

4. Пузанов С.И. Использование вяжущих свойств дисперсного стекла при утилизации стеклобоя / С.И.Пузанов, А.С. Россомагина, А.А. Кетов // Инновационный потенциал естественных наук: в 2 т Труды междунар. научн. Конф. / Перм. Университет, Естественнонаучный ин-т – Пермь: Пермский университет, 2006. Т. 1.- С.33-36.
5. Пузанов С.И. Оценка комплексного воздействия стеклобоя на окружающую среду и совершенствование технологий его вторичного использования: автореф. дис. на соискание степени канд. техн. наук: спец. 03.00.16 – «Экология»/С.И. Пузанов. – Пермь, 2010г. -18с.
6. Пухальский Г.В. Свойство бетонов на песках из отходов горнообогатительных комбинатов / Г.В. Пухальский, Г.Н. Бондаренко // Бетон и железобетон. – 1973. – №5. – С. 26-28.
7. Шишкин А.А. Специальные бетоны для усиления строительных конструкций, эксплуатирующихся в условиях действия агрессивных сред: Дис ... докт. техн. наук: 05.23.05. / Шишкин Александр Алексеевич – Кривой Рог: КТУ, 2003. – 336с.
8. Young J.F. High performance densified cement pastes, mortars and concretes (DSP cements) // Advanced in cement chemistry: Proceedings of the International Colloquium held in Mogilani 18-19 September 1997. Krakow, 1997. – P.5-19.

Рукопись поступила в редакцию 17.02.14

УДК 631.315: 629.783: 525

В.Й. ЛОБОВ, канд. техн. наук, доц., І.І. ДУБОВИК, аспірант  
Криворізький національний університет

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СОШНИКОМ СІВАЛКИ

У статті наведено результати дослідження роботи сошника, за умови забезпечення глибини посівної борозни з урахуванням в ній вологості ґрунту. На основі побудованої математичної моделі визначено раціональні кінематичні і динамічні параметри переміщення сошника при керуванні від пневмоприводу.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Які тільки не пропонуються науково-технічні рішення спеціалістами для поліпшення конструкції сівалок, і не дивно, адже сівалка повинна бути дуже простою, дотепною і акуратною сільськогосподарською машиною. Вона повинна висівати і дрібні (морква, редис), і середні (ячмінь, пшениця), та великі (кукурудза, соняшник) насіння і не дробити їх, не кидати на поверхні, та не висаджувати глибоко, щоб у зерна вистачило сил пробитися до світла. При цьому вона повинна розкласти насіння рівномірно по полю, забезпечивши кожному зернятку свою потрібну площину ґрунту для надійної життєдіяльності. Ось скільки повинна вміти робити сівалка, а невиконання хоча б однієї з цих вимог приводить до недобору врожаю.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Для забезпечення високої точності та стабільної глибини висіву просапних культур, заданої продуктивності роботи посівного, в останні роки широко використовують різні типи сівалок для посіву просапних культур і спостерігається тенденція до їх інтенсивного розвитку [1,2].

Сівалка має в своєму складі: сошник; насіннепровід, що висіває, з поєднаним до нього датчиком висіву насіння; висівний апарат з cellular диском; котки, що накочуються; шлейф; встановлений перед сошником пристрій грудковідведення; патрубок для введення в ґрунт порції активованих добрив і стимуляторів росту, який приєднаний до ємності для рідини та керується від контролера керування електроклапаном і електронасосом та механізмом регулювання жорсткості пружини колеса, що накочується, обід якого відповідає профілю борозни; блок живлення [3].

