УДК [622.673.1: 681.514.54]

Канд. техн. наук В.В. Лопатін
(ІГТМ НАН України)

ОПТИМІЗАЦІЯ ВИБОРУ СКЛАДУ ВИМІРІВ У ЗАДАЧІ КОНТРОЛЮ РУХУ ПІДЙОМНОЇ ПОСУДИНИ ШАХТНОГО ПІДНІМАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ПРИ ОБМЕЖЕННІ ЧИСЛА ВИМІРІВ

Найдено существование оптимального конечного значения продолжительности мерного интервала измерений мобильной системы контроля (МСК), при котором обеспечивается минимально допустимая точность. Адаптирована «задача Ельвинга», применяемая в космической отрасли, для оптимизации состава МСК ШПК, которая заключается в выборе оптимального состава некоррелированных измерений при ограничении их числа и доказано, что выбор универсального состава МСК необходимо проводить по универсальному критерию В.Г. Ершова, который заключается в том, что отыскивается минимум числа измерений при условии, что дисперсия оценки вектора измерений меньше или равна заданному положительному числу. Показано, что для повышения точности нескольких параметров ШПК каждому будет соответствовать свой оптимальный состав измерения МСК, который находится по универсальному критерию В.Г. Ершова.

OPTIMIZATION OF THE CHOICE OF COMPOSITION IN A PROBLEM OF THE CONTROL OF MOVEMENT LIFTING VESSELS WINDERS COMPLEX DURING LIMITED NUMBER OF MEASUREMENTS

Found the existence of the optimal duration of the final value of the measurement interval dimensional mobile control system (MCS), which provides the minimum acceptable accuracy. Adapted "problem Elvinga", used in the space industry for the optimization of MCS MWD, which is to select the optimal composition of uncorrelated measurements in a limited number, and prove that the choice of universal MSCs to spend on universal criteria V.G. Ershov, which is what we seek a minimum number of measurements, provided that the variance of the vector measurement is less than or equal to a given positive number. It is shown that to improve the accuracy of several parameters MWD everyone will match your optimum composition measurements MSC, which is on a universal criterion V. G.Yershov.

Шахтний піднімальний комплекс (ШПК) це єдина ланка з’єднання гірської виробки з поверхнею, більша частина ШПК експлуатується понад нормативний термін, мають місце численні відмови і аварії, кількість яких постійно зростає. **29 липня 2011 року** *на шахті "Суходольська-Східна" (ДП "Краснодонвугілля")* при вибуху метану загинули **28** шахтарів; на на шахті ім. Бажанова (ДП "Макіїввугілля") у результаті обвалення копра ШПК клітевого стовбура загинули **11** шахтарів. Тому забезпечення високої надійності ШПК у вибухонебезпечних умовах їх експлуатації є однією з важливих науково-практичних проблем.

В ІГТМ наприкінці минулого століття під керівництвом академіка НАНУ А.Ф. Булата виконувалися дослідження, спрямовані на розробку телеметричного контролю [1, 2], керування й діагностики для кар'єрних похилих підйомників підприємств кольорової металургії Сибірського регіону й надглибоких вертикальних підйомів Норильська. На їхній основі була виконана розробка системи діагностики для застосування на шахтах Міністерства вугільної промисловості України (АС "ТЕРАКОД"). У силу економічних причин проект у повному обсязі реалізований не був. Частина системи була реалізована в системі експрес-діагностики стовбурного встаткування ШПК типу «Оріон» та «МАК» [3-5].

Мобільна система контролю (МСК) ШПК, що була синтезована, може бути оптимізована за допомогою стратегії контролю стану ШПК.

Підчас контролю стану ШПК виникають наступні задачі оптимізації:

- вибір оптимальної математичної моделі контрольованого процесу,
- вибір оптимального алгоритму фільтрації,
- вибір оптимального складу вимірів.

Під **оптимальною стратегією контролю** стану ШПК надалі будемо розуміти не тільки роздільне рішення перерахованих вище задач оптимізації, але і спільне в різних можливих комбінаціях.

Вибір оптимальної ***математичної моделі*** контрольованого процесу. Вихідними даними для рішення цієї задачі є: вектори ***d, l*** й ***q*** [14]***;*** спосіб побудови алгоритму фільтрації для вектора ***q***; характеристики помилок вимірів; оцінок точності моделі й критерій оптимальності. За цими даними вибирається вектор ***q*** і математична модель, що використовується.

