МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

МІНЄЄВ ОЛЕКСАНДР СЕРГІЙОВИЧ

УДК [681.51.001.2: 625.242–555.4] (043.3)

АВТОМАТИЗАЦІЯ ВІБРОРОЗПУШУВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ РОЗВАНТАЖЕННЯ СИПКИХ ЗМЕРЗЛИХ ВАНТАЖІВ

Спеціальність: 05.13.07 – «Автоматизація процесів керування»

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2013

Дисертація є рукописом.

Робота виконана на кафедрі системного аналізу і управління в Державному вищому навчальному закладі «Національний гірничий університет» (м. Дніпропетровськ) Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор Слєсарєв Володимир Вікторович, Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет» (м. Дніпропетровськ) Міністерства освіти і науки України, завідувач кафедри системного аналізу і управління.

Офіційні опоненти:

– доктор технічних наук, професор Пазюк Михайло Юрійович, Запорізька державна інженерна академія Міністерства освіти і науки України, проректор з науково-педагогічної роботи;

– доктор технічних наук, професор Головко В'ячеслав Ілліч, Національна металургійна академія (м. Дніпропетровськ) Міністерства освіти і науки України, професор кафедри автоматизації виробничих процесів.

Захист відбудеться «___» червня 2013 р. о 13-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.08.080.07 з захисту дисертацій при Державному вищому навчальному закладі «Національний гірничий університет» за адресою: 49005, м. Дніпропетровськ, просп. Карла Маркса, 19, тел. (0562) –47–24–11.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, м. Дніпропетровськ, просп. Карла Маркса, 19, тел. (0562) –47–24–11.

Автореферат розісланий « » травня 2013 року

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д.08.080.07,
к.т.н., доц. О.В. Остапчук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Державна програма розвитку промисловості передбачає створення умов для ефективного використання таких важливих елементів промислової інфраструктури, як транспортні термінали.

В даний час транспортування сипких вантажів, зокрема, агрегованого вугілля пов'язане з великими обсягами перевантажувальних робіт, що досягають десятків і сотень залізничних вагонів на добу. У зимовий час роботу комплексу істотно ускладнює змерзлість цих вантажів та їх злипання. З метою підвищення ефективності розвантаження змерзлого вугілля та зниження енергоємності процесу його розвантаження використовуються спеціальні вібророзпушувальні установки (ВРУ). Наприклад, за допомогою ВРУ в Одеському торговельному порту «Южний» за добу розвантажується до 500 вагонів вугілля. На сьогоднішній день керування ВРУ здійснюється ручним вмиканням кожного двигуна, що знижує її продуктивність. Одним з істотних резервів підвищення продуктивності цієї установки є її автоматизація. Тільки за допомогою автоматичного керування можна створити умови для найбільш повного використання технологічних можливостей вібраційних технологій, що дозволяють реалізовувати ефективний режим процесів розпушування змерзлого агрегованого вугілля, досягти високої продуктивності праці при дотриманні стійкості роботи вібророзпушувальної установки в специфічних температурних умовах, а також виключити наявність неконтрольованих збурюючих вібродій при розпушенні.

Викладені вище фактори обумовлюють актуальність дисертаційної роботи з обгрунтування і розробки автоматизаційної системи керування відповідального етапу технологічної схеми розвантаження вугілля із залізничних вагонів, що полягає в його віброобробці за допомогою вібророзпушувальної установки.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота є складовою частиною держбюджетної теми, що виконувались у Національному гірничому університеті та мали назву: «Інтелектуальні комп’ютерні технології обробки даних, прогнозування та керування» (державна реєстрація 0104U003432) по замовленню Міністерства освіти і науки України, де здобувач був співвиконавцем.

Мета роботи полягає у встановленні ефективних режимів процесу розпушення агрегованого вугілля за допомогою вібраційної установки, як об'єкта автоматизації та розробка на цій основі засобів і систем для її автоматичного керування.

Для досягнення поставленої мети в роботі були вирішені наступні **задачі**:

– вивчити стан питання і сформулювати завдання досліджень;

– дослідити технологічний процес вібророзпушення агрегованого вугілля;

– розробити математичну модель процесу вібророзпушення вугілля і перевірити її адекватність;

– розробити автоматизовану систему керування вібророзпушувальним процесом за допомогою установки;

– розробити рекомендації щодо підвищення ефективності керування та автоматизації вібророзпушувальним процесом з використанням установки ВРУ і провести їх перевірку.

Об'єкт дослідження – процес розпушення змерзлого вугілля за допомогою вібророзпушувальної установки ВРУ

Предмет дослідження – способи підвищення ефективності розпушення та впровадження цих способів через автоматичне керування.

Методи дослідження –методи геомеханіки, аналітичні та чисельні методи розрахунку – для розробки математичної моделі процесу віброзпушення агрегованого вугілля; методи визначення фізико-механічних властивостей матеріалів, статистичні методи обробки експериментальних даних – для експериментального визначення властивостей агрегованого вугілля; теоретичні основи фізики і методи апроксимації експериментальних даних – для розробки методики розпізнавання властивостей вугілля в залізничному вагоні в процесі функціонування автоматизаційної системи; методи теорії автоматичного керування – при обґрунтуванні алгоритмів і структурної схеми АСК (автоматизована система керування) вібророзпушення вугілля в залізничному вагоні для його розвантаження.

Наукові положення, що виносяться на захист

1. Керування процесом вібророзпушення агрегованого вугілля ґрунтується на періодичній експонентній зміні частоти розпушення в залежності від глибини впровадження розпушуючого штиря.

2. Частота вібророзпушення обумовлена зміною температури агрегованого вугілля від глибини занурення розпушуючого штиря за закономірністю Больцмана, а також логарифмічними закономірностями зміни, енергоємності руйнування і реологічних параметрів вугілля різного фракційного складу від його вологості і температури.

Наукове значення роботи полягає у встановленні закономірностей, що визначають процес вібророзпушення змерзлого вугілля в системі агрегованого вугілля та автоматизації, як єдину структуру зі зворотним зв'язком, яка враховує взаємодію між властивостями розпушуючого матеріалу і параметрами вібродії, що дозволило реалізовувати ефективний частотний режим вібророзпушення.

Наукова новизна одержаних результатів:

–встановлено, що ефективність процесу розпушення агрегованого вугілля, яке здійснюється за допомогою установки ВРУ в автоматизованому режимі, на відміну від загальноприйнятої стаціонарної вібродії, базується на періодичному зміненні частоти віброзпушення;

– вперше отримані закономірності зміни температури агрегованого вугілля і механічного напруження в ньому в залежності від глибини занурення розпушуючого штиря у вугілля, а також закономірності зміни енергоємності руйнування і реологічних параметрів вугілля різного фракційного складу від

його вологості і температури, що дозволило встановити та реалізувати в АСК багаточастотний режим вібророзпушення;

Практичне значення полягає у:

– розробці АСК вібророзпушення змерзлого агрегованого вугілля для його розвантаження із залізничного вагона за допомогою установки ВРУ, що включає цілісний комплекс завершених розробок: встановлення ефективного режиму вібророзпушення вугілля, створення алгоритмів для чисельного розрахунку параметрів вібророзпушення і керування, розробка структурної схеми автоматизації і сучасного програмно-апаратного забезпечення;

– вперше розроблено методику розпізнавання властивостей агрегованого вугілля при вібродії, що дозволяє встановлювати в автоматичному режимі значення ефективних частот вібророзпушення при поглибленні штиря у вугілля;

– розробці алгоритма математичного розрахунку, що дозволяє реалізовувати ефективний частотний режим розпушування змерзлого вугілля;

– розробці рекомендацій щодо підвищення ефективності керування ВРУ при розвантаженні змерзлого вугілля в морському торговельному порту «Южний»;

– використанні розробок по АСК фірмою БМК «Млад» в технічне завдання для ВАТ «Запоріжсталь» на виготовлення і поставку віброустановки з метою розпушування змерзлого вугілля для базисного складу.

Обгрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується: коректністю постановки задач; використанні апробованих методів теоретичної механіки, фізики, статистики; аналітичних і чисельних методів розрахунку, а також високою збіжністю рішень тестових завдань.

Особистий внесок здобувача. Автор самостійно сформулював мету і задачі досліджень, ідею роботи, наукові положення; розробив математичну модель процесу вібророзпушення агрегованого вугілля і встановлення ефективних параметрів розпушення; методику розпізнавання властивостей агрегованого вугілля; принципову схему і програмно-апаратне забезпечення АСК.

Здобувач брав участь у проведенні лабораторних досліджень з визначенню властивостей агрегованого вугілля і у впровадженні результатів роботи в промисловість.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації доповідалися на: міжнародних науково-практичних конференціях молодих вчених, аспірантів та студентів «Будівництво шахт і підземних споруд» (м. Донецьк, ДонНТУ, 2006, 2008, 2009 рр.), 2–ій міжнародній науково-практичної конференції молодих вчених. аспірантів і студентів «Перспективи освоєння підземного простору» (м. Дніпропетровськ, НГУ, 2008р.); міжнародній науковій школі молодих вчених «Проблеми освоєння надр в XXI столітті очима молодих» (м. Москва, ІПКОН РАН, 2008р.); міжнародному форумі-конкурсі молодих вчених «Проблеми надрокористування » (м. Санкт-Петербург, СПбГУ, 2009р.); міжнародній науково-практичній конференції з механіки «П'яті Поляховські читання» (м. Санкт-Петербург, СПбГУ, 2009р.); 4-му і 5 –ом міжнародних форумах «Розширюючи обрії» (м. Дніпропетровськ, НГУ, 2009,

2010рр.); на VII міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми гірничої справи та екології гірничого виробництва» (м. Антрацит АФГТ СНУ ім. В.Даля, 2012р.).

Реалізація результатів досліджень. Основні результати досліджень використані в рекомендаціях щодо підвищення ефективності керування ВРУ при розвантаженні змерзлого вугілля в морському торговельному порту «Южний» і в ТЗ для ВАТ «Запоріжсталь» на розробку, виготовлення і поставку віброустановки з метою розпушування змерзлого вугілля на базисному складі.

Публікації. Основний зміст дисертаційної роботи опубліковані в 22 наукових роботах, з них: 8 – у спеціалізованих виданнях, 4 патенти та 10 – у матеріалах науково-технічних конференцій.

Обсяг і структура дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків і списку використаних джерел із 85 найменувань, п'яти додатків на 5 сторінках; загальний обсяг роботи –150 сторінок машинописного тексту, 24 малюнки на 10 сторінках, 8таблиць і додатків на 18 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність роботи, сформульовано мету, завдання та методи досліджень, визначено об’єкт та предмет роботи, викладена наукова новизна та практичне значення отриманих результатів.

У **першому розділі** проведено аналіз існуючих способів і засобів відновлення сипучості транспортованої гірничої маси в залізничних піввагонах, їхні переваги й недоліки. Встановлено, що останнім часом найбільш широке поширення в способах відновлення сипучості гірської маси отримали вібраційні установки, зокрема установка ВРУ, які працюють як самостійно, так і в комплексі з іншими засобами.

Аналіз методів автоматизації вібраційних технологій показав відсутність комплексної автоматизації, як розвантажувальних робіт, так і технологічного процесу вібророзпушення вугілля. Результати цих досліджень опубліковані в наукових роботах Базарова Н.Х., Биховського І.І., Пазюка М. Ю., Баумана В.А., Попова С.І., Лукомського С.І., Борщівського А.А., Зарубіна В.М., Капустіна Н.М., Головко В.І., Гавриша А.П., Войтенко В.І., Бідняка Г.І., Нудлера Г.І., Тульчіка І.К., Маміконова А.Г., Стефані Є.П., та ін При цьому автоматизація вібраційних установок у різних галузях промисловості була спрямована, в основному, на змінення окремих елементів конструктивної схеми вібромашин. Питання автоматизації керування вібророзпушувальним процесом, як єдиної системи «вібраційна машина – розпушуюча маса» з урахуванням її зміни в процесі вібророзпушення, що призводить до зміни ефективних параметрів, до теперішнього часу не розглядалися. Автоматизацією вібророзпушувальної установки не займалися тому, що на рівні окремих конструктивних елементів вона позбавлена недоліків, властивих резонансним, ударно-вібраційним і пересувним віброустановкам, а на рівні керування вібророзпушувальним процесом – через відсутність необхідної технічної та електроної бази. Розвиток в області інформаційних технологій дозволяє

вирішити ці проблемні питання та реалізувати цей проект. Тому в роботі були розглянуті основні принципи сучасних систем автоматизованого керування технологічними процесами для розробки АСК вібророзпушення змерзлого вугілля при розвантаженні залізничних вагонів.

У **другому розділі** дисертації проведено аналіз технологічного циклу розвантажувально-навантажувальних робіт у морському торговельному порту «Южний», де вперше була запроваджена вібророзпушувальна установка, розглянуто механізм вібродії і отримана інформація про фізико-механічні властивості змерзлого агрегованого вугілля для налаштування автоматичного режиму ефективної роботи віброзпушувача.

Технологічна схема розпушення змерзлого агрегованого вугілля із застосуванням установки ВРУ наведена на рисунку 1.

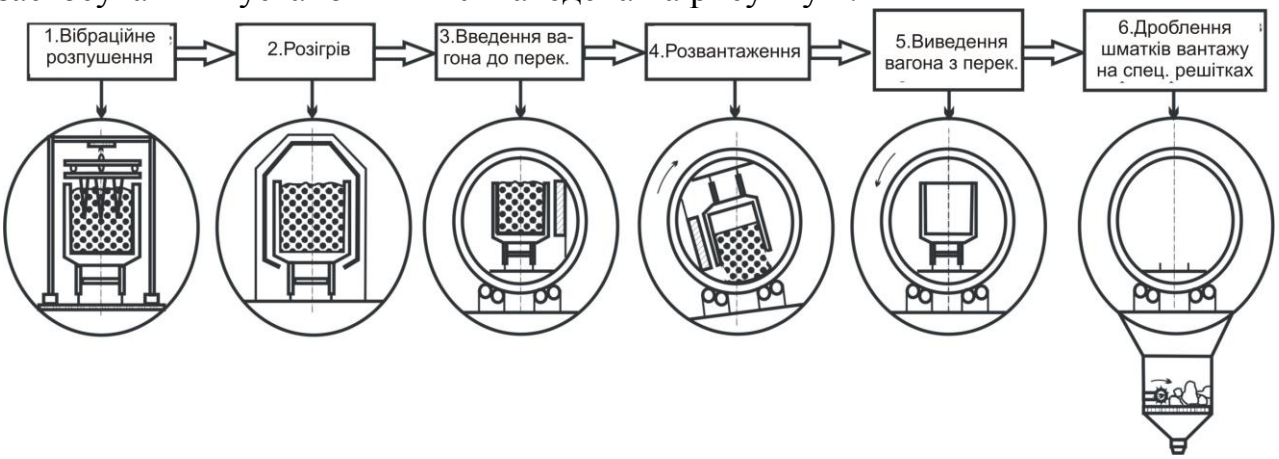

Рис. 1 – Технологічна схема розвантаження змерзлого вугілля з залізничного піввагона в зимовий час.

