

4. Заець, Н.А. Використання генетичного алгоритму для вирішення оптимізаційних задач в електротехніці / Н.А. Заець, В.М. Штепа // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К.: НУБіПУ. – 2011. – Вип. 166. – Частина 4. – С. 157–164.
5. Трунова, Н.А. Очистка сточных вод и их повторное использование хлопчатобумажной промышленности: диссертация / Н.А. Трунова. – М.: МИСИ, 1984. – 48 с.
6. Штепа, В.М. Обґрунтування алгоритму експериментально-аналітичних досліджень режимів електротехнічної очистки стічних вод агропромислових об'єктів з метою побудови енергоефективних систем управління / В.М. Штепа // Энергетика і автоматика [Электронный ресурс]. – 2012 № 1(11). – Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/eia_2014_2_10.pdf. – Дата доступа: 10.09.2015.
7. Штепа, В.Н. Нейросетевой блок поддержки адаптивного управления комбинированными системами водоочистки / В.Н. Штепа // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого: научно-практ. журнал. – 2015. – № 4. – С. 37–43.
8. Штепа, В.Н. Концептуальные основы энергоэффективной системы управления комбинированными системами водоочистки / В.Н. Штепа // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика: научно-технический журнал. – 2016. – № 5. – С. 479–487. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://energy.bntu.by/jour/article/view/1032>, свободный. – Дата обращения: 6.10.2016.
9. Штепа, В.Н. Повышение качества водоочистки средствами автоматизации в условиях чрезвычайных ситуаций природного происхождения / В.Н. Штепа, О.Н. Прокопеня, Р.Е. Кот // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Водохозяйственное строительство, теплотехника и геоэкология: научно-теоретический журнал. – 2016. – № 2 (98) – С. 61–64. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bstu.by/uploads/vestnik/16-2.pdf>, свободный. – Дата обращения: 06.10.2016.
10. Микропроцессорная система дозирования реагентов на основе нечёткой логики / В.Н. Штепа, О.Н. Прокопеня, Р.Е. Кот, В.М. Пуха // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2015. – № 4 (94): Серия: Машиностроение: научно-теоретич. журнал. – С. 61–64.

Материал поступил в редакцию 05.12.2016

SHTEPA V.N. PROKOPENYA O.N., KOT R.Y., MORGOL A.V., ZAYETS N.A. Specialities of design of equipment and control systems for industrial wastewater treatment in enterprises of the light industry

The paper evaluated the light industry enterprises in terms of the use of water resources for the production and the spillway and analyzed multicomponent composition of wastewater. The problem of effective water treatment, taking into account worst-case situations, blurring the input information, nonlinear and nonstationary changes in process parameters is substantiated. Production test appreciated the opportunity to use the equipment with the implemented internal bypass circuit and a combination of mechanical, biological and physico-chemical methods for removing contaminants. It justifies the use of the concept of the dynamic dominant pollutant (DDP) to optimize hardware and components; an adaptive estimator DDP based on genetic algorithm is synthesized and tested. The basic architecture of sewage treatment hardware for light industry enterprises with the ability to re-use wastewater for industrial purposes, and taking into account the possibility of action of emergency situations, is submitted.

УДК 693.546

Ловейкин В.С., Почка К.И.

СИНТЕЗ КУЛАЧКОВОГО ПРИВОДНОГО МЕХАНИЗМА РОЛИКОВОЙ ФОРМОВОЧНОЙ УСТАНОВКИ С ОПТИМАЛЬНЫМ РЕЖИМОМ ДВИЖЕНИЯ ПО УСКОРЕНИЮ ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА

Введение. В существующих установках поверхностного уплотнения железобетонных изделий используется кривошипно-ползунный или гидравлический привод возвратно-поступательного движения формовочной тележки с уплотняющими роликами [1–3]. Во время постоянных пускотормозных режимов движения возникают значительные динамические нагрузки в элементах приводного механизма и в элементах формовочной тележки, которые могут привести к преждевременному выходу установки из рабочего состояния.

В существующих теоретических и экспериментальных исследованиях машин роликового формования железобетонных изделий обосновано их конструктивные параметры и продуктивность [1–3]. Вместе с тем недостаточно внимания уделено исследованию действующим динамическим нагрузкам и режимам движения [4], что в значительной мере влияет на работу установки и на качество готовой продукции.

