УДК 621.867.212.7

ЗАСТОСУВАННЯ ТРУБЧАСТОГО СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА, ПРАЦЮЮЧОГО ЗІ ЗМІННОЮ ДОВЖИНОЮ ТРАНСПОРТУВАННЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ТУНЕЛІВ

О. В. Гаврюков

Донбаська національна академія будівництва і архітектури, Україна.

Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція авторів: gavryukov@ukr.net.

Історія статті: отримано – серпень 2019, акцептовано – листопад 2019.

Бібл. 5, рис. 3, табл. 2.

Анотація. Робота присвячена дослідженням пов'язаними з будівництвом тунелів. В статті наведені характеристики найбільших зарубіжних залізничних тунелів. Вказується, що на швидкість будівництва тунелів істотно впливає транспортна установка, що призначена для видачі породи із забою. Як приклад наводяться транспортна установка, що використовувались при проведенні найпротяжнішого у світі Готардського базисного тунелю. На основі аналізу роботи цієї транспортної установки встановлено, що швидкість проведення тунелю можна було би збільшити застосувавши трубчастий стрічковий конвеєр працюючий при змінній довжині транспортування для видачі породи із забою. У роботі приведені результати виконаних конструкторсько-технологічних досліджень по створенню транспортної установки працюючої при змінній довжині транспортування. Встановлені залежності по яких можна визначити технологічну ефективність застосування, при проведенні тунелів, трубчастого стрічкового конвеєра з довжиною транспортування, що змінюється.

Ключові слова: будівництво тунелю, трубчастий стрічковий конвеєр з довжиною транспортування, що змінюється, коефіцієнт технологічної ефективності застосування нової техніки.

Постановка проблеми

Інтенсивний розвиток транспортного сполучення вимагає подальшого розвитку його інфраструктури. Особливо це стосується Західної Європи, де має місце поєднання активного переміщення людей і вантажів і складного рельєфу, представленого передусім Альпами. Ці гори охоплюють території восьми економічно розвинених держав: Франції, Італії, Швейцарії, Німеччини, Австрії, Монако, Ліхтенштейна, Словенії. Масив має значну площу: загальна довжина альпійської дуги складає з наближенням 1200 км, а ширина до 260 км.

Найстарішими тунелями у світі є залізничні. Перший з них був споруджений в Англії в 1830 р. на лінії Ліверпуль-Манчестер. Вже в XIX столітті вони набули

великого поширення, і до 1915 р., в Швейцарії, приміром, налічувалося 627 тунелів загальною протяжністю 281 км [1].

Таблиця 1. Найбільші зарубіжні залізничні тунелі.

Table 1. The largest foreign railway tunnels.

Назва	Довжина, м	Кількість шляхів	Країна	Рік введення в експлуатацію
Готардський базисний	57 091	2	Швейцарія	2017 (прогноз)
Сейкан	53850	2	Японія	1988
Ламанш	52500	2	Великобританія, Франція	1994
Дайсими-дзу	22228	2	Японія	1979
Симплонський II	19825	1	Швейцарія, Італія	1922
Симплонський I	19803	1	Швейцарія, Італія	1906
Син-Каммон	18713	2	Японія	1975
Апеннінський	18519	2	Італія	1934
Рокко	16250	2	Японія	1972
Фурка	15400	1	Швейцарія	1979
Сен-Готард	15003	2	Швейцарія	1882
Козенцький	15000	2	Італія	-
Накаяма	14830	2	Японія	1975
Лечбергський	14612	2	Швейцарія	1913
Харуна	14350	2	Японія	1975

Найбільш великі залізничні тунелі Західної Європи і, для порівняння, тунель Сейкан і ряд інших тунелів Японії мають наступні характеристики (табл. 1,

[2-4]). Переважна більшість з них є двоколійними і мають високу пропускну спроможність. Звертає на себе увагу географія тунелів: найбільше число з них знаходиться в Альпах.

Унікальним в історії підземного будівництва є спорудження тунелю під протокою Ламанш, що з'єднало Францію і Англію. З 52,5 км тунелю більше 36 км знаходяться під морським дном [1].

Швидкість будівництва тунелів істотно залежить від механізмів і машин використовуваних при його проведенні. Не останню роль під час будівництва грає транспортна установка призначена для видачі породи із забою.

Аналіз останніх досліджень

Найпоказовим в Західній Європі сьогодні являється Готардський базисний тунель – залізничний тунель в Швейцарії завдовжки 57 км (включаючи службові і пішохідні ходи – 151,8 км). Північний портал тунелю знаходиться біля села Ерстфед, а південний – села Бодіо.

