

амплітуді статорного струму, не відповідає дійсності. Використання алгоритму  $J$ - $M$  не дозволяє покращити статичні та динамічні характеристики системи приводу. При цьому сам алгоритм не є більш простим у порівнянні з алгоритмом класичного векторного керування, оскільки також вимагає достовірної інформації про вектор потокозчеплення ротора для полеорієнтації системи координат, що обертається. Отже, використання системи  $J$ - $M$  керування з метою досягнення більшого електромагнітного моменту при тій же амплітуді статорного струму не є можливим.

#### Список літератури

1. Shen J., Dai W. A new AC motor control strategy – J-M transformation control // IEEE Potentials. – 2010. – №30. – P. 39-44.
2. Shen J., Dai W. The research of closed loop control of AC motor based on J-M transformation control // Advanced Computer Theory and Engineering (ICASTE) 3th International Conference. – 2010. – P.256-259.
3. Козярук А.Е., Рудаков В.В. Современное и перспективное алгоритмическое обеспечение частотно-регулируемых электроприводов. – С-Пб.: СПЭК, 2004. – 128 с.
4. Козярук А.Е., Рудаков В.В. Системы прямого управления моментом в частотно-регулируемых электроприводах переменного тока. – С-Пб.: СПЭК, 2005. – 100 с.
5. Пивняк Г.Г., Волков А.В. Современные частотно-регулируемые электроприводы с широтно-импульсной модуляцией: Монография. - Днепропетровск: Национальный горный университет, 2006. - 470 с.

Рукопис подано до редакції 28.12.11

УДК 622.647.2

Л.И. ЕФИМЕНКО, канд. техн. наук, доц., М.П. ТИХАНСКИЙ, канд. техн. наук, доц.  
ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

### ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ОПОРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ С РЕГУЛИРУЕМЫМ ПРИВОДОМ

В работе оценено влияние режимов транспортирования ленточного конвейера и изменения грансостава материала на долговечность опорных конструкций, предложено уравнение повреждения конвейерного става от названных факторов.

**Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями.** К современным металлоконструкциям линейной части конвейера, а именно, конвейерному стану предъявляется ряд требований по прочности, амортизирующей способности при динамических нагрузках, устойчивости, минимальной металлоемкости и долговечности. Анализ методов расчета опорных металлоконструкций, применяемых рядом отечественных и зарубежных предприятий и научно-исследовательских организаций, показал, что существующие методы проектирования конвейерного става не в полной мере учитывают истинную картину его нагружения. Разработка методов снижения динамических нагрузок на став позволит снизить металлоемкость конвейера, что влечет за собой исследование долговечности опорных конструкций.

**Анализ исследований и публикаций.** Анализ существующих методов расчета показал, что научно-исследовательские институты работают, в основном, над созданием новых типов конструкций, а существующие методы проектирования жесткого става не в полной мере учитывают истинную картину его нагружения.

В работе [1] автор предложил уточненный научно-обоснованный метод расчета металлоконструкций ленточного конвейера с проверкой облегченного става на устойчивость, представляющий возможность рационального его проектирования.

Общим недостатком рассмотренных методов расчета при проектировании является то, что при определении нагрузок на став берутся статические составляющие, не учитывается динамика переходных процессов и динамические нагрузки от воздействия крупных кусков груза, не используются возможности уменьшения нагрузок на конструкции путем управления режимами транспортирования.

Известно, что оценка нагрузок на элементы конвейерного става при транспортировании крупнокусового груза в основном, выполнялась с помощью коэффициента динамичности для насыпного груза и крупных кусков, следующих друг за другом при постоянной скорости транспортирования. Применение регулируемого привода с переменной скоростью транспортирования вызывает необходимость дополнительных исследований, как в части насыпного груза, так и при прохождении отдельных кусков. Нагрузки на став от колебаний, вызванных воздействием ленты с грузом, роликами и крупными кусками, в установившемся режиме и в момент пуска, не учитывались.

**Постановка задачи.** Учет указанных факторов, как для конвейеров с постоянной скоростью транспортирования, так и для гибкого автоматизированного производства с регулируемым приводом, позволит точнее определить нагрузки на опорные конструкции, снизить неоп-

равданно завышенные запасы прочности элементов конструкций. При этом появляется возможность снижения металлоемкости конвейера при достаточной долговечности элементов опорных конструкций. Для сохранения необходимой долговечности необходимо исследовать методы снижения основных разрушающих факторов.