У стандартних моделях сівалок сошники піднімаються і опускаються всі разом, перемиканням важеля з кабіни трактора. Сошник - це компонент обладнання, що обробляє ґрунт і створює в ньому канавку для розміщення зерна, добрив і пестицидів. При нульовій технології обробки, сошник повинен фізично підготувати ґрунт і висіяти зерно. Сошники, що використовуються в традиційній та нульовій технології, мають різні форми висівної щілини. Практика свідчить, що найбільш важливим показником його механічних властивостей є форма висівного отвору, завдяки якій створюється необхідна мікроструктура в ґрунті, що впливає на проростання зерна. Зазвичай, використовуються сошники з трьома варіантами профілю висівного отвору і ще два варіанти висіву насіння без створення канавок: (I) V-образна щілина; (II) U-подібна

щілина; (III) перевернута T-подібна щілина; (IV) ударна сівалка (утворює отвори і розміщує там одну або декілька насінин) і (V) поверхневий висів (розподіл насіння по поверхні). Працює даний сошник так. При русі сошника ґрунт підрізується знизу, піднімається на сошник і розсовується в сторони. Встановлені крила змінюють напрямок переміщення частинок ґрунту і направляють їх у центральну частину борозни, завдяки чому борозна закривається ґрунтом.

**Мета даної роботи.** Незалежно від типу сошника і дозованого насіння (таке, що ущільнюється та не ущільнюється), нерівномірність подачі насіння в посівне ложе – одне з домінуючих джерел динамічної складової похибки висіву насіння. А тому, для мінімізації такої складової похибки доречно розглянути окремо нерівномірність подачі насіння із випускного каналу бункера та рівномірність розташування цього насіння у висівному ложі. Але більш доречно, на думку авторів, розглянути проблематику керування сошником за допомогою використання пневматичних приводів.

**Викладення матеріалу та результати.** Пневматичні приводи (ПП) отримали широке застосування при автоматизації виробничих процесів у сільськогосподарських машинах.

Вони використовуються в якості приводів затискних і транспортуючих механізмів, для дистанційного керування і регулювання при автоматизації машин і пристроїв, що працюють в робочих органах кінематичних, гідравлічних та інших схем ґрунтообробних, посівних і саджальних машин, машин для внесення добрив і захисту рослин, збиральної техніки, тощо.

Таке широке застосування ПП пояснюється їх перевагами порівняно з іншими приводами, в першу чергу дешевизною, надійністю функціонування, простотою конструкції, порівняною легкістю їх експлуатації і обслуговування. ПП слід застосовувати в тих випадках, коли потрібно забезпечити високі швидкості руху робочого органу при відносно невеликих робочих зусиллях.

Керуючі ПП призначені для забезпечення заданої послідовності переміщення виконавчих пристроїв у відповідності з необхідним законом їх руху. Основними елементами керуючих ПП, що встановлюються на сільськогосподарських сівалках, є пневматичні циліндри (ПЦ), у яких діаметр може коливатися від 0,01 до 0,3 м, а хід поршня від декількох міліметрів до 2-3 м при різноманітних конструктивних виконаннях.

За допомогою ПЦ досягаються відносно високі швидкості (до 0,3 мм/мс), що має велике значення для підвищення продуктивності машин, точності позиціонування виконуючих механізмів, тощо. Термін служби ПЦ доведений до 10 млн. ходів. Тиск у виконавчих ПП зазвичай дорівнює тиску стисненого повітря в мережі (0,4-1МПа).

Структуру сучасної сівалки можна навести сукупністю окремих елементів, кожен з яких виконує окремі функції-операції побудови посадочного ложа, висіву насіння, внесення добрив, тощо (рис. 1а), а узагальнена розрахункова схема навантаження сошника сівалки від дії пневмоприводу надана на рис. 1б.

Сівалка має сошник, який містить корпус 1, жорстко пов'язаний з повідцем 2, плоский диск 3, встановлений під кутом до напрямку руху, бункер 4 із насінням, яке направляється туковим проводом, ложе-утворювач 5 і загортач 14.

Корпус 1 сошника забезпечений механізмом регулювання тиску і положення сошника щодо рами 6, який складається з пневмоприводу 11 та електропневматичного пропорційного регулятора тиску 12.

Вузлом 10 шарнірно виконується кріплення повідця 2 до кронштейна 7.

