

© А.А. Адамчук¹, О.О. Шустов¹, М.М. Калашник¹

¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

ВДОСКОНАЛЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ХВОСТОВОГО ГОСПОДАРСТВА НА ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИХ КОМБІНАТАХ

© A. Adamchuk¹, O. Shustov¹, M. Kalashnyk¹

¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

IMPROVEMENT OF OPERATION OF TAILINGS STORAGE FACILITIES AT MINING AND PROCESSING PLANTS

Мета. Дослідити схеми транспортування хвостів збагачення залізної руди для складування їх у вироблений простір відпрацьованого кар'єру в умовах збільшення виробництва залізорудного концентрату.

Методика досліджень. Результати дослідження отримані шляхом техніко-економічного обґрунтування для співставлення п'яти різних схем транспортування хвостів збагачення: залізничним транспортом, стрічковим конвеєром, канатно-стрічковим конвеєром, трубчастим конвеєром, трубопроводом. Виконана порівняльна оцінка капітальних витрат, річних експлуатаційних витрат та кількості працівників процесу транспортування та складування хвостів збагачення у вироблений простір відпрацьованого кар'єру.

Результати дослідження. Розглянуто питання транспортування хвостів збагачення залізної руди в умовах відкритої розробки родовищ корисних копалин. Розглянуто різні види транспорту з погляду доставки та складування хвостів збагачення. Встановлено, що найбільш ефективними, з точки зору зниження собівартості та охорони навколишнього середовища, видами транспорту є трубчастий конвеєр для транспортування сухої маси та трубопровід для пульпи. Встановлено, що в деяких випадках – за умови відповідної технологічної необхідності – доцільно використовувати нижню гілку трубчатого конвеєра для транспортування.

Наукова новизна. Встановлена залежність капітальних та річних експлуатаційних витрат на транспортування та складування хвостів збагачення у відпрацьований кар'єр від розглянутих варіантів транспортування залізничним транспортом, стрічковим конвеєром, канатно-стрічковим конвеєром, трубчастим конвеєром, трубопроводом. Встановлена залежність зміни кількості працівників, задіяних в процесі транспортування та складування хвостів збагачення від схеми їх транспортування.

Практичне значення. Обґрунтовані умови доцільності використання трубчатого конвеєру для транспортування хвостів збагачення у вироблений простір відпрацьований кар'єр і на збагачувальну фабрику. В схемах, які передбачають повторну переробку хвостів збагачення, можуть бути використані в якості транспортних обидві трубчатого гілки конвеєра: нижня і верхня.

Ключові слова: хвости збагачення, трубчастий конвеєр, трубопровід, земснаряд, насос, пульпа.

Вступ. В процесі експлуатації гірничо-збагачувальних комбінатів залізна руда піддається дробильно-збагачувальному розділенню, в результаті якого утворюється товарна продукція високої якості, залізорудний концентрат, а відходи виробництва у вигляді тонкоподрібнених хвостів складуються в окремих

сховищах [1, 2]. В міру їх заповнення, ємність хвостосховищ може підтримуватись будівництвом нових відсіків або за рахунок збільшення висоти огорожувальних дамб [3]. При остаточному заповненні хвостосховищ у проєктних об'ємах їх поверхня та укоси огорожуючих дамб підлягають рекультивації шляхом нанесення шару потенційно родючих порід (суглинків) та чорнозему [1, 5, 6]. Надалі підтримка виробничої потужності підприємства може вестись шляхом будівництва нових хвостосховищ, що не бажано в умовах необхідності відчуження родючих земель поблизу комбінату.

Перспективи розвитку одного з гірничо-збагачувальних комплексів у Кривбасі показують, що збагачення 30 млн т/рік залізної руди в концентрат супроводжуватиметься щорічним виділенням хвостів обсягом 6,3 млн м³ [2]. Збільшення попиту на залізорудний концентрат і підвищення темпу його виробництва – спричинені сучасними викликами російської агресії, необхідністю збільшення виробництва військової техніки, післявоєнної відбудови, потреб союзників України в цій сировині – призведе до необхідності складування більшого об'єму хвостів збагачення.