**Изложение материала и результаты.** Режимы работы конвейера и, гранулометрический состав транспортируемого материала оказывают основное разрушающее действие на его оборудование и при накоплении вызывает усталостный износ конструкций. Повреждение, произведенное единичным воздействием разрушающего фактора, называется мерой повреждения, при этом меры повреждения от различных разрушающих факторов (крупные куски, регулирование скорости, пусковые режимы) различны по величине. Повреждение конструкции за определенное время равно сумме мер повреждений от различных факторов за это время. В условиях промышленной эксплуатации недогруженный конвейер транспортирует материал с той же скоростью, что и загруженный. При этом отдельно расположенные куски взаимодействуют с роликкооперами, происходит импульсный удар, величина которого определяется из выражения [2]

$$P_U = m_k V \sin(\theta_1 - \theta_2)(1 + \kappa) K_{di},$$

где  $m_k$  - масса крупного куска, кг;  $V$  - скорость транспортирования, м/с;  $\theta_1, \theta_2$  - углы входа ленты на ролик, зависят от массы куска и натяжения ленты;  $k$  - коэффициент восстановления при ударе о роликкоопору;  $k_{di}$  - нелинейный коэффициент, характеризующий подсыпку мелочи и зависящий от массы и формы куска. Регулируя скорость по грузопотоку, например, на 50% от номинальной, можно уменьшить величину ударной нагрузки от взаимодействия груза и роликкоопор, т.е. снять максимальное напряжение цикла  $S = P_k$  до  $S_p = AV_p = 0.5 \cdot AV$ , где  $V_p$  - скорость транспортирования при регулировании,  $V_p = 0,5V$  при 50 %-м регулировании скорости от номинальной.

При снижении максимального напряжения цикла конструкция выдержит большее число циклов нагружения до разрушения, чем прежде  $N = f(V_p) \gg 5 \cdot 10^4$ .

Следовательно, мера повреждения от ударов крупными кусками при регулировании скорости уменьшится в зависимости  $g_p = f(V_p, M(m_k))$  и будет равна

$$g_p = \frac{\omega_{ek} t}{2\pi} \cdot \left\langle \frac{1}{KN(S)} \right\rangle,$$

где  $\omega_{ek}$  - эффективная частота процесса,  $K$  - коэффициент, учитывающий увеличение количества циклов нагрузки до разрушения за счет уменьшения меры повреждения от единичного воздействия.

Другим способом увеличения долговечности опорных конструкций ленточного конвейера, особенно вблизи привода, является регулирование пускового момента (тягового усилия) двигателя в фазе трогания.

Во время запуска груженого конвейера привод развивает момент, необходимый для преодоления сил сопротивления груженого конвейера и инерции вращающихся частей, а в случае невращающихся роликов через ленту передает на став усилие (нагрузку), равное [2]

$$P = (P_{c.n} + G_s j) \cos \alpha \cdot f_n = (P_{c.n} + G_s D_o^2 \frac{2M_{di} i_o \eta_o - P_{c.n} D_o}{G_s D_o^2 + c_i (G_i D_o^2) i_o^2 \eta_o}) \cos \alpha \cdot f_n.$$

Это усилие превышает необходимое усилие для трогания конвейера и создает излишнюю нагрузку на элементы конвейерного става и ленту. Возникает необходимость в выявлении невращающихся роликов и управлении пусковым усилием. Для чего регулируют нарастание максимального момента двигателя в начальный период пуска, при этом на первом этапе двигатель развивает усилие, достаточное для трогания ленты от приводного барабана до I-й роликкоопоры, затем усилие нарастает по мере продвижения волны трогания по ленте. Время этапов нарастания зависит от скорости распространения волны трогания в ленте. Кривая запуска двигателя аппроксимируется стандартными функциями.

Такой режим трогания способствует уменьшению пусковых нагрузок в опорных конструкциях, т.е. уменьшению максимального напряжения цикла (пуска)  $S = P_T$  до  $S_n = f P_T$ , где  $0 < f < 1$ .

Это в свою очередь, приводит к увеличению циклов нагружения до разрушения по этому фактору и, соответственно, к уменьшению меры повреждения

$$g = \frac{\omega_{en} t}{2\pi} \cdot \left\langle \frac{1}{N(S)} \right\rangle.$$

Зная основные повреждающие факторы, меру повреждения от каждого из них, и регулируя режимы работы, можно прогнозировать долговечность конструкции, что имеет большое значение для облегченных конструкций.