До найбільш складних елементів технології цього розвантажувального комплексу відноситься вібраційне розпушування змерзлого вантажу за допомогою тримодульної стаціонарної вібророзпушувальної установки. Ця установка має 3 вібромодулі, які розташовані із заданим інтервалом між собою, та складаються з двох плит, що виконують спрямовані коливання перпендикулярно основи вагона (рис. 2).

Досвід експлуатації цієї технології показав, що в даний час необхідно підвищувати її продуктивність, з одного боку, для зниження енергоємності технології, тісно пов'язаної з лімітом часу на розвантаження вагону, а з іншого боку – для отримання додаткового резерву часу в разі збільшення вантажопотоку або погіршення кліматичних умов. Дані питання можна вирішити на основі розробки автоматизованої системи керування цією технологією. Причому починати необхідно з найбільш важливого елементу – стаціонарної вібророзпушувальної установки. При цьому керування цією установкою повинно базуватися на управлінні процесом вібророзпушення в залежності від властивостей агрегованого вугілля, що змінюються з глибиною його залягання в залізничному вагоні через різну вологість і температуру, а також в залежності від кліматичних умов. Як показав аналіз конструкції вібраційної установки, технічно керування системою ВРУ можливо здійснювати регулюванням кількістю дебалансних мас, розміщених на валу

віброзбуджувача; жорсткістю нелінійних пружних зв'язків і частотними характеристиками вібропливу.

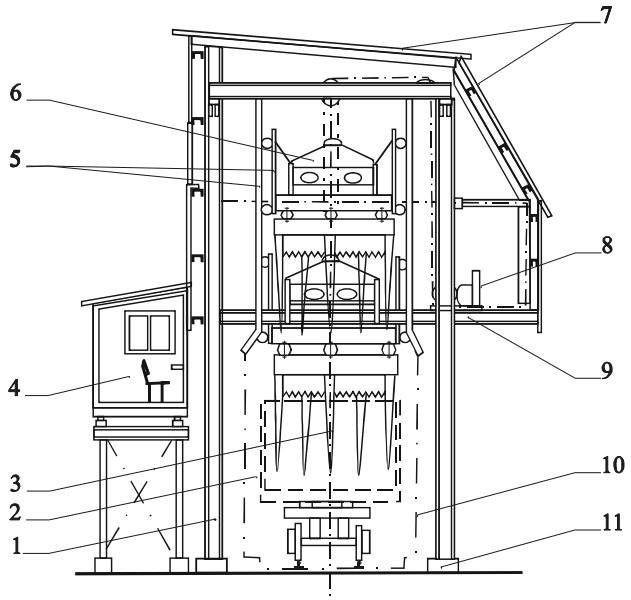

Рис. 2 – Загальна схема вібророзпушувальної установки ВРУ: 1 – несучі балки; 2 – вагон; 3 – робочий орган вібраційного модуля з розпушувальними штирями; 4 – операторна; 5 – система направляючих; 6 – віброізоляційна траверса; 7 – перекриття; 8 – лебідка; 9 – балка ярусного перекриття установки; 10 – габарит рухомого складу; 11 – фундаменти.

Аналіз механізму вібродії показав, що керування автоматичною системою вібророзпушення агрегованого вугілля ефективніше здійснювати за допомогою зміни частоти вібраційного впливу. При цьому ефективні значення частоти визначаються такими фізико-механічними характеристиками вугілля, як його міцність та реологічні властивості при різному фракційному складі, вологості і температури. Інформацію про ці параметри отримували керуючись основними відомими стандартами на зразках у вигляді кубиків з розмірами $100 \times 100 \times 100$ мм (таблиця 1). Статистична обробка результатів експериментів показала, що надійність встановлених значень фізико-механічних властивостей агрегованого вугілля становить 95%.

У **третьому розділі** виконана комплексна розробка математичної моделі вібророзпушувального процесу, яка, як показав аналіз технологічного процесу, повинна бути прикладною, динамічною, безперервною та аналітичною. При цьому ефективне значення основного керуючого параметра – частоти вібраційного впливу можна визначити з умови максимуму параметра енергопередачі ($Э_{max}$) при вібродіїї на вугілля. Структурована математична модель процесу віброзпушення агрегованого вугілля для створення автоматизованої системи керування представлена на рисунку 3.

Таблиця 1

Експериментальні значення деяких міцкісних та реологічних параметрів.

Воло-	Межа міцності	Енергоєм-	Реологічні параметри

гість, %	на одноосьове стиснення, кПа	ність розпушення, кДЖ	χ	β
Зразки із суміші №1				
10	4,0/6,0/10,0*	0,7/1,2/1,9	0,11462/ 0,19982/ 0,31738	0,11504/0,20034/ 0,31778
15	10,0/20,0/27,0	2,6/3,4/6,2	0,11638/ 0,13603 / 0,23292	0,11601/ 0,13641/ 0,23331
20	16,0/35/44,0	4,5/5,7/8,2	0,12321/ 0,13653/ 0,21419	0,12368/0,13692/ 0,21459
25	22,0/49,0/62,0	6,2/7,9/10,4	0,14243/0,11560/ 0,19839	0,14297/0,11596/ 0,19879
30	28,0/64,0/79,0	7,8/9,7/11,2	0,13851/0,11511/ 0,19000	0,13905/ 0,11547/ 0,19039
* a_1/ $a_{2/}$ a_3 – значення показників досліджуваних параметрів. відповідно, при температурах t_1= –5°C, t_2= –7°C, t_3= –10°C				

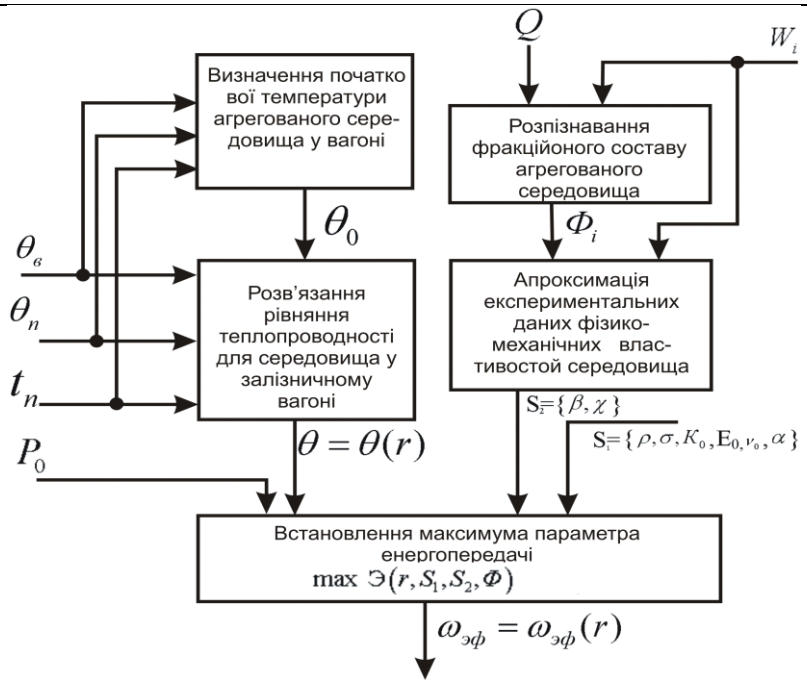

Рис. 3 - Структурний синтез математичної моделі: θ– температура, відповідно, повітря на поверхні(θ_n) вугілля, у вагоні($\theta_в$), а також у момент завантаження вагона(θ_0); r – відстань по глибині вагона від його поверхні; Φ_i– фракційний склад; S_1 – множина реологічних параметрів; S_2 – множина фізико-механічних параметрів; Q – питома енергоємність проходження вугілля.

