

Список літератури

1. **Беляк В.Л., Плащанский Л.А.** Увеличение напряжения участковых сетей как способ повышения эффективности использования горных машин в высоконагруженных забоях угольных шахт М.: Горный информационно-аналитический бюллетень МГГУ - 2007 - № 9 - С. 286-290.
2. **Железко, Ю.С.** Качество электроэнергии в сетях и электромагнитная совместимость оборудования / Ю.С. Железко // Электротехника. 1989. — №10 -с. 73-77.
3. **Ступник Н.И., Кудрявцев М.И., Басов А.М.** Пути совершенствования технологии подземной разработки богатых железных руд Кривбасса. Вісник КТУ, вип. 26, 2010.
4. **Кронгауз, Д.Э.** Повышение качества электроэнергии в городских распределительных сетях посредством управления режимами реактивной мощности / Д.Э. Кронгауз // Промышленная энергетика. 2010. - № 10. - С. 39 - 43 .
5. **Плащанский Л.А.** Основы электроснабжения горных предприятий М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2006 г. — 499 с: ил. : Учебник для вузов. — 2-е изд., исправ.
6. **Плащанский Л.А., Беляк В.Л.** Анализ технологических схем с целью рационального электроснабжения участков угольных шахт при напряжении 3 (3,3) кВ// М.: Горный информационно-аналитический бюллетень МГГУ - 2007 - № 6 - С. 238-241
7. **Волотковский С.А., Разумный Ю.Т., Пивняк Г.Г. и др.** Электроснабжение угольных шахт. М., Недра, 1984, 376с.
8. **Смирнов А.Г.** Рекомендации по проектированию силового электрооборудования напряжением до 1000 в переменного тока промышленных предприятий. Москва 1989 г.
9. **Нефедова, Н.В.** Улучшение качества напряжения в подземных распределительных сетях 6 кВ калийных рудников установками продольной компенсации потерь напряжения / Н.В. Нефедова и др. // М.: Энергетика. 1979. - 324 с.

Рукопись подана в редакцию 24.04.16

УДК 622.646:621.86.067.2:62.83

Д.В. БАТРАКОВ, асистент, Криворізький національний університет

АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РОБОТИ ВІБРАЦІЙНОЇ ТРАНСПОРТУЮЧОЇ МАШИНИ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИПУСКУ РУДИ

Проведений аналіз можливих режимів роботи вібраційної транспортуючої машини при використанні регульованого електропривода з метою підвищення ефективності процесу випуску руди. Математично розглянуто процес руху одиначної частинки по вібраційному органу для гармонійних коливань. Описані режими роботи для відповідних значень частоти коливань та амплітуди. Встановлено, що отриманий коефіцієнт режиму роботи вібротранспортної установки характеризує різні режими руху матеріалу: без відриву, з відривом та з відривом і без відриву матеріалу від вантажонесучого органу. Проведене математичне моделювання характеристики ефективності режиму роботи на прикладі одномасної вібраційної машини з інерційним приводом при зміні частоти обертання шляхом використання регульованого електропривода для номінальних параметрів. Встановлені значення коефіцієнту режиму роботи, частоти та амплітуди, які відповідають найбільш ефективним режимам вібротранспортування з точки зору досягнення максимальної швидкості транспортування руди.

Ключові слова: вібрації, вібротранспортування, ефективність, частотні характеристики, електропривод

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Розробка покладів корисних копалин пов'язана з переходом на значні глибини, що різко позначається на трудомісткості процесу, збільшення собівартості руди і пред'являє підвищені вимоги до інтенсифікації, концентрації та підвищення ефективності робіт з випуску гірничої маси. Випуск руди в умовах залізрудних шахт криворізького басейна здійснюється одномасними вібромашинами з інерційним приводом типу 1АШЛ, ЛШВ-3,35, ВДПУ-4ТМ, ПВУ, які в недостатній мірі приведені у відповідність з конкретними гірськими умовами, що знижує ефективність їх застосування [1-2]. Електропривод вібраційних установок є нерегульованим, внаслідок чого відсутня можливість регулювання параметрами роботи та адаптації обладнання до гірничих умов. Таким чином, підвищення ефективності роботи віброживильників і їх електроприводу є актуальною науково-практичною задачею.