Вибір оптимального ***алгоритму фільтрації.*** Вихідними даними для рішення цієї задачі є: математичні моделі; характеристики помилок вимірів і моделі; оцінки точності моделі й критерія оптимальності, по якому проводиться оптимізація; вектори ***d, l*** й ***q;*** обмеження, що накладають на алгоритм фільтрації. За цим даними вибирається оптимальний алгоритм фільтрації, який використовується для визначення оцінки вектора ***q*** по вимірах $\tilde{d}$.

Вибір оптимального ***складу вимірів.*** Вихідними даними для рішення цієї задачі є: вектори ***q*** й ***l***; алгоритм фільтрації; множина можливих вимірів, до якої належить вектор ***d***; спосіб визначення помилок виміру й моделей; критерій оптимальності. За цим даними вибирається вектор ***d*** вимірів.

Невідповідність між умовами, прийнятими при рішенні поставленої задачі контролю, і умовами, у яких перебуває реальна ШПК, часто приводить до помилкових висновків при оцінці точності отриманих результатів і виборі оптимальної стратегії рішення задачі контролю, тому що зроблені основні допущення в дійсної ШПК не виконуються. У зв'язку із цим виникає задача визначення імовірнісних характеристик помилок за результатами контролю, тобто ставиться задача обчислення найгірших значень характеристик точності.

У теорії оптимального планування експериментів використовуються різні критерії оптимальності, на основі яких вирішується задача вибору оцінки точності. Будемо вважати деяку характеристику *К*, що використується щодооцінки точності, яка *мінімізується* (наприклад, дисперсія оцінюваного параметра), якщо з погляду розв'язуваної задачі оптимальним є її можливе зменшення, і яка *максимізується* (наприклад, імовірність влучення похибки в задану область), якщо оптимально можливе збільшення цієї величини. Позначимо через $K(l)$ характеристику точності параметра l і покладемо, що серед всіх параметрів l може бути виділений основний параметр l_1. Як критерій оптимальності може бути прийняте

$$K(l_1) \rightarrow min \quad \text{при} \qquad K(l) \leq M(l),\, l \neq l_1,$$

де $M(l)$ – задані максимальні значення відповідних характеристик точності.

Якщо всі оцінювані параметри l рівноправні, то як критерій оптимальності може бути використане

$$min\ \varphi(l), \qquad (1)$$

де $\varphi(l) = max\ K(l)$ береться по всім l, *що* належать L, де L - задана множина оцінюваних параметрів. Критерій (1) - приклад універсального критерію оптимальності, який характеризується одночасною оптимізацією точності оцінки числа параметрів, що належать множині L. Наведений критерій може бути використаний, коли відомі математичне очікування й коваріацийні матриці вихідних даних.

У тому випадку, коли помилки вихідних даних є незміщеними, й для одержання оцінки використається незміщений алгоритм фільтрації, помилка χ виявляється незміщеною, і її математичне очікування дорівнює нулю. При цьому точність оцінки характеризується ковариаційної матрицею $\boldsymbol{D(\chi)}$ і критерієм є відшукання $min\ D(\chi)$, де χ – помилка оцінки параметра l. Оптимізація в цьому випадку може вестися за критерієм

$$min\ \Psi_j(\chi), \quad \Psi_j(\chi) = max\ \boldsymbol{D_j}, \quad \boldsymbol{j = 1, 2, \ldots\ldots, k}, \qquad (2)$$

де $max\ \boldsymbol{D_j}$ відшукується по всіх можливих значеннях індексу $\boldsymbol{j}$.

Однак мінімізація верхньої й нижньої границі дисперсії $\boldsymbol{D(\chi)}$ не є однозначною й не означає мінімізацію дисперсії помилки χ конкретного параметра l. Тому для нашої задачі більше універсальним є критерій оптимальності Єршова В.Г. [6-7]. При цьому критерії відшукується мінімум числа вимірів n за умови, що

$$\boldsymbol{D\ (\hat{l}_i) \leq \Delta_i^2,\ \ i = 1, 2, \ldots, k,} \qquad (3)$$

де Δ_i^2 - задані позитивні числа.

Розглянемо оптимізацію вибору складу вимірів у задачі контролю руху підйомної посудини шахтного піднімального комплексу при обмеженні числа вимірів, застосовуючи універсальний критерій оптимальності Єршова В.Г. і вищеописану оптимізацію стратегії в задачі контролю руху підйомної посудини ШПК

$$s = a + vt + e(t), \qquad (4)$$

де a - значення шляху в початковий момент, v - швидкість підйомної посудини, t - час шляху.