Основна частина. Складування відходів збагачення у хвостосховищі може здійснюватися з використанням діючих ємностей або будівництва нових при експлуатації, як правило, гідравлічного транспорту або з введенням стрічкових конвеєрів різних модифікацій. Одним із перспективних є трубчастий конвеєр [4], використання якого в порівнянні з іншими системами дозволяє отримувати наступні переваги:

- можливість спорудження вертикальних (90°), крутих (45–60°) та горизонтальних вигинів поздовжньої траси, що дозволяє укладати конвеєр пересіченою місцевістю.

- внаслідок невеликої кількості станцій перевантаження матеріал транспортується рівномірніше, а витрати на монтаж та експлуатацію – знижуються;

- невелика ширина траси робить її компактнішою і вимагає меншої площі для встановлення;

- за рахунок більшої поверхні контакту транспортованого матеріалу зі стрічкою можливо збільшувати кути нахилу траси;

- перебуваючи в закритому просторі, вантаж захищений від впливу зовнішніх факторів, таких як опади, вітер, низька температура, пил;

- вантаж не порошить і не висипається, що зберігає чистоту навколишнього середовища, при скороченні витрат на технічне обслуговування конвеєра.

Використовується конвеєрна стрічка FLEXORIPPE. Принцип роботи трубчастого конвеєра [4] полягає в наступному (рис. 1). У зоні завантаження стрічка має форму жолоба, як і в звичайних конвеєрів. Після проходження зони завантаження за допомогою спеціальних роликкоопорних вузлів стрічка згортається по довжині в трубу з краями, що замикаються внахлест один на одного. Вантаж повністю поміщається всередині труби. Трасою транспортування стрічка підтримується роликкоопорними вузлами, що утворюють прохід шестигранної форми. При підході до головної станції стрічка розпрямляється в звичайний жолоб з

трьох роликів опорами і розвантажується на приводному барабані, проходячи його вже повністю вирівняною.

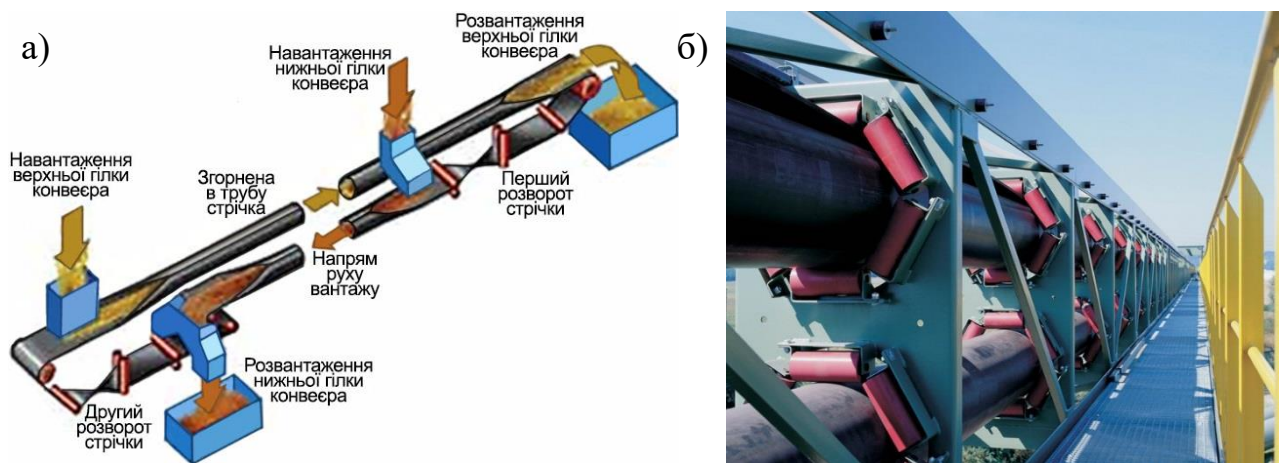


Рис. 1. Конструктивна схема (а) [4] та загальний вигляд трубчастого конвеєра (б)

На холостому ході стрічка знову згортається в трубу, зазвичай стуляючись краями внахлест знизу і підтримується роlikоопорами. Наприкінці зворотного ходу стрічка розпрямляється для завантаження на хвостовому барабані.

Основними параметрами для вибору діаметра труби є продуктивність транспортування та розмір шматка матеріалу. Діаметр та довжина ролика наведені в таблиці для стандартної конфігурації роlikоопори із шестигранним проходом.