Одним з основних завдань сучасної теорії і практики вібраційного транспортування руди є оптимізація режимів руху матеріалу по віброуючій поверхні. Оскільки одним з найважливіших показників роботи вібротранспортуючої машини (ВТМ) є її продуктивність, що визначається

головним чином швидкістю транспортування матеріалу і корисним перетином вантажонесучого органу (ВО), то завдання оптимізації режиму зводиться в основному до знаходження таких значень параметрів ВМ, при яких швидкість переміщення матеріалу буде максимальною в процесі навантаження і мінімально можливою в процесі досипання руди у вагонетки. Враховуючи, що швидкість руху матеріалу по віброуючій поверхні переважно визначається величиною амплітуди і частотою коливань ВО, а також напрямком коливань ВО та кутом нахилу останнього до горизонту, стає очевидним актуальність розрахунку і комплексного розгляду режимів роботи ВМ та характеристики ефективності одномасної вібраційної системи з інерційним приводом. Це надасть можливість найбільш точного визначення технологічних параметрів віброприводу та їх урахування в процесі дослідження, проектування, та експлуатації вібраційних установок, зокрема для випуску руди.

Аналіз досліджень і публікацій. Питання теорії і розрахунку ВМ та їх робочих характеристик широко розглянуті в роботах А.О. Співаковського, І.Ф. Гончаревича, І.І. Блехмана, В.Н. Потураєва, А.Д. Учителя та ін. [3-17]. Дослідниками встановлено, що на рух матеріалу по віброуючій поверхні впливають наступні параметри: об'ємна вага, товщина шару на ВО, гранулометричний склад і форма частинок матеріалу, вологовміст і липкість, пружність частинок, сили зовнішнього і внутрішнього тертя частинок, повітропроникність шару матеріалу і, відповідно, частота коливань ті амплітуда. Таке різноманіття параметрів та факторів, що визначають процес вібротранспортування, ускладнює його дослідження аналітичними методами і ставить відомі межі застосування та узагальнення результатів експериментів. Залежно від зміни властивостей матеріалу для підтримки високої ефективності роботи ВМ необхідним є забезпечення можливості регулювання параметрів амплітуди і частоти коливань ВО шляхом використання регульованого електропривода. При оцінці доцільності і необхідності використання регульованого електропривода для ВМ необхідний комплексний розгляд амплітудо-частотних, енергетичних, силових, потужнісних, механічних характеристик одномасної вібраційної системи з інерційним приводом, режимів роботи ВМ та характеристики ефективності.

Викладення матеріалу та результати. Продуктивність вібротранспортування залежить головним чином від швидкості переміщення матеріалу по віброуючій поверхні [1-3, 9-13]. Ця швидкість, в свою чергу, визначається значенням амплітуди і частотою коливань, напрямком коливань ВО і кутом нахилу останнього до горизонту. Ці ж параметри в поєднанні з довжиною ВО в значній мірі визначають ефективність процесу і рівномірність подачі живильників. Механіка руху матеріалу по віброуючій поверхні визначає як технологічні показники процесу вібротранспортування, так і параметри вібротранспортної установки. Дослідження переміщення матеріалу по віброуючій поверхні обмежуються в основному розглядом руху одиначної частки [10,11,15-17]. Поширення методів аналізу руху одиначної частки на масу матеріалу, що містить безліч таких частинок, не може дати задовільних результатів внаслідок труднощі аналітичного обліку впливу різноманіття факторів, що визначають стиснутий рух часток. Тому, поряд з подальшим розвитком аналітичних методів визначення параметрів вібротранспортування, необхідне проведення великої кількості експериментальних досліджень, що дозволяють уточнювати теоретичні передумови і створювати практичні методи розрахунків. Для правильного підходу до аналізу механічних та електроприводних параметрів ВМ і визначення технологічних параметрів вібротранспортування розглянемо основи цього процесу.

