Б. О. Блюсс /д. т. н./, Є. В. Семененко /д. т. н./,
О. О. Медведєва /к. т. н./, С. М. Киричко /к. т. н./

Інститут геотехнічної механіки
імені М. С. Полякова НАН України,
м. Дніпро, Україна
e-mail: medvedevaolga1702@gmail.com

Оцінки ризиків функціонування логістичних транспортних систем гірничих підприємств

B. O. Blyuss /Dr. Sci. (Tech.)/,
Ye. V. Semenenko /Dr. Sci. (Tech.)/,
O. O. Medvedeva /Cand. Sci. (Tech.)/,
S. M. Kyrychko /Cand. Sci. (Tech.)/

Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics
of National Academy of Sciences of Ukraine,
Dnipro, Ukraine
e-mail: medvedevaolga1702@gmail.com

Estimates of risk in financing of logistic transport systems of mining enterprises

Мета. Обґрунтування надійності та ефективності функціонування логістичних транспортних систем гірничих підприємств з урахуванням ризиків та особливостей експлуатації гідротранспортних комплексів, яким притаманна нестабільність надходження фаз гідросуміші та використання насосів відцентрового типу, робоча точка гідротранспортної системи на витратно-напірній діаграмі має бути в межах області можливих режимів роботи.

Методика. Аналіз сучасних методів оцінки ризиків функціонування логістичних транспортних систем підприємств гірничо-металургійної галузі при періодичному зміні параметрів магістралей та матеріалу, що транспортується, з метою забезпечення регламентованих показників виробництва.

Результати. Доведено, що при пересуванні головної пульпонасосної станції оцінка ризику має проводитися за двома обмеженнями: неспроможність забезпечити вантажопотік, який регламентовано потребами збагачувального виробництва, та вихід робочої точки системи за межі області можливих режимів роботи. В обох випадках оцінка ризику проводиться шляхом порівняння витрати гідросуміші, яку забезпечує гідротранспортний комплекс після переміщення головної пульпонасосної станції, з мінімально припустимою та максимально припустимою витратою. В першому випадку ці припустимі витрати визначаються регламентом роботи збагачувального виробництва та перебувають у межах області можливих режимів роботи, а в другому – це є абсциси меж області можливих режимів роботи. Встановлено, що для більшості підприємств гірничо-металургійної галузі обмеження по області можливих режимів роботи гідротранспортного комплексу буде домінуючим.

Наукова новизна. На основі аналізу методів оцінки можливих ризиків функціонування логістичних транспортних систем підприємств гірничо-металургійної галузі обґрунтовано перспективні напрями підвищення ефективності та забезпечення надійності при періодичній зміні параметрів магістралей та матеріалу, що транспортується.

Практична значущість. Полягає у вдосконаленні методів розрахунку припустимих довжин логістичних транспортних магістралей, які задовольняють вимогам збагачувального виробництва за вантажопотоком при періодичній зміні параметрів матеріалу, що транспортується. (Іл. 4. Табл. 4. Бібліогр.: 6 назв.)

Ключові слова: гідросуміш, висока концентрація, витратно-напірні характеристики.

DOI: 10.33101/S069485765

Вступ. Первинний рівень надійності гідротранспортних систем гірничих підприємств закладається при їх проектуванні, виходячи з характеристик матеріалу, що транспортується, витрат води та первинних розсіпів, що регламентуються для цього підприємства, та вимог реалізації надкритичного режиму течії в магістралі [1; 2]. У процесі експлуатації цей рівень підтримується та забезпечується за рахунок модернізації технічних

засобів та прийняття відповідних логістичних рішень.