Цель работы состоит в усовершенствовании конструкции приводного механизма роликовой формовочной установки для повышения её надёжности и долговечности.

Критериями режима движения механизмов и машин могут быть коэффициенты неравномерности движения и динамичности [5].

Ловейкин Вячеслав Сергеевич, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой конструирования машин и оборудования Национального университета биоресурсов и природопользования Украины.

Украина, 03041, г. Киев, ул. Героев Оборонь, 12.

Почка Константин Иванович, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой основ профессионального обучения Киевского национального университета строительства и архитектуры, e-mail: Shanovniy@ukr.net.

Украина, 03037, г. Киев, проспект Воздухофлотский, 31.

В данной работе в качестве критерия режима движения использовано критериальное действие, являющее собой интеграл по времени с подынтегральной функцией, которая выражает меру движения либо действие системы. Для оптимального режима движения по ускорению третьего порядка критерий оптимальности движения будем иметь в виде:

$$I_z = \int_0^{t_1} Z dt \rightarrow \min, \quad (1)$$

где t – время; t_1 – продолжительность движения тележки от одного крайнего положения в другое; Z – энергия ускорений третьего порядка:

$$Z = \frac{1}{2} \cdot m \cdot x^{IV}, \quad (2)$$

где m – масса формовочной тележки; x^{IV} – ускорение третьего порядка.

Условием минимума критерия (1) есть уравнение Пуассона:

$$\frac{\partial Z}{\partial x} - \frac{d}{dt} \frac{\partial Z}{\partial \dot{x}} + \frac{d^2}{dt^2} \frac{\partial Z}{\partial \ddot{x}} - \frac{d^3}{dt^3} \frac{\partial Z}{\partial \ddot{\ddot{x}}} + \frac{d^4}{dt^4} \frac{\partial Z}{\partial x^{IV}} = 0, \quad (3)$$

где $x, \dot{x}, \ddot{x}, \ddot{\ddot{x}}$ – координата перемещения, скорость, ускорение и рывок тележки.

Из выражения (3) можно записать:

$$\frac{\partial Z}{\partial x} = \frac{\partial Z}{\partial \dot{x}} = \frac{\partial Z}{\partial \ddot{x}} = \frac{\partial Z}{\partial \ddot{\ddot{x}}} = 0; \quad \frac{\partial Z}{\partial x} = m \cdot x^{IV};$$

$$\frac{d^4}{dt^4} \frac{\partial Z}{\partial x} = m \cdot x^{VIII} = 0. \quad (4)$$

Из последнего уравнения (4) получаем дифференциальное уравнение и его решения:

$$x = 0; \quad \dot{x} = C_1; \quad \ddot{x} = C_1 \cdot t + C_2; \quad \ddot{\ddot{x}} = \frac{1}{2} \cdot C_1 \cdot t^2 + C_2 \cdot t + C_3;$$

$$\dot{x} = \frac{1}{6} \cdot C_1 \cdot t^3 + \frac{1}{2} \cdot C_2 \cdot t^2 + C_3 \cdot t + C_4;$$

$$\ddot{x} = \frac{1}{24} \cdot C_1 \cdot t^4 + \frac{1}{6} \cdot C_2 \cdot t^3 + \frac{1}{2} \cdot C_3 \cdot t^2 + C_4 \cdot t + C_5; \quad (5)$$

$$\ddot{\ddot{x}} = \frac{1}{120} \cdot C_1 \cdot t^5 + \frac{1}{24} \cdot C_2 \cdot t^4 + \frac{1}{6} \cdot C_3 \cdot t^3 + \frac{1}{2} \cdot C_4 \cdot t^2 + C_5 \cdot t + C_6;$$

$$\dot{x} = \frac{1}{720} \cdot C_1 \cdot t^6 + \frac{1}{120} \cdot C_2 \cdot t^5 + \frac{1}{24} \cdot C_3 \cdot t^4 +$$

$$+ \frac{1}{6} \cdot C_4 \cdot t^3 + \frac{1}{2} \cdot C_5 \cdot t^2 + C_6 \cdot t + C_7;$$

$$x = \frac{1}{5040} \cdot C_1 \cdot t^7 + \frac{1}{720} \cdot C_2 \cdot t^6 + \frac{1}{120} \cdot C_3 \cdot t^5 + \frac{1}{24} \cdot C_4 \cdot t^4 +$$

$$+ \frac{1}{6} \cdot C_5 \cdot t^3 + \frac{1}{2} \cdot C_6 \cdot t^2 + C_7 \cdot t + C_8,$$

где $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7, C_8$ – постоянные интегрирования, которые определяются из граничных условий.

