

9. **Chirapurath J.** Knowledge mining. The Next Wave of Artificial Intelligence-Led Transformation (1st ed.) – Harvard Business Publishing – 2019 – 16 p.
10. **Cheng Y., Chen K., Sun H., Zhang Y., Tao F.** Data and knowledge mining with big data towards smart production – Journal Of Industrial Information Integration – V.9 – 2018 – p. 1-13.
11. **Массель Л.В., Ворожцова Т.Н., Пяткова Н.И.** Онтологический инжиниринг для поддержки принятия стратегических решений в энергетике // Л.В. Массель, Т.Н. Ворожцова, Н.И. Пяткова – Онтология проектирования – 7(1) – 2017 – С. 66-76.
12. **Загорюлько Г.Б.** Разработка онтологии для интернет-ресурса поддержки принятия решений в слабо формализованных областях // Г.Б. Загорюлько – Онтология проектирования – 22(4) – 2016 – С. 485-500.
13. **Массель Л.В.** Фрактальный подход к структурированию знаний и примеры его применения // Л.В. Массель – Онтология проектирования – 6(2) – 2016 – С. 149-161
14. **Ахмадеева И.** Использование онтологии для автоматизации поиска научной информации в сети Интернет // И. Ахмадеева – Информационные и математические технологии в науке и управлении – 4(12) – 2018 – С. 42-49.
15. **Зінов'єва І.С., Артемчук В.О., Яцишин А.В.** Використання відкритих геоінформаційних систем у підготовці фахівців з комп'ютерних наук // І.С. Зінов'єва, В.О. Артемчук, А.В. Яцишин – Інформаційні технології і засоби навчання – 68(6) – 2018 – С. 87-99
16. **Шулима О.В., Шендрик В.В., Шестак М.О.** Побудова сховища даних системи підтримки прийняття рішень для проектування розподілених енергетичних систем // О.В. Шулима, В.В. Шендрик, М.О. Шестак – Lviv Polytechnic National University Institutional Repository – 2016 – С. 291-297
17. **Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Morkun N., Hryshchenko S.** Energy Saving in Mining Production. Science And Innovation – 14(3) – 2018 – P. 29-39.
18. **Madrigal M., Uluski R., Mensan G.** Practical Guidance for Defining a Smart Grid Modernization Strategy: The Case of Distribution. World Bank Studies; Washington DC (Revised Edition) – 2017 – 179 p.
19. **Любарский Ю., Хренников А.** Компьютерная поддержка диспетчерских решений в электрических сетях. / Библиотечка Электротехника – 8(248) – 2019 – С. 1-92
20. **Кожихова О.** Оценка чувствительности перетоков мощности к параметрам модели установившегося режима. / VIII Международная молодёжная научно-техническая конференция "Электроэнергетика глазами молодежи – 2017", Самара; Самар. гос. техн. ун-т. – 2017 – С. 137-140.

УДК 622.25

О.А. ГУЛІВЕЦЬ, канд. техн. наук, доц., С.О. ПОПОВ, д-р техн. наук, проф.,
А.О. БОНДАРЕЦЬ, ст. викл., С.Ю. ОЛІЙНИК, асист.
Криворізький національний університет

ДЕЯКІ ПИТАННЯ КОРИГУВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ШАХТНОГО ПІДЙОМУ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ОБСТЕЖЕННЯ І МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ АРМУВАННЯ ВЕРТИКАЛЬНИХ СТВОЛІВ ШАХТ

Мета. Мета дослідження – установити залежності для коригування експлуатаційних параметрів шахтного підйому за результатами обстеження технічного стану армування вертикальних стволів шахт.

Метод дослідження. Метод дослідження – аналітичний.

Наукова новизна. Установлені залежності для коригування експлуатаційних параметрів шахтного підйому за результатами обстеження технічного стану армування вертикальних стволів шахт.