При розгляді руху одиначної частки по ВО в більшості випадків приймаються такі припущення. Передбачається, що ВО здійснює гармонійні коливання, а ВО представляє собою абсолютно жорстку конструкцію, всі точки якої переміщуються за одним законом. Не враховуються також розміри, форма і пружні властивості часток матеріалу. Перенесення результатів аналізу руху одиначної частки на масу матеріалу робиться без досить обґрунтованого обліку взаємного впливу частинок, об'ємної маси і гранулометричного складу матеріалу, його вмісту вологи, зовнішнього і внутрішнього тертя окремих частинок і т. ін. У тих випадках, коли розглядаються одночасні процеси транспортування, нехтують впливом зміни маси і гранулометричного складу матеріалу по довжині поверхні, зменшенням товщини шару матеріалу в міру просування його по лотку тощо. При зазначених вище припущеннях автори теоретичних досліджень [10,11,20-22] розглядають рух плоскої матеріальної частинки, що знаходиться на віброуючій поверхні, нахиленої до горизонту під кутом α (рис. 1).

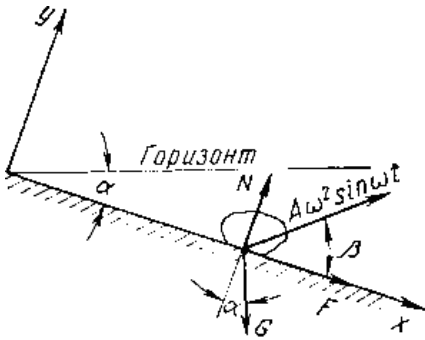


Рис. 1. Схема сил, діючих на частинку матеріалу

Диференціальні рівняння руху матеріальної точки відносно похилої шорсткуватої поверхні при цьому записуються у вигляді

$$\left. \begin{aligned} \frac{G}{g} \ddot{x} &= G \sin \alpha + \frac{G}{g} A \omega^2 \cos \beta \sin \omega t + F; \\ \frac{G}{g} \ddot{y} &= G \cos \alpha + \frac{G}{g} A \omega^2 \sin \beta \sin \omega t + N. \end{aligned} \right\} (1)$$

Сила тертя частинки о робочу поверхню при $y=0$, тобто при русі частинки без відриву від віброуючої поверхні визначається виразом

$$F = \begin{cases} -fN \text{ при } \dot{x} < 0; \\ fN \text{ при } \dot{x} > 0; \\ -f_1 N \text{ при } \dot{x} = 0 \end{cases} (2)$$

і, відповідно, при $y > 0$, тобто при русі частинки після відриву від віброуючої поверхні

$$F = N = 0 (3)$$

У рівняннях і на рис. 1 x і y є координатами матеріальної точки в системі xOy , пов'язаної з віброуючою поверхнею; G - Сила тяжіння, що діє на частинку; g - прискорення сили тяжіння; β - кут між напрямком вібрацій і площиною; A і ω - відповідно амплітуда і частота коливань віброуючої поверхні; N - нормальна реакція; f_1 - коефіцієнт тертя спокою; f - коефіцієнт тертя ковзання.

Коли частка матеріалу знаходиться на віброуючій площині, тобто $y=0$, з другого рівняння системи (1) визначається нормальна реакція

$$N = G \cos \alpha - \frac{G}{g} A \omega^2 \sin \beta \sin \omega t (4)$$

Підставивши це значення N в рівняння (2), а отримані потім значення F в перше рівняння системи (1), отримаємо рівняння руху матеріальної точки по площині

$$\ddot{x} = g \frac{\sin(\alpha \mp \sigma)}{\cos \sigma} + A \omega^2 \frac{\cos(\beta \mp \sigma)}{\cos \sigma} (5)$$

в якому $\sigma = \arctan f$ - кут тертя. Верхні знаки в рівнянні (5) відповідають $x > 0$, а нижні $x < 0$.