Такі характеристики первинного розсіпу, як густина, гранулометричний та фізичний склади та обсяги технічної води й первинного розсіпу, що забезпечують роботу збагачувального виробництва протягом однієї години, визначають критичне значення трубопроводу магістралі, яке обмежує максимальний діаметр магістралі, що

проектується [1]. Обравши діаметр трубопроводу, за відповідними формулами [1; 2], визначається витратно-напірна характеристика магістралі та обираються насосні агрегати [1–4], які здатні забезпечити відповідну витрату гідросуміші. Враховуючи особливості експлуатації гідротранспортних комплексів гірничих підприємств, яким притаманна нестабільність надходження фаз гідросуміші та використання насосів відцентрового типу, робоча точка гідротранспортної системи на витратно-напірній діаграмі має бути в межах області можливих режимів роботи (рис. 1) [1–3]. Вихід робочої точки гідротранспортної системи за межі цієї області призводить до втрати надійності або з причини кавітаційних режимів роботи, або з причини виникнення докритичних режимів течії гідросуміші. В обох випадках знижується вантажопотік, який забезпечує система, та виникає ризик втрати продуктивності збагачувального виробництва [1–3].

Результати аналізу факторів, які можуть призвести до виходу робочої точки гідротранспортної системи за межі області можливих режимів роботи, вказують, що це можуть бути: різка зміна характеристики первинного розсипу; нестабільність надходження фаз гідросуміші; зношення робочих коліс відцентрових насосів; збільшення довжини магістралі гідротранспортного комплексу.

- 1 – мінімально можлива витратно-напірна характеристика насоса;
- 2 – максимально можлива витратно-напірна характеристика насоса;
- 3 – мінімально можлива витратно-напірна характеристика магістралі;
- 4 – максимально можлива витратно-напірна характеристика магістралі;
- 5 – область можливих режимів роботи

Рис. 1. Визначення області можливих режимів роботи гідротранспортного комплексу

Такі фактори, як різкі зміни характеристики первинного розсипу та нестабільність надходження твердої фази гідросуміші та зношення робочих коліс відцентрових насосів у межах компетенції логістичних параметрів гідротранспортних систем не розглядаються. Оскільки різкі зміни характеристики первинного розсипу та нестабільність надходження твердої фази гідросуміші виключаються за рахунок раціонального вибору логістичних параметрів відкритих гірничих робіт, а саме транспортної схеми видобувних робіт, створення перевантажувальних та бункерних пунктів та ін. [1–5]. Зношення ж робочих коліс відцентрових насосів запобігається обґрунтуванням термінів системи планово-запобіжних ремонтів та ефективністю функціонування служб технічного забезпечення гірничого підприємства [1–3].

Останні два фактори, а саме нестабільність надходження фаз гідросуміші та збільшення довжини магістралі гідротранспортного комплексу, пов'язані з періодичним пересуванням головної пульпонасосної станції гідротранспортного комплексу за фронтом гірничих робіт. Саме ці фактори визначають логістичні параметри гідротранспортного комплексу під час оцінки ризиків функціонування.

Періодичність збільшення довжини магістралі гідротранспортного комплексу обумовлюється швидкістю просування фронту гірничих робіт та відбувається один чи два рази на рік, залежно від інтенсивності та кількості простоїв гірничотранспортного обладнання. Разом з магістраллю гідротранспортного комплексу подовжуються трубопроводи системи зворотного водопостачання, якими технічна вода подається на головну пульпонасосну станцію. Тому ці два фактори пов'язані між собою та мають розглядатися разом.

Кожного разу при пересуванні головної пульпонасосної станції виникає потреба оцінити ризик того, що з новою довжиною магістралі гідротранспортний комплекс зможе забезпечити вантажопотік, який регламентовано потребами збагачувального виробництва.

Таким чином, оцінка ризику у випадку, що розглядається, може відбуватися за двома обмеженнями: неспроможність забезпечити вантажопотік, який регламентовано потребами збагачувального виробництва; вихід робочої точки системи за межі області можливих режимів роботи.

В обох випадках оцінка ризику проводиться шляхом порівняння витрати гідросуміші, яку забезпечує гідротранспортний комплекс після переміщення головної пульпонасосної станції, з мінімально припустимою та максимально припустимою витратою. В першому випадку ці припустимі витрати визначаються регламентом робо-

Параметри розрахункових варіантів при визначенні відносної витрати технічної води на пульпоутворення від кількості пересувань головної пульпонасосної станції гідротранспортного комплексу на 500 м від місця водозабору [1-4]