Розглянемо задачу мінімаксної оцінки при $q=\{a, v\}$, розмірність задачі $m = 2$.

Припустимо, що на деякому інтервалі

$$t_н \le t \le t_к \tag{5}$$

контролюємо (вимірюємо) шлях s. Тоді залежність (4) представить вимірювану функцію

$$\{s(q,t) = a\Psi_1(t) + v\Psi_2(t), \;\; \Psi_1(t)=1, \; \Psi_2(t)= t\,. \tag{6}$$

Геометрична інтерпретація залежності (6) представлена на рис. 1. Фактично, це побудований геометрично оптимальний вимірювальний базис для задачі визначення руху підйомної посудини шахтного піднімального комплексу. На площині з координатами $a,\ v$ кінці векторів $\pm\, \boldsymbol{a_i}$ вимірів лежать на відрізках прямих $A_1\, A_2$ й $A_1^{`}\, A_2^{`}$, обумовлених рівняннями: $a = \pm 1$, $v = \pm t$, $t_н \le t \le t_к$.

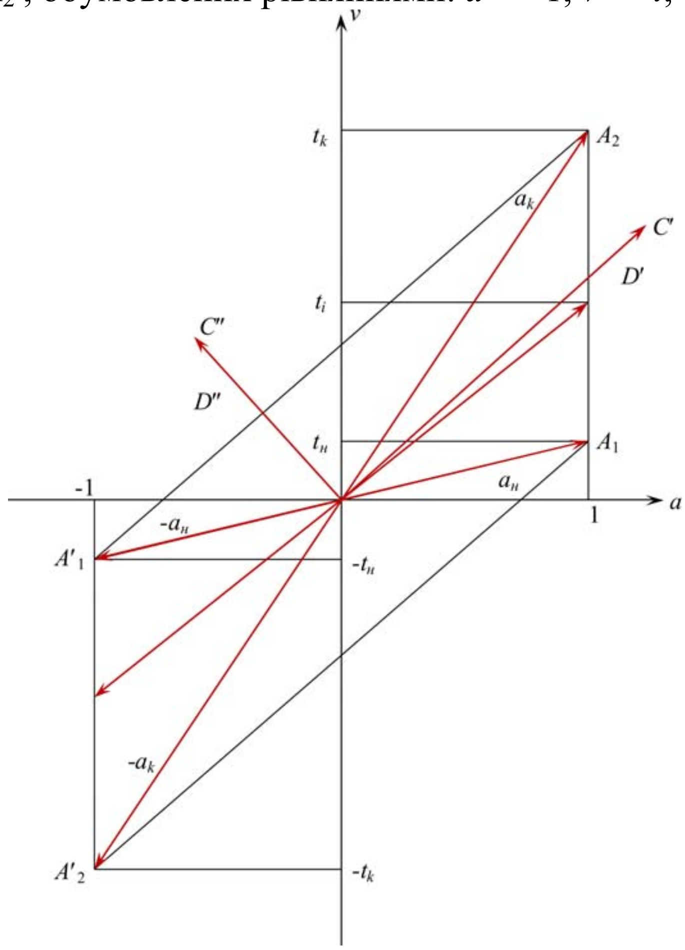

Рис. 1.- Геометрична побудова оптимального вимірювального базису в задачі визначення руху підйомної посудини ШПК.

З'єднуємо відрізками A_1 й $A_2^{`}$, а також $A_2$ й $A_1^{`}$, одержуємо паралелограм, що утримує всі можливі вектори $\pm\, \boldsymbol{a_i}$. Із чого маємо оптимальний вимірювальний базис $\boldsymbol{d_m} = \{d_н,\, d_к\}$, де $d_н$ й $d_к$ – виміри шляху s на кінцях інтервалу (5). Цьому оптимальному вимірювальному базису відповідає алгоритм фільтрації, що одержаний шляхом рішення системи рівнянь

$$\tilde{d}_{н} = \hat{a} + \hat{v}t_{н},$$
$$\tilde{d}_{к} = \hat{a} + \hat{v}t_{до},$$

