

УДК 622.867:622.016.47

В.М. РЯСНИЙ, канд. техн. наук,
НДІБПГ ДВНЗ «Криворізький національний університет»
І.А. ЄВСТРАТЕНКО, канд. техн. наук,
Криворізький гірничорядувальний загін МНС України

ВІД ТЕОРЕТИЧНИХ РОЗРАХУНКІВ - ДО ПРИЙМАЛЬНИХ ДЕРЖАВНИХ ВИПРОБУВАНЬ ТА СЕРІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА МОНОРЕЙКОВОГО ГІРНИЧОРЯТУВАЛЬНОГО ПІДЙОМНИКА

Наведено аналіз діючих способів проведення підняттявих гірничих виробок та зроблено висновок щодо найбільш прогресивних та перспективних технологій. Особливу увагу приділено теоретичним розрахункам кінематичних, енергетичних, силових та міцнісних параметрів та характеристик розробленого монорейкового гірничорядувального підйомника.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. За технічними та організаційними особливостями, складності та небезпечності робіт, проведення підняттявих гірничих виробок розглядається як самостійний технологічний процес.

Необхідність доставки по підняттявих виробках бурового обладнання (телескопних перфораторів) та інструменту до нього, спорудження робочих та запобіжних помостів, постійного захисту виробок від обвалень, складні санітарно-гігієнічні умови праці гірників під час буріння шпурів, обумовлюють не тільки високу трудомісткість, але й високу травмо-небезпечність цих робіт.

Аналіз досліджень та публікації. Відомо декілька способів (технологій), що зменшують або взагалі усувають наведені недоліки. Найбільш поширені з них: застосування механізованих монорейкових прохідницьких комплексів; відбійка породного масиву секційним підриванням свердловинних зарядів; буріння підняттявих виробок на повний перетин за допомогою спеціальних комбайнів.

Проведення підняттявих з використанням цих способів дозволяє досягти більш високих швидкостей проходки, значно прискорити час підготовки блоків до очисної виїмки, зменшити трудові та економічні витрати у порівнянні з витратами на проведення підняттявих звичайним (дрібношпуровим) способом.

Найбільш прогресивними та перспективними способами проведення підняттявих виробок безумовно є ті, що виключають необхідність присутності людини (гірника) у привибійному просторі. Це – комбайновий спосіб та спосіб секційного підривання свердловинних зарядів. Але з різних причин (гірничотехнічних, гірничо-геологічних, економічних та ін.) ці способи (технології) на сьогоднішній час ще не знайшли домінуючих показників впровадження. Так, 75-80% об'ємів проведення підняттявих в умовах шахт Криворізького залізородного басейну (ПАТ «Кривбасзалізрудком», ПАТ «ЄВРАЗ СУХА БАЛКА», ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»), а також шахт з видобутку уранової руди ДП «СхідГЗК», здійснюється за допомогою механізованих прохідницьких комплексів (типу КПВ - російського виробництва; типу КП-1 та КП-2 – державного виробництва).

Нажаль, експлуатація цієї техніки не буває без травмування людей, аварій та аварійних ситуацій, а існуючі способи та засоби, що використовуються в таких випадках гірниками та гірничорядувальниками, - ненадійні і не відповідають сучасним вимогам. Ця проблема була вирішена за рахунок розроблення НДІБПГ за участю на початковому етапі НДПГІрмаш (м. Єкатеринбург, РФ) та на завершальному етапі - ТОВ «Технологічні системи та машини» (ТОВ «Техномаш», м. Жовті Води) спеціального монорейкового гірничорядувального підйомника ПГР-350 [1].

У збірниках наукових праць НГУ [2] та ДП «НДІБПГ» [3] було наведено детальний опис конструкції та приведені технічні параметри цього підйомника, а у збірнику наукових праць КТУ [4] – докладно була розглянута конструкція автоматичного вловлювача кліти та гальмівної системи ПГР-350. при цьому особливу увагу було приділено теоретичним розрахункам кінематичних, енергетичних, силових та міцнісних параметрів і характеристик запобіжних пристосовань підйомника.