Розрахунковий варіант	Тип відцентрового насосу		Q_{Σ} м ³ /год
	на станції водозабору	біля гідромонітору	
№1	Д6300	Д2000	8300
№2	Д6300	Д2500	8800
№3	Д4000	Д2000	6000
№4	Д4000	Д2500	6500

Використовуючи формулу (1) та відповідне обмеження з боку збагачувального виробництва на витрату гідросуміші, що надходить з кар'єру:

$$[Q] \leq Q, \quad (2)$$

а також відому формулу збереження маси фаз гідросуміші при транспортуванні за трубопроводом:

$$Q = \frac{G}{\rho_s} + qQ_0, \quad (3)$$

можна сформулювати нерівність для визначення максимально можливої кількості пересувань головної пульпонасосної станції гідротранспортного комплексу на 500 м від місця водозабору:

$$a_2 n^2 - a_1 n + a_0 - q' \geq 0, \quad q' = \frac{[Q] - P}{Q_0}, \quad P = \frac{G}{\rho_s}, \quad (4)$$

де $[Q]$ – мінімально можлива для збагачувального виробництва витрата гідросуміші, м³/год;

Q – витрата гідросуміші, м³/год;

G – вантажопотік первинного розсипу, що потрапляє з кар'єру на збагачувальне виробництво, т/год;

ρ_s – середня густина первинного розсипу, т/м³;

P – витрата твердої фази гідросуміші, м³/год.

Вочевидь інтервали змін параметру q' перебувають у межах нуля та одиниці:

$$0 < q' < 1, \quad (5)$$

а тому для вільного члена поліному, що перебуває в лівій частині нерівності (4), справедливе таке:

$$a_0 - q' > 0. \quad (6)$$

Враховуючи (6) і той факт, що інші коефіцієнти полінома, який перебуває в лівій частині нерівності, додатні, розв'язок нерівності (4) можна записати таким чином:

$$n < n', \quad n' = A - B\sqrt{q' - C}, \quad A = \frac{a_1}{2a_2}, \quad B = a_0 - \frac{a_1^2}{4a_2}, \quad C = \frac{1}{\sqrt{a_2}}, \quad (7)$$

де n' – кількість пересувань головної пульпонасосної станції гідротранспортного комплексу на 500 м від місця водозабору, починаючи з якої від-

ти збагачувального виробництва та перебувають у межах області можливих режимів роботи, а в другому – це є абсциси меж області можливих режимів роботи.

Розрахунок можливої витрати гідросуміші, яку забезпечує гідротранспортний комплекс після переміщення головної пульпонасосної станції, передбачає, що концентрація гідросуміші відома. Для цього необхідно визначити витрату технічної води в оновленій системі зворотного водопостачання. Ці розрахунки виконуються шляхом порівняння витратно-напірних характеристик відповідних трубопроводів та насосних агрегатів та детально розглянуті в [1-4]. Найбільш наглядно результати цих розрахунків можна навести у вигляді залежностей безрозмірних характеристик від кількості пересувань головної пульпонасосної станції гідротранспортного комплексу Вільногірського гірничо-металургійного комбінату (рис. 1-4, табл. 1-3).

Так, витрата технічної води на пульпоутворення залежності від кількості пересувань головної пульпонасосної станції гідротранспортного комплексу на 500 м від місця водозабору можна подати в такому вигляді:

$$Q_W = qQ_0, \quad q = a_0 - a_1 n + a_2 n^2, \quad (1)$$

$$Q_0 = \begin{cases} 1188Q_{\Sigma}^{0,225}, & \delta = 0,433 \\ \frac{6339}{Q_{\Sigma}^{0,021}}, & \delta = 0,283 \end{cases}$$

де Q_W – витрата технічної води на пульпоутворення, м³/год.;

q – відносна витрата технічної води на пульпоутворення;

Q_0 – початкова витрата технічної води на пульпоутворення, м³/год;

a_0, a_1, a_2 – коефіцієнти апроксимації (табл. 1);

n – кількість пересувань головної пульпонасосної станції гідротранспортного комплексу 500 м;

Q_{Σ} – сумарна номінальна витрата відцентрових насосів, що використовуються для водопостачання, м³/год.; δ – співвідношення діаметрів трубопроводу до зумпфа та трубопроводу, що прокладено по межі рудного тіла.

