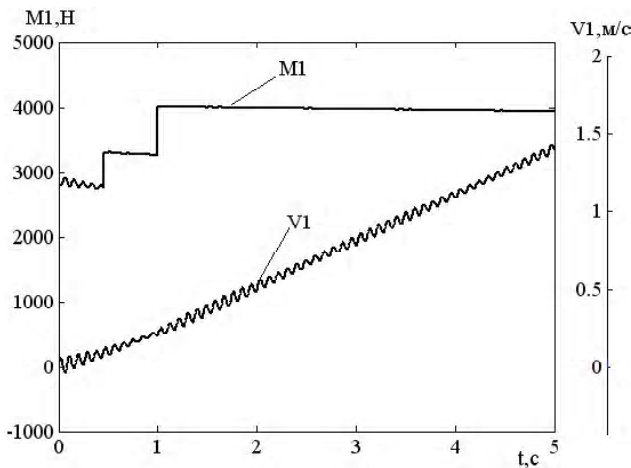


Рис. 7. Результаты моделирования разгона мостового крана

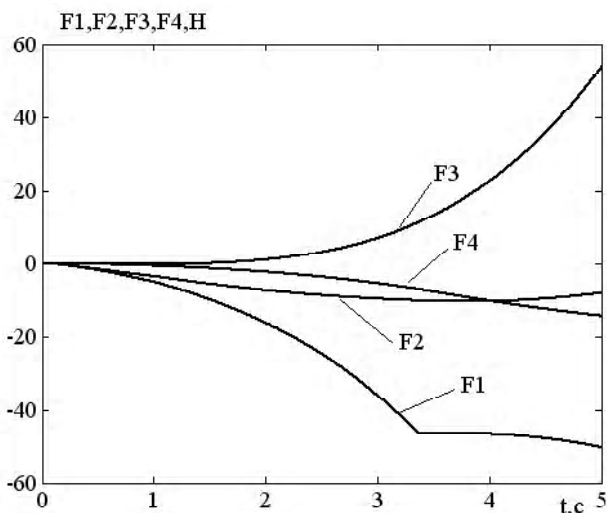


Рис. 8. Изменения поперечных упругих сил при моделировании движения крана

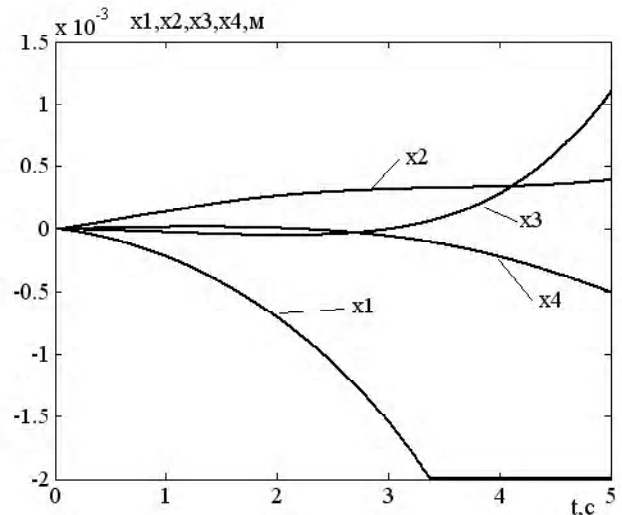


Рис. 9. Изменения поперечных смещений центров колес от средней линии рельса при моделировании движения крана

колесами обеспечил перемещения моста без взаимодействия реборд колес с рельсами.

В математической модели четырехдвигательного асинхронного ЭП передвижения мостового крана [16] были приняты следующие допущения: тележка неподвижна и находится в центре моста; масса крана представлена в виде сосредоточенной, размещенной в центре моста; проскальзывание между колесом и рельсом отсутствует; раскачивание груза не рассматривается; мост, рельсы и подкрановый рельсовый путь принимаются абсолютно жесткими; характеристики всех АД и векторных СУ приняты одинаковыми; асинхронные ЭП с векторными СУ представлены в модели с идеализированными двигателями и преобразователями частоты с автономными инверторами напряжения с широтно-импульсной модуляцией, задаваемых в виде постоянных значений намагничивающих проекций статорного тока и линеаризованных передаточных функций замкнутых контуров регулирования активных проекций статорных токов и частот вращения двигателей; в СУ использовался задатчик интенсивности, обеспечивающий плавный разгон.