Постановка завдання. У зв'язку з тим, що аварійно-рятувальний підйомник входить в перелік гірничошахтного обладнання, до яких пред'являються підвищені вимоги з техніки безпеки, безпосередньому розробленню, виготовленню та випробуванню підйомника передували ретельні теоретичні розрахунки.

Загальним завданням нижченаведених розрахунків є перевірка відповідності кінематичних, енергетичних, силових та міцнісних параметрів і характеристик складових частин монорейкового підйомника вимогам технічного завдання на його розробку та загальним вимогам, що пред'являються до даного виду техніки.

Дана стаття присвячена кінематичному та тяговому розрахункам безпосередньо ходової частини кліті підйомника.

Викладення матеріалу та результати. Кінематична схема ходової частини кліті ПГР-350 представлена на рис. 1.

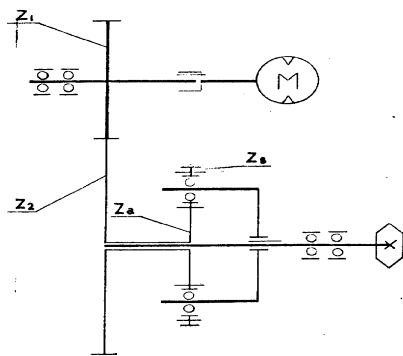


Рис. 1. Кінематична схема ходової частини кліті ПГР-350

Редуктор ходової частини є двоступінчатим, причому друга ступінь представляє собою планетарну передачу, передаточне число якої $U_{пл}$ визначають за формулою

$$U_{пл} = \frac{Z_b}{Z_a} + 1, \quad (1)$$

де Z_b - кількість зубців корони; Z_a - кількість зубців центрального колеса

$$U_{пл} = \frac{96}{28} + 1 = 4,43,$$

Загальне передаточне число редуктора (U) розраховується за формулою

$$U = U_{пл} \cdot \frac{Z_2}{Z_1}, \quad (2)$$

де Z_2 - кількість зубців колеса першої ступені редуктора; Z_1 - кількість зубців шестерні першого ступеня редуктора

$$U = 4,43 \cdot \frac{120}{43} = 12,36,$$

Швидкість підйому кліті V_k визначають за формулою

$$V_k = \frac{\pi \cdot d_{зп} \cdot \omega}{1000 \cdot U}, \quad (3)$$

де $d_{зп}$ - діаметр початкового колеса зірочки, мм

$$V_k = \frac{3,14 \cdot 120 \cdot 10}{1000 \cdot 12,36} = 0,31 \text{ м/с}$$

Тягове зусилля на приводній зірочці P_T визначають за формулою

$$P_T = \frac{1020 \cdot N \cdot \eta}{V_k}, \quad (4)$$

де η - ККД ходової частини

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_{пл} \cdot \eta_2,$$

де η_1 - ККД зубчатої передачі I ступеня; $\eta_{пл}$ - ККД планетарної передачі; η_2 - ККД цівкового зачеплення

$$\eta = 0,97 \cdot 0,94 \cdot 0,94 = 0,86$$

$$P_T = \frac{1020 \cdot 4 \cdot 0,86}{0,31} = 11320 \text{ Н (1150 кгс)}$$

Номінальний момент обертання на валу пневмодвигуна T_n розраховують за формулою

$$T_n = 9740 \cdot \frac{N}{60 \cdot \omega} = 9740 \cdot \frac{4}{60 \cdot 10} = 65 \text{ Н·м (6,6 кгс/м)} \quad (5)$$

Розрахунок фрикційного гальмівного пристрою здійснювався за такою методикою.