При встановленні функціонального взаємозв'язку температури вугілля в залізничному вагоні від його глибини, вагон моделювався циліндром, на поверхні якого задавалися температура повітря та агрегованого вугілля в даний момент часу і в момент його завантаження. При цьому вирішувалося рівняння радіального поширення тепла в циліндрі. В результаті встановлено, що взаємозв'язок температури вугілля з його глибиною у вагоні має вигляд функції Больцмана, що свідчить про належність даної температурної залежності до

функцій фізичної кінетики, які описують системи, далекі від термодинамічної рівноваги.

Для розпізнавання фракційного складу і властивостей агрегованого вугілля на основі експериментальних даних були встановлені апроксимаційні залежності енергоємності руйнування і фізико-механічних властивостей вугілля від його вологості і температури. Наприклад, апроксимуюча залежність реологічного параметра β, для першого фракційного складу має вигляд:

$$\beta_1 = a + b\theta_c + \frac{c}{W} + d\theta_c^{\,2} + \frac{s}{W^2} + \frac{f\theta_c}{W} + g\theta_c^{\,3} + \frac{h}{W^3} + \frac{i\theta_c}{W^2} + \frac{j\theta_c^{\,2}}{W}, (r^2=0{,}996) \quad (1)$$

де *a, b, c, d, s, f, g, h, i, j* – коефіцієнти апроксимації:

Розроблена методика розпізнавання властивостей агрегованого вугілля в процесі вібророзпушення полягає в тому, що вимірявши температуру і вологість на поверхні вугілля і порахувавши енергоємність руйнування, з апроксимаційних залежностей встановлюється фракційний склад вугілля. Тоді, маючи ці дані із залежностей типу (1) визначаються фізико-механічні властивості вугілля у вагоні.

Ефективна частота вібророзпушення встановлювалася з позиції віброреології з рішення задачі про вплив віброджерела на сферичну порожнину, до межі якої прикладено тиск, що змінюється за гармонійним законом:

$$P = P_0 e^{i\omega t}, \quad (2)$$

де P_0 – амплітуда збурюючого тиску; ω – частота вимушених коливань.

При вирішенні задачі скористалися принципом Больцмана-Вольтерра, згідно з яким, рішення крайових задач, отримані в рамках лінійної теорії пружності, справедливі для відповідних крайових задач лінійної теорії спадковості при заміні пружних постійних їх операторними виразами. При цьому компоненти тензора напружень $-\sigma_{rr}(r,t), \sigma_{\varphi\varphi}(r,t),$ і вектора переміщень $U_r(r,t)$ у пружному просторі були описані залежностями:

$$U_r(r,t) = -A_1 \frac{1+ikr}{r^2} e^{-ikr} e^{i\omega t};$$

$$\sigma_{rr}(r,t) = A_1\left(2\mu\left(\frac{2}{r^3} - \frac{k^2}{r} + i\frac{2k}{r^2}\right) - \lambda\frac{k^2}{r}\right)e^{-ikr}e^{i\omega t};$$

де A_1 – амплітуда що визначається з граничної умови (2); $k = \omega / c_1$ – хвильове число; c_1–швидкість поздовжніх хвиль; λ і μ – постійні Ляме, які визначаються через модуль пружності E і коефіцієнт Пуассона ν.

Оцінку ефективності передачі віброенергії змерзлого вугілля вираховували у відношенні середньої за період потужності потоку енергії через замкнуту поверхню, розташовану на відстані r від джерела збудження $<P_r>$ до середнього за період потужності потока енергії через поверхню збудження $<P_a>$ у вигляді: $Э = \bar{r}^2 < P_r > / < P_a >$, де *a* – половина відстані між віброштирями.

Для чисельної реалізації рішення даної задачі написана програма. яка виробляє обчислення множини значень Э(ω,r) і будує кілька 2D графіків, що наочно показують зміну значення Э в залежності від зміни основних параметрів. Результати розрахунку параметра енергопередачі Э для різних значень частоти вимушених коливань в залежності від відстані до віброісточніка при наступних числових параметрах агрегованого вугілля: $\theta = -5^o C;\ \theta_в = 0^o C;\ W = 20\%;\quad \chi = 0,2101\ \ \beta = 0,23774;\ E_0 = 1000 МПа;$ $\nu_0 = 0,14;\ \ a = 0,03 м$, представлені на рисунку 4. Ці розрахунки показали, що ефективна частота вібродії $\omega_{эф}$,що характерна для змерзлого вугілля, не є константою для даного матеріалу, а змінюється в залежності від відстані до віброджерела.

Тобто при розробці АСК ефективна частота вібродії повинна бути не константою, може бути представлена як багаточастотний режим, що виражається експоненціальною залежністю частоти вібророзпушення від відстані до віброджерела:

$$\omega_{еф}\left[Гц\right] = Ae^{(r/a)B}, \qquad (3)$$

де *a*, В – константи апроксимації, які визначаються температурою повітря і агрегованого вугілля, його вологістю і фізико-механічними властивостями.

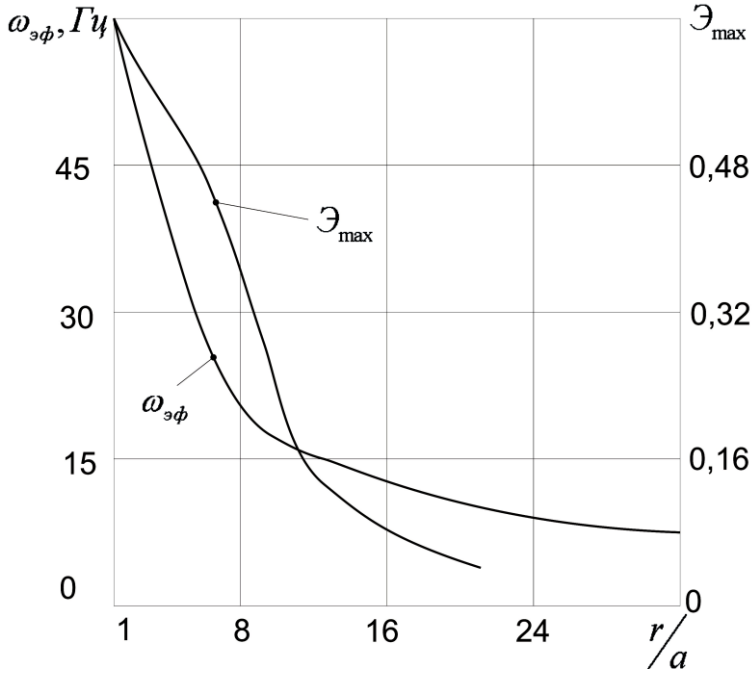

Рис. 4 – Ефективна частота вібродії ($\omega_{еф}$) і відповідний їй параметр енергопередачі ($Э_{мах}$) для змерзлого вугілля при $\theta = -10^0 C$ в залежності від відстані до віброджерела.

Перевірка адекватності комплексної математичної моделі процесу вібророзпушення агрегованого вугілля для АСК підтверджується тестової перевіркою результатів обчислень ефективної частоти вібророзпушення, а також експериментальною перевіркою ефективності розрахункового режиму багаточастотного вібророзпушення.

У **четвертому розділі** розроблена автоматична система керування віброзпушенням вугілля за допомогою установки ВРУ. З цією метою, перш, за все був створений комплексний алгоритм, що включає поетапне обчислення ефективної частоти вібродії на основі розпізнавання фізико-механічних властивостей вугілля в залізничному вагоні і одночасне вібророзпушення з оптимальною частотою, який представлений на рисунку 5.

При формуванні апаратної частини для реалізації розробленого алгоритму в якості головних обчислювальних пристроїв використовується програмований логічний контролер (ПЛК) Modicon, що випускається компанією Schneider Electric.