Практична значимість. Застосування одержаних залежностей дозволяє визначити раціональні значення швидкості підйому скіпів та їх вантажності на основі даних обстеження технічного стану армування вертикальних стволів шахт.

Результати. На основі аналізу конструкцій армування вертикальних стволів шахт та робочого процесу системи «армування – під'ємна посудина» установлено, що при русі по стволу під'ємних посудин виникає комплекс навантажень на елемент армування, які виникають внаслідок відхилень провідників від лінійної форми, наявності ексцентриситету завантажених скіпів, кручення підйомних посудин, дії коріолісової сили.

В процесі експлуатації відхилення провідників від проектного положення може збільшуватись в декілька разів. Крім цього внаслідок агресивного впливу шахтних вод і атмосфери ствола елементи його армування в певній мірі піддаються корозії. У зв'язку з цим виникає необхідність коригувати експлуатаційні параметри шахтного підйому відповідно фактичному значенню несучої здатності елементів армування вертикальних стволів шахт.

На основі аналізу конструктивних рішень армування ствола і робочого процесу системи «армування – під'ємна посудина» та застосувавши принцип сумісності деформацій провідника та розстрільної балки під дією горизонтального навантаження установлені залежності розподілу прикладеної сили між ними залежно від їх довжини і фактичних значень геометричних характеристик їх поперечних перерізів та механічних характеристик їх матеріалів.

На основі виконання умов міцності провідника та розстрільної балки визначаються раціональні значення швидкості підйому та маси завантаженого скіпа.

Ключові слова: шахта, вертикальний ствол, армування ствола, провідники, розстрільні балки, допустиме напруження, умова міцності.

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-52-104-110

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Надійність та безпека експлуатації вертикальних стволів шахт в значній мірі залежить від технічного стану їх армування, яке призначене забезпечувати заданий рух підйомних посудин і противаг та кріплення різних комунікацій в стволі.

В стволах, які обладнані великовантажними скіпами, що є характерним для залізрудних шахт, застосовують жорстке армування. Таке армування за конструкцією є просторовою стержневою системою, що складається з горизонтальних балок – розстрільв та вертикальних направляючих – провідників, які закріплені на розстрілах і по яких відслідковують напрям руху роликоопори підйомних посудин, клітей та противаг (рис. 1). Розстріли, що знаходяться в одній горизонтальній площині, утворюють ярус армування. Площини ярусів розташовані один від одного на деякій відстані, яка називається кроком армування. За способом армування розрізняють три типи провідників: односторонні, двосторонні та лобові (рис. 2). Провідники складаються з окремих ланок, які з'єднані між собою: безпосередньо біля розстрілу – одинарні або в середині прогону між ярусами – здвоені.