Граничные условия движения тележки от одного крайнего положения в другое следующие: начальные – $t = 0, x = x_0, \dot{x} = 0, \ddot{x} = 0, \ddot{\ddot{x}} = 0$; конечные – $t = t_1, x = x_1, \dot{x} = 0, \ddot{x} = 0, \ddot{\ddot{x}} = 0$. Здесь x_0 и x_1 – координаты крайних положений центра масс тележки. Подставив граничные условия в уравнения (5), получаем:

$$t = 0: \quad C_8 = x_0; \quad C_7 = 0; \quad C_6 = 0; \quad C_5 = 0; \quad (6)$$

$$t = t_1: \quad \begin{cases} \frac{1}{5040} \cdot C_1 \cdot t_1^7 + \frac{1}{720} \cdot C_2 \cdot t_1^6 + \frac{1}{120} \cdot C_3 \cdot t_1^5 + \\ + \frac{1}{24} \cdot C_4 \cdot t_1^4 + x_0 = x_1; \\ \frac{1}{720} \cdot C_1 \cdot t_1^6 + \frac{1}{120} \cdot C_2 \cdot t_1^5 + \frac{1}{24} \cdot C_3 \cdot t_1^4 + \frac{1}{6} \cdot C_4 \cdot t_1^3 = 0; (7) \\ \frac{1}{120} \cdot C_1 \cdot t_1^5 + \frac{1}{24} \cdot C_2 \cdot t_1^4 + \frac{1}{6} \cdot C_3 \cdot t_1^3 + \frac{1}{2} \cdot C_4 \cdot t_1^2 = 0; \\ \frac{1}{24} \cdot C_1 \cdot t_1^4 + \frac{1}{6} \cdot C_2 \cdot t_1^3 + \frac{1}{2} \cdot C_3 \cdot t_1^2 + C_4 \cdot t_1 = 0. \end{cases}$$

Решив систему уравнений (7), получаем постоянные интегрирования C_1, C_2, C_3 и C_4 :

$$C_1 = -100800 \cdot \frac{(x_1 - x_0)}{t_1^7}; \quad C_2 = 50400 \cdot \frac{(x_1 - x_0)}{t_1^6};$$

$$C_3 = -10080 \cdot \frac{(x_1 - x_0)}{t_1^5}; \quad C_4 = 840 \cdot \frac{(x_1 - x_0)}{t_1^4}. \quad (8)$$

Подставив определенные постоянные интегрирования (6) и (8) в уравнения (5), получаем выражения для определения кинематических характеристик формовочной тележки при перемещении от одного крайнего положения к другому при оптимальном режиме возвратно-поступательного движения по ускорению третьего порядка:

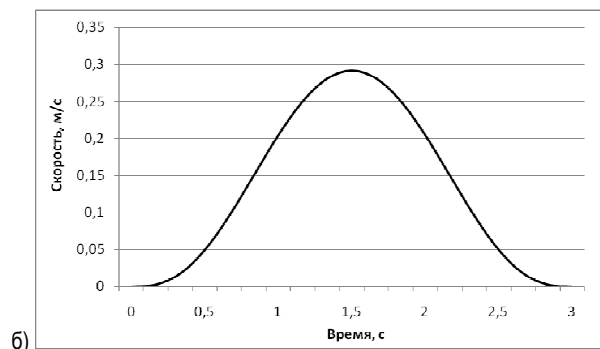
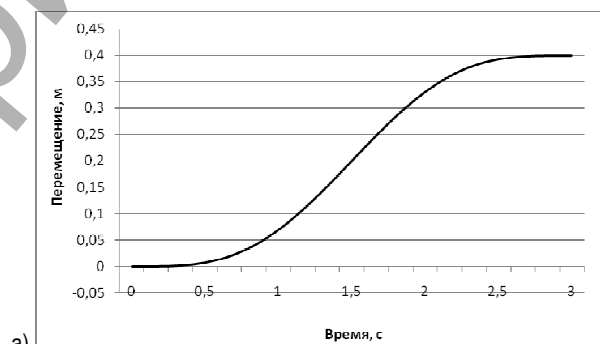
$$x = x_0 + (x_1 - x_0) \cdot \left(35 - 84 \cdot \frac{t}{t_1} + 70 \cdot \frac{t^2}{t_1^2} - 20 \cdot \frac{t^3}{t_1^3} \right) \cdot \frac{t^4}{t_1^4};$$