Момент, який створюється силою тяжіння кліті на гальмівному валу M_r , обчислювали за формулою

$$M_r = \frac{G_k \cdot d_{зв}}{2 \cdot U_{пл}} \cdot \eta = \frac{8930 \cdot 0,12}{2 \cdot 4,43} \cdot 0,86 = 104 \text{ Н} \cdot \text{м} (10,6 \text{ кгс} \cdot \text{м}) \quad (6)$$

Приймаємо коефіцієнт запасу гальмування $\mu_r = 2$, тоді розрахунковий гальмівний момент $M_{r \text{ розр}}$ знаходили за формулою, м

$$M_{r \text{ розр}} = \mu_r \cdot M_r = 2 \cdot 104 = 208 \text{ Н}, \quad (7)$$

Осьове зусилля на гальмо (Q) визначали за формулою

$$Q = \frac{M_{r \text{ розр}}}{Z \cdot f_{mp} \cdot R_{cp}}, \quad (8)$$

де Z - число пар поверхонь тертя гальмівних дисків; f_{tp} - коефіцієнт тертя пари сталь-металокераміка в маслі згідно $f_{tp} = 0,1$; R_{cp} - середній радіус поверхонь тертя, м

$$Q = \frac{208}{8 \cdot 0,1 \cdot 0,0955} = 2720 \text{ Н} (272 \text{ кгс})$$

Питомий тиск P знаходили за формулою

$$P = \frac{Q}{F}, \quad (9)$$

де F - площа поверхонь тертя, м^2

$$P = \frac{2720}{0,0138} = 0,2 \text{ МПа},$$

що не перевищує величини допустимого питомого тиску $[P] = 2,5 \text{ МПа}$.

Розрахунок валу першої ступені редуктора здійснювали за такою методикою.

Розрахункова схема валу представлена на рис. 2.

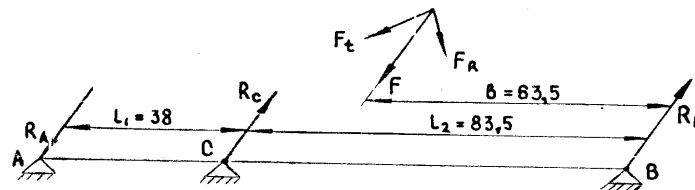


Рис. 2. Розрахункова схема валу

Окружне зусилля F_t визначали за формулою

$$F_t = \frac{2 \cdot T_H}{d_1}, \quad (10)$$

де d_1 - діаметр шестерні, м

$$F_t = \frac{2 \cdot 65}{0,086} = 1510 \text{ Н}$$

Радіальне зусилля F_R розраховували за формулою

$$F_R = F_t \cdot \tan(\alpha + \rho), \quad (11)$$

де α - кут зачеплення, градус; ρ - кут тертя, градус

$$F_R = 1510 \cdot \tan(20 + 5) = 704 \text{ Н} \quad (12)$$

Остаточне навантаження F обчислювали за формулою

$$F = \sqrt{F_t^2 + F_R^2} = \sqrt{1510^2 + 704^2} = 1640 \text{ Н}$$

Згинаючий момент на опорі С ($M_{згин}$) знаходили згідно [5]

$$M_{згин} = \frac{F \cdot B \cdot (L_2^2 - B^2)}{2 \cdot L_2 \cdot (L_1 + L_2)} = \frac{1640 \cdot 0,0635 \cdot (0,0835^2 - 0,0635^2)}{2 \cdot 0,0835 \cdot (0,038 + 0,0835)} = 15,5 \text{ Нм} \quad (13)$$

Напряга вигину σ_b визначали за формулою

$$\sigma_b = \frac{M_{виг}}{0,1 \cdot d^3}, \quad (14)$$

де d - діаметр валу, м

$$\sigma_e = \frac{15,5}{0,1 \cdot 0,02^3} = 19,4 \text{ МПа}$$

Напруга кручення τ_k обчислювали за формулою

$$\tau_k = \frac{T}{0,2 \cdot d^3} = \frac{65}{0,2 \cdot 0,02^3} = 41 \text{ МПа} (410 \text{ кгс} / \text{см}^2) \quad (15)$$

Еквівалентну напругу $\sigma_{екв}$ розраховували за формулою

$$\sigma_{екв} = \sqrt{\sigma_u^2 + 4\tau_k^2} = \sqrt{19,4^2 + 4 \cdot 41^2} = 84 \text{ МПа} (840 \text{ кгс} / \text{см}^2) \quad (16)$$

Допустима напруга для сталі 40х $[\sigma_e] = 155$ МПа, отже умова міцності $\sigma_{екв} = 84$ МПа $< [\sigma_e]$ витримано.