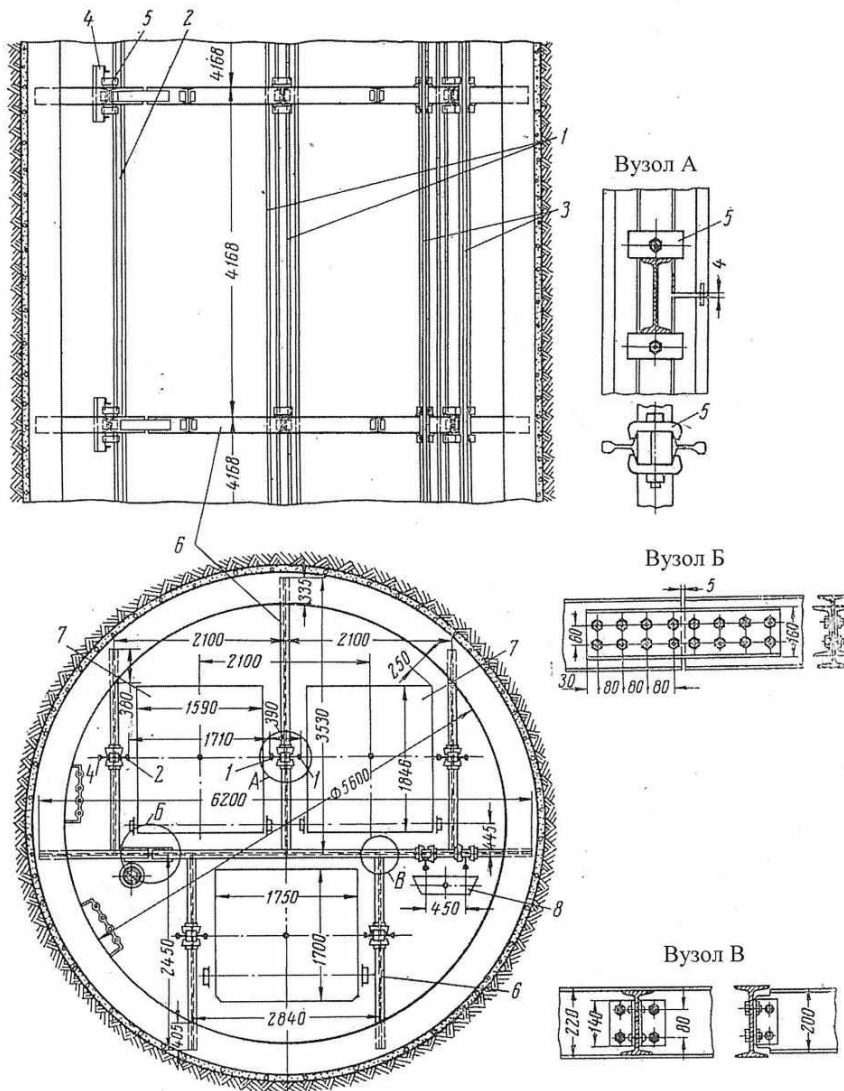


Рис. 1. Армування скіпового ствола: 1 – парні провідники; 2 – одинарний провідник; 3 – провідники противаг; 4 – несправжній провідник; 5 – стягувальна скоба; 6 – розстріли; 7 – скіпи; 8 – противага

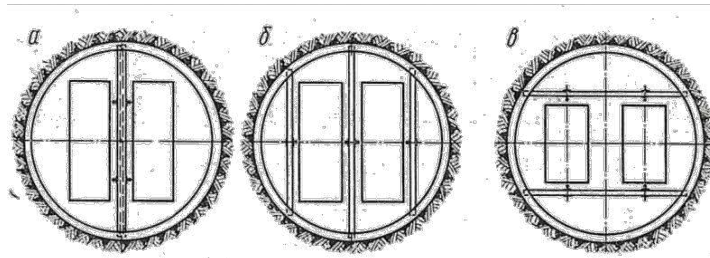


Рис. 2. Схеми розташування провідників: *a* – одностороння; *b* – двостороння; *v* – лобова

Конструктивна схема армування визначається розташуванням провідників і розстрілів в межах ярусу та розміщенням ярусів. В скіпових стволах застосовують, як правило, двостороннє розташування провідників.

На основі досліджень, виконаних рядом вітчизняних та зарубіжних вчених і інженерів в області проектування армування вертикальних стволів шахт в другій половині ХХ століття, була розроблена нині діюча нормативна документація на проектування і монтаж жорсткого армування вертикальних стволів шахт.

Нині внаслідок необхідності збільшення глибини шахт та їх продуктивності важливого значення набуває підвищення швидкості руху підйомних посудин та їх місткості. В той же час на ряді шахт після певного часу їх експлуатації відхилення провідників від проектного положення може збільшуватись в декілька раз, а самі елементи армування внаслідок агресивної атмосфери в стволі піддаються корозії.

В зв'язку з цим виникає необхідність виконувати обстеження технічного стану армування стволів та коригувати параметри шахтного підйому відповідно до фактичної несучої здатності елементів армування стволів шахт.