Отже, при польоті частинки, коли виконується умова (3), рівняннями, що описують її рух, будуть

$$\left. \begin{aligned} \ddot{x} &= g \sin \alpha + A \omega^2 \cos \beta \sin \omega t \\ \ddot{y} &= g \cos \alpha + A \omega^2 \sin \beta \sin \omega t \end{aligned} \right\} (6)$$

В результаті інтегрування рівнянь (5) і (6) можуть бути визначені швидкості і переміщення частинки при її відносному ковзанні і польоті над площиною транспортування.

Співвідношення між тривалістю ковзання і польоту частки залежить від режиму роботи вібротранспортної установки, що визначається амплітудою A коливань ВО, частотою ω , а також кутом напрямку вібрацій β і кутом нахилу ВО α .

Частинка матеріалу матиме контакт з віброуючою поверхнею до тих пір, поки складова сили інерції частинки, нормальна до робочої поверхні, не досягне рівня нормальної складової сили тяжіння частинки, тобто

$$\frac{G}{g} A \omega^2 \sin \beta \sin \omega t \geq G \cos \alpha (7)$$

З умови (7) можна визначити момент часу t_0 , в який відбудеться відрив частинки від віброуючої поверхні

$$t_0 = \frac{1}{\omega} \arcsin \left(\frac{g \cos \alpha}{A \omega^2 \sin \beta} \right) (8)$$

Оскільки в умові (7) ліва частина має максимальне значення при $\omega t = \pi / 2$, то відрив частки настає, коли

$$K_V = \frac{A\omega^2}{g} \cdot \frac{\sin\beta}{\cos\alpha} \geq 1 \quad (9)$$

де K_V - коефіцієнт режиму роботи вібротранспортної установки, безрозмірний параметр.

Залежно від величини K_V можуть мати місце такі режими руху матеріалу:

при $K_V < 1$ - рух без відриву матеріалу від ВО;

при $K_V > 1$ - рух з відривом матеріалу від ВО (режими з підкиданням);

при $K_V = 1$ - відповідає межі режимів руху з відривом і без відриву матеріалу від ВО.

Коефіцієнт режиму роботи K_V при обраних значеннях кутів β й α залежить від амплітуди прискорення $A\omega^2$ ВО. При порівняно малих значеннях прискорення мають місце режими без підкидання. При режимах, яким відповідають значення $0 < K_V < 1$ матеріал може рухатись разом з ВО або ковзати на його робочій поверхні в напрямку транспортування або в протилежну сторону.

Транспортований матеріал рухається разом з ВО, якщо амплітуда прискорення останнього знаходиться в межах

$$0 < A\omega^2 < \frac{g \sin(\sigma_1 - \alpha)}{\cos(\sigma_1 - \beta)} \quad (10)$$

де $\sigma_1 = \arctan f_1$ - кут тертя спокою.

Якщо збільшувати прискорення ВО вище значення, що визначається умовою (10), то частинка матеріалу протягом деякої частини циклу коливань буде ковзати в напрямі транспортування. У решті циклу вона буде рухатись разом з ВО. Таке двофазне переміщення має місце при значеннях амплітуди прискорення, що задовольняють умові

$$\frac{g \sin(\sigma_1 - \alpha)}{\cos(\sigma_1 - \beta)} < A\omega^2 < \frac{g \sin(\sigma_1 + \alpha)}{\cos(\sigma_1 + \beta)} \quad (11)$$

Цей режим характеризується порівняно невеликими прискореннями ВО і називається тихохідним. Швидкість ковзання частинок при тихохідному режимі тим вище, чим більше значення $A\omega^2$.

При прискореннях ВО, що перевищують значення, обмежені умовою (11), виникає ковзання частинок матеріалу не тільки в сторону транспортування, але і в зворотньому напрямку. Протягом одного циклу коливань ВО, поряд з цими двома фазами ковзання, можлива фаза руху, спільно з робочою поверхнею, а режим руху буде напівшвидкохідним.