Согласно моделированию (рис. 10, б и рис. 11), максимальные значения поперечных смещений центров колес находятся в пределах 15 мм, что обеспечивает движение крана без касания ребордами рельсов.

ВЫВОДЫ

1. Анализ известных в литературе экспериментальных исследований передвижения мостовых кранов показал, что из-за наличия упругости конструкции крана при его движении возникают несколько видов колебаний. Самая низкая частота (0,18 Гц) близка к частоте маятниковых колебаний груза. Высшая частота (16 Гц) примерно равна частоте собственных колебаний механизма передвижения. Средняя частота (4,5 Гц) близка к низкой собственной частоте крановой металлоконструкции.

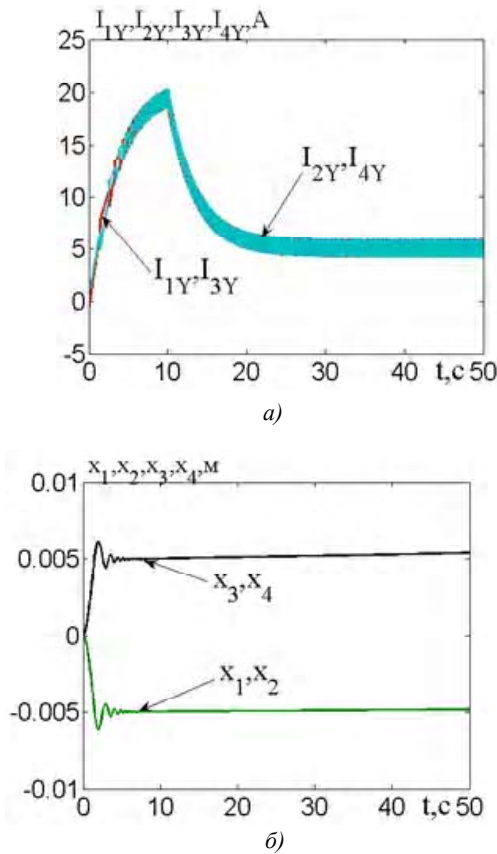


Рис. 10. Результаты моделирования движения крана с общей релейной СУ [16]; а – активные составляющие токов двигателей; б – поперечные смещения центров соответствующих колес от средней линии рельса

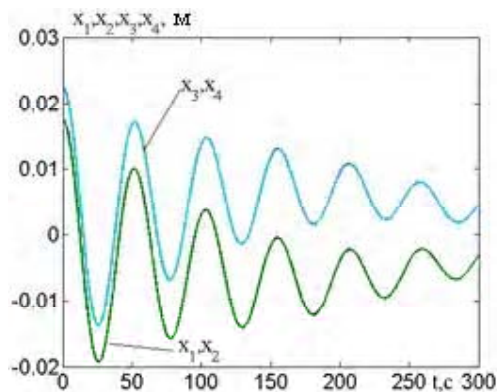


Рис. 11. Поперечные смещения центров колес от средней линии рельса при моделировании движения крана с многокритериальной СУ, согласно [17]

2. Учет упругости в математической модели позволяет получить близкие к экспериментальным результаты моделирования. Период колебаний моментов двигателей и скорости крана отличалась на 30 %. Скорость реального крана через 5 с разгона составляла 1,55 м/с, в модели – 1,45 с, отличие скоростей не превышало 7 %.

3. Как показало моделирование, использование в общей СУ датчиков поперечного перемещения колёс и