Таблиця 1

Значення коефіцієнтів апроксимації залежності відносної витрати технічної води на пульпоутворення від кількості пересувань головної пульпонасосної станції гідротранспортного комплексу

Коефіцієнт	$\delta = 0,433$	$\delta = 0,283$
a_0	0,9859	0,9989
a_1	0,0329	0,0141
a_2	0,00065	0,000175

центрові насоси, що використовуються, будуть неспроможні забезпечити витрату технічної води на пульпоутворення, яка задовольняє вимоги збагачувального виробництва; А, В, С – розрахункові коефіцієнти (табл. 3).

Таблиця 3

Значення коефіцієнтів у формулі для розрахунку максимально можливої кількості пересувань головної пульпонасосної станції гідротранспортного комплексу на 500 м від місця водозабору

Коефіцієнт	$\delta = 0,433$	$\delta = 0,283$
А	25,269	40,143
В	39,223	75,593
С	0,571	0,717

Формула (7) встановлює межу, за якою логістичні параметри системи зворотного водопостачання потребують зміни. Найбільш часто розглядається варіант встановлення додаткового або нового, більш потужного, насосного обладнання [1–4]. З рис. 2 видно, що довжина трубопроводу від місця водозабору до головної пульпонасосної станції гідротранспортного комплексу, за якої виникає така необхідність, змінюється від 4 до 20 км. У той час як пересування головної пульпонасосної станції гідротранспортного комплексу зі збереженням витрати гідросуміші потребує встановлення нового насоса, тобто зміни логістичних параметрів системи гідротранспортування розсіпів приблизно через кожні 2,34 км (рис. 3, 4).

Зміни логістичних параметрів системи гідротранспортування розсіпів у вигляді встановлення додаткових насосних агрегатів дозволяють утримувати параметри режимів роботи (рис. 3, 4) у деяких межах, які наглядно можна подати за допомогою їх співвідношення з початковими значеннями (рис. 4):

$$S = sS', Q = wQ', P = pP'. \quad (8)$$

З рис. 4 видно, що залежність відносних параметрів від кількості пересувань головної пульпонасосної станції на 390 м з точністю, достатньою для інженерних розрахунків, можна апроксимувати лінійною функцією (табл. 4):

$$z = b_0 - b_1 m, \quad (9)$$

де m – кількість пересувань головної пульпонасосної станції гідротранспортного комплексу на 390 м.

Таблиця 4

Значення коефіцієнтів апроксимації залежностей відносних показників режиму роботи гідротранспортного комплексу від кількості пересувань головної пульпонасосної станції на 390 м (9)

z	b_0	b_1
s	0,9015	0,0343
w	1,0891	-0,0231
p	0,9920	0,0261

Рис. 2. Залежність довжини трубопроводу від місця водозабору до головної пульпонасосної станції гідротранспортного комплексу (км) від параметру q'

Рис. 3. Залежність довжини трубопроводу від забору до насосних агрегатів гідротранспортного комплексу від кількості пересувань головної пульпонасосної станції на 390 м [1–3]

Рис. 4. Залежність відносних параметрів режимів роботи гідротранспортного комплексу від кількості пересувань головної пульпонасосної станції на 390 м

Зважаючи на те, що фактична витрата гідросуміші при пересуванні головної пульпонасосної станції гідротранспортного комплексу зростає, замість обмеження (2) у цьому випадку необхідно розглядати такі нерівності:

$$Q \leq \langle Q \rangle, [G] \leq G, \quad (10)$$

де $\langle Q \rangle$ – максимально можлива для збагачувального виробництва витрата гідросуміші, м³/год;

G – мінімально можливий для збагачувального виробництва вантажопотік первинного розсипу, т/год.