Якщо продовжувати збільшувати прискорення, то фаза спільного руху буде спадати. При деякому значенні прискорення ця фаза руху абсолютно зникне, а переміщення частинок почне здійснюватися лише шляхом ковзання, а режим руху буде швидкохідний.

Чисто ковзний рух триває до тих пір, доки нормальна до робочій поверхні складова прискорення ВО не стане рівною нормальній складовій прискорення сили тяжіння. Межі прискорення ВО, що відповідають напівшвидкохідному і швидкохідному режимам, визначаються нерівністю

$$\frac{g \sin(\sigma_1 + \alpha)}{\cos(\sigma_1 + \beta)} < A\omega^2 < \frac{g \cos\alpha}{\sin\beta} \quad (12)$$

При значеннях прискорення

$$A\omega^2 > \frac{g \cos\alpha}{\sin\beta} \quad (13)$$

має місце режим руху з підкиданням транспортованого матеріалу ($K_V > 1$). При $K_V > 1$ існує безліч режимів руху матеріалу. Ці режими можуть включати в себе різні комбінації фаз спільного руху, ковзання в напрямку транспортування, підкидання в напрямі транспортування, ковзання в напрямку зворотньому до напрямку транспортування, зрівнювання швидкостей частинок матеріалу після їх падіння на поверхню ВО.

З точки зору повноти передачі швидкості ВО матеріалу і зменшення зносу робочих поверхонь найбільш вигідним режимом є такий, при якому існують тільки дві фази руху матеріалу: рух без контакту з ВО (підкидання в напрямку транспортування) і фаза зрівнювання швидкостей частинок матеріалу і ВО, яка відбувається без ковзання матеріалу по робочій поверхні. Теоретичними дослідженнями руху окремих частинок [10,11,15-18] встановлена наявність таких

значень амплітуди прискорення $A\omega^2$ ВО, при яких частки постійно знаходяться над віброуючою поверхнею, вдаряючись з нею через однакові проміжки часу, рівні або кратні періоду коливань.

Високочастотний режим характеризується значним перевищенням амплітуди прискорення ВО над прискоренням сили тяжіння. При роботі на цьому режимі частка матеріалу протягом невеликого інтервалу часу переміщується спільно з ВО. При цьому на неї діє вертикально вниз сила тяжіння і в бік, протилежний напрямку руху сила тертя, яка залежить від величини і напрямку прискорення ВО.

Тертя між часткою і транспортуючою поверхнею зберігається до тих пір, доки прискорення сили тяжіння перевищує вертикальну складову прискорення ВО. Як тільки останнє стає рівним від'ємному значенню прискорення сили тяжіння, відбувається відрив частки матеріалу від поверхні транспортування: частка підкидається на певну висоту, а потім падає, вдаряючись об поверхню транспортування і частково втрачаючи, внаслідок не цілком пружного удару, свою первісну швидкість, після чого знову підкидається.

Деякі по-іншому поведуться на віброуючій поверхні дрібнодисперсні пилоподібні матеріали. На їх рух значний вплив чинить тиск повітря, що знаходиться в шарі матеріалу. З огляду на те, що при підкиданні і падінні шару матеріалу повітря не встигає повністю проходити крізь нього, в просторі між транспортною поверхнею і шаром матеріалу послідовно утворюються області розрідження і підвищення тиску. Під впливом цих пульсацій тиску відбувається періодичний рух повітря через шар матеріалу зверху вниз при підкиданні шару і від низу до верху при його падінні. Це призводить до того, що матеріал рухається так би мовити в підвішеному стані, майже не вступаючи в зіткнення з ВО, що в значній мірі знижує знос робочої поверхні останнього. Ступінь впливу пульсацій тиску повітря залежить в основному від газопроникності матеріалу і частоти коливань транспортуючого органу.