$$\dot{x} = 140 \cdot (x_1 - x_0) \cdot \left(1 - 3 \cdot \frac{t}{t_1} + 3 \cdot \frac{t^2}{t_1^2} - \frac{t^3}{t_1^3} \right) \cdot \frac{t^3}{t_1^3};$$

$$\ddot{x} = 420 \cdot (x_1 - x_0) \cdot \left(1 - 4 \cdot \frac{t}{t_1} + 5 \cdot \frac{t^2}{t_1^2} - 2 \cdot \frac{t^3}{t_1^3} \right) \cdot \frac{t^2}{t_1^2}; \quad (9)$$

$$\ddot{\ddot{x}} = 840 \cdot (x_1 - x_0) \cdot \left(1 - 6 \cdot \frac{t}{t_1} + 10 \cdot \frac{t^2}{t_1^2} - 5 \cdot \frac{t^3}{t_1^3} \right) \cdot \frac{t}{t_1};$$

Приняв амплитуду перемещения формовочной тележки $\Delta x = x_1 - x_0 = 0,4$ м и продолжительность движения формовочной тележки от одного крайнего положения до другого $t_1 = 3$ с, по уравнениям (9) были рассчитаны кинематические характеристики формовочной тележки при оптимальном режиме возвратно-поступательного движения по ускорению третьего порядка. По результатам вычислений построены графики оптимального режима по ускорению третьего порядка изменения перемещения (рис. 1, а), скорости (рис. 1, б), ускорения (рис. 1, в) и рывка (рис. 1, г) при движении формовочной тележки из одного крайнего положения в другое.



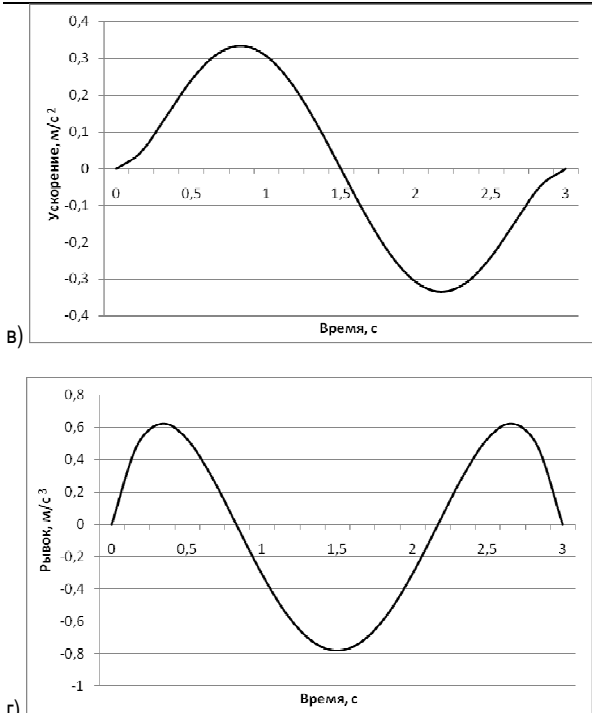


Рисунок 1 – Графики изменения перемещения – а, скорости – б, ускорения – в и рывка – г при оптимальном режиме движения тележки по ускорению третьего порядка

Преобразуя первое выражение (9) для случая, когда начало координат отсчитывается от среднего положения его перемещения, получим:

$$x = \frac{\Delta x}{2} \cdot \left[2 \cdot \left(35 - 84 \cdot \frac{t}{t_1} + 70 \cdot \frac{t^2}{t_1^2} - 20 \cdot \frac{t^3}{t_1^3} \right) \cdot \frac{t^4}{t_1^4} - 1 \right]. \quad (10)$$