звідки

$$\hat{a} = t_{до}/(t_к - t_н)\,\tilde{d}_{н} - t_н/(t_к - t_н)\,\tilde{d}_{к},$$
$$\hat{v} = -1/(t_{до} - t_н)\,\tilde{d}_{н} + 1/(t_{до} - t_н)\,\tilde{d}_{к}. \qquad (7)$$

Коли вектор ***з*** перетинає границю паралелограма в крапці, що розташована на одній зі сторін $A_2\,A_1^{`}$ або $A_1\,A_2^{`}$ (вектор ***c'`*** і крапка D`` на рис. 1), оптимальний алгоритм (6) є єдиним рішенням розглянутої задачі. Якщо крапка D лежить на стороні A_1A_2 або $A^{`}_1A_2^{`}$ (вектор ***c'*** і крапка D` на рис. 1), то крім (7) існує множина оптимальних вимірювальних базисів, що задовольняють умовам $t_н \leq t_i \leq t_к$.

Тому що виміри можуть проводитися в довільні моменти t, що лежать на замкнутому інтервалі (4), і існує множина вимірювальних базисів, тому потрібно вибрати n вимірів, що забезпечують досягнення мінімумів дисперсій оцінок $\hat{a}$ і $\hat{v}$.

Скористаємося завданням вибору складу некорельованих вимірів при обмеженні їхнього числа до n. Уперше таку (некласичну) постановку задачі сформулював Ельвинг [8] - «задача Ельвинга» (ЗЕ). Надалі ЗЕ використалася в прикладних задачах військово-промислового комплексу СРСР [9-13]. У відомих джерелах ЗЕ для контролю руху підйомної посудини шахтного піднімального комплексу не застосовувалася. ЗЕ дотепер актуальна [10], тому що гарантовано забезпечує те, що рішення, отримане з її допомогою, свідомо лежить у границях фактичних значень помилок визначення оцінюваних параметрів.

ЗЭ для контролю руху підйомної посудини шахтного піднімального комплексу будемо вирішувати при наступних умовах.

1. Для побудови множини можливих вимірів використується вектор $\boldsymbol{d} = \{q_1, q_2, \quad q\}$, пов'язаний з вектором станів $\boldsymbol{q} = \{q_1, q_2, \quad q\}$ залежністю

$$\boldsymbol{d} = \boldsymbol{Aq},$$

де $\boldsymbol{A}$ – задана матриця Nm, що задовольняє умові $R(A) = m$. Будь-яка складова вектора $\boldsymbol{d}$ може бути повторена необмежену кількість разів.

2. Всі виміри незміщені й некореловани. Може бути зроблено не більше n вимірів.

3. Оцінка вектора $\boldsymbol{q}$ визначається по методу найменших квадратів, в якості критерію оптимальності використується досягнення мінімуму дисперсії оцінки l.

Як було показано вище, існує оптимальний вимірювальний базис у моменти $t_1 = A_H$ й $t_2 = к$. Позначимо через n_i ($i = 1, 2,\ldots, N$) число повторюваних вимірів $\tilde{d}_i$ вектора ***d.*** Із залежностей (3) і перерахованих вище умов маємо, що при виборі оцінюваного параметра l величини шляху a рядок коефіцієнтів алгоритму фільтрації

$$\boldsymbol{X_m} = [t_к/(t_к - t_н),\ -t_н/(t_к - t_н)], \tag{8}$$

а при виборі оцінюваного параметра l величини швидкості v рядок коефіцієнтів алгоритму фільтрації

$$\boldsymbol{X_m} = [-1/(t_к - t_н),\quad 1/(t_к - t_н)]. \tag{9}$$

Із залежностей (8, 9) і перерахованих вище умов знаходимо відповідні оптимальні кількості вимірів для моментів t_1 й t_2:

$$\begin{cases} n_1 = \dfrac{|t_к|}{|t_к| + |t_н|} n, \quad n_2 = \dfrac{|t_н|}{|t_н| + |t_к|} n \text{ при } l = a. \\ n_1 = n_2 = \dfrac{n}{2} \text{ при } l = v \end{cases} \tag{10}$$

Із залежності (10) видно, що при наявності оптимального вимірювального базису $\boldsymbol{d_m}$ відповідна цьому базису кількість n_i вимірів залежить від вибору оцінюваного параметра l. Із залежності (10) видно, що однаковий для визначення обох оцінок $\hat{a}$ і $\hat{v}$ оптимальний вимір виходить при $t_н = - t_к$. За допомогою залежностей (8) і (9) можна показати, що мінімальні значення дисперсій оцінок $\hat{a}$ і $\hat{v}$ при оптимальних вимірах

$$D_{min}(\hat{a}) = \sigma^{2/}n\ (|t_н| + |t_к|)^{2/}T^2,\ D_{min}(\hat{v}) = 4\ \sigma^2/nT^2, \tag{11}$$

де $T = t_к - t_н$ – тривалість мірного інтервалу.