Таблиця

Характеристика трубчастих конвеєрів

Номінальний діаметр труби, мм	Ширина стрічки, мм	Продуктивність*, м ³ /рік	Максимальний розмір шматка матеріалу**, мм	Конструкція рекомендованих роlikоопор		
				Відстань між роliками, мм	Діаметр ролика, мм	Довжина ролика, мм
150	600	45	50	165	60,5	96
200	780	80	70	217	60,5	126
250	1000	140	90	286	89	165
300	1100	160	100	311	89	180
350	1300	220	120	364	89	219
400	1600	350	140	457	108	265
500	1900	460	180	524	108	305

* – заповнення 75%, швидкість 1 м/с; ** – заповнення 75%, зменшення ступеня заповнення дозволяє транспортувати більші шматки

Залежно від необхідної еластичності, міцності та твердості стрічки FLEXORPE випускаються з каркасами із трьох різних матеріалів. На коротких трасах з крутими поворотами рекомендується стрічка з гнучкою поліамідною тканинною основою, а зі збільшенням довжини траси повинна використовуватися стрічка на тканинній основі з поліестерного волокна. Номінальний діаметр труби та ширина стрічки залежать від стандартів постачальника комплектного обладнання. У конструкції трубчастого конвеєра повинні бути враховані характеристики конвеєрної стрічки. Чим гнучкіша стрічка, тим більше круті повороти можна споруджувати на трасі і тим менше може бути довжина перехідних ділянок між першою шестикутною роликоопорою та барабаном. Однак при цьому потрібна більша величина натягу стрічки.

Ефективним замінником імпортних конвеєрних стрічок FLEXORPE можуть стати стрічки українського виробництва [7]. Однак, характеристики і параметри (див. табл.) їх продукції мають бути приведені до умов, що дозволяють експлуатувати стрічку не тільки в формі жолоба, а й у формі труби. Випуск стрічок трубчастого конвеєра в Україні дозволить зменшити як капітальні, так і річні експлуатаційні витрати на транспортування вантажу за такою схемою.

Переваги за варіантом: хвости транспортуються без перевантаження з малими радіусами закруглення пересіченою місцевістю. Переміщення хвостів у трубчастому просторі надійно захищає їх від просипів та пилу. Технологічна схема транспортування більш проста порівняно з канатно-стрічковим конвеєром. Недоліками є складність конструкції транспортного обладнання, а також підвищені порівняно з канатно-стрічковими конвеєрами капітальні вкладення на транспортну систему на 31,4 % та експлуатаційні витрати на 17,8 %. Розміщення хвостів у відпрацьованому кар'єрі потребує захисту атмосфери від пилу.

Поряд з цим, одним з перспективних напрямків є доставка рідких хвостів у вигляді пульпи, яка виконується шляхом відбору фракції згущеної з донної частини діючого хвостосховища. Вилучення осаду проводиться або земснарядом із встановленими на ньому відцентровими насосами з вмістом твердого 15%, або занурювальними насосами типу 1500N на понтоні та вмістом твердого в пульпі до 65% і подальшим розведенням її водою до 30%. Режим роботи приймається тільки в теплу пору року і становить 6300 год. Продуктивність за твердою для першої черги ділянки 576 м/год, по пульпі з вмістом твердої 30% – 1917 м/год.

Первинний продукт зливається в проміжну ємність, розташовану або в західному відсіку діючого хвостосховища, або в одну з відпрацьованих 1-ї та 2-ї напівкарт, потім розбавляється водою з відстійника до консистенції по твердому 30% і відкачується насосами типу 8/6 АН трубопроводу у відпрацьований кар'єр. У хвостосховищі та кар'єрі встановлюється наплавний трубопровід на понтонах. Трубопровід пластиковий із зовнішнім діаметром 400 мм та товщиною внутрішньої стінки 36,4 мм. Витримує тиск до 100 м-код вод. ст. З'єднання труб фланцеве. Термін служби – 50 років. Для відкачування освітленої води з кар'єру використовуються водяні насоси типу Д 1600-90. Труби аналогічні. У роботі планується використовувати два трубопроводи по пульпі та два – для перекачування освітленої

води з кар'єру. На одній лінії розташовується 3 забійних насоса і 4 перекачують. Ця конструкція забезпечує продуктивність по пульпі до 6 млн м/рік.