Закон движения тележки, описанный уравнением (10), может быть осуществлён приводом с кулачковым механизмом (рис. 2) возвратно-поступательного движения тележки. При этом движение тележки в одном направлении осуществляется за счёт поворота кулачка 1 на половину оборота (то есть $\varphi = \pi$) и в возвратном направлении ещё на половину оборота; полный цикл движения тележки – за один оборот кулачка. Для осуществления описанного закона движения тележки необходимо, чтобы приращение радиуса кулачка соответствовало приращению перемещению тележки. Согласно этому переменный радиус кулачка определяется зависимостью:

$$\rho = \frac{b}{2} + \frac{\Delta x}{2} \cdot \left[2 \cdot \left(35 - 84 \cdot \frac{t}{t_1} + 70 \cdot \frac{t^2}{t_1^2} - 20 \cdot \frac{t^3}{t_1^3} \right) \cdot \frac{t^4}{t_1^4} - 1 \right], \quad (11)$$

где b – расстояние между толкателями 2 (рис. 2).

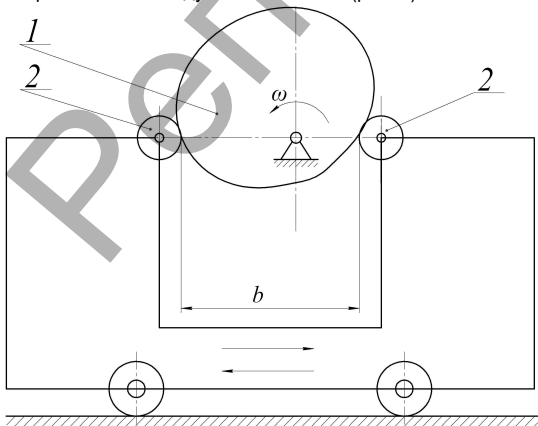


Рисунок 2 – Схема механизма с кулачковым приводом возвратно-поступательного движения тележки

Время t можно исключить из зависимости (11), так как $t = \frac{\varphi}{\omega}$, а $t_1 = \frac{\pi}{\omega}$. Здесь φ – угловая координата поворота кулачка, а ω – угловая скорость кулачка. После соответствующих преобразований радиус кулачка, который описывает его профиль, связывается с угловой координатой следующим выражением:

$$\rho = \frac{b}{2} + \frac{\Delta x}{2} \cdot \left[2 \cdot \left(35 - 84 \cdot \frac{\varphi}{\pi} + 70 \cdot \frac{\varphi^2}{\pi^2} - 20 \cdot \frac{\varphi^3}{\pi^3} \right) \cdot \frac{\varphi^4}{\pi^4} - 1 \right], \quad (12)$$

$$0 \leq \varphi \leq \pi.$$

Аналогично определяется профиль кулачка на участке его поворота от π до 2π , который описывается радиусом, изменяющимся по зависимости:

$$\rho = \frac{b}{2} + \frac{\Delta x}{2} \cdot \left[2 \cdot \left(35 - 84 \cdot \frac{(\varphi - \pi)}{\pi} + 70 \cdot \frac{(\varphi - \pi)^2}{\pi^2} - 20 \cdot \frac{(\varphi - \pi)^3}{\pi^3} \right) \cdot \frac{(\varphi - \pi)^4}{\pi^4} - 1 \right], \quad (13)$$

$$\pi \leq \varphi \leq 2\pi.$$

Для предотвращения ударов кулачка о толкатели при изменении направления движения тележки описанный уравнениями (12) и (13) профиль кулачка (рис. 3) имеет такой вид, что в любом положении его диаметр d – величина постоянная и равна расстоянию между толкателями ($d = b$).

С целью уменьшения динамических нагрузок в элементах установки и для повышения её надёжности предложено конструкцию установки с приводным механизмом для обеспечения оптимального режима возвратно-поступательного движения формовочной тележки по ускорению третьего порядка (рис. 4). Приводной механизм исполнен в виде шарнирно установленных на портале кулачковых механизмов, которые контактируют с толкателями, жёстко прикреплёнными к формовочной тележке.