Пневмопривод 11 і повідець 2 виконані з можливістю зміни їх довжини робочої частини і зміни їх положення у вертикальному напрямку - регулюється глибина посівної борозни, яка контролюється датчиком 18 вологості ґрунту і датчиком глибини посівної борозни 19.

Механізм регулювання тиску і положення сошника встановлений між повідцем 2 і упором 8, які кронштейном 7 з'єднані з рамою 6.

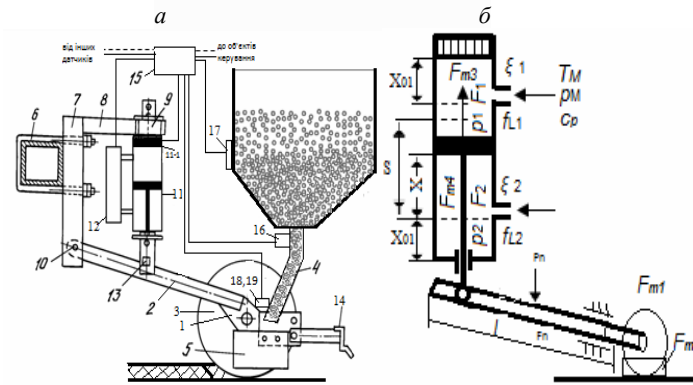


Рис. 1 - Структура сошника з деякими елементами сівалки *a*  
та узагальнена розрахункова схема навантаження сошника сівалки від дії пневмоприводу *б*

Пневмопривод 11 з'єднаний за допомогою вузлів 9 і 13 та встановлений з регулювання довжини штоку, відповідно з переміщенням повідця 2 з упором 8. До задньої частини корпуса 1 сошника шарнірно прикріплений загортач 14, виконаний у вигляді дворіжкової скоби.

Сигнал з мікроЕОМ 15 направляється на мікроконтролер 11-1 лінійного позиційного пневмоприводу 11, який відповідно до входних параметрів змінює величину входного (вихідного) тиску для керування приводним штоком. Шток пневмоприводу 11 приводиться в рух і змінює глибину посівної борозни. У процесі сівби наявність насіння у бункері контролюється датчиком 17, а потік насіння по насіннепроводу 4 - інтелектуальними емнісними накладними датчиками висіву 16 і по каналу зв'язку інформація з цих датчиків передається в мікроЕОМ 15. Датчики 16 і 17 наявності та висіву насіння мають свою унікальну адресу, що забезпечує його ідентифікацію в системі контролю висіву насіння. МікроЕОМ 15 організовує опитування датчика висіву 16 по каналу зв'язку I<sup>2</sup>S. Одночасно мікроЕОМ 15 по каналу зв'язку I<sup>2</sup>S збирає інформацію з інших датчиків шляху, датчиків рівня насіння і добрив у бункерах, датчика температури масла в гідросистемі, датчиків оборотів вентилятора і дозатора, тощо. Потім мікроЕОМ 15 обробляє отриману інформацію від датчиків і підготовлює сигнали для керування механізмами сівалки.

Використання такої сівалки дозволить якісно проводити смуговий посів з дотриманням заданої глибини загортання насіння по всій ширині захоплення агрегату в оптимальні агротехнічні строки при вологості ґрунту до 35%.

Для забезпечення високої точності глибини висіву, заданої продуктивності роботи посівного агрегату, в останні роки широко використовують різні конструкції сошників і спостерігається тенденція до їх інтенсивного розвитку, тому використання представленого сошника є доцільним.

Незалежно від типу сошника (одноріжковий, дворіжковий, долотовидний, анкерний) і дозованого насіння (таке, що ущільнюється та не ущільнюється), нерівномірність подачі насіння в посівне ложе – одне з домінуючих джерел динамічної складової похибки посадки насіння.