Враховуючи, що амплітуда вимушених коливань системи A залежить від багатьох параметрів [2] і описується рівнянням

$$A = \frac{m_0 r \omega^2}{\sqrt{\mu^2 c^2 \omega^2 + (c - m\omega^2 - m_0 \omega^2)^2}}, \quad (14)$$

Можна отримати характеристику ефективності режиму роботи вібромашини з інерційним дебалансним приводом та направленим рухом коливань

$$K_V(\omega) = \frac{m_0 r \omega^4}{g \sqrt{\mu^2 c^2 \omega^2 + (c - m\omega^2 - m_0 \omega^2)^2}} \cdot \frac{\sin \beta}{\cos \alpha}. \quad (15)$$

Теоретичними і експериментальними дослідженнями встановлено [4, 16], що при значеннях параметрів вібрації, які відповідають ефективним режимам вібротранспортування, для матеріалів зі значною газопроникністю коефіцієнт K_V повинен лежати в межах $1,5 < K_V < 3,3$.

Для більш наочної оцінки режиму роботи віброустановки розглянемо чисельний приклад. Вихідні динамічні параметри приводу вібролюка ІАШЛ: осцилятор з приведеної масою $m=5152$ кг; приведена жорсткість основних пружних зв'язків $C=3508 \cdot 10^3$ Н/м; в'язкість основних пружних зв'язків $\mu=0,68 \cdot 10^{-3}$ с при номінальній частоті $\omega=93,724$ с⁻¹; ексцентриситет дебалансів $r=0,087$ м; маса дебалансів $m_0=135,9$ кг; маса ВО $m_r=1500$ кг; маса всього матеріалу, що знаходиться на ВО $m_m=10060$ кг; коефіцієнт приєднаної маси матеріалу для руди $\lambda=0,363$; приєднана маса матеріалу $m_{пр}=3652$ кг. Тоді, власна резонансна частота системи

$$p_{011} = \sqrt{\frac{C}{m_{11} + m_0}} = 25,756, \text{ рад/с, та осциляторна резонансна частота } p_{11} = \sqrt{\frac{C}{m_{11}}} = 26,094, \text{ рад/с.}$$

На рис. 2,3 зображено отримані в результаті математичного моделювання за формулами (14,15) амплітудо-частотна та характеристика ефективності режиму роботи ВТМ на прикладі ІАШЛ - одномасної вібраційної машини з інерційним приводом.

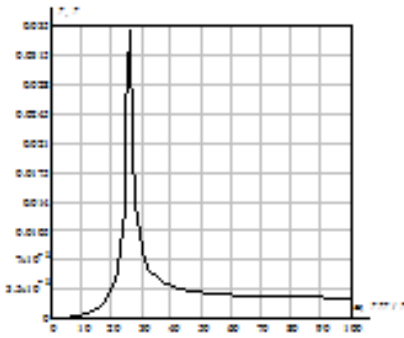


Рис. 3. Амплітудо-частотна характеристика ВТМ

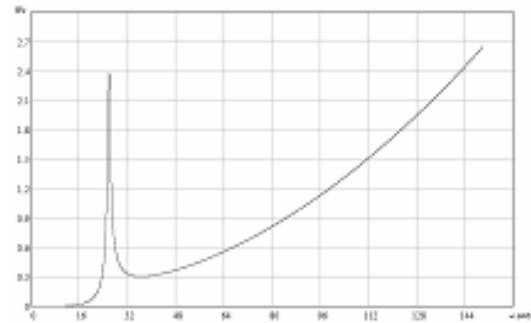


Рис. 4. Характеристика ефективності режиму роботи ВТМ

Як видно з амплітудо-частотної характеристики одномасної вібраційної системи з інерційним приводом при номінальній кутовій частоті обертання дебалансів амплітуда коливань $A_{11}(\omega_n) = 0,003$ м, а при резонансній частоті $A_{11}(p_{011}) = 0,035$ м і, відповідно, кратність максимальної амплітуди коливань до номінальної $\frac{A_{11}(p_{011})}{A_{11}(\omega_n)} = 14,5$. Аналіз характеристик при зазначе-

них вихідних динамічних параметрах показує, що інерційний привод не створює стабільні коливання в резонансній області (рис. 3), а створює їх тільки в до- та зарезонансному режимі роботи. Як видно з графіку, амплітуда коливань при даних параметрах системи є функцією частоти збудуючої сили, причому при резонансі амплітуда досягає максимального значення. Система з інерційним приводом має порівняно невеликі коливання збудуючих зусиль в області практично реалізованих робочих частот.