Після завершення проходки східної частини (жовтень 2010 р.) і західною (березень 2011 р.), він став найпротяжнішим у світі [4].

Таблиця 2. Готардський базисний тунель [3, 4].

Table 2. The Gotthard base tunnel [3, 4].

Параметр	Значення
Довжина:	
західний тунель, м	56978
східний тунель, м	57091
Повна довжина, включаючи службові і пішохідні ходи, км	153,4
Діаметр тунелів, м	9
Об'єм витягуваних скельних порід, млн т (млн м³)	24 (13,3)
Кількість ТПК фірми "Herrenknecht", шт	4
Повна довжина ТПК, м	440
Вага ТПК, т	2700
Потужність електродвигунів ТПК, МВт	5т
Максимальна технічна швидкість проходки, м/добу	25-30 м/добу
Початок будівництва тунелю, рік	1993
Термін завершення робіт, рік	2017 (проект)
Пропускна спроможність, складів в добу, шт	200-250

За допомогою тунеліпрохідницьких комплексів (ТПК) німецької фірми "Herrenknecht" пройдено близько 36 км довжини кожного з двох тунелів (рис. 1), з них 19 км від північного portalу і 17 км – від південного. Середня частина кожного тунелю – понад 21 км – пройдена із застосуванням буропідричних робіт [3, 4].

Рис. 1. Тунеліпрохідницький комплекс фірми "Herrenknecht" [3].

Fig. 1. The tunnel passage of the complex from "Herrenknecht" [3].

Видача породи із забою здійснювалася трубчастим стрічковим конвеєром (опубліковане проф. В. І. Галкіним в презентації "Особливості експлуатації стрічкових трубчастих конвеєрів і стрічкових конвеєрів з просторовою трасою" Москва, Крокус Експо 2012 р.).

Рис. 2. Установка трубчастих конвеєрів при проходці тунелю в Альпах (два конвеєри в лінії).

Fig. 2. Installation of tubular conveyors with the excavation of a tunnel in the Alps (two of the conveyor line).

Стрічковий конвеєр є найнадійнішою і високопродуктивнішою транспортною установкою. Трубчастий стрічковий конвеєр дозволяє транспортувати вантаж по викривленій і крутонахилений трасі. Не дивно, що в якості транспортуючого пристрою для будівництва Готардського базисного тунелю, з максимальною технічною швидкістю проходки 25-30 м/добу, був вибраний саме він.

У роботі [5] говориться, що машинний час тунеліпрохідницького комплексу можна збільшити якщо в якості транспортуючого пристрою, на який вантажиться порода тунеліпрохідницьким комплексом, застосувати трубчастий стрічковий конвеєр з довжиною транспортування, що змінюється [5].

Застосування трубчастого стрічкового конвеєра працюючого зі змінною довжиною транспортування дозволяє виключити монтажні-демонтажні роботи кінцевої станції під час подовження конвеєра тим самим збільшити машинний час тунеліпрохідницького комплексу.

Рис. 3. Трубчастий стрічковий конвеєр зі змінною довжиною транспортування і самохідною пересувною станцією.

Fig. 3. Tubular belt conveyor with changeable length of transportation and self-propelled mobile station.

Мета досліджень

Мета даної роботи полягає у отриманні аналітичних залежностей до дозволяють визначити технологічну ефективність застосування трубчастого стрічкового конвеєра з довжиною транспортування, що змінюється при проведенні тунелів.

Результати досліджень

Трубчастий стрічковий конвеєр з довжиною транспортування, що змінюється, є напівстаціонарною транспортною установкою з пересувною кінцевою станцією і телескопічним пристроєм, що обладнаний системою автоматичного регулювання натягнення стрічки. Переміщення кінцевої станції може здійснюватися або ходовим пристроєм тунелепрохідницького комплексу або ходовим пристроєм кінцевої станції.

На кафедрі машинобудування Донбасівської національної академії будівництва і архітектури виконані конструкторсько-технологічні дослідження по створенню трубчастого стрічкового конвеєра з довжиною транспортування (рис. 3), що змінюється.

Конвеєр складається з: виносний 1 і приводний 2 станції, телескопічного пристрою обладнаного системою автоматичного контролю натягнення стрічки 3, лінійного стану з трубчастою стрічкою 4, самохідній пересувній станції 5.

Встановимо залежності що дозволяють визначати ефективність застосування трубчастого стрічкового конвеєра з довжиною транспортування, що змінюється, при проведенні тунелів.