Аналіз досліджень і публікацій. Аналітичними і експериментальними дослідженнями ряду авторів [1...10] встановлено, що при русі по стволу підйомних посудин виникає комплекс навантажень на елементи армування:

- навантаження, що виникає внаслідок відхилення провідників від лінійної форми (помилки при монтажі, вплив ударного тиску та ін.), яке є певною випадковою функцією;
- навантаження, що виникає внаслідок ексцентриситету завантаження скіпів;
- навантаження внаслідок кручення підйомних посудин;
- навантаження внаслідок дії аеродинамічних сил в стволі;
- навантаження внаслідок дії коріолісової сили інерції.

На основі аналізу публікацій [1...10] встановлено, що наведена в них інформація призначена для розрахунку параметрів, конструювання, монтажу та контролю технічного стану армування вертикальних стволів шахт. Однак, наведені в цих публікаціях залежності не дозволяють з малими затратами часу та коштів визначати раціональні значення параметрів шахтного підйому (максимальну швидкість руху та масу завантаженого скіпа) залежно від фактичного технічного стану армування вертикальних стволів шахт.

Постановка задачі. На основі аналізу конструкцій армування вертикальних стволів шахт та робочого процесу системи «армування – під'ємна посудина» установити залежності для коригування експлуатаційних параметрів шахтного підйому за результатами обстеження технічного стану армування вертикальних стволів шахт.

Викладення матеріалу та результати. Розглянемо випадок армування ствола з двостороннім розташуванням провідників, а підйомні посудини обладнані роликоопорами, які можуть створювати тиск на лобову та бічні поверхні провідника. Нехай при підніманні наповненої посудини (скіпа) буде створюватись тиск напрямного ролика лише на лобову поверхню провідника в місці його закріплення, яку позначимо F_y (рис. 3).

Для визначення поперечної сили, що діє на провідник в лобовому або боковому напрямі скористуємось рівнянням, яке наведене в [6]. Н

$$F_y = \frac{2\pi^2 \cdot \delta \cdot k_H^2 \cdot m \cdot v^2}{h^2} \cdot n^{\Lambda(\delta)}, \quad (1)$$

де δ – зазор між робочими або запобіжними напрямими ковзання і провідником ($\delta=0,01$ – для

рейкових провідників; $\delta=0,015$ – для зварних коробчастих провідників; $\delta=0,02$ м – для дерев'яних провідників); k_H – коефіцієнт, який залежить від типу направляючих ($k_H=1,0$ – при жорстких напрямних ковзання; $k_H=0,85$ – при пружних роликівих напрямних); m – маса навантаженої підйомної посудини, кг; v – максимальна швидкість руху навантаженої посудини, м/с; $n^{\Delta(\delta)}$ – коефіцієнт, що визначається за табл. 1 в залежності від значення ексцентриситету центра мас навантаженої посудини e відносно викривлення провідників Δ/δ і значення узагальненого безрозмірного параметра лобової жорсткості армування; h – крок армування.

Таблиця 1

$\lg \sigma$		0-0,6	0,6-1,2	1,2-1,8	1,8-2,4	2,4-3,0	3,0-3,6
$\frac{\Delta}{\delta}$	e	значення параметрів $n^{\Delta(\delta)}$					
0	0	0,91	0,89	0,70	0,60	0,54	0,51
	0,2	1,14	1,09	0,84	0,72	0,64	0,62
	0,5	1,59	1,53	1,20	1,02	0,90	0,82
0,5	0	1,25	1,05	0,75	0,66	0,61	0,59
	0,2	1,48	1,25	0,95	0,78	0,73	0,71
	0,5	2,04	1,70	1,31	1,10	1,00	0,85
1,0	0	1,58	1,40	1,03	0,81	0,79	0,73
	0,2	1,88	1,66	1,25	0,98	0,93	0,85
	0,5	2,45	2,08	1,56	1,28	1,18	1,07

Примітки: 1. Проміжні значення $n^{\Delta(\delta)}$ визначаються методом інтерполювання.