Переваги за варіантом, що розглядається: висока продуктивність праці і низька собівартість переміщення хвостів збагачення, а також можливість роботи на діючому хвостосховищі до повного заповнення відпрацьованого кар'єру. Недоліки: небезпека порушення навколишнього середовища під час прориву трубопроводу та складності в обслуговуванні обладнання за низьких температур.

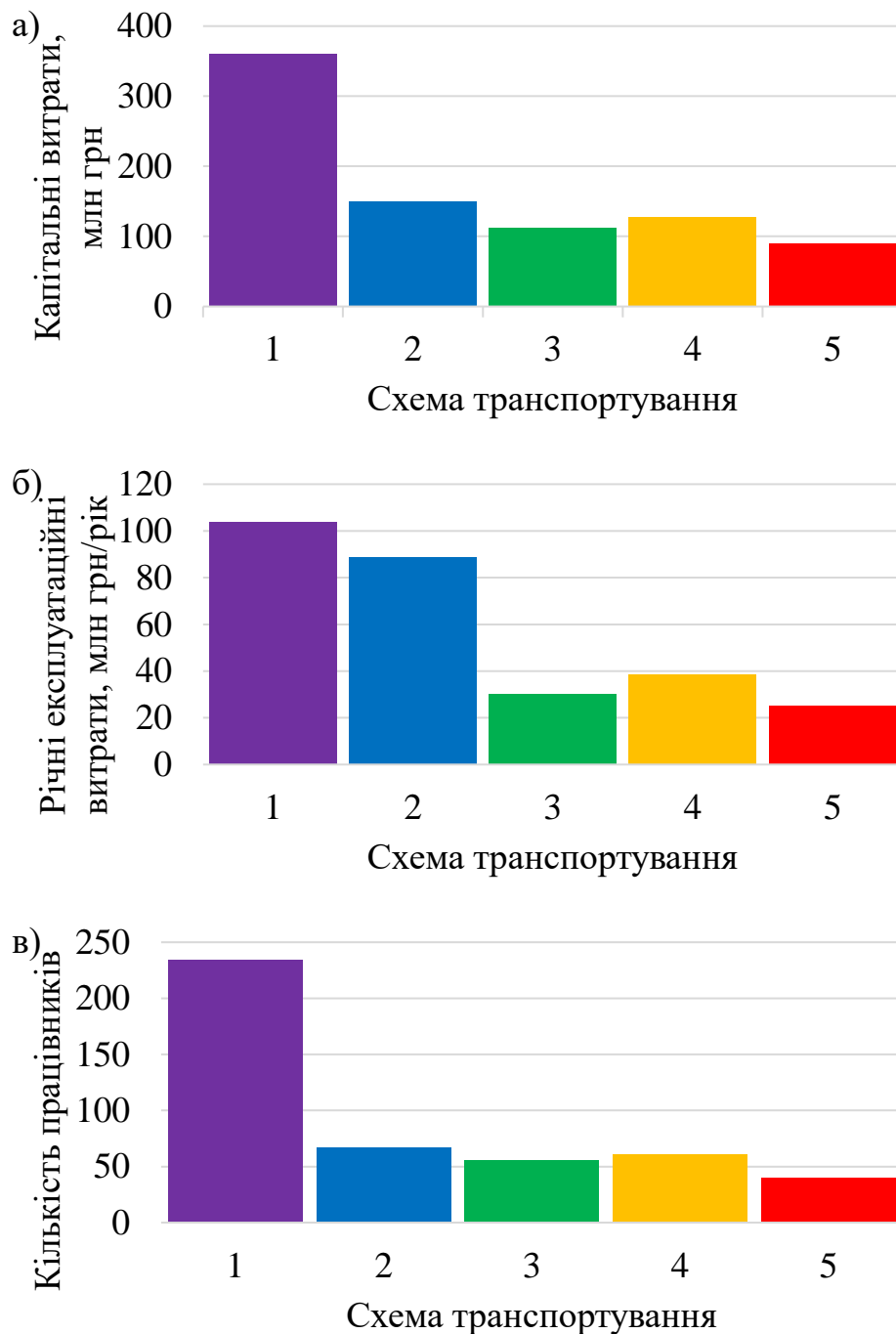


Рис. 2. Зміна показників транспортування хвостів збагачення у відпрацьований кар'єр із застосуванням: 1 – залізничного транспорту; 2 – стрічкового конвеєра; 3 – канатно-стрічкового конвеєра; 4 – трубчастого конвеєра; 5 – трубопроводу