Анализируя экспериментальные исследования, приведенные в работе [3], можно найти меры повреждения конвейерных конструкций от взаимодействия с кусками груза различной крупности. Согласно этим экспериментам куски крупностью 300 мм и выше транспортируются с интервалом прохождения 0,8 с, эффективная частота процесса при этом  $\omega_{en} = 1,221/\text{с}$ . Примем за условный базовый срок службы конструкции 15 лет. Тогда за время службы взаимодействие конструкций с крупными кусками произойдет  $4,2 \cdot 10^8$  раз. Считая, что в основном разрушение происходит от кусков крупностью выше 300 мм, и, располагая процентным содержанием их в транспортируемой массе, определим, какое возможное количество циклов (ударов) до разрушения выдержит конвейерный став от взаимодействия с этими кусками и какова мера повреждения става от каждого класса крупности.

Основываясь на процентном составе груза по крупности [3] (0 - 300 мм - 74 %, 300-400 мм - 18 %, 400-500 мм - 5 % и выше 3 % ) и считая, что основное разрушение (70 %) происходит от кусков более 300 мм и пусковых перегрузок, составим уравнение повреждения става конвейера.

В общем виде

$$\sum N_i \cdot \Delta \alpha_i = \mathcal{G}_{\dots}, \sum N_{kj} \Delta \alpha_{kj} + N_n \Delta \alpha_n + \sum N_p \Delta \alpha_p = \mathcal{G}_{\dots},$$

где  $N_i, N_{kj}, N_p, N_n$  - количество разрушающих циклов соответственно от обобщенного  $i$ -го фактора, от крупных кусков, от пусковых нагрузок, от разных неучтенных факторов.

Для рассматриваемого случая

$$N_1 \Delta \alpha_1 + N_2 \Delta \alpha_2 + N_3 \Delta \alpha_3 + N_n \Delta \alpha_n = \mathcal{G}_k + \mathcal{G}_n = \mathcal{G}_{\dots}.$$

Здесь

$N_1, N_2, N_3$  - крупности за условный срок службы;  $\Delta \alpha_1, \Delta \alpha_2, \Delta \alpha_3, \Delta \alpha_n$  - меры повреждения става от одного удара куском разной массы и от пусковой перегрузки;  $\mathcal{G}_k$  - суммарная мера повреждения от ударов крупными кусками за срок службы;  $\mathcal{G}_n$  - суммарная мера повреждения от пусковых усилий за срок службы.

$\mathcal{G}_{\text{сум}} = 0,7$ , так как принято, что воздействие от кусков и пусков составляет 70 % от общего повреждения. В результате обработки данных дробильной фабрики МГОКа установлено, что в среднем конвейер за смену останавливается и запускается 8 раз, значит, за базовый срок службы конвейерного става происходит примерно  $0,0011 \cdot 10^8$  пусков, которые по силе взаимодействия с роликотпорами соответствует удару куском 400-500 мм, при этом мера повреждения от единичного воздействия равна  $\Delta \alpha_n = 2,231 \cdot 10^8$ .

Снижение силы единичных воздействий по каждому повреждающему фактору влечет за собой уменьшение суммарного повреждения, и, как следствие, увеличение долговечности става.

Снижение воздействия крупных кусков груза достигается средствами автоматического управления дробильно-сортировочным комплексом, в частности регулированием скорости транспортирования, щелью дробилки, натяжением ленты.

При регулировании щели дробилки крупные куски дробятся и уменьшается процентное содержание кусков, превышающих 400 мм.

Решим уравнение повреждения при исключении из грузопотока кусков более 400 мм, при этом частота прохождения крупных кусков остается неизменной, а масса уменьшается до ожидаемой величины

$$\mathcal{G}_{\dots} = (N_1 + N_2 + N_3) \Delta \alpha_1 + N_n \Delta \alpha_n = 0,6.$$

Таким образом, за счет уменьшения динамических нагрузок на став конвейера снизилась суммарная мера повреждения за базовый срок службы, что равнозначно увеличению срока службы конструкции. Снижение скорости транспортирования ведет к уменьшению динамического взаимодействия куска с роликотпорой без изменения гранулометрического состава, при этом пропорционально изменению скорости меняется мера повреждения от каждого единичного воздействия, так при уменьшении скорости на 25 % от номинальной коэффициент пропорциональности равен -  $K = 0,56$ , на 50 % -  $K = 0,44$ , на 75 % -  $K = 0,25$ . Долговечность опорных конструкций конвейера также увеличится на величину, которая определяется из выражения

$$\Delta t = \frac{\mathcal{G}_{\dots} - \mathcal{G}_{\dots 1}}{\mathcal{G}_{\dots}} \cdot T_{\text{ж}},$$

где  $T_6$  - период времени за базовый срок службы, в который эксплуатируют конвейер с пониженной скоростью

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Анализ факторов, влияющих на долговечность става, и установление взаимосвязи их с мерами повреждения, позволили составить уравнение повреждения конвейерного става. Показано, что при транспортировании крупных кусков долговечность става существенно зависит от скорости ленты, что отражено в управлении долговечностью для опорных конструкций.