2. Для граничних значень $\lg \sigma^{\Delta(\delta)}$ коефіцієнт $n^{\Delta(\delta)}$ приймається середнім для суміжних діапазонів.

При розрахунку значення $F < 0,08mg$ слід приймати

$$F_y = 0,08mg,$$

де g – прискорення вільного падіння.

Відносні викривлення провідника Δ/δ приймати рівними: $\Delta/\delta=0,5$ – для рейкових провідників; $\Delta/\delta=0,35$ – для дерев'яних провідників; $\Delta/\delta=0,25$ – для зварних коробчастих провідників.

Під дією горизонтальної сили буде відбуватись деформація згинання в площині zOy , а розстрільної балки – в площині xOy .

При цьому розстрільну балку будемо розглядати як статично невизначувану довжиною l_p , обидва кінці якої затиснуті, а місце кріплення провідника до якої розташоване на відстанях a та b від місць затиснення (див. рис. 3).

Так як провідник закріплений по всій довжині ствола до розстрільних балок, які установлені на відстані кроку армування l_a і жорсткість на згинання яких суттєво більша від жорсткості на згинання провідників, то з певним наближенням розглянемо ділянку провідника, як статично невизначувану балку, яка дорівнює подвійній довжині кроку армування $l_n=2l_a$, затиснута по обох кінцях, і навантажена горизонтальною силою F_y в місці закріплення провідника до розстрільної балки.

Під дією горизонтальної сили F_y провідник і розстрільна балка будуть сумісно деформуватись в напрямі дії сили: провід-

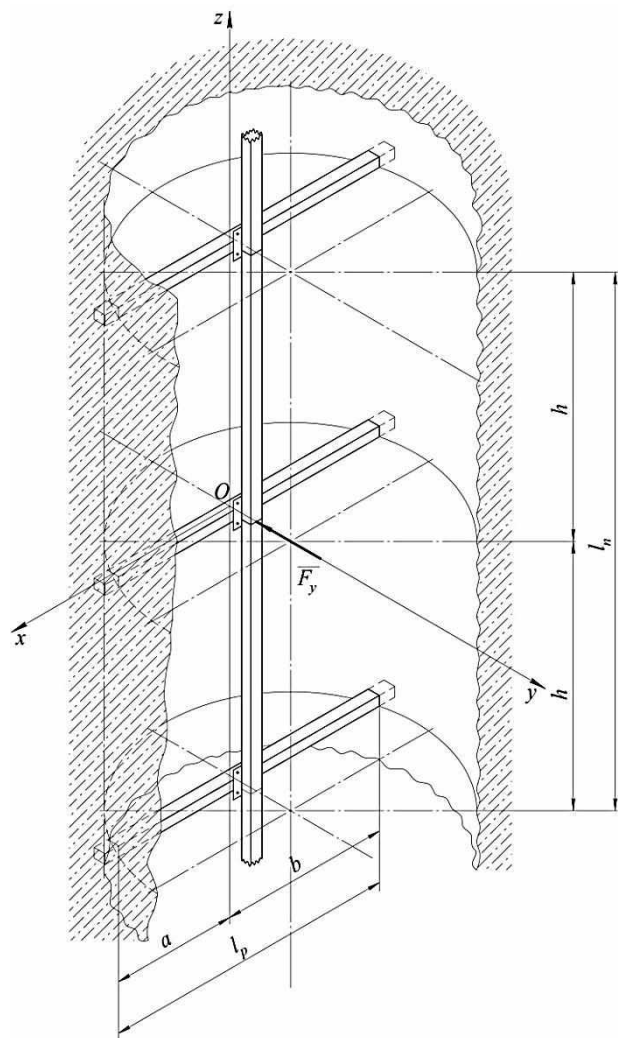


Рис. 3. Схема навантаження армування вертикального ствола шахти

ник в площині zOx , а розстрільна балка – в площині xOy .