В процесі виконання дослідження для умов хвостосховища «Миролюбівське» було співставлено п'ять різних схем транспортування хвостів збагачення (див. рис. 2): залізничним транспортом, стрічковим конвеєром, канатно-стрічковим конвеєром, трубчастим конвеєром, трубопроводом. Розраховано наступні показники роботи схем: капітальні витрати (див. рис. 2, а), річні експлуатаційні витрати (див. рис. 2, б), кількість працівників (див. рис. 2, в).

Дослідження показують, що рух рідких хвостів з вийманням їх драглайном ЕШ-10/70 з хвостосховища «Миролюбівське», що діє в Кривбасі, відрізняється більш високими техніко-економічними показниками в порівнянні з розробкою і транспортуванням лежачих хвостів з напівкарт. Це слід враховувати за умов невизначеності [8–14] зміни дна аналізованих сховищ та об'єму заскладованих хвостів. Крім того, робота екскаватора ЕШ-10/70 на поверхні лежачих хвостів може піддаватися суттєвому ризику внаслідок підтоплення масиву та можливої наявності плавунів [15–17].

Висновки. Дослідження показало, що найбільш ефективним, з точки зору витрат на транспортування хвостів збагачення, є трубопровід. Однак, всі розглянуті пропозиції мають загальний недолік, пов'язаний із необхідністю транспортування великого об'єму води в кар'єр і назад із нього. Цей об'єм буде систематично поповнюватися підземними водами, рівень яких щороку зростає на 5–7 м. Слід також зазначити, що хвости містять до 15% загального заліза, подрібнений кварц і глинисті частинки, які становлять інтерес як супутні корисні копалини і можуть бути втрачені при складуванні в кар'єрі.

Тому доцільно впровадити схеми із повторним збагаченням хвостів. Для цього ефективним буде використання саме трубчастого конвеєра, яким можна одночасно в обидві сторони транспортувати хвости збагачення, наприклад, з фабрики повторно перероблені хвости, на фабрику – на повторну переробку, таким чином забезпечивши безперервність технологічного процесу.

Перелік посилань

1. Дриженко, А.Ю. (2011). *Кар'єрні технологічні гірничотранспортні системи: моногр.* Нац. гірн. ун-т.
2. Дриженко, А.Ю. (2014). *Відкриті гірничі роботи : підруч.* Нац. гірн. ун-т.
3. Нурок, Г.А. (1970). *Гідромеханізація відкритих розробок.* Надра.
4. Carter, R. A. (2010). Powerful Design Tools-and Common Sense-Can Control Conveyor Cost and Complexity Issues. *Engineering and Mining Journal*, 211(5), 52.
5. Adamchuk, A., Shustov, O., Panchenko, V., & Slyvenko, M. (2019). Substantiation of the method of determination the open-cast mine final contours taking into account the transport parameters. *Collection of Research Papers of the National Mining University*, 59, 21–32. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/59.021>
6. Адамчук, А. А., & Шустов, О. О. (2018). Системний підхід до вибору нових засобів транспорту для роботи на глибоких кар'єрах. *Збірник Наукових Праць Національного Гірничого Університету*, 54, 8–18.
7. Pavlychenko, A., Kolosov, D., Adamchuk, A., Onyshchenko, S., & Dereviahina, N. (2023). Regarding the issue of post-war development of mining regions and restoration of destroyed infrastructure facilities. In *Key trends of integrated innovation-driven scientific and technological development of mining regions* (pp. 612–644). UNIVERSITAS Publishing. <https://doi.org/10.31713/m1226>