При

$$t_н \le 0, \text{ а } t_к \ge 0 \tag{12}$$

перше з виражень (11) приймає вид

$$D_{min}(\hat{a}) = \sigma^{2/}n\ . \tag{13}$$

Вираження (13) не залежить від часу $t_н$ й $t_к$, тому що величина a визначає положення підйомної посудини шахтного піднімального комплексу в момент $t=0$. Цей випадок є оптимальним для визначення оцінки $\hat{a}$. Досліджуємо залежність (13), що дозволяє оцінити мінімальну дисперсію положення підйомної посудини шахтного піднімального комплексу в момент $t=0$, від збільшення n (рис. 2).

Коли обидві залежності (12) являють собою строгі нерівності, зосереджуючи всі виміри на обох кінцях інтервалу (5) можна одержати оптимальне значення $D(\hat{a})$ при одночасному визначенні оцінки $\hat{v}$. Якщо одна з нерівностей (12) звертається в рівність, для досягнення величини $D_{min}(\hat{a})$ потрібне зосередження всіх вимірів у момент $t=0$, що приводить до вираження (13), при цьому виключає визначення оцінки $\hat{v}$.

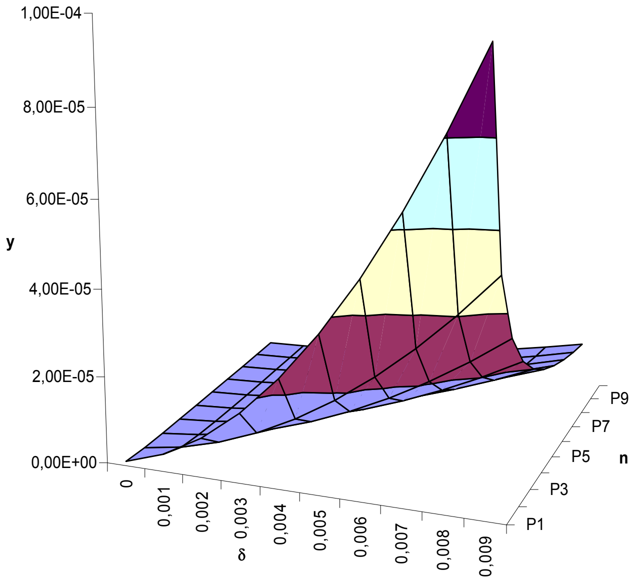

Рис. 2 Залежність (13), що дозволяє оцінити мінімальну дисперсію положення підйомної посудини ШПК в момент $t=0$ від збільшення n (по осі Z величина n змінюється від 0 до 10)

Таким чином, можливі випадки, які при оптимальних вимірах, що відповідають оцінюваному параметру l, не дозволяють визначити всі складові вектора $\boldsymbol{q}$. Цей випадок має місце, коли рядки $\mathbf{X_m}$ звертаються в нулі. Це видно й з геометричної інтерпретації (рис. 1).

Порівняємо дисперсії $D_{min}(\hat{a})$ і D_{min} $(\hat{v})$, одержувані при оптимальному виборі n зі значеннями $D_p(\hat{a})$ і $D_p(\hat{v})$, що відповідають рівномірному розподілу часів вимірів (п.2.3). Шляхом порівняння (12) і (13) одержуємо

$$D_p(\hat{a}) \approx 4D_{min}(\hat{a}),\ \ D_p(\hat{v}) \approx 3D_{min}(\hat{v}). \qquad (14)$$

З (14) видно, що при зроблених допущеннях оптимальний розподіл вимірів забезпечує приблизно триразовий виграш точності в порівнянні з рівномірним розподілом часів вимірів.

Розглянемо ЗЕ для контролю руху підйомної посудини ШПК, будемо її вирішувати при обмеженні загальної кількості вимірів й їхньої частоти.