Установка вмещает смонтированную на неподвижном портале 1 формовочную тележку 2, которая вмещает в себе подавальный бункер 3 и укатывающие ролики 4 и осуществляет возвратно-поступательные движения в напрямных 5 над пустотой формы 6. Тележка приводится в движение с помощью двух приводов 7, прикреплённых к portalу 1 в виде кулачковых механизмов, вращающихся с постоянной угловой скоростью ($\omega = \text{const}$), но разной по направлению, и контактируют с двумя толкателями 8, жёстко соединёнными с рамой тележки 2. Наличие двух толкателей 8 с каждой стороны формовочной тележки 2 позволяет создавать жёсткую силовую цепь при её прямом и возвратном движении.

При использовании в установке кулачкового приводного механизма с каждой стороны формовочной тележки предотвращается возможность её осевого перекашивания, повышается качество обрабатываемой бетонной смеси, уменьшаются динамические нагрузки в элементах привода, уменьшаются лишние разрушительные нагрузки на рамную конструкцию и, соответственно, повышается долговечность установки в целом.

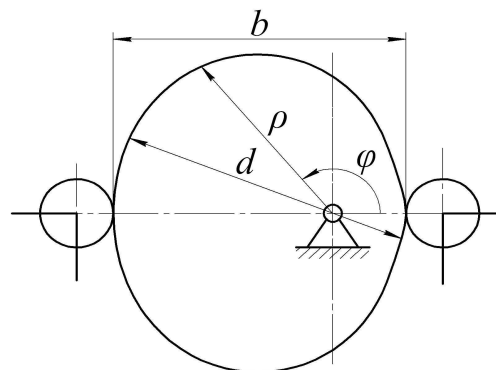


Рисунок 3 – Профиль кулачка, реализующий оптимальный режим движения по ускорению третьего порядка

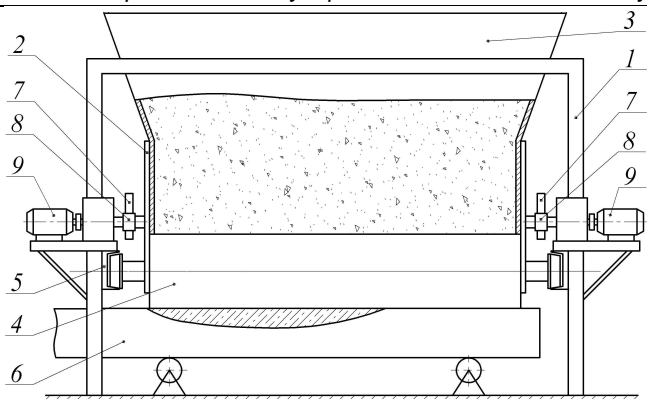


Рисунок 4 – Роликовая формовочная установка с кулачковым приводным механизмом

Заключение. В результате проведенных исследований с целью повышения надёжности и долговечности роликовой формовочной установки рассчитан оптимальный режим возвратно-поступательного движения формовочной тележки по ускорению третьего порядка.

Разработана конструкция привода установки в виде кулачкового механизма и построен профиль кулачка для обеспечения оптимального режима возвратно-поступательного движения формовочной тележки по ускорению третьего порядка.

Результаты работы могут в дальнейшем быть использованы для уточнения и усовершенствования существующих инженерных методов расчёта приводных механизмов машин роликового формования как на стадиях проектирования/конструирования, так и в режимах реальной эксплуатации.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гарнець, В.М. Прогресивні бетоноформуючі агрегати і комплекси [Текст] / В.М. Гарнець. – К.: Будівельник, 1991. – 144 с.
2. Кузин, В.Н. Технология роликового формования плоских изделий из мелкозернистых бетонов: автореф. дис... канд. наук [Текст] / В.Н. Кузин. – М., 1981. – 20 с.
3. Рюшин, В.Т. Исследование рабочего процесса и разработка методики расчета машин роликового формования бетонных смесей: автореф. дис... канд. наук [Текст] / В.Т. Рюшин. – К., 1986. – 20 с.
4. Ловеikin, В.С. Динамічний аналіз роликової формовочної установки з рекупераційним приводом [Текст] / В.С. Ловеikin, К.І. Почка // Динаміка, міцність і надійність сільськогосподарських машин: пр. I-ї Міжнародної науково-технічної конференції (DSR AM - I), 4–7 жовтня 2004 р., Тернопіль (Україна) – С. 507–514.
5. Ловеikin, В.С. Расчёты оптимальных режимов движения механизмов строительных машин: учебное пособие. [Текст] / В.С. Ловеikin. – Киев: УМК ВО, 1990. – 168 с.