8. Хорольський, А.О., & Гріньов, В.Г. (2018). Проектування технологічних схем гірничого виробництва в умовах невизначеності. *Фізико-технічні проблеми гірничого виробництва*, 20, 132–146.
9. Khorolskyi, A., Mamaikin, O., Medianyuk, V., Lapko, V., & Sushko, V. (2021). Development And Implementation Of Technical And Economic Model Of The Potential Of Operation Schedules Of Coal Mines. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 16(18), 1890–1899.
10. Гріньов, В. Г., & Хорольський, А. О. (2018). Можливості ефективного освоєння рудних родовищ із запасами рідкісних і благородних металів. *Фізико-технічні проблеми гірничого виробництва*, 20, 113–122.
11. Гріньов, В. Г., & Хорольський, А. О. (2022). Визначення доцільності відпрацювання родовищ на стадії передпроектних досліджень раціональної стратегії їх освоєння. *Mineral Resources of Ukraine*, 2, 12–17.
<https://doi.org/10.31996/mru.2022.2.12-17>
12. Хорольський, А. О. (2022). Результати досліджень із розробки системи підтримки прийняття рішень для проектування процесів освоєння родовищ корисних копалин. *ВІСТІ Донецького гірничого інституту*, 2(51), 122–135.
<https://doi.org/10.31474/1999-981X-2022-2-122-135>
13. Хорольський, А. О. (2021). Наукові основи обґрунтування меж області раціонального проектування при відпрацюванні родовищ корисних копалин. *Фізико-технічні проблеми гірничого виробництва*, 23, 149–173.
<https://doi.org/10.37101/ftpgp23.01.011>
14. Гріньов, В. Г., & Хорольський, А. О. (2020). Визначення раціонального обсягу вилучення корисних копалин із надр: маржинальний підхід. *Економіка промисловості*, 3(91), 82–95.
<http://doi.org/10.15407/econindustry2020.03.082>
15. Pavlychenko, A., Adamchuk, A., Shustov, O., & Anisimov, O. (2020). Justification of dump parameters in conditions of high water saturation of soils. *Technology Audit and Production Reserves*, 6(3(56)), 22–26.
<https://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.218139>
16. Дриженко, А. Ю., Адамчук, А. А., Тамуя, С. А., & Тельнов, В. Г. (2018). Дослідження параметрів внутрішніх відвалів у виробленому просторі відпрацьованих глибоких кар'єрів. *Збірник наукових праць НГУ*, 53, 56–65.
17. Lozhnikov, O., Sobko, B., & Pavlychenko, A. (2023). Technological Solutions for Increasing the Efficiency of Beneficiation Processes at the Mining of Titanium-Zirconium Deposits. *Inżynieria Mineralna*, 1(1), 61–68.
<https://doi.org/10.29227/IM-2023-01-07>

ABSTRACT

Purpose. To study the schemes of transportation of iron ore enrichment tailings for their storage in the mined-out space of the spent mines in conditions of increased production of iron ore concentrate.

The methods. The results of the study were obtained by means of a feasibility study for the comparison of five different schemes of transportation of enrichment tailings: rail transport, belt conveyor, rope-belt conveyor, tubular conveyor, pipeline. A comparative assessment of capital costs, annual operating costs and the number of employees of the process of transportation and storage of enrichment tailings in the mined-out space of the spent mine was carried out.

Findings. The issue of transportation of iron ore enrichment tailings in conditions of open development of mineral deposits is considered. Different types of transport were considered from the point of view of delivery and storage of enrichment tailings. It has been established that the most effective modes of transport, from the point of view of cost reduction and environmental protection, are a

tubular conveyor for transporting dry mass and a pipeline for pulp. It has been established that in some cases – provided there is a corresponding technological necessity – it is advisable to use the lower branch of the tubular conveyor for transportation.

The originality. The dependence of capital and annual operating costs for the transportation and storage of enrichment tailings in the spent pit on the considered options for transportation by rail transport, belt conveyor, rope-belt conveyor, tubular conveyor, and pipeline was established. The dependence of the change in the number of workers involved in the process of transportation and storage of enrichment tailings on the scheme of their transportation has been established.

Practical implementation. Reasonable conditions for the use of a tubular conveyor for the transportation of enrichment tailings to the produced space of the spent pit and to the beneficiation factory are substantiated. In schemes that provide for the reprocessing of enrichment tails, both branches of the tubular conveyor can be used as transport: the lower and the upper.

Keywords: *enrichment tails, tubular conveyor, pipeline, dredger, pump, pulp.*