Розглянувши умови (9) та (10) разом з відповідними апроксимаційними залежностями (8) (табл. 4), можна отримати такі обмеження для кількості пересувань головної пульпонасосної станції гідротранспортного комплексу на 390 м з боку збагачувального виробництва:

$$m \leq m_Q, m \leq m_G, m_Q = 43,29(w' - 1,089),$$

$$m_G = 38,314(0,992 - p'), \quad (11)$$

$$w' = \frac{\langle Q \rangle}{Q'}, p' = \frac{[G]}{\rho_S P'}, \quad (12)$$

де m_Q – кількість пересувань головної пульпонасосної станції гідротранспортного комплексу на 390 м, починаючи з якої відцентрові насоси, що використовуються, будуть забезпечувати витрату гідросуміші таку, що не відповідає вимогам збагачувального виробництва;

m_G – кількість пересувань головної пульпонасосної станції гідротранспортного комплексу на 390 м, починаючи з якої відцентрові насоси, що використовуються, будуть неспроможні забезпечити витрату первинного розсипу, яка відповідає вимогам збагачувального виробництва.

З обмежень (11) необхідно обрати те, що виконується раніше. Аналітичні дослідження формул (12) вказують на те, що $m_Q > m_G$ якщо:

$$p' > p_*, p_* = \frac{1,967}{0,885 + \frac{S'}{\sigma}}, \sigma = \frac{[G]}{\rho_S \langle Q \rangle}. \quad (13)$$

Для виконання нерівності (13) необхідно щоб $p_* < 1$, що можливо лише за умови:

$$S' > 1,082\sigma. \quad (14)$$

Параметр σ є співвідношенням мінімально можливої витрати твердої фази гідросуміші до максимально можливої витрати гідросуміші, тобто це є максимальне значення концентрації гідросуміші для гідротранспортного комплексу, який розглядається. Зважаючи на це, а також враховуючи, що S' не є максимальним значенням концентрації гідросуміші й воно не може перебільшувати σ , умова (14) є неможливою. Таким чином, $p_* > 1$, та для будь-яких режимів роботи

гідротранспортного комплексу необхідно розглядати таке обмеження:

$$m \leq m_Q. \quad (15)$$

Формула (15) встановлює межу, за якою логістичні параметри гідротранспортного комплексу потребують зміни. Найбільш часто спочатку розглядається варіант встановлення робочих коліс іншого діаметру на вже існуючі насоси. Якщо це не задовольняє вимог, розглядають варіант встановлення додаткового або нового, більш потужного, насосного обладнання [1; 5; 6]. Зміни логістичних параметрів гідротранспортного комплексу потребують більших витрат, ніж зміни параметрів системи зворотного водопостачання, оскільки передбачають зміни місць розташування насосних агрегатів по довжині магістралі, що викликано необхідністю запобігти кавітаційним режимам течії.

Висновки. Доведено, що при пересуванні головної пульпонасосної станції оцінка ризику має проводитися за двома обмеженнями: неспроможність забезпечити вантажопотік, який регламентовано потребами збагачувального виробництва, та вихід робочої точки системи за межі області можливих режимів роботи. В обох випадках оцінка ризику проводиться шляхом порівняння витрати гідросуміші, яку забезпечує гідротранспортний комплекс після переміщення головної пульпонасосної станції, з мінімально припустимою та максимально припустимою витратою. В першому випадку ці припустимі витрати визначаються регламентом роботи збагачувального виробництва та перебувають у межах області можливих режимів роботи, а в другому – це є абсциси меж області можливих режимів роботи. Встановлено, що для більшості підприємств гірничо-металургійної галузі обмеження за областю можливих режимів роботи гідротранспортного комплексу буде домінуючим.

Бібліографічний список / References

1. Семененко Е. В. Научные основы технологий гидромеханизации открытой разработки титанцирконовых россыпей / Е. В. Семененко. – Киев: Наукова думка, 2011. – 232 с.

Semenenko E. V. *Nauchnye osnovy tekhnologij gidromekhanizacii otkrytoj razrabotki titan-cirkonovykh rossypej*. Kiev: Naukova dumka, 2011, 232 p.

2. Медведева О. А. Параметры глубоких железорудных карьеров при их доработке / О. А. Медведева. – Киев: Наукова думка, 2013. – 127 с.

Medvedeva O. A. *Parametry glubokih zhelezorudnykh kar'ero'v pri ih dorabotke*. Kiev: Naukova dumka, 2013, 127 p.