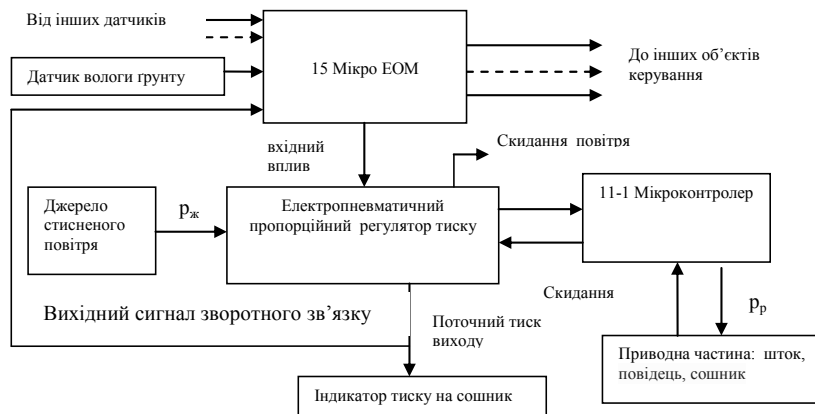
Тому, для мінімізації такої складової похибки доречно розглянути окремо нерівномірність подачі насіння із випускного каналу бункера та рівномірність розташування цього насіння у висівному ложі.

Сипке насіння подається з бункера 4 через випускний канал у посівну борозну, глибина якої визначена мікроЕОМ 15 залежно від вологості ґрунту. Висівання насіння в ложе борозни виконується з середньою швидкістю  $V_0$ .

Для підвищення точності глибини висіву та вологості ґрунту у цій борозні, при різних режимах роботи дозувального пристрою при видачі з бункера 4 насіння, необхідно визначити дійсні значення глибини борозни та вологості ґрунту у цій борозні [1,5].

Для цього використовуються відповідні датчики 18 і 19.

Після визначення цих параметрів і при зміні режиму роботи сівалки мікроЕОМ 15 подає сигнал на електропневматичний пропорційний регулятор тиску 12 (рис. 2).



**Рис. 2.** Структура електропневматичного пропорційного регулятора тиску для регулювання положення приводної частини сошника:  $p_{ж}$  - тиск живлення;  $p_p$  - робочий тиск

Далі сигнал направляється на мікроконтролер 11-1 лінійного позиційного пневмоприводу 11, який відповідно до вхідних параметрів змінює величину вхідного (вихідного) тиску для керування приводним штоком, який

приводиться в рух і змінює робочу глибину посівної борозни.

Для визначення раціональних кінематичних і динамічних параметрів переміщення штоку, залежно від інтенсивності переміщення сошника, розроблена математична модель системи. Рівняння руху приводного штока позиційного пневмоприводу з урахуванням загального силового навантаження на привід сошника сівалки від дії пневмоприводу (рис. 1б) можна навести у вигляді

$$M \frac{d^2x}{dt^2} = p_1 F_1 - p_2 F_2 - \dots - p_n (F_1 - F_{m1} - F_{m2} - F_{m3} - F_{m4}) \quad (1)$$

де  $M$  - приведена маса рухомих частин позиційного пневмоприводу та сошника з повідцем 2;  $x$  - поточне значення переміщення штока позиційного пневмоприводу - глибина борозни;  $t$  - тривалість переміщення штока позиційного пневмоприводу;  $p_1, p_2, p_n$  - тиск в поршневій та штоковій камерах і атмосферний тиск;  $F_1$  - площа поперечного перерізу поршня,  $F_1 = \frac{\pi}{4} D_1^2$ ;  $F_2$  - корисна торцева площа поршня, визначається як  $F_2 = \frac{\pi}{4} D_2^2 - D_2^2$ , де  $D_1, D_2$  - діаметри поршня та штока позиційного пневмоприводу;  $F_{m1}, F_{m2}, F_{m3}, F_{m4}$  - сила тертя ковзання щічок-полозів сошника по ґрунту, ложеутворювача, поршня та штока позиційного пневмоприводу.