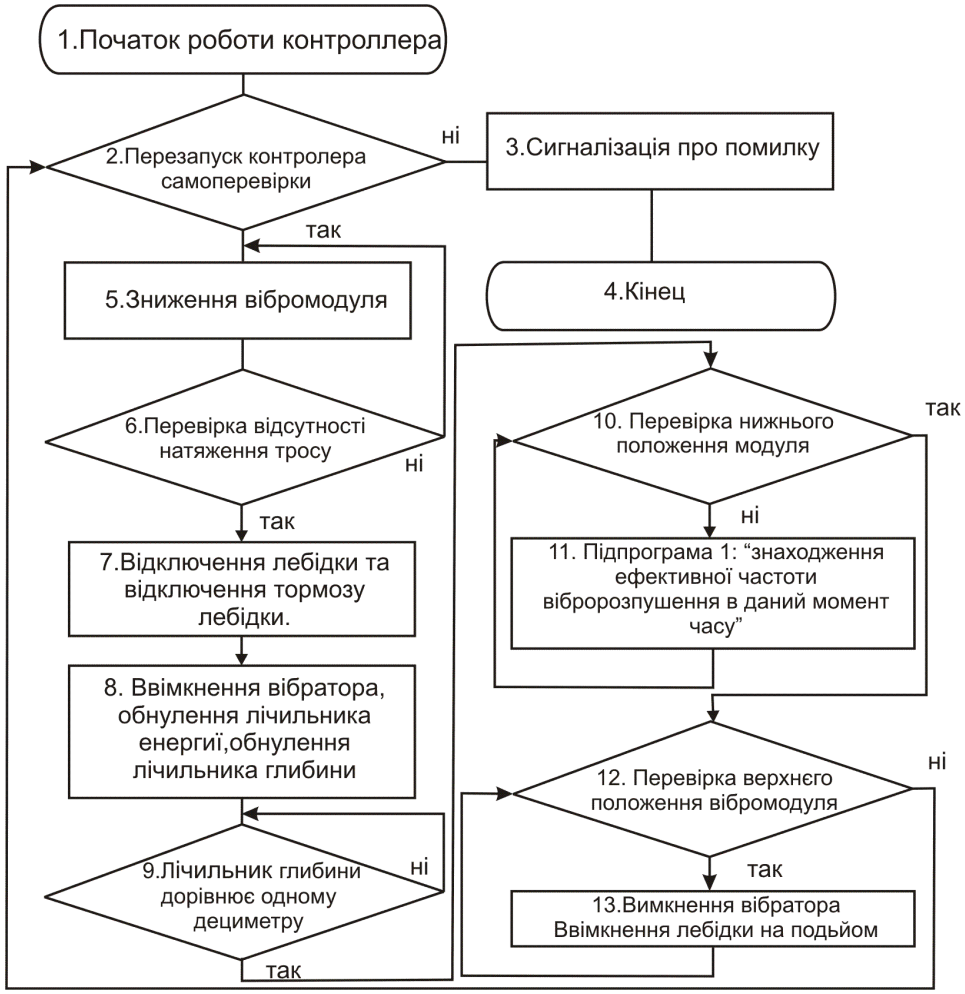

Рис. 5 – Головний алгоритм керування ВРУ

Крім того, в роботі розроблена система самоперевірки АСК на працездатність, як спочатку циклу розпушування агрегованого вугілля у вагоні, так і безпосередньо перед циклом розпушування. Спеціальний алгоритм для роботи контролера, включеного в систему самоперевірки, зображений на рисунку 6. При цьому був обраний стійкий до вібраційних навантажень мікроконтролер середнього класу, функціонування якого побудовано за допомогою схем із застосуванням реле та транзисторних ключів для аварійних команд, а також інших елементів для забезпечення коректної роботи системи живлення.

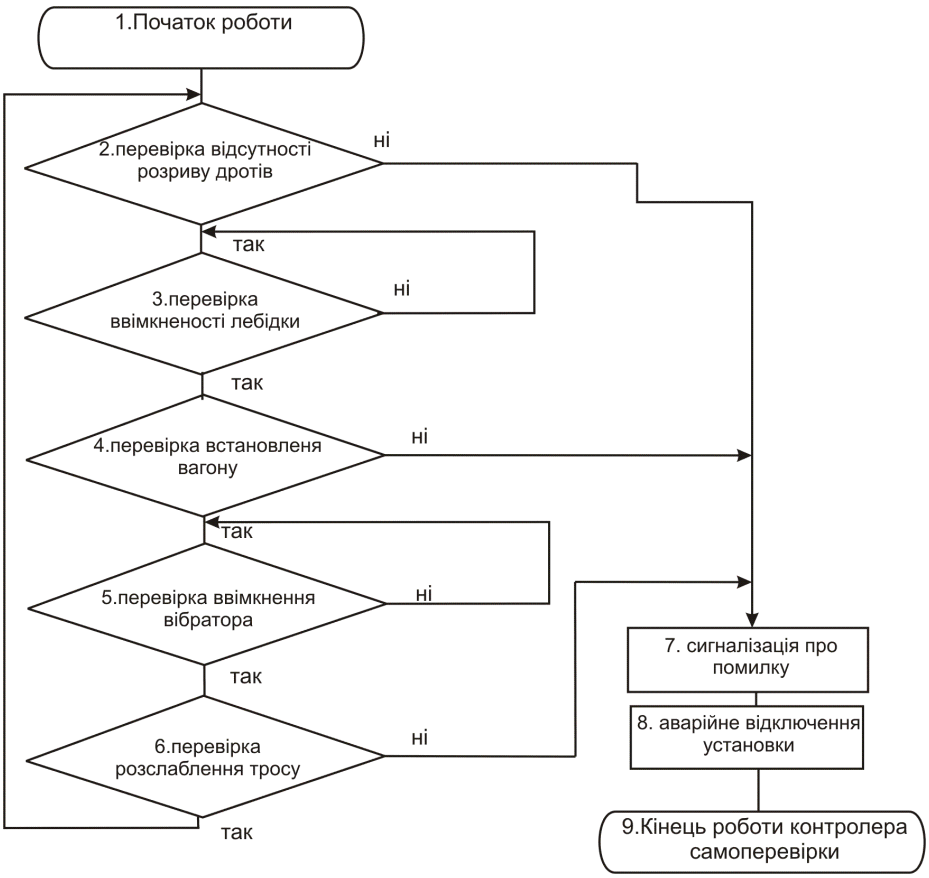

Рис. 6 – Алгоритм для контролера самоперевірки

Для реалізації в АСК покрокової зміни ефективної частоти вібророзпушення у міру поглиблення розпушувальні штиря у вугілля використовується 3–х фазний асинхронний двигун потужністю 22 кВт, що дозволяє достатньо оперативно і з високим ступенем надійності створювати в середовищі необхідну частоту вібророзпушення.

Вцілому, структурна схема автоматичної системи керування вібророзпушувальним процесом побудована наступним чином (рисунок. 7). Практично всі агрегати і пристрої, складові АСК, знаходяться в тій її частині, яка розміщується в операторській кімнаті. Безпосередньо на ВРУ встановлюються тільки датчики, що мають з'єднання з глобальною системою електропостачання. Дана система забезпечує їх електроенергією певної напруги і частоти, а також з'єднує з двома основними обчислювальними пристроями. Це – PIC контролер самоперевірки і головний обчислювально-командний ПЛК Modicon. Сигнали з датчиків відправляються відразу в два місця для забезпечення більш ефективного виробничого циклу, що характеризується найбільш низькою ймовірністю виходу з ладу будь-якого із зазначених контролерів.