Радіальне навантаження на підшипник № 304 F_r, встановлений на опорі С, знаходять згідно [5].

$$F_r = R_c = \frac{F \cdot B [(L_1 + L_2)^2 - B^2 - L_1^2]}{2L_1 \cdot L_2} = \frac{1640 \cdot 0,0835 [(0,038 + 0,0835)^2 - 0,0635^2 - 0,038^2]}{2 \cdot 0,038 \cdot 0,0835} = 1630 \text{ Н} \quad (17)$$

Отже, результати розрахунків ходової частини гірничорятувального підйомника ПГР-350 показують:

параметри підйомника (тягове зусилля, швидкість переміщення) відповідають передбаченим у технічному завданні (ТЗ);

основні елементи ходової частини (зубчасті зачеплення, підшипники опір) мають достатню міцність та надійність.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Кінематичні та тягові розрахунки, проведені лабораторно-стендові дослідження розробленого монорейкового гірничорятувального підйомника ПГР-350 дозволили зробити висновок щодо ефективності та надійності конструктивних рішень запобіжних пристосувань (автоматичного вловлювача, гальмівної системи) та ходової частини підйомника, а також доцільності його широкомасштабних випробувань в промислових умовах. Такі випробування, що завершилися державними приймальними, були проведені в умовах шахти «Юбилейная» ПАО «СВРАЗ Суха Балка» в квітні 2012 р. Висновки приймальної комісії, до складу якої входили представники (спеціалісти) Держгірпромнагляду України, гірничорятувальної служби МНС України, а також самих виробничників, були такими:

підйомник ПГР-350 відповідає вимогам технічного завдання та комплекту робочої конструкторської та експлуатаційної документації;

підйомник рекомендувати до серійного виробництва.

Дослідний зразок №1 ПГР-350, виготовлений ТОВ «Техномаш», було передано в постійну експлуатацію Криворізькому гірничорятувальному загону.

Серійне виробництво монорейкового підйомника освоєно на підприємстві ТОВ «Техномаш» з березня 2013р.

Отже, поставлені виробничниками, гірничорятувальними службами та службами Держгірпромнагляду України завдання, НДБПГ КНУ виконано в повному обсязі, що дозволить значно підвищити безпеку праці гірників під час проведення піднятиєвих виробок з використанням механізованих прохідницьких комплексів, а також ефективність та надійність дій гірничорятувальних підрозділів.

Список літератури

1. **Рясний В.М., Моргун О.В.** Проведення піднятиєвих гірничих виробок: проблеми та рішення. – Технополіс, 2004. – С. 71-72.
2. **Рясной В.М.** Новые технические средства ведения аварийно-спасательных работ в восстающих горных выработках / Сб.науч.тр. НГУ. – 2003, №17. – С. 386-391.
3. **Рясний В.М., Свистратенко І.А.** Технічний прогрес гірничорятувальної служби як чинник підвищення безпеки праці гірників. – Охорона праці та навколишнього середовища на підприємствах гірничо-металургійного комплексу: Зб.наук.праць. – Кривий Ріг: ДП «НДБПГ», 2007, вип. 8. – С. 49-58.
4. **Рясний В.М., Комащенко П.Г.** Підвищення надійності малогабаритного аварійно-рятувального монорейкового підйомника/ Вісник Криворізького технічного університету: Зб.наук.праць. – 2012, вип. 32.- С.132-136 (Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Сталий розвиток гірничо-металургійної промисловості –

2012»).

5. Тимошенко С.П. Сопротивление материалов. М., Наука, 1965, том I.