Тиск штоку пневмоприводу на приводну частину сошника залежить від властивостей вузла 10, який шарнірно кріпиться повідцем 2 до кронштейна 7, вузла кріплення сошника до повідця 2. Прийmemo припущення, що ґрунт складається з частинок, настільки малих, що розмірами їх можна знехтувати та розглядати ґрунт, як суцільне середовище. Нормальний тиск від дії штоку на привід сошника з кутом нахилу до горизонту  $\alpha$ , становить [4,5]

$$p_n = p_a \cos^2 \alpha + p_r \sin^2 \alpha \quad \text{або} \quad p_n = p_a (\cos^2 \alpha + k \sin^2 \alpha) \quad (2)$$

Горизонтальний тиск від дії ґрунту на ложеутворювач можна визначити за рівнянням

$$p_r = \gamma k y, \quad (3)$$

де  $y$  - глибина посівної борозни;  $k$  - коефіцієнт переміщення ґрунту, що визначається як

$$k = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \quad (4)$$

де  $\varphi$  - кут природного відкосу ґрунту в покої;  $\gamma$  - питома вага ґрунту, яка залежить від вологості.

Вертикальний тиск від дії ґрунту на стінки ложеутворювача можна визначити за рівнянням

$$p_a = \gamma y, \quad (5)$$

Рівнодіюче навантаження від дії ґрунту на приводний привід сошника становить

$$F_n = 0,5(p_{na} + p_{nb})S_{пл} \quad (6)$$

де  $p_{na}, p_{nb}$  - нормальний тиск від дії сипкого ґрунту на ложеутворювач в точках а і b;  $S_{пл}$  - робоча площа ложеутворювача,  $S_{пл} = lb$ ;  $l, b$  - відповідно довжина та ширина робочої ділянки ложеутворювача.

У кінцевому вигляді рівняння (6) набуває вигляду

$$F_n = 0,5(\cos^2 \alpha + k \sin^2 \alpha) \gamma l b (H + h), \quad (7)$$

де  $H, h$  - відповідно висота рівня ґрунту з одної і другої сторонах ложе утворювача.

Сили тертя ковзання в розрахунковій схемі навантаження становлять: ґрунту по ложе, яке утворюється:  $F_{m1} = f_1 F_N$ , ложеутворювача по напрямній:  $F_{m2} = f_2 (F_N + mg)$ , де  $m$  - маса ложеутворювача; поршня позиційного пневмоприводу:  $F_{m3} = f_3 F_N$ , штока позиційного пневмоприводу:  $F_{m4} = F_N$ , де  $f_1, f_2, f_3, f_4$  - коефіцієнти тертя ковзання відповідно: ґрунту по ложеутворювачу, ложеутворювача по напрямній, поршня позиційного пневмоприводу та штока позиційного пневмоприводу.

Для визначення зміни тиску в камерах, в яких знаходяться шток і поршень, позиційного пневмоприводу використаємо перший закон термодинаміки [8].

Кількість енергії  $dQ_M$ , від повітря, що поступає в поршневу камеру з магістралі, витрачається на зміну внутрішньої енергії повітря  $dU_1$  в камері і на здійснення роботи приводу  $dL$ , тобто [6]:  $dQ_M = dU_1 + dL$ , а кількість енергії  $dQ_M$ , що поступає в поршневу камеру, визначається:  $dQ_M = c_p T_M G_M dt$ , де  $c_p$  - питома теплоємність повітря в магістралі;  $T_M G_M$  - відповідно температура та витрати повітря магістралі;  $dt$  - зміна тривалості переміщення штоку.