Нехай мірний інтервал (5) буде симетричним відносно початку відліку часу, тобто

$$-T \leq t \leq T,$$

де $T = 1/2\ (t_к - t_н)$. Як оцінюваний параметр l приймемо швидкість підйомної посудини шахтного піднімального комплексу v. Тоді

$$\boldsymbol{q} = \{\boldsymbol{v}, \boldsymbol{a}\}, \quad \Psi_1 = t, \quad \Psi_2 = 1.$$

З вищенаведеного рішення ЗЕ, відповідно до якого оптимальні часи t_1 , t_2 і відповідні числа n_1, n_2

$$t_1 = -T, t_2 = T, \quad n_1 = n_2 = n/2 \ .$$

Розглянемо ЗЕ для контролю руху підйомної посудини шахтного піднімального комплексу, будемо її вирішувати при мінімізації оцінюваного параметра l і виборі універсального складу вимірів, який оптимізується одночасно точністі оцінки параметрів, що утворять вектор $\boldsymbol{l} = \{ l_1, l_2, \quad , l_к \}$.

У роботі [14] задача вибору оптимального складу вимірів за універсальним критерієм оптимальності В.Г. Єршова проводилася при аналогічних припущеннях, які зроблені нами для контролю руху підйомної посудини ШПК. Знайдено, що в числі оптимального складу вимірів є, принаймні, один склад, що відповідає проведенню γ різних вимірів, кожний з яких повторюється n_i раз. При цьому стосовно контролю швидкості руху підйомної посудини шахтного піднімального комплексу з урахуванням результатів отриманих, у роботі [13]

$$\gamma = [m(m+1) - (m-r)(m-r+1)]/2, \quad r = D_{рів}(\hat{v})/D_{\min}(\hat{v}),$$
$$\sum_{i=1}^{\gamma} n_i = n, \quad n_i\ (i = 1, 2, \ldots, m).$$

Легко переконатися, що при r=1 $\gamma = m$ це відповідає результату, отриманому при рішенні ЗЕ для контролю руху підйомної посудини шахтного піднімального комплексу.

Таким чином:

1. Знайдено існування оптимального кінцевого значення тривалості мірного інтервалу МСК, при якому забезпечується досягнення абсолютного мінімуму гарантованого критерію точності.

2. Вперше адаптована «задача Ельвінга», що застосована в космічній галузі, для оптимізації складу МСК СПУ, яка полягає в виборі оптимального складу некорельованих вимірювань при обмеженні їх числа і доведено, що вибір універсального складу МСК необхідно проводити за універсальним критерієм В.Г. Єршова, який полягає в тому, що відшукується мінімум числа вимірювань

за умови, що дисперсія оцінки вектора вимірів менша або дорівнює заданому позитивному числу.

3. Вперше показано, що для підвищення точності декількох параметрів ШПК кожному буде відповідати свій оптимальний склад виміру МСК, який знаходимо за універсальним критерієм В.Г. Єршова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Ильин, С.Р. Компьютерная система диагностики подземного оборудования шахтных подъемных установок / С.Р. Ильин, В.В. Лопатин, Б.С. Послед // Тез. докл. науч.-техн. конф. ”Механика и новые технологии”. – Севастополь, 1995.- С.63-66

2 Ильин, С.Р. Опыт использования акселерометров для контроля процесса динамического взаимодействия между коробчатыми проводниками и направляющими клети со ступенчатой функцией жест кости / С.Р. Ильин, В.В. Лопатин, Б.С. Послед; ИГТМ НАН Украины. - Деп. в ГНТБ Украины 03.01.95 №40-Ук95.- 22с.

3 Лопатин, В.В. Методы и технические устройства экспресс-диагностики динамического состояния системы "подъемный сосуд - жесткая армировка": Дис. канд. техн. наук: 05.05.06 / В.В. Лопатин. - Днепропетровск, 2001. - 248 с.

4 Ильин, С.Р. Опыт исследования рабочих режимов взаимодействия при движении подъемных сосудов в проводниках жесткой армировки / С.Р. Ильин, В.В. Лопатин, Б.С. Послед // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч.- тр. – Днепропетровск, 2002. -Вып.32.- С. 217-222.

5 Лопатин, В.В. Измерение горизонтальных вибрационных процессов подъемного сосуда экспериментальной цифровой аппаратурой / В.В. Лопатин // Науково - технічний збірник НГА. – Днепропетровск, 2001. - № 67.- С. 141-144.