Установлено, что режим регулирования скорости конвейера по грузопотоку является наиболее благоприятным для конструкций, а самым тяжелым является случай, когда не вращается часть роликов. Для уменьшения напряжений в конструкциях рекомендуется снижать скорость транспортирования до уровня, при котором конвейер загружается до номинальной величины.

#### Список литературы

1. Бейгул О.А. Исследование и обоснование параметров несущих металлоконструкций ленточных конвейеров: Автореф. дис. канд. техн. наук. – М., 1990. – 14 с.
  2. Назаренко В.М., Ефименко Л.И. Оценка усилий на став ленточного конвейера при регулировании скорости транспортирования. - Изв. вузов. - Горн. журн., 1985 - С.60 - 62.
  3. Энергоёмкость транспортирования ленточными конвейерами крупнокузовых грузов. Н.С. Поляков, В.К. Смирнов, В.Ф. Монастырский и др. - М., 1997 -8 с. Деп. в ВИНТИ.
- Рукопись поступила в редакцию 13.01.12

УДК 621.771

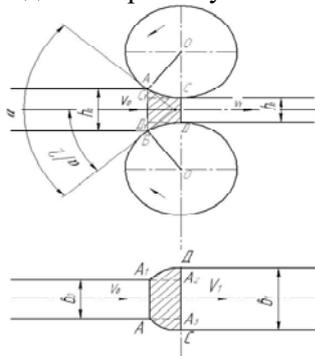
М.М. БЕРЕЖНИЙ, д-р техн. наук, проф.; В.А. ЧУБЕНКО, канд. техн. наук, доц.,  
А.А. ХІНОЦЬКА, асистент; А. ГЛІНКІН, студент, ДВНЗ «Криворізький національний університет»

### ЧАС ПЕРЕБУВАННЯ МЕТАЛУ В ОСЕРЕДКУ ДЕФОРМАЦІЇ ТА УТВОРЕННЯ НОВОЇ ПОВЕРХНІ

Вперше визначено час перебування металу в осередку деформації, який змінюється в режимах прокатування в межах від  $7 \cdot 10^{-5}$  до 0,2 с. Досліджено зміну розмірів осередку деформації при прокатуванні і знайдено сумарну зовнішню поверхню, яка була до входу у валки і яка стала після виходу, розраховано величину знов створеної поверхні при прокатуванні залежно від режимів обробки.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** У процесі прокатування потрібно отримати виріб заданої форми та розмірів. Під дією пластичної деформації форма поперечного перерізу змінюється, тому важливо дослідити зміни, що відбуваються в осередку деформації. Це дасть можливість підвищити продуктивність прокатування та покращити якість отриманої продукції.

**Аналіз досліджень та публікацій** показує, що виходячи з закону про постійність секундного об'єму металу, який проходить через площу поперечного перерізу на вході й виході з осередку деформації, або з закону безперервності потоку металу, можна вважати подовження - співвідношення швидкості на вході до швидкості на виході в осередок деформації, як відношення довжин розкату після і до осередку деформації (рис. 1) [1-4]



**Рис. 1.** Схема осередку деформації для визначення його поверхні і об'єму

$$\frac{v_1}{v_0} = \frac{l_1}{l_0} = \frac{b_0 h_0}{b_1 h_1}; \quad (1)$$

де  $v_0$  - швидкість металу на вході у валки;  $v_1$  - швидкість металу на виході з валків;  $l_0$  - довжина смуги до прокатування;  $l_1$  - довжина смуги після прокатування;  $b_0$  - ширина смуги до прокатування;  $b_1$  - ширина смуги після прокатування;  $h_0$  - висота смуги до прокатування;  $h_1$  - висота смуги після прокатування.

Тобто прокатування здійснюється, коли відбувається зміна поперечного перерізу розкату, а з ним і зовнішньої його поверхні за рахунок внутрішніх переміщених об'ємів металу у вільні боки (уширення) і в напрямку прокатки (подовження) [5,6].

**Постановка завдання:** Визначити час перебування металу в осередку деформації та його зовнішню поверхню, знайти величину знову створеної поверхні при прокатуванні.