Рівняння зміни внутрішньої енергії повітря:  $dU_1 = \frac{c_V}{R} (V_1 dp_1 + p_1 dV_1)$ , де  $c_V$  - питома теплоємність повітря при постійному об'ємі;  $R=287$  - питома газова стала, Дж/(кг К),  $V_1$  - об'єм повітря в поршневій камері:  $V_1 = F_1 (x + x_{01})$ , де  $x_{01}$  - приведена початкова координата положення поршня. Робота, що виконується стисненим повітрям:  $dL_1 = p_1 dV_1$ , а у пневматичних промислових приводах потік повітря близький до ізотермічного процесу і його витрати визначають [7]

$$G_M = \frac{f_{L1}}{\zeta_1 \zeta_2} ((p_M)^2 - (p_1)^2)^{0.5}, \quad (8)$$

де  $\zeta_1$  - коефіцієнт опору вхідного трубопроводу,  $p_M$  - тиск в магістралі,  $f_{L1}$  - площа перерізу вхідної пневмомагістралі, яку можна визначити як  $f_{L1} = \frac{\pi}{4} (D_L)^2$ , тут  $D_L$  - діаметр трубопроводу.

Питома теплоємності повітря при постійному тиску і постійному об'ємі пов'язані між собою залежністю  $c_p + R = c_v$ , а показник адиабати для повітря:  $k = (c_p/c_v) = 1.4$ . Використовуючи формули (8) і вирази  $dQ_M, dU_1, V_1, dL_1$  і після математичних перетворень, отримаємо рівняння зміни тиску в нагнітальній камері

$$\frac{dp_1}{dt} = \{k f_{L1} (RT_M)^{0.5} (p_M)^2 - \dots - ((p_1)^2)^{0.5} / [F_1 (x + x_{01}) (\zeta_1)^{0.5}]\} - \{k p_1 dx / [(x + x_{01}) dt]\} \quad (9)$$

Визначення тиску в штоковій камері проводимо за подібною моделлю. Кількість енергії  $dQ_2$ , яка витікає з повітрям з штокової камери, витрачається на зміну внутрішньої енергії газу  $dU_2$  в камері та на здійснення роботи приводу  $dL_2: -dQ_2 = dU_2 + dL_2$ . Об'єм газу у штоковій камері з урахуванням об'єму того, що відводиться по трубопроводу та пневматичній апаратурі рівний:  $V_2 = (S + x_{02} - x) F_2$ , де  $x_{02}$  - приведена кінцева координата положення поршня. Тоді рівняння зміни тиску в штоковій камері

$$\frac{dp_2}{dt} = \{k f_{L2} (RT_2)^{0.5} (p_2)^2 - \dots - ((p_2)^2)^{0.5} / [F_2 (S - x + x_{02}) (\zeta_2)^{0.5}]\} - \{k p_2 dx / [(S - x + x_{02}) dt]\},$$

де  $f_{L2}$  - площа перерізу вихідного трубопроводу,  $f_{L2} = \pi/4 (D_L)^2$ ;  $T_2$  - температура повітря, що відводиться;  $\zeta_2$  - коефіцієнт опору вихідного трубопроводу.

Для проведення числових розрахунків були прийняті такі вихідні параметри: температура повітря в робочій системі, тиск в магістралі (на виході та в камерах позиційного пневмоприводу), маса рухомих частин позиційного пневмоприводу, наведено початкову й кінцеву координати положення поршня, позиційні параметри сошника.

Результати числових розрахунків представлені у вигляді графіків рис. 3.

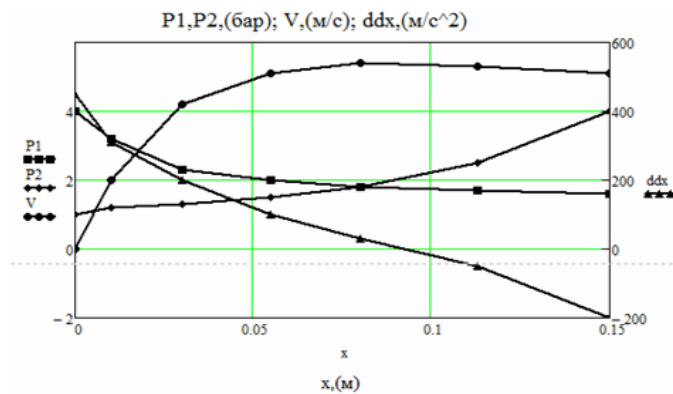


Рис. 3. Результати числових розрахунків

**Висновки.** Динамічна складова точності глибини борозни залежить від забезпечення сталої інтенсивності переміщення сошника.