Отже, аналізуючи отримані графіки, можна зробити висновок, що при оцінці і проектуванні систем з інерційним типом приводу необхідно враховувати вагомні пікові значення амплітуди та показник ефективності режиму роботи.

З отриманої характеристики ефективності наочно видно, що коефіцієнт режиму роботи K_V лежить в межах $1,5 < K_V < 3,3$ в резонансній зоні частот коливань ($K_V = 1,2-2,5$) і для режимів роботи при частоті коливань рівній або більше за номінальну ($K_V = 1,2-2,5$). Такі режими роботи ВТМ відповідають найбільш ефективним режимам вібротранспортування з точки зору досягнення максимальної швидкості транспортування руди.

Характеристики та залежності, отримані в результаті розрахунку, можуть використовуватись при оцінці можливості регулювання параметрів амплітуди і частоти коливань робочого органу для підтримки високої ефективності роботи вібраційної установки та при оцінці взаємодії системи «регульований електропривод-вібраційна машина», при яких швидкість переміщення матеріалу буде максимальною в процесі навантаження і мінімально можливою в процесі досипання руди у вагонетки.

Висновки і шляхи подальших досліджень. Вібротранспортуючі машини з відсутністю регулювання частоти обертання електропривода працюють з номінальними частотами обертання дебалансів і відповідно номінальними частотами коливань вантажонесучого органу. Однак, в попередніх роботах і в даній, встановлено, що на рух матеріалу по вібруючій поверхні впливають багато параметрів і факторів. Тому, при зміні властивостей матеріалу для підтримки високої ефективності роботи вібраційної машини необхідним є забезпечення можливості регулювання параметрів амплітуди і частоти коливань шляхом використання регульованого електропривода з урахуванням режимів роботи, які відповідають робочим параметрам установки.

У роботі проведений аналіз режимів роботи та проведено математичне моделювання амплітудо-частотної та характеристики ефективності режиму роботи вібротранспортуючої машини на прикладі ІАШЛ – одномасної вібраційної машини з інерційним приводом, при зміні частоти обертання шляхом використання регульованого електропривода для номінальних параметрів. Встановлено, що отриманий коефіцієнт режиму роботи вібротранспортної установки характеризує різні режими руху матеріалу: без відриву, з відривом та з відривом і без відриву матеріалу від вантажонесучого органу. Встановлені значення коефіцієнту режиму роботи, частоти та амплітуди, які відповідають найбільш ефективним режимам вібротранспортування з точки зору досягнення максимальної швидкості транспортування руди.

При оцінці доцільності і необхідності використання регульованого електропривода необхідний розгляд амплітудо-частотних характеристик, аналіз режимів роботи а характеристики ефективності при зміні динамічних та технологічних параметрів вібротранспортної машини, що і є напрямком подальших досліджень.