Материал поступил в редакцию 06.09.2016

LOVEYKIN V.S., POCHKA K.I. Synthesis of the cam driving mechanism of roller forming installation with the optimum mode of the movement on acceleration of the third order

For the purpose of increase of reliability and durability of roller forming installation the optimum mode of back and forth motion of the forming cart on acceleration of the third order is calculated. Kinematic characteristics of the forming cart at the optimum mode of back and forth motion on acceleration of the third order are calculated. The design of the drive of installation in a type of the cam mechanism is developed and the cam profile for providing the optimum mode of back and forth motion of the forming cart on acceleration of the third order is constructed. Use in installation of the specified driving mechanism leads to improvement of quality of a surface to the processed concrete mix, reduction of dynamic loadings in elements of the driving mechanism, to disappearance of excess destructive loads of a frame design and, respectively, to increase of reliability and durability of installation in general.

УДК 504.064.47:621.357.7

Чепрасова В.И., Залыгина О.С.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ПИГМЕНТОВ ИЗ ОТРАБОТАННЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ МЕДНЕНИЯ И НИКЕЛИРОВАНИЯ

Введение. Гальваническое производство является одним из наиболее опасных источников загрязнения окружающей среды вследствие образования большого объема сточных вод, содержащих ионы тяжелых металлов, неорганические кислоты и щелочи, поверхностно-активные и другие вещества. Среди данных соединений наиболее опасными являются ионы тяжелых металлов, которые содержатся как в промывных водах, так и в отработанных электролитах.

В машиностроении широкое распространение получили такие покрытия, как никелевое и медное. Никелирование используется не только для декоративных целей, но и в химической промышленности для защиты рабочих поверхностей оборудования от воздействия различных агрессивных сред, а также для повышения износостойкости трущихся деталей. Основным компонентом никелевых электролитов является сульфат или хлорид никеля. Для повышения электропроводности в электролит иногда вводят сульфат натрия или магния. Важным компонентом этого электролита является также борная кислота, которая выполняет роль буферной добавки, поддерживающей постоянную кислотность электролита. Для предупреждения пассивирования анодов в никелевый электролит вводят активаторы – ионы хлора в виде солей NaCl, KCl [1, 2]. На ОАО «Мин-

ский тракторный завод» применяется никелевый электролит следующего состава: NiSO₄ 155–175 г/л, H₃BO₃ 35–40 г/л, NaCl 8–15 г/л, добавки 0,5–6 г/л; на ОАО «Экран» (г. Борисов): NiSO₄ 120–140 г/л, H₃BO₃ 20–30 г/л, NaCl 5–10 г/л, MgSO₄ 10–30 г/л, Na₂SO₄ 50–100 г/л, добавки 0,5–3 г/л.

Медные покрытия обычно не применяются как самостоятельные ни для защиты стальных деталей от коррозии, ни для декоративных целей вследствие их химических и электрохимических свойств. Медь в атмосферных условиях быстро окисляется, образуя на поверхности оксиды и основные соли. Вследствие этого медные покрытия рекомендуются использовать в качестве подслоя при никелировании и хромировании, что очень важно для экономии дорогих и дефицитных металлов. Электролиты меднения делятся на два основных типа: кислые и щелочные. Наиболее широкое использование в промышленности имеют сернокислые электролиты, которые дешевы, просты по составу, устойчивы при работе и допускают высокие плотности тока. Обычно применяют сернокислый электролит следующего состава: CuSO₄·5H₂O 150–250 г/л, H₂SO₄ 30–75 г/л, добавки 0,1–1 г/л [1, 2]. Аналогичный состав имеют электролиты меднения многих белорусских предприятий, например, ОАО «Белорусский ме-

Чепрасова В.И., аспирант Белорусского государственного технологического университета.

Залыгина О.С., к.т.н., доцент Белорусского государственного технологического университета.

Беларусь, БГТУ, 220050, г. Минск, ул. Свердлова, 13а.