6 Ершов, В.Г. Об оптимизации программы траекторных измерений / / В.Г. Ершов // Космические исследования. – 1981. - Т.7, вып. - С.86-91.

7 Ершов, В.Г. Оптимальная программа траекторных измерений / В.Г. Ершов // Космические исследования. – 1971. - Т.9, вып. 1. - С.46-55.

8 Elfing, G. Optimum allocation in linear regression theory / G. Elfing // Ann. Math. Statist – 1952. - 23, 255. - P. 154-187.

9 Эльясенберг, П. Е. Определение движения по результатам измерений / П.Е. Эльясенберг . - М.; Наука, 1976. - 416с.

10 Эльясенберг, П.Е. Определение движения по результатам измерений / П.Е. Эльясенберг . - М. ЛИБРОКОМ, 2011. - 510 с.

11 Эльясенберг, П. Е. Гарантованная оценка точности определения движения космических аппаратов / П.Е. Эльясенберг // Космические исследования. – 1974. - Т. 12, вып. 1. - С. 423-436.

12 Эльясенберг, П. Е. Про стойкость оценок точности определения орбит по результатам измерений / П.Е. Эльясенберг // Космические исследования .- 1978. - Т.16, вып. 5. - С. 658-667.

13 Козлов, Н.Н. Об оптимизации процесса траекторных измерений / Н.Н. Козлов // Космические исследования. – 1978. - Т.9, вып. 1. - С. 134-140.

14 Копей, Б.В. Мобільні вимірювальні системи в нафтогазовій та гірничій промисловості / Б.В. Копей, В.В. Лопатін, О.І. Стефанишин. - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2010. - 392с.

УДК 622.647.7+622.648.004.3:622.023.65

Канд. техн. наук С.Н. Пономаренко
(ИГТМ НАН Украины)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ГОРНОЙ ПОРОДЫ НА ПАРАМЕТР ВИБРОАЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ ЕЕ ВИБРОПНЕВМОТРАНСПОРТИРОВАНИИ

Приведені результати аналітичних досліджень впливу гранулометричного складу, зокрема форми та діаметру, часток гірської породи, що транспортується, на характеристики процесу вібропневмотранспортування. Отримана залежність параметра віброаеродинамічного тиску від геометричних параметрів гірської породи, що транспортується, та технологічних параметрів роботи вібропневмотранспортної системи.

ESTIMATION OF INFLUENCE OF GRAIN-SIZE DISTRIBUTION OF MOUNTAIN BREED ON PARAMETER OF VIBROAERODYNAMIC PRESSURE AT HER VIBRO-PNEUMATIC TRANSPORT

The brought results over of analytical researches of influence of grain-size distribution, in particular form and diameter, parts of mountain breed that is transported, on descriptions of process of vibro-pneumonic transport. The got dependence of parameter of vibroaerodynamic pressure is on the geometrical parameters of mountain breed that is transported, and technological parameters of work of the vibro-pneumonic transport system.

Виброаэродинамическое воздействие на пневмотранспортируемую горную массу является одним из самых прогрессивных направлений в развитии современной транспортной, в частности, пневмозакладочной техники. Применение этого комплексного вида воздействия приводит к существенному снижению сил сопротивления транспортированию аэросмеси [1, 2, 3].

В общем случае процесс вибропневмотранспортирования определяется тремя взаимосвязанными основными факторами:

– свойствами транспортируемого твердого материала;

– параметрами подаваемо сжатого воздуха и режимом работы вибрационного рабочего органа;

– характеристиками перемещения твердого материала в поле действия виброаэродинамических сил.

В работах [1, 2] для оценки эффективности виброаэродинамического воздействие на перемещаемый сыпучий материал было введено понятие коэффициента снижения трения, который определяется по следующей формуле:

$$M_g\left(\mathit{\Gamma}\right)=1-\Big\{\varphi_n-\delta_0+\frac{1}{2}(2\pi q+\delta_0-\varphi_n)^2 r+\ \mathit{\Gamma}[\cos\varphi_n-\cos\delta_0-$$
$$-(2\pi q+\delta_0-\varphi_n)r\cos\varphi_n]\Big\}\Big/2\pi q \qquad (1)$$

где $Mg(\mathit{\Gamma})$ – коэффициента снижения трения при вибропневмотранспортировании; φ_n и δ_0 – фазовые углы падения и отрыва частицы транспортируемого материала; π=3,14; q – кратность периода движения частицы периоду коле-