Тоді, виходячи з умови сумісності деформації провідника і розстрільної балки в місці їх контакту, запишемо рівність

$$\omega_p = \omega_n, \quad (2)$$

де ω_p , ω_n – відповідно величина прогину ростральної балки і провідника в місці їх контакту.

На основі відомих залежностей для величини прогину в статично невизначуваних балках, навантажених зосередженою силою [11], запишемо

$$\omega_n = f_n = -\frac{F_{yn} \cdot l_n^3}{192 \cdot E_n \cdot J_{xn}} \quad (3)$$

$$\omega_p = -\frac{F_{yp} \cdot a^3 \cdot b^3}{3 \cdot E_p \cdot J_{zp} \cdot l_p^3} \quad (4)$$

де F_{yn} , F_{yp} – величина складової горизонтальної сили, яку сприймає відповідно провідник та розстрільна балка; E_n , E_p – модуль пружності матеріалу відповідно провідника та розстрільної балки; J_{xn} – момент інерції поперечного перерізу провідника відносно осі x ; J_{zp} – момент інерції поперечного перерізу розстрільної балки відносно осі z .

При визначенні моментів інерції поперечних перерізів провідника J_{xn} та розстрільної балки J_{zp} необхідно враховувати зменшення їх геометричних параметрів внаслідок корозії.

Тоді на основі рівностей (2)-(4) одержимо

$$\frac{F_{yn} \cdot l_n^3}{192 \cdot E_n \cdot J_{xn}} = \frac{F_{yp} \cdot a^3 \cdot b^3}{3 \cdot E_p \cdot J_{zp} \cdot l_p^3} \quad (5)$$

Враховуючи, що $F_y = F_{yn} + F_{yp}$ і прийнявши $E_p = E_n$, а $F_{yn} = F_y - F_{yp}$ з рівняння (5), одержимо залежність, що характеризує яку частину поперечної сили F_y , що діє з боку напрямних роликів скіпа на місце кріплення провідника до розстрільної балки, буде сприймати розстрільна балка

$$F_{yp} = F_y \cdot \left[\frac{1}{\frac{64 \cdot a^3 \cdot b^3 \cdot J_{xn}}{J_{zp} \cdot l_p^3 \cdot l_n^3} + 1} \right]. \quad (6)$$

У випадку, коли кріплення провідника до розстрільної балки буде в середньому поперечному перерізі ($a = b = \frac{l_p}{2}$), то рівняння (6) прийме вигляд

$$F_{yp} = F_y \cdot \left[\frac{1}{\left(\frac{l_p}{l_n}\right)^3 \cdot \frac{J_{xn}}{J_{zp}} + 1} \right]. \quad (7)$$

Після визначення величини сили, яку буде сприймати розстрільна балка в горизонтальній площині згідно з залежностями (6) або (7), визначають величину горизонтальної сили, яку сприймає провідник

$$F_{yn} = F_y - F_{yp}. \quad (8)$$

Визначаємо на основі відомих залежностей [11] максимальне значення згинальних моментів, які будуть виникати в поперечних перерізах провідника та розстрільної балки внаслідок дії на них сили F_{yn} і F_{yp} відповідно:

у поперечному перерізі провідника при $z = \frac{l_n}{2}$

$$M_{xn}^{\max} = \frac{1}{8} \cdot F_{yn} \cdot l_n; \quad (9)$$

у поперечному перерізі розстрільної балки при $x=a$

$$M_{zp}^{\max} = 2 \cdot F_{yp} \cdot \frac{a^2 \cdot b^2}{l_p^3}. \quad (10)$$

Визначивши за відомими залежностями [11] відповідно формі поперечного перерізу фактичні (з урахуванням корозії) значення моментів опору поперечних перерізів: розстрільної балки W_{zp} при згинанні навколо осі z і провідника W_{xn} при згинанні навколо осі x , визначимо максимальні значення нормальних напружень, що будуть діяти в поперечних перерізах провідника $\sigma_{n\max}$ та розстрільної балки $\sigma_{p\max}$