3. Четверик М. С. Параметры технологии, процессов и горных машин при открытой добыче

руд. / М. С. Четверик, С. К. Молдабаев, Е. В. Бабий, Е. А. Бубнова // Научно-техн. и производственный горный журнал Казахстана. – Алматы, 2016. – № 8 (136). – С. 18–23.

Chetverik M. S., Moldobaev S. K., Babiy E. V., Bubnova E. A. *Parametry tekhnologii, processov i gornyh mashin pri otkrytoj dobyche rud.* Nauchno-tekhn. I proizvodstvennyj gornyj zhurnal Kazakhstana. Almaty, 2016, no. 8 (136), pp. 18–23.

4. Проблемы разработки россыпных месторождений / И. Л. Гуменик, А. М. Сокил, Е. В. Семененко, В. Д. Шурыгин. – Днепропетровск: Січ, 2001. – 224 с.

Gumenik I. L., Sokil A. M., Semenenko E. V., Shuryigin V. D. *Problemy razrabotki rossypnyh mestorozhdenij.* Dnepropetrovsk: Sich. 2006, 224 p.

5. Выбор и обоснование параметров системы оборотного водоснабжения Вольногорского ГМК / Ю. Д. Баранов, В. Д. Шурыгин, Б. А. Блюсс, Е. В. Семененко // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2006. – № 4. – С. 100–103.

Baranov Yu. D., Shuryigin V. D., Blyuss B. A., Semenenko E. V. *Vybor i obosnovanie parametrov sistemy oborotnogo vodosnabzheniya Vol'nogorskogo GMK.* Metallurgicheskaya I gornorudnaya promyshlennost, 2016, no. 4, pp. 100–103.

6. Обоснование параметров и режимов работы систем гидротранспорта горных предприятий / Ю. Д. Баранов, Б. А. Блюсс, Е. В. Семененко, В. Д. Шурыгин. – Днепропетровск: Новая идеология, 2006. – 416 с.

Baranov Yu. D., Blyuss B. A., Semenenko E. V., Shuryigin V. D. *Obosnovanie parametrov i rezhimov raboty i sistem gidrotransporta gornyh predpriyatiy.* Dnepropetrovsk: Novaya ideologiya, 2006, 416 p.

Цель. Обоснование надежности и эффективности функционирования логистических транспортных систем горных предприятий с учетом рисков и особенностей эксплуатации гидротранспортных комплексов, обладающих нестабильностью поступления фаз гидросмеси и использования насосов центробежного типа, при этом рабочая точка гидротранспортной системы на расходно-напорной диаграмме должна быть в пределах области возможных режимов работы.

Методика. Анализ современных методов оценки рисков функционирования логистических транспортных систем предприятий горно-металлургической отрасли при периодическом изменении параметров магистралей и транспортируемого в целях обеспечения регламентированных показателей производства.

Результаты. Доказано, что при перемещении главной пульпонасосной станции оценка риска должна проводиться по двум ограничениям: неспособность обеспечить грузопоток, который регламентирован потребностями обогащательного производства, и выход рабочей точки системы за

пределы области возможных режимов работы. В обоих случаях оценка риска проводится путем сравнения расхода гидросмеси, который обеспечивает гидротранспортный комплекс после перемещения главной пульпонасосной станции, с минимально допустимым и максимально допустимым расходом. В первом случае эти допустимые расходы определяются регламентом работы обогащательного производства и находятся в пределах области возможных режимов работы, а во втором – это абсциссы границ области возможных режимов работы. Установлено, что для большинства предприятий горно-металлургической отрасли ограничения по области возможных режимов работы гидротранспортного комплекса будут доминирующими.

Научная новизна. На основе анализа методов оценки возможных рисков функционирования логистических транспортных систем предприятий горно-металлургической отрасли обоснованы перспективные направления повышения эффективности и обеспечения надежности при периодическом изменении параметров магистралей и транспортируемого материала.

Практическая значимость. Заключается в усовершенствовании методов расчета допустимых длин логистических транспортных магистралей, которые удовлетворяют требованиям обогащательного производства по грузопотоку, при периодическом изменении параметров транспортируемого материала.