управление всеми четырьмя колесами моста позволяет обеспечить движение крана без касания ребордами колес рельсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко Л. Н. Параметры привода передвижения мостового крана в период пуска с учетом трения качения колеса по рельсу / Л. Н. Бондаренко, С. В. Ракша // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – 2006. – № 10. – С. 29–31.
2. Здрозис К. П. Колебания двухмассовой электромеханической системы подъемного механизма / К. П. Здрозис // Електромашинобудування та електрообладнання. – 2004. – Вип. 62. – С. 49–52.
3. Осичев А. В. Подавление упругих колебаний в электроприводе подъема мостового крана с учетом прогиба моста и деформации грузовых канатов / А. В. Осичев, О. В. Королева // Вестник Национально технического университета «Харьковский политехнический институт»: сб. научн. трудов. Тематический выпуск: Проблемы автоматизированного электропривода: теория и практика. – Харьков, 2008. – № 30. – С. 190–194. (Серия Электротехника, электроника и электропривод).
4. Поликарпов Ю. В. Кинематика движения многоколесных ходовых тележек грузоподъемных кранов / Ю. В. Поликарпов // Подъемно-транспортная техника. – 2005. – № 1. – С. 88–95.
5. Спицына Д. Н. Исследование боковых сил, действующих на многоколесные мостовые краны / Д. Н. Спицына // Вестник машиностроения. – 2003. – № 3. – С. 3–9.
6. Лобов Н. А. Динамика грузоподъемных кранов / Н. А. Лобов. – М.: Машиностроение, 1987. – 160 с.
7. Герасимьяк Р. П. Анализ и синтез крановых электромеханических систем / Р. П. Герасимьяк, В. А. Лещев. – Одесса: СМІЛ, 2008. – 198 с.
8. Герасимьяк Р. П. Динамика асинхронных электроприводов крановых механизмов / Р. П. Герасимьяк. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 168 с.
9. Герасимьяк Р. П. Оптимальные системы автоматического управления электроприводов для студентов специальности 7.092203 / Р. П. Герасимьяк. – Одесса: ОГПУ, 1998. – 72 с.
10. Герасимьяк Р. П. Тиристорный электропривод для кранов / Р. П. Герасимьяк. – М.: Энергия, 1978. – 112 с.
11. Герасимьяк Р. П. Управление асинхронным электроприводом механизмов поворота, обеспечивающие снижение динамических нагрузок / Р. П. Герасимьяк, Е. В. Найденко // Вестник Национально технического университета «Харьковский политехнический институт»: сб. научн. трудов. Тематический выпуск: Проблемы автоматизированного электропривода: теория и практика. – Харьков, 2008. – № 30. – С. 111–112. (Серия Электротехника, электроника и электропривод).

12. Герасимьяк Р. П. Электромеханическая система подъемных механизмов с замкнутым асинхронным электроприводом / Р. П. Герасимьяк, В. Х. Нгуен, В. А. Лещев // Вестник Национально технического университета «Харьковский политехнический институт»: сб. научн. трудов. Тематический выпуск : Проблемы автоматизированного электропривода : теория и практика. – Харьков, 2008. – № 30. – С. 326–328. (Серия Электротехника, электроника и электропривод).
13. Герасимьяк Р. П. Электроприводы крановых механизмов (системы электропривода и методы расчета) / Р. П. Герасимьяк, В. А. Параил. – М. : Энергия, 1970. – 136 с.
14. Лобов Н. А. Разработка основ динамики передвижения кранов по рельсовому пути и методов повышения ресурса работы крановой системы [Электронный ресурс] : дис. ... д-ра техн. наук : 05.05.04. – М. : РГБ, 2007. – 294 с. (Из фондов Российской Государственной Библиотеки).
15. Орловский И. А. Уточненные математическая и имитационная модели электропривода перемещения мостового крана / И. А. Орловский, Ю. С. Бут // Электротехника та електроенергетика. – 2007. – № 2. – С. 39–51.
16. Орловский И. А. Математическая модель связанного электропривода перемещения мостового крана с общей системой управления / И. А. Орловский, Ю. С. Бут // Вісник Кременчуцького державного політехнічного ун-та ім. М. Остроградського. – Кременчук, 2008. – Вип. 4 (51). Ч.1. – С. 145–149.
17. Орловский И. А. Управление взаимосвязанным асинхронным электроприводом мостового крана для перемещения моста без взаимодействия реборд колес с рельсами / И. А. Орловский, Ю. С. Бут // Радіоелектроніка, інформатика. управління – 2009. – № 2. – С. 144–151.

Стаття надійшла до редакції 24.12.2012.
Після доробки 28.12.2012.