Список літератури

1. Батраков Д.В. Применение вибрационных питателей для выпуска руды в условиях железорудных шахт криворожского бассейна//Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг. – Вип. 34, 2013. – С. 104-108.
2. Батраков Д.В., Горбачов Ю.Г. Характеристики одномасної вібраційної транспортуючої машини з інерційним приводом//Гірничий Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг. – Вип. 97, 2014. – С. 69-75.
3. Учитель А.Д., Гушин В.В. Вибрационный выпуск горной массы/ А.Д. Учитель, В.В. Гушин. – М.: Недра, 1981. – 232 с.
4. Спиваковский А. О. Транспорт в горном деле.-М.:Наука,1985 .-127 с.
5. Спиваковский А. О., Гончаревич И. Ф. Вибрационные и волновые транспортирующие машины/ А. О. Спиваковский, И. Ф. Гончаревич.- М.:Наука,1983 .-287 с.
6. Спиваковский А. О., Гончаревич И. Ф. Вибрационные конвейеры, питатели и вспомогательные устройства/ А. О. Спиваковский, И. Ф. Гончаревич.- М.:Машиностроение,1972 .-327 с.
7. Гончаревич И. Ф. Вибротехника в горном производстве.-М.:Недра,1992.-319 с.
8. Гончаревич И. Ф., Вихнович О. Л. Вибрационные установки для выпуска руды (конструкции, методы расчета, рекомендации по эксплуатации и наладке).-М.:Недра,1967 .-97 с.
9. Гончаревич И. Ф., Фролов К. В. Теория вибрационной техники и технологии/ И. Ф. Гончаревич, К. В. Фролов - М.:Наука,1981 .-319 с.
10. Гончаревич И.Ф.,Сергеев П.А. Вибрационные машины в строительстве/И.Ф. Гончаревич, П.А. Сергеев -М.:Машгиз,1963 .-310 с.
11. Блехман И. И. Что может вибрация?.-М.:Наука,1988 .-207 с.
12. Блехман И. И., Джанелидзе Г. Ю. Вибрационное перемещение/ И. И. Блехман, Г. Ю. Джанелидзе.-М.:Наука,1964.-410 с.
13. Потураев В. Н., Белобров В. И., Михайленко Е. И. Анализ динамики механических систем на аналоговых ЭВМ/В. Н. Потураев, В. И. Белобров, Е. И. Михайленко.-К.:Вища школа,1989 .-150 с.
14. Потураев В. Н., Франчук В. П., Червоненко А. Г. Вибрационные транспортирующие машины: основы теории и расчета/В. Н. Потураев, В. П. Франчук, А. Г. Червоненко.-М.:Машиностроение,1964 .-272 с. Рукопис подано до редакції 26.04.16

УДК 621.316.7

В.С. КОЗЛОВ, асистент, А.Ю. ЄВМЕНОВ, студент
Криворізький національний університет

ОЦІНКА ПОТЕНЦІАЛУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРОКАТНОГО СТАНУ

Подана робота присвячена питанням електричного енергозбереження. В роботі доведено, що найбільш затратним з енергетичної точки зору сектором національної промисловості є металургійне виробництво. Однією із ключових ланок металургії є прокатний стан. Таким чином, в роботі визначено основний об'єкт, який потребує «енергетичної оптимізації».

На прикладі неперервного заготівельного стану 900/700/500 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» виконано оцінку потенціалу енергоефективності. В результаті оцінки показано, що максимальний економічний ефект можна отримати при компенсації реактивної потужності в системі живлення. При цьому, компенсація активних втрат мережі, спричинених перетоками реактивної потужності та вищими гармоніками струму навантаження, дозволяє отримати значно менший економічний ефект.

Враховуючи проведену оцінку, запропоновано найбільш оптимальний за критерієм вартості шлях модернізації. Основні технічні та організаційні заходи запропонованого напрямку наступні: введення керованих перетворювачів в режим роботи з кутлом керування, близьким до 0; регулювання швидкості обертання двигунів шляхом нереверсивного широтно-імпульсного перетворювача (ШІП); паралельне поєднання виходів керованих перетворювачів для створення спільної ланки постійного струму; реверс двигунів за допомогою збудника.

За попередніми підрахунками прогнозований термін окупності технічних рішень становить 2.5 місяців. Подальшими кроками обраного напрямку модернізації можуть бути розробка єдиної системи керування та технологічного контролю, вбудована до системи ШІП; модернізація законів керування ШІП для мінімізації впливу перетворювачів на мережу; уточнений розрахунок складових повної потужності мережі тощо.

Ключові слова: тиристорний перетворювач, енергозбереження, реактивна потужність, гармоніки струму, блюмінг