Для автоматизованого регулювання положення сошника використана система керування з такими складовими елементами: контролер, електропневматичний пропорційний регулятор тиску, мікроконтролер лінійного позиційного пневмоприводу.

Відповідно до рівня глибини у борозні, положення сошника, змінюється величина вхідного (вихідного) тиску позиційного пневмоприводу керування приводом сошника.

Розроблена математична модель руху сошника дає можливість реалізувати раціональні режими роботи сівалки.

### Список літератури

1. Пат. на корисну модель № 84931 Україна, МПК 2013.01, А01С 7/00. Пристрій для висіву насіння просапних культур і внесення добрив/Лобов В.Й., Назаренко В.М., Дубовик І.І.; заявл. 26.03., опубл. 11.11.2013, Бюл. № 21.
2. Пат. на корисну модель № 84925 Україна, МПК 2013.01, А01С 7/00. Спосіб сівби просапних культур і внесення добрив/Лобов В.Й., Назаренко В.М., Дубовик І.І.; заявл. 26.03., опубл. 11.11.2013, Бюл. № 21.
3. Пат. на корисну модель № 84902 Україна, МПК А01С 7/00, G01D 5/12, G01D 9/00. Система контролю висіву насіння / Лобов В.Й., Назаренко В.М., Дубовик І.І., Мірошник А.В., опубл. 11.11.2013, Бюл. № 21.
4. Машины непрерывного транспорта: Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Подъемно-транспортные машины и оборудование»/Р.Л. Зенков, И. И. Ивашков, Л. Н. Колобов, - 2-е изд., перераб. И доп. - М.: «Машиностроение», 1987. - 432 с.
5. Зенков Р.Л., Гриневич Г.П., Исаев В.С. Бункерные устройства, М.: «Машиностроение», 1977.
6. Герц Е.В., Крейнин Г.В. Расчет пневмоприводов. М.: «Машиностроение», 1975. - 272 с.
7. Гавва О.М., Деренівська А.В., Кривопись Володіна Л.О. Забезпечення заданої інтенсивності переміщення сипкої продукції із бункера в лінійних вагових дозаторах. «Вібрації в техніці та технологіях», № 4(68), 2012.

Рукопись поступила в редакцию 17.02.14

УДК 621.315.052.7 - 621.395.14

Р.А. ПАРХОМЕНКО<sup>1</sup>, преподаватель, Криворожский национальный университет»

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В ШАХТНЫХ СЕТЯХ КАК ОДИН ИЗ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРОДУКЦИИ

В работе исследуются режимы электропотребления электроприводов шахтного оборудования и проводится анализ путей повышения эффективности электроснабжения шахт, что в конечном итоге приведет к росту производительности горного оборудования за счет улучшения режимных показателей качества электроэнергии. На основе экспериментальных исследований обособленно работающих электроприемников определено их воздействие на режимы электропотребления остальных потребителей электрической энергии шахтных сетей, проведен анализ режимов напряжения.

Ключевые слова: эффективность, качество электроэнергии, режим напряжения, шахтная сеть.

**Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями.** Украина на сегодняшний день обладает мощным топливно-энергетическим комплексом, в котором, к сожалению, большую часть составляет морально устаревшее и технически изношенное оборудование. Таким образом, проблема энергообеспечения нашей страны перерастает в проблему национальной безопасности как политическом, экономическом, так и в экологическом аспекте. Пути решения данной проблемы очевидны – модернизация топливно-энергетического комплекса нашей страны, что, к сожалению, в сегодняшних экономических условиях это возможно реали-

<sup>1</sup> © Пархоменко Р.А., 2014