Швед Ю. С.¹, Орловський І. А.²

¹Ст. лаборант, Запорізький національний технічний університет, Україна

²Д-р техн. наук, професор, Запорізький національний технічний університет, Україна

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПЕРЕСУВАННЯ МОСТОВОГО КРАНА

Виконано аналіз експериментальних досліджень процесів в електроприводах пересування мостових кранів вантажопідйомністю 15 і 20 тонн. Отримані близькі до експериментальних даних параметри режиму електроприводу мостового крана при математичному моделюванні. Показана методом математичного моделювання можливість рух мостового крана без торкання ребордами коліс рейок.

Ключові слова: мостовий кран, математична модель, електропривод, експериментальні дослідження.

Swed Y. S.¹, Orlovskiy I. A.²

¹Senior Laboratory, Zaporozhye National Technical University, Ukraine

²Professor, Doctor of Technical Sciences, Zaporozhye National Technical University, Ukraine

EXPERIMENTAL RESEARCHES AND MATHEMATICAL MODELING OF ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE OF BRIDGE CRANE MOVEMENT

The analysis of experimental researches of processes in electric drives movement of bridge cranes 15 and 20 tons is executed. It showed the presence of the crane structure elasticity when it moves. There are several types of oscillation. The lowest frequency (0,18 Hz) is close to the frequency of the pendulum oscillation of cargo. The highest frequency (16 Hz) is approximately equal to the natural frequency of the movement mechanism. Mid-frequency (4,5 Hz) is close to the lowest natural frequency of the metal crane construction. The comparison of experimental data results of mode crane parameters with mathematical modeling is presented. It is close to the experimental data parameters of electric drive of bridge crane in mathematical modeling. Calculation of elasticity in mathematical model allows to get closer to the experimental data of the simulation results. The oscillation period of motor torque and speed of the crane differed by 30 %, the difference between the velocity after 5 seconds ramp does not exceed 7 %. The possibility of bridge crane movement without wheel flange rails touching is shown by mathematical modeling.

Keywords: bridge crane, mathematical model, electric drive, control system, experimental researches.

REFERENCES

1. Bondarenko L. N., Raksha S. V. Parametryi privoda peredvizheniya mostovogo kрана v period puska s uchetom treniya kacheniya koleasa po relsu, *Vіsник DnIpropetrovskogo natsionalnogo unIversitetu t zallznichnogo transportu Im. akad. V.Lazaryana*, 2006, No. 10, pp. 29–31.
2. Zdrozis K. P. Kolebaniya dvuhmassovoy elektromehanicheskoy sistemyi pod'emnogo mehanizma, *Elektromashinobuduvannya ta elektroobladnannya*, 2004, Vip. 62, pp. 49–52.
3. Osichev A. V., Koroleva O. V. Podavlenie uprugih kolebanii v elektroprivode pod'ema mostovogo kрана s uchetom progiba mosta i deformatsii gruzovyih kanatov, *Vestnik Natsionalno tehničeskogo universiteta «Harkovskiy politehničeskij institut» : sb. nauchn. trudov. Tematičeskij vyipusk : Problemyi avtomatizirovannogo elektroprivoda : teoriya i*