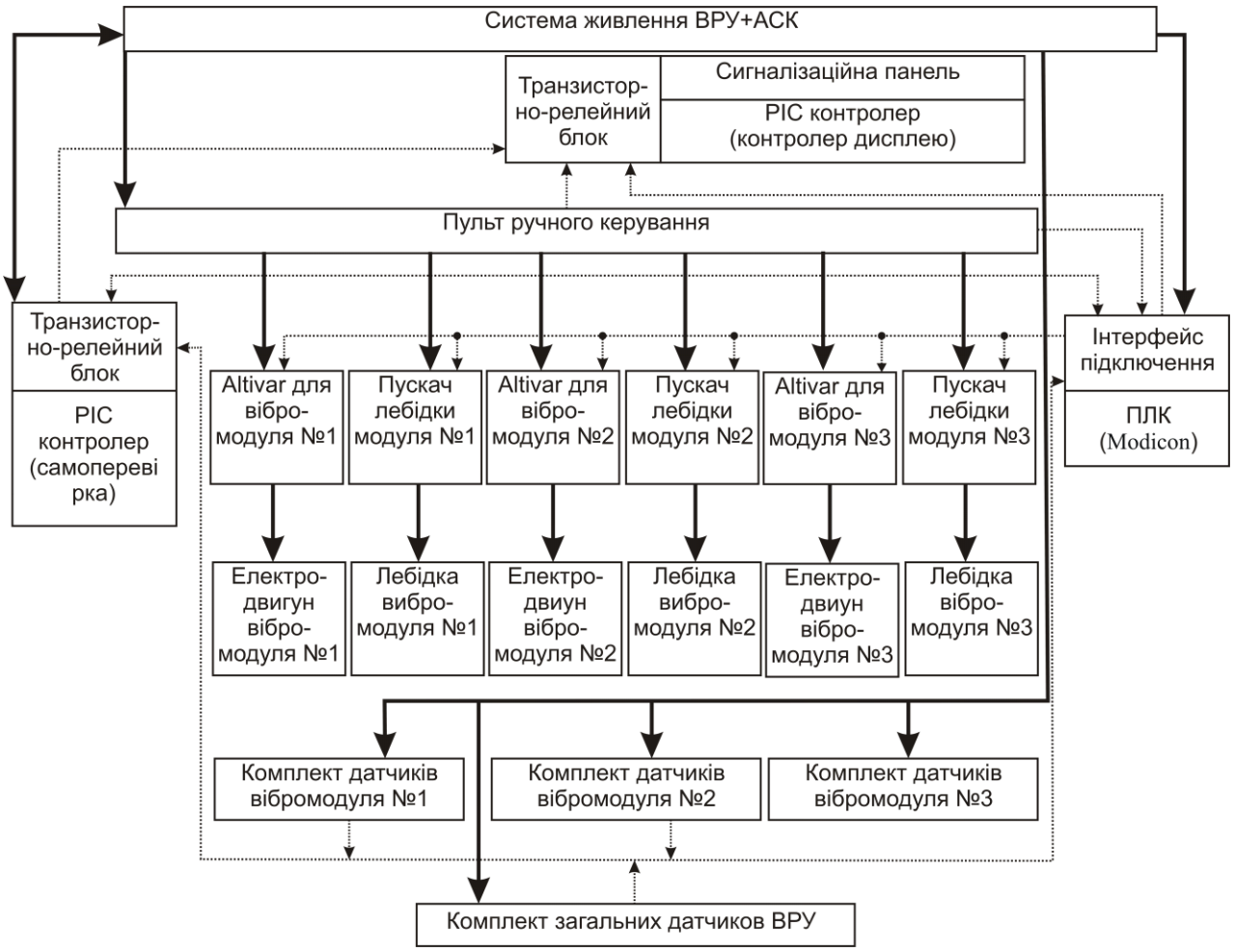

Рис. 7 – Структурна схема АСК вібророзпушувальним процесом, де суцільна лінія – силові з'єднання, пунктирна лінія – сигнальні з‘єднання

Головний вузол АСК складається з самого ПЛК і інтерфейсної частини. ПЛК підключається аналоговими каналами до двох типів пристроїв, до яких відносяться система керування частотою асинхронного двигуна – Altivar і пускач лебідки. Структурною схемою передбачено також установка трьох пар даних пристроїв, відповідних трьом вібромодулям, задіяних у розвантаженні вагонів.

Для написання програми, що реалізує алгоритм АСК, була вибрана мова ST, як сама високорівнева мова програмування для подібних контролерів. Загальний вид програми побудований за типом декількох замкнутих циклів, відповідних вібророзпушувальним етапам, що характеризуються покроковим змінам частоти вібророзпушення для кожного з трьох вібромодулів, що працюють на ВРУ.

Розроблено рекомендації щодо підвищення ефективності керування та автоматизації розвантажувальним процесом змерзлого вугілля з використанням установки ВРУ. Основні елементи, закладені в рекомендації, захищені патентами. Рекомендації передані в морський торговий порт «Южний» і застосовані при розвантаженні залізничних вагонів на комплексі вагоноопрокидувача. Крім того виконані розробки по АСК передані БМК «Млад» та включені в розроблене технічне завдання для ВАТ «Запоріжсталь»

на розробку, виготовлення і поставку віброустановки для розпушування змерзлого вугілля на базисному складі установки «вдуву» пиловугільного палива в доменній печі № 2–5.

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій вирішена актуальна науково-технічна задача обґрунтування та розробки АСК вібророзпушення змерзлого вугілля в залізничному напіввагоні за допомогою установки ВРУ, що забезпечує функціонування технологічної системи розвантаження вантажів, дозволяє досягти високої продуктивності праці при дотриманні стійкості роботи вібророзпушувальної установки в специфічних температурних умовах. Розроблена концепція системи АСК вібророзпушення змерзлого вугілля з можливостями її модернізації та інтеграції в глобальну систему АСК промислового підприємства має важливе значення для комплексної автоматизації транспортних терміналів у промисловості.

Виконані в роботі дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

1. Встановлено, що АСК вібророзпушення агрегованого вугілля повинно базуватися на управлінні процесом вібророзпушення в залежності від зовнішніх кліматичних умов і фізико-механічних властивостей матеріалу, що змінюються з глибиною його залягання в залізничному напіввагоні через різної вологості і температури. При цьому основним керуючим параметром при розробці АСК процесом вібророзпушення є частота вібраційного впливу.

2. Встановлено, що функціональний взаємозв'язок температури агрегованого вугілля в залізничному вагоні з його глибиною має вигляд функції Больцмана. Взаємозв'язок енергоємності руйнування і реологічних параметрів вугілля різного фракційного складу від його вологості і температури, описується, відповідно, логарифмічним і експоненціальним законом.

3. На основі розробленої комплексної математичної моделі процесу вібророзпушення змерзлого вугілля, що розглядає систему «агреговане вугілля – АСК», як єдину структуру із зворотним зв'язком між властивостями розпушуючого вугілля і параметрами вібродії, вперше встановлено, що ефективна частота вібророзпушення повинна бути не константою, а являти собою багаточастотні вібродії. Це виражається в постійній зміні частоти вібророзпушення в міру поглиблення віброштиря у вугілля, що описується експоненційною функцією.

4. Розроблено методику розпізнавання в АСК фізико-механічних властивостей агрегованого вугілля при різній його вологості і температурі. Алгоритм даної методики грунтується на розрахунку енергоємності руйнування вугілля в результаті його розпушення установкою з використанням експериментальних даних про фізико-механічний стан вугілля.

5. Вперше для АСК вібророзпушення агрегованого вугілля середовища розроблений комплексний алгоритм, що включає поетапне обчислення ефективної частоти вібродії на основі розпізнавання фізико-механічних властивостей вугілля в залізничному напіввагоні і одночасне вібророзпушення з ефективною частотою.

6. В роботі розроблена система самоперевірки АСК на працездатність, як спочатку циклу розпушування вугілля в залізничному вагоні, так і безпосередньо перед циклом розпушування на основі використання стійкого до вібраційних навантажень мікроконтролера сімейства PIC16, система функціонування якого побудована за допомогою схем із застосуванням реле та транзисторних ключів для аварійних команд .