Використання в технологічній схемі стрічкового конвеєра, що працює зі змінною довжиною транспортування дозволяє скоротити технологічні операції, що пов'язані з монтажно-демонтажними роботами кінцевої станції під час подовження конвеєра.

Вважатимемо, що монтажно-демонтажні роботи, необхідні для збільшення довжини транспортування базового конвеєра, виконуються в робочі зміни. Час виконання технологічних операцій t (год) в загальному вигляді визначається по формулі:

$$t = [(Виконаний\ об'єм) \cdot \delta] / [(Норма\ вироблення) \cdot (Кількість\ робітників)] \quad (1)$$

Технологічні операції, пов'язані з монтажно-демонтажними роботами кінцевої станції стандартного конвеєра, можна виконати тільки в певній послідовності: розкріплювання станції, пересування, забурювання шпурів під анкера для кріплення станції, кріплення анкерами. Поєднати ці роботи і скоротити час виконання за рахунок збільшення числа робітників складно, тому в розрахунку часу на виконання технологічних операцій, пов'язаних з монтажно-демонтажними роботами кінцевої станції, приймаємо число робітників рівним $n_{роб.} = 1$ людина.

Час на монтажно-демонтажні роботи по базовій кінцевій станції стандартного конвеєра

$$t_{мон.дем.} = t_{пер.ст.} + t_{заб.шп.} + t_{кр.анк.}, \text{ год} \quad (2)$$

де $t_{пер.ст.}$ ($H_{пер.} \cdot n_{роб.}$) – час необхідний на пересування базової кінцевої станції, год.; $l_{пер.}$ – довжина, на яку здійснюється пересування, м; $H_{пер.}$ – норма вироблення на одну людину на пересування кінцевої станції стандартного конвеєра, чол./зм.; $n_{роб.}$ – кількість робочих, таких, що беруть участь у виконанні технологічної операції, чол.; $t_{заб.шп.} = (n_{шп.} \cdot L_{шп.} \cdot \delta) / (H_{заб.шп.} \cdot n_{роб.})$ – час, необхідний для забурювання шпурів під анкера для кріплення станції, год.; $n_{шп.}$ – кількість шпурів, що забурюють, під кріплення кінцевої станції стандартного конвеєра, шт.; $L_{шп.}$ – довжина шпура, що забурюється, м; $H_{заб.шп.}$ – норма вироблення на одну людину на забурювання шпура, чол./зм.; $t_{кр.анк.} = (n_{анк.} \cdot \delta) / (H_{кр.анк.} \cdot n_{роб.})$ – час, необхідний для кріплення станції стандартного конвеєра анкерами, ч; $n_{анк.}$ – кількість встановлюваних анкерів під кріплення кінцевої станції стандартного конвеєра, шт.; $H_{кр.анк.}$ – норма вироблення на одну людину на установку анкера, чол./зм.

Збережений час на монтажно-демонтажних операціях кінцевої станції стандартного конвеєра при використанні нової техніки можна представити як збережені монтажно-демонтажні зміни протягом місяця, за рахунок яких збільшується машинний час тунелепрохідницького комплексу:

$$n_1 = (W_{пор.} \cdot t_{мон.дем.}) / (\omega_{перев.} \cdot t_{см.}), \text{ зм./міс.} \quad (3)$$

де $W_{пор.}$ – об'єм розробленої породи за місяць при використанні стандартного конвеєра, м³/міс.; $\omega_{перев.} = B_{заб.} \cdot H_{заб.} \cdot l_{пер.}$ – об'єм розробленої породи при виїзді тунелепрохідницького комплексу на величину перевантажувача, м³; $B_{заб.}$ – ширина забою, м; $l_{пер.}$ – ефективна довжина стрічкового перевантажувача

(крок перенесення кінцевої станції стрічкового конвеєра), m ; $H_{заб.}$ – висота забою, m .

Оскільки в технологічному циклі використовується стрічковий конвеєр, що працює при довжині, що змінюється, то час на монтажно-демонтажні операції $t_{мон.дем.}$ відсутній. Визначимо передбачуване збільшення маси розробленої породи протягом місяця $W_{зб.пор.}$. Тут кількість змін, виражена через n_1 , фактично є змінами, необхідними для виконання монтажно-демонтажних операцій по пересуванню кінцевої станції стандартного конвеєра під час його подовження.

$$W_{зб.пор.} = (n_1 \cdot W_{пор.}) / n_2, \text{ м}^3/\text{міс.}, \quad (4)$$

$$n_2 = n_{міс.} - n_{рем.} - n_1, \text{ зм./міс.}, \quad (5)$$

де n_2 – число змін в місяці, під час яких бригада працює по проведенню тунелю, зм./міс