- praktika*. Harkov, 2008, No. 30, pp. 190–194. (Seriya Elektrotehnika, elektronika i elektroprivod).
4. Polikarpov Yu. V. Kinematika dvizheniya mnogokolesnykh hodovykh telezhek gruzopod'emnykh kranov, *Pod'emno-transportnaya tekhnika*, 2005, No. 1, pp. 88–95.
 5. Spitsyina D. N. Issledovanie bokovykh sil, deystvuyuschikh na mnogokolesnyye mostovyye krany, *Vestnik mashinostroeniya*, 2003, No. 3, pp. 3–9.
 6. Lobov N. A. Dinamika gruzopod'emnykh kranov. Moscow, Mashinostroenie, 1987, 160 p.
 7. Gerasimyak R. P., Leshev V. A. Analiz i sintez kranovykh elektromekhanicheskikh sistem. Odessa, SMIL, 2008, 198 p.
 8. Gerasimyak R. P. Dinamika asinhronnykh elektroprivodov kranovykh mekhanizmov. Moscow, Energoatomizdat, 1986, 168 p.
 9. Gerasimyak R. P. Optimalnyye sistemy avtomaticheskogo upravleniya elektroprivodov dlya studentov spetsialnosti 7.092203. Odessa, OGPU, 1998, 72 p.
 10. Gerasimyak R. P. Tiristornyiy elektroprivod dlya kranov. Moscow, Energiya, 1978, 112 p.
 11. Gerasimyak R. P., Naydenko E. V. Upravlenie asinhronnyim elektroprivodom mekhanizmov povorota, obespechivayushchie snizhenie dinamicheskikh nagruzok, *Vestnik Natsionalno tekhnicheskogo universiteta «Harkovskiy politekhnicheskii institut» : sb. nauchn. trudov. Tematicheskii vyipusk : Problemy avtomatizirovannogo elektroprivoda : teoriya i praktika*. Harkov, 2008, No. 30, pp. 111–112. (Seriya Elektrotehnika, elektronika i elektroprivod).
 12. Gerasimyak R. P., Nguen V. H., Leshev V. A. Elektromekhanicheskaya sistema pod'emnykh mekhanizmov s zamknutyim asinhronnyim elektroprivodom, *Vestnik Natsionalno tekhnicheskogo universiteta «Harkovskiy politekhnicheskii institut» : sb. nauchn. trudov. Tematicheskii vyipusk : Problemy avtomatizirovannogo elektroprivoda : teoriya i praktika*. Harkov, 2008, No. 30, pp. 326–328. (Seriya Elektrotehnika, elektronika i elektroprivod).
 13. Gerasimyak R. P., Parail V. A. Elektroprivody kranovykh mekhanizmov (sistemy elektroprivoda i metody rascheta). Moscow, Energiya, 1970, 136 p.
 14. Lobov N. A. Razrabotka osnov dinamiki peredvizheniya kranov po relsovomu puti i metodov povyisheniya resursa raboty kranovoy sistemy [Elektronnyy resurs]: dis. ... d-ra tehn. nauk : 05.05.04, Moscow, RGB, 2007, 294 p. (Iz fondov Rossiyskoy Gosudarstvennoy Biblioteki).
 15. Orlovskiy I. A., But Yu. S. Utochnennyye matematicheskaya i imitatsionnaya modeli elektroprivoda peremescheniya mostovogo krana, *Elektrotehnika ta elektroenergetika*, 2007, No. 2, pp. 39–51.
 16. Orlovskiy I. A., But Yu. S. Matematicheskaya model vzaimosvyazannogo elektroprivoda peremescheniya mostovogo krana s obschey sistemoy upravleniya, *VIsnik Kremenchutskogo derzhavnogo politekhnicheskogo un-ta Im. M. Ostrogradskogo*. Kremenchuk, 2008, Vip. 4 (51), Ch.1, pp. 145–149.
 17. Orlovskiy I. A., But Yu. S. Upravlenie vzaimosvyazannyim asinhronnyim elektroprivodom mostovogo krana dlya peremescheniya mosta bez vzaimodeystviya rebord koles s relsami, *Radioelektronika, Informatika, Upravlnnya*, 2009, No. 2, pp. 144–151.

УДК 621.31

Бондаренко Є. А.

Канд. техн. наук, доцент, Вінницький національний технічний університет, Україна, E-mail: evgeniy.bon@gmail.com

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ДОПУСТИМИХ РІВНІВ НАПРУГ ДОТИКУ ТА СТРУМІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ

Запропоновано концепцію електробезпеки та методику розрахунку гранично допустимих величин напруг дотику та струмів з урахуванням енергії, яка поглинається тілом людини. Наведено окремий приклад розрахунку граничних напруг дотику та струмів через тіло людини при роботі на конкретній установці з високим вихідним опором.

Ключові слова: електрична енергія, електробезпека, граничні значення струмів, граничні значення напруг дотику, електроустановка, ризик.

ВСТУП

За оцінками Міжнародного бюро праці щорічно нещасні випадки на виробництві і професійні захворювання забирають життя приблизно 2 млн. чоловік і обходять-

ся глобальній економіці в 1,25 трлн. доларів США. Статистичні дані Міжнародної Організації Праці (МОП) свідчать, що 4% світового валового продукту недоодержують внаслідок нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань [1].