7. Реалізація в АСК покрокового зміни ефективної частоти вібророзпушення у міру поглиблення розпушувального штиря в змерзле вугілля базується на використанні 3–х фазного асинхронного двигуна з установкою на вібророзпушувач системи управління його частотою.

8. Вперше для практичної реалізації АСК вібророзпушення змерзлого вугілля в залізничному напіввагоні розроблений програмно-апаратний комплекс з можливістю його модернізації та інтеграції в майбутню глобальну систему АСК промислового підприємства. Загальний вид програми побудований за типом декількох замкнутих циклів, відповідних вібророзпушувальним етапам, що характеризуються покроковим змінам частоти вібророзпушення для кожного з трьох вібромодуля, що працюють на вібророзпушувачі.

9. Розроблено рекомендації щодо підвищення ефективності управління та автоматизації розвантажувальним процесом змерзлого вугілля установкою ВРУ, які передані в морський торговий порт «Южний» і застосовані при розвантаженні залізничних вагонів на комплексі вагоноопрокидувача.

ПУБЛІКАЦІЇ ЗАТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Фахові видання:

1. Минеев С.П., Основные положения технологии разгрузки смерзшегося груза из железнодорожных полувагонов/ С.П.Минеев, М.Г.Ступа, А.С.Минеев// Науковий вісник НГУ, 2008, Вип.№10.– С. 24–29.

2. Алексеев М.А., Автоматизация управления виброрыхлительной установкой / М.А. Алексеев, А.С. Минеев // Гірнича електромеханіка та автоматика: Наук. техн. зб.– 2008. Вип.80.– С. 77–82.

3. Минеев А.С., Рекомендации по автоматизации виброрыхлительной установки // Геотехническая механика: Межвед. Сб. научн. тр. / ИГТМ им. Н.С.Полякова НАН Украины.– Днепропетровск, 2010.– Вып. 90.– С. 106–117.

4. Слесарев В.В., Система самопроверки простых АСУ ./ В.В. Слесарев, А.С. Минеев // Гірнича електромеханіка та автоматика: Наук. техн. зб.– 2010.– Вип.84.– С. 95–99.

5. Минеев А.С. К оценке оптимальных параметров вибрационного воздействия на геоматериалы // Системные технологи. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 5 (76). – Днепропетровск, 2011. – С. 9 – 15.

6. Минеев А.С. Система самопроверки АСУ виброрыхлительной установки для рыхления смерзшихся углей в ж.д. полувагонах // Геотехническая механика: Межвед. Сб. научн. тр. / ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины.– Днепропетровск, 2011 – Вып. 94.– С. 127–133.

7. Минеев С.П., Стационарная виброрыхлительная установка для эффективной разгрузки смерзшегося угля из железнодорожных полувагонов в зимнее время / С.П. Минеев, М.А. Выгодин, А.С. Минеев // Вібрації в техніці та технологіях: Всеукраїнський науково-технічний журнал, 2011.– № 4 (64). – С. 68 – 71.

8. Слесарев, В.В. Математическая модель виброрыхления агрегированной углепородной среды / В.В. Слесарев, А.С. Минеев // Вісник НГУ, 2012. – №1.– С. 113–117.

9. Минеев С.П. Основные технологические решения по эффективной разгрузке смерзшегося груза из железнодорожных полувагонов / С.П. Минеев, М.А. Выгодин, А.С. Минеев // Мости и тунелі: теорія, дослідження, практика. Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. –Вип. 1. – Д.: ДНУЗТ, 2012.– С. 49–54.

Авторські свідоцтва, патенти:

10. Пат. на винахід № 84907 Україна, Спосіб експрес-визначення деформаційних і викидонебезпечних властивостей гірських порід і пристрій для його здійснення / Мінєєв С.П., Рубинський О.О., Прусова А.А., Мінєєв О.С. № a200609491.– заявл. 01.09.06р; опубл. 10.12.2008р. Бюл.№ 23, 08р.

11. Пат. на корисну модель № 39619 Україна, Засіб керування пристроєм для розпушування мерзлих матеріалів у піввагона / Мінєєв С.П., Синиця С.Д., Скіра В.М., Голуб В.Д., Костецький О.В., Бойко С.С., Мінєєв О.С. –№ u200808645, заявл. 01.07.08р; опубл. 10.03.09р. Бюл.№ 5, 09р.

12. Пат. на винахід № 90195 Україна Засіб керування пристроєм для розпушування мерзлих матеріалів у піввагона/ Мінєєв С.П., Синиця С.Д., Скіра В.М., Голуб В.Д., Костецький О.В., Бойко С.С., Мінєєв О.С. З–ка № a200808674, заявл. 01.07.08р; опубл.12.04.10р. Бюл.№7, 10р.

13. Пат. на корисну модель № 66892 Україна Пристрій для розпушування змерзлих і злежалих матеріалів у піввагонах / Мінєєв С.П., Прусова А.А., Мінєєв О.С. З-ка № u201107458, заявл. 14.06.11р; опубл. 25.01.2012р. Бюл.№ 2, 12р.

Тези доповідей на конференціях:

14. Мартыненко С.В., О прогностической системе управления горным предприятием / Мартыненко С.В., Минеев А.С// Тезисы докладов международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Строительство шахт и подземных сооружений».– ДонНТУ, 2006, Вип.№12– С. 82–83.

15. Прусова А.А. Эффективность механизма передачи энергии вибрационного воздействия смерзшимся породам / Прусова А.А., Минеев А.С// Тезисы докладов 2–ой международной научно–практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Перспективы освоения подземного пространства».– НГУ, 2008.– С. 50–53.

16. Алексеев М.А., Автоматизация управления виброрыхлительной установкой / [Алексеев М.А., Минеев А.С]// Тезисы докладов международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов

«Строительство шахт и подземных сооружений» ДонНТУ, 2008, Вип.№14.– С. 33–35.
17. Минеев А.С. Вопросы автоматизации управления виброрыхлительной / Минеев А.С// Тезисы докладов международной научной школы молодых ученых «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых».– М.: ИПКОН РАН, 2008.– С. 162–163.
18. Шмаков Ю.Д., Повышение эффективности виброрыхлительной установкой / Шмаков Ю.Д., Минеев А.С// Тезисы докладов международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Строительство шахт и подземных сооружений».– ДонНТУ, 2009, Вип. №15.– С. 124–125.
19. Slesarev V., Efficiency Control of Vibroscarifiering Equipment / В.В. Слесарев, А.С. Минеев // The 4–th International Forum for Students «Widening our horizons»/ – NMU, 2009, Volume 1. –p. 163.
20. Минеев А.С. Эффективная энергопередача вибрационного воздействия неупругим породам/ Минеев А.С// Тезисы докладов международного форума–конкурса молодых ученых «Проблемы недроиспользования 2009».– Санкт-Петербург: СпбГГУ, 2009.– С. 69–70.
21. Минеев С.П. Разгрузка смерзшегося угля из железнодорожных полувагонов с стационарного виброрыхлительного комплекса / С.П. Минеев, М.А. Выгодин, А.С. Минеев // Проблемы горного дела и экологии горного производства: Материалы VII междунар. научн. практ. конф. (18–19 мая 2012 г., г. Антрацит).– Донецк: Світ книги, 2012.– С. 10–16.

Особистий внесок автора.