$$\sigma_{n\max} = \frac{M_{xn}^{\max}}{W_{xn}}; \quad (11)$$

$$\sigma_{p\max} = \frac{M_{zp}^{\max}}{W_{zp}}. \quad (12)$$

За відомими залежностями визначимо допустимі значення нормальних напружень, які будуть діяти в поперечних перерізах провідника та розстрільної балки при дії на них сил F_{yn} та F_{yp} відповідно

$$[\sigma]_n = \frac{\sigma_{tn}}{[S]}; \quad (13)$$

$$[\sigma]_p = \frac{\sigma_{tp}}{[S]}; \quad (14)$$

де σ_{tn} , σ_{tp} – границя текучості матеріалу провідника та розстрільної балки відповідно; $[S]$ – допустиме значення коефіцієнта безпеки.

Допустиме значення коефіцієнта безпеки наближено визначимо на основі диференціального методу [12]

$$[S] = S_1 \cdot S_2 \cdot S_3, \quad (15)$$

де S_1 – коефіцієнт, який враховує ступінь точності розрахунку (якщо прийняти, що розрахунок веде до завідомо занижених напружень, то $S_1=1,2\dots1,3$, інакше – $S_1=1$); S_2 – коефіцієнт, який враховує однорідність механічних властивостей матеріалу (для деталей, виготовлених із вуглецевих та легованих сталей при високій температурі відпусканні $S_2=1,2\dots1,3$); S_3 – коефіцієнт, який враховує ступінь відповідальності деталі (якщо руйнування деталі викликає зупинку виконання робочого процесу $S_3=1,1\dots1,2$, а якщо аварію, то $S_3=1,2\dots1,3$).

Після визначення діючих в поперечних перерізах провідника та розстрільної балки максимальних нормальних напружень та допустимих значень їх величин перевіряють виконання умови міцності провідника та розстрільної балки

$$\sigma_{n\max} \leq [\sigma]_n; \quad (16)$$

$$\sigma_{p\max} \leq [\sigma]_p. \quad (17)$$

При невиконанні умов (16) та (17) необхідно скоректувати в бік зменшення максимальну швидкість руху v та масу m навантаженої посудини і повторити розрахунки згідно з залежностями (1), (6) – (17).

Висновки. На основі аналізу конструкцій армування вертикальних стволів шахт і робочого процесу системи «армування – під'ємна посудина» установлені залежності, які дозволяють визначити раціональні значення швидкості руху та маси навантаженого скіпа залежно від фактичного технічного стану армування вертикальних стволів шахт.