Рукопис подано до редакції 22.03.13

УДК 621.771

М.М. БЕРЕЖНИЙ, д-р техн. наук, проф., В.А. ЧУБЕНКО, канд. техн. наук, доц.,
А.А. ХІНОЦЬКА, старший викладач, С.О. МАЩИШИН, аспірант
ДВНЗ «Криворізький національний університет»

АМОРФНІСТЬ ТА МІЦНІСТЬ СТАЛІ

Запропоновано вважати границі зерен аморфними та розраховано величину аморфності залежно від розміру зерен при товщині міжзернової межі рівній параметру кристалічної решітки аустеніту ($3,6 \cdot 10^{-10}$ м). Визначено збільшення міцності різних видів сталі, маючої нанорозмір зерен, при збільшенні її аморфності до 40-50 %.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Сталі і сплави складаються з зерен [1] та границь між ними [2,3]. За визначенням аморфний стан металу відрізняється від його кристалічного стану відсутністю далекого порядку в розміщенні атомів в об'ємі, що власне і ліквідує зернову структуру [2]. Фрагменти кристалів різного розміру різних металів існують у розплавах – це кластери, які мають тимчасові внутрішні ансамблі атомів та зовнішню розпушену розупорядковану зону об'ємом 3-6 %. У розупорядкованій зоні атоми постійно відриваються і приєднуються від і до кластера. При переохолодженні розплаву кластери стають зародками кристалів, а розпушена зона міжзерновою границею, яку не можна вважати кристалічною [3]. За структурою вона ближче до аморфного стану, що визначають і самі автори [3]: «... при будь-яких температурах нижче температури плавлення структура границі не є рідиною і не подібна до структури аморфних твердих тіл, а краще порівнювати зі структурою кристалічного твердого тіла з високою концентрацією точкових дефектів, в яких зберігається значна ступінь, як ближнього так і далекого порядку» [3]. Тому важливо виявити залежність аморфності сталі від величини діаметра її зерен і вплив аморфності сплаву на його міцність.

Аналіз досліджень та публікацій. Якщо вважати границю, як поверхню без товщини, яка представляє контакт розорієнтованих поверхонь різних кристалів, як уявляють автори [3], то тоді необхідно визначити повноцінними кристалами частинки яких дотикаються до роздільної поверхні з обох її боків. Це уявлення, до речі, суперечить правилам визначення величини зерна за методикою Держстандарту [1], згідно якій при підрахунку кількості зерен у полі мікроскопу враховують половину зерен, що частково входять у це поле [1].

Враховуючи, що на границях зерен концентруються атоми інших елементів та дислокації і на шліфах сфотографовані границі зерен, які мають товщину 0,2-0,4 мкм [2], ми вважаємо, що міжзеренні границі в металах за структурою подібні до застиглих розплавів і на їх утворення витрачається теплота плавлення. Таке уявлення про поверхневу енергію, яка утворюється при руйнуванні руди, при знятті стружки з металічної заготовки успішно використано раніше [5,6]. У цих випадках товщина розпушеної поверхні приймалась обґрунтовано відповідна 0,08 мкм [5] і 0,25 мкм [6].

Очевидно, що товщина міжзеренних границь у поверхні рудних та металічних зернах повинна бути більшою ніж у внутрішніх міжзеренних границях, бо перші утворились внаслідок розриву зерен, а другі – внаслідок остигання та ущільнення розплаву.

Середні величини номерів зерен G , середнього діаметра зерна d_m та середнього числа зерен в 1 мм^3 , N_v , згідно Держстандарту [1] наведено в табл. 1. Середня питома поверхня міжзернової границі, її об'єм при товщині, рівній параметру чарунки заліза та частка в загальному об'ємі розраховані нами (табл. 1). На відміну від раніше виконаних розрахунків, коли товщина розпушеної зони приймалася рівною 0,08 мкм [6], тут прийнята товщина міжзернової поверхні в аустенітній сталі з вмістом вуглецю в межах 0 – 2 % рівною $3,6 \cdot 10^{-10}$ м, тобто середнє значенні між $(3,56 \div 3,63) \cdot 10^{-10}$ м.

Постановка завдання. Виявити геометричні параметри структури сталі залежно від розміру зерна і аморфності сплаву на його міцність.