Ключевые слова: гидросмесь, высокая концентрация, расходно-напорные характеристики

Purpose. The justification of the reliability and efficiency of the operation of logistics transport systems of mining enterprises taking into account the risks and peculiarities of the operation of hydrotransport systems, which is characterized by instability of the receipt of hydro-mixtures and the use of centrifugal pumps, the working point of the hydrotransportation system on the flow-pressure diagram must be within the range of possible operating modes.

Methodology. An analysis of modern methods for assessing the risks of logistics transport systems functioning in the mining and metallurgical industry with periodic changes in the parameters of the lines and transported materials in order to provide regulated production indicators.

Findings. It has been proved that when moving the main pulp pump station, the risk assessment should be carried out according to two constraints: the inability to provide the cargo flow, which is regulated by the needs of the enrichment industry, and the output of the system's operating point outside the scope of possible operating modes. In both cases, the risk assessment is carried out by comparing the flow rate of the hydros mixture, which provides the hydrotransport complex after moving the main pulp pump station, with a minimum allowable and maximum allowable flow rate. In the first case, these allowable costs are determined by the rules of the work of the enrichment industry and are within the scope of possible modes of operation, and in the second, it is the abscissa of the boundaries of the region of possible operating modes. It is established that for the majority of

enterprises of the mining and metallurgical industry the restrictions on the region of possible modes of operation of the hydrotransport complex will be dominant.

Originality. Based on the analysis of methods for assessing the possible risks of the operation of the logistics transport systems of the enterprises of the mining and metallurgical industry, promising directions of increasing efficiency and ensuring reliability during periodic changes in the parameters of the trunk and material being transported are substantiated.

Practical value. It is concluded in the improvement of the methods for calculating the permissible lengths of logistic transport trunks, which satisfy the requirements

of the concentrating production in the traffic flow, with a periodic change in the parameters of the material being transported.

Key words: hydros mixture, high concentration, flow-pressure characteristics

Рекомендована до друку
д. т. н. В. І. Самусею

Надійшла 25.11.2018

УДК [622:531/533:65.011.8].001.3

Наука

Є. В. Семененко /д. т. н./, Є. С. Лапшин /д. т. н./, С. В. Дзюба /к. т. н./

Інститут геотехнічної механіки
ім. М. С. Полякова НАН України,
м. Дніпро, Україна

М. М. Лях /к. т. н./

Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу МОН України,
м. Івано-Франківськ, Україна
e-mail: sergejdzuba@gmail.com

Особливості технологічного розрахунку трубопроводів при транспортуванні високов'язких неньютонівських рідин

**Ye. V. Semenenko /Dr. Sci. (Tech.)/,
Ye. S. Lapshin /Dr. Sci. (Tech.)/,
S. V. Dziuba /Cand. Sci. (Tech.)/**

Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics
of National Academy of Sciences of Ukraine,
Dnipro, Ukraine

M. M. Liah /Cand. Sci. (Tech.)/

Ivano-Frankivsk National Technical University
of Oil and Gas Ministry of Science and Science
of Ukraine, Ivano-Frankivsk, Ukraine
e-mail: sergejdzuba@gmail.com

Technological pipelines calcucation features for high-vision oil products transportation

Мета. Обґрунтування наукових основ технологічного розрахунку магістральних трубопроводів, які перекачують неньютонівські рідини високої в'язкості, з урахуванням особливостей поведінки розв'язку повного рівняння Букінгама в різних інтервалах величин, які входять до нього.

Методика. Аналіз сучасних методів розрахунку раціональних параметрів режимів транспортування неньютонівських рідин високої в'язкості дозволив обґрунтувати специфіку реологічних характеристик цих рідин з урахуванням можливості управління їх реологічними властивостями за рахунок введення поверхнево активних реагентів або гетерогенного середовища меншої в'язкості.

Результати. Обґрунтовано науково-методичне забезпечення розрахунку раціональних параметрів режимів транспортування неньютонівських рідин високої в'язкості для магістральних трубопроводів з метою забезпечення підвищення ефективності їх функціонування. При цьому в залежностях, які запропоновано в роботі, враховано можливість оцінки зміни параметрів і режимів роботи магістральних трубопроводів при примусовому регулюванні реологічними параметрами середовища, що перекачується.