Список літератури

1. Залесов О.А. Армирование вертикальных стволов шахт и ее исследование на электронных моделирующих устройствах. – М.: Недра, 1966.
2. Маскин В.К., Агманских С.К., Рубцов В.А., Сухарева Н.А. Армирование вертикальных стволов шахт при применении крепи облегченной конструкции. – М.: «ЦВЕТМЕТИНФОРМАЦИЯ». 1967. – 50 с.
3. Баклашов В.И. Расчет, конструирование и монтаж армировки стволов шахт. – М.: Недра, 1973.
4. Пособие по проектированию и монтажу жесткой армировки вертикальных стволов шахт и рудников (к СНиП 11-94-80). М.: Недра, 1989. – 160 с.
5. Гавруцкий А.Е., Моренков Ф.А. Состояние армировки действующих шахтных стволов в Криворожском бассейне. ЦНИГРИ. Сборник научных трудов УП, М., 1963.
6. Методика расчета жестких армировок вертикальных стволов шахт. – ВНИИГМ им. М.М. Федорова. – Донецк, 1985. – 160 с.
7. Ильин С.Р. Управление состоянием стволового оборудования шахтных подъемных комплексов при длительной эксплуатации / ИГТМ НАН Украины «Горная механика»: сб. науч. тр. Вып. 58. – 2005. – с. 45-52.
8. Чередниченко О.Е., Ильин С.Р., Радченко В.К. Контроль технического состояния жесткой армировки и крепи шахтных стволов: м-лы XV юбилейной международной конференции «Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики». Часть 1. – Киев, 2007.
9. Прокопов А.Ю., Курнаков В.А. Исследование влияния неточности стыков проводников на формирование ударной нагрузки при движении большегрузных скипов. // Изв. вузов. Сев-Кавк. регион. Техн. науки. – 2006. – Прил. № 9: Перспективы развития Восточного Донбасса. – с. 106-110.
10. Пестрикова В.С. Алгоритм расчета долговечности жестких армировок шахтных стволов, эксплуатируемых в условиях верхнекамского месторождения калийных солей. В ж. «Известия Тульского государственного университета. Наука о земле». 2019. С. 332-339.
11. Справочник по сопротивлению материалов / Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В.; Отв. ред. Писаренко Г.С. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: Наук. думка, 1988. – 736 с.
12. Детали машин в примерах и задачах: [Учеб. пособие / С.Н. Ничипорчик, М.И. Корженцевский, В.Ф. Калачев и др.]; под общ. ред. С.Н. Ничипорчика. – 2-е изд. – Выш. школа, 1981. – 432 с.

УДК 621.181:62

В.В. СУРТАСВ; канд. техн. наук, доц., Криворізький національний університет

ПІДВИЩЕННЯ ЗАГАЛЬНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК, ТЕПЛОВИХ СХЕМ СИСТЕМ, ПРИСТРОЇВ, УСТАНОВОК УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛА

Мета підвищення загальної ефективності теплоенергетичних установок, теплових схем систем, пристроїв, установок утилізації тепла - наукове завдання, проблема. Також метою розрахунків теплоутилізаторів є визначення показників стану робочих тіл (РТ) і потоків обміну теплоти й маси РТ у теплоутилізаторах з термодинамічної точки зору являють собою гомогенні або гетерогенні системи. От далеко не повний перелік актуальних питань, наукових задач і проблеми, рішення яких неможливо без розробки спеціальних методик рішення інженерно-технічних завдань, актуальних наукових задач і проблеми проектування й будівництва контактних тепломасообмінних апаратів.

Методи дослідження. Теоретичні положення, методи, постановка завдання, моделі, граничні рівноважні стани робочих тіл, узагальнені безрозмірні показники рішення завдань сталого тепло- і масопереносу тепло й масообміну в апаратах утилізації теплоти.

Наукова новизна полягає в тому, що рішення проблеми створення конденсаційно-охолоджувального пристрою установок системи пристрою утилізації тепла з теплоутилізатором на базі "форсунок камер" і ін., вимагає врахування різних факторів, що впливають на інтенсифікацію процесів тепломасообміну, що у свою чергу дозволяє вибрати найбільш раціональні режими роботи пристрою і вирішальним образом позначається на їх ефективності.

Практична значимість. Інтенсифікація тепломасообміну в конденсаційно-охолоджувальному пристрої установок, системи, пристрою з теплоутилізатором на базі "форсунок камер" і ін., досягається: високою відносною швидкістю теплоносія, що розпилюється, розвиненістю поверхні контакту між середовищами, високою дисперсністю часток теплоносія, що розпилюється, щільністю заповнення реактивного простору взаємодіючими середовищами, рівномірністю розподілу парогазового потоку уздовж поперечного перерізу контактного апарата, виконаного на базі "форсунок камер", раціональним вибором часу контакту середовищ, характером взаємного руху контактуючих середовищ.

Результати. Підвищення загальної ефективності теплоутилізаторів виконаних на базі "форсунок камер".

Ключові слова: форсунка, форсунок камер, система, пристрій, установка, ефективність, тепло – і масообмін, фактори.