Автор самостійно сформулював мету та задачі дослідження, наукові положення і результати, виконав теоретичну і експериментальну частини роботи. Особистий внесок здобувача в роботах, опублікованих у співавторстві: [1,14,15] запропонував деякі принципи систем керування; [2,16,18] участь в проведенні математичних викладок, розробка алгоритму і програми; [4] розробка алгоритмів і програмно-апаратного забезпечення; [9,21] збір даних про застосування вібророзпушення вугілля при розвантаженні вагонів; [7,19] сформулював розрахунковий алгоритм при обґрунтуванні застосування ВРУ; [8] розробив структурну схему мат. моделі; [10] запропонував методику розрахунку властивостей вугілля за параметрами впровадження в нього штиря; [11] розробив методику керування процесом занурення розпушуючих штирів у вугілля; [12] проектування вузла ВРУ; [13] запропонував методику оцінки параметрів занурення розпушуючих штирів у вугілля.

АНОТАЦІЯ

Мінєєв А.С. Автоматизація вібророзпушувальної установки для розвантаження сипких змерзлих вантажів - на правах рукопису

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.07 - автоматизація процесів керування. - Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», Дніпропетровськ, 2013.

Дисертація присвячена автоматизації самого відповідального етапу в технологічній схемі розвантаження змерзлого вугілля із залізничних вагонів, який полягає в вібророзпушенні вугілля за допомогою вібраційної установки ВРУ.

Для процесу віброзпушення розроблена комплексна аналітична модель, яка розглядає систему агрегованого вугілля як єдину структуру із зворотним зв'язком між властивостями вугілля і параметрами вібродії. Математична модель включає в себе наступні етапи: визначення функціонального взаємозв'язку температури вугілля в залізничному вагоні з його глибиною, встановлення апроксимаційних залежностей енергоємності руйнування і фізико-механічних властивостей агрегованого вугілля від його вологості і температури, визначення ефективної частоти вібродії, яка встановлюється з умови максимуму параметра енергопередачі при вібродії на агреговане вугілля.

У результаті проведення чисельних розрахунків за допомогою математичній моделі визначені закономірності зміни основних параметрів, що обумовлюють процес віброзпушення агрегованого вугілля. Зокрема, встановлено, що ефективна частота вібродії повинна бути не константою, а являти собою багаточастотний вплив, який описується експоненціальною функцією, константи якої визначаються фізико-механічними властивостями вугілля. Для їх визначення в АСК розроблена методика розпізнавання.

Розроблено програмно-апаратне забезпечення АСК з можливістю його модернізації та інтеграції в майбутню глобальну систему АСК промислового підприємства.

Розроблено рекомендації щодо підвищення ефективності керування та автоматизації розвантажувальним процесом змерзлого вугілля установкою ВРУ, які передані в морський торговий порт «Южний» і застосовані при розвантаженні залізничних вагонів. Основні елементи, закладені в рекомендаціях, захищені патентами.

Ключові слова: віброзпушення, агреговане вугілля, математичне моделювання, розпізнавання, програмно-апаратне забезпечення

АННОТАЦИЯ

Минеев А.С. Автоматизация виброрыхлительной установки для разгрузки смёрзшихся сыпучих грузов – на правах рукописи

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.15.07 – автоматизация процессов управления.– Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», Днепропетровск, 2013.

В диссертации решена актуальная научная задача разработки АСУ самого ответственного этапа в технологической схеме разгрузки смерзшегося угля из железнодорожных полувагонов, состоящего в его виброрыхлении посредством вибрационной установки ВРУ. Это позволяет обеспечить функционирование технологической системы разгрузки смерзшихся сыпучих грузов, и реализовать эффективный режим процесса виброрыхления угля, исключить наличие неконтролируемых возмущающих вибровоздействий при виброрыхлении и достигнуть высокой продуктивности труда при соблюдении устойчивой работы виброрыхлительной установки в специфических температурных условиях.

На основе анализа технологического цикла разгрузочных работ с использованием установки ВРУ и механизма вибровоздействия на уголь определены основные факторы, влияющие на этот процесс, установлены физико-механические характеристики смерзшегося агрегированного угля, а также показано, что основным управляющим параметром для эффективного управления процессом виброрыхления должна быть частота вибровоздействия.

Для процесса виброрыхления разработана комплексная аналитическая модель, которая рассматривает систему агрегированного угля, как единую структуру с обратной связью между свойствами разрыхляемого угля и параметрами вибровоздействия. Математическая модель включает в себя следующие этапы: определение функциональной взаимосвязи температуры угля в железнодорожном полувагоне с его глубиной, установление аппроксимационных зависимостей энергоемкости разрушения и физико-механических свойств агрегированного угля от его влажности и температуры, определение эффективной частоты вибровоздействия, которая устанавливается из условия максимума параметра энергопередачи при вибровоздействии на агрегированный уголь.

В результате проведения численных расчетов по математической модели определены закономерности изменения основных параметров, обуславливающие процесс виброрыхления агрегированного угля. В частности, установлено, что эффективная частота вибровоздействия должна быть не константой, а представлять собой многочастотное вибровоздействие, описываемое экспоненциальной функцией, константы которой определяются физико-механическими свойствами угля. Для их определения в АСУ разработана соответствующая методика распознавания на основе данных исследований разработки алгоритм программы для автоматизации процесса виброрыхления агрегированного угля.

Создано программно-аппаратное обеспечение АСУ, состоящее из контроллеров, осуществляющих выполнение алгоритма и расчет эффективной частоты рыхления в данный момент времени, системы управления частотой асинхронного трехфазного двигателя, команды в которую поступают из контроллеров, а также некоторое количество интерфейсов для обеспечения соединений и взаимодействия системы вцелом. Система также оборудована набором датчиков для сбора информации о ситуации на виброрыхлителе в данный момент времени, а также для определения необходимых физических параметров для вычисления эффективной частоты виброрыхления. Система

имеет возможность модернизации и интеграции в будущую глобальную систему АСУ промышленного предприятия.

Разработаны рекомендации по повышению эффективности управления и автоматизации разгрузочным процессом смерзшихся углей установкой ВРУ, которые переданы в морской торговый порт «Южный» и применены при разгрузке железнодорожных полувагонов. Основные элементы, заложенные в рекомендациях, защищены патентами.

Ключевые слова: виброрыхление, агрегированный уголь, математическое моделирование, распознавание, программно-аппаратное обеспечение, управление частотой двигателя, программируемый логический контроллер.

ABSTRACT

A.S. Mineev Automation process control vibroloosering unit for unloading frozen bulk cargoes – Copyright reserved

The work is dedicated to automatization to the most responsible stage in the technological scheme of unload of frozen coal from open wagons, wich consists of its viroloosening through the using of vibration machine VLM.

To develop an automatic control system of vibrolooseneing the comprehensive analytical model that considers "the aggregated coal – automatic control system" as a unified structure with a feedback between the properties of loosened coal and vibration parameters. The mathematical model includes the following steps: defining the functional relationship of coal temperature in open wagons with its depth, establishing approximation dependencies of energy capacity of destruction and physical and mechanical properties of aggregated coal on the humidity and temperature, the definition of the effective frequency of vibration exposure.

Considering all the above, for the implementation of our mathematical model it is necessary to use automation with the influence on the engines frequency of the vibrators.

Mathematical model allowed to develop the software and hardware of automatic control system with the ability to upgrade and integrate into future global automatic control system for an industrial enterprise.

Keywords: vibroloosening, the aggregateed coal, mathematical modeling, pattern recognition, software and hardware.

МІНЄЄВ Олександр Сергійович

АВТОМАТИЗАЦІЯ ВІБРОРОЗПУШУВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ РОЗВАНТАЖЕННЯ СИПКИХ ЗМЕРЗЛИХ ВАНТАЖІВ

(Автореферат)

Підп. до. друку 13.05.2013 Формат 60×90/16.
Папір офсетний. Ризографія. Ум. друк. арк.. 0,9
Обл.- вид. арк.. 0,9. Тираж 138 пр. Зам. №___

Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»
49005, м. Дніпропетровськ, просп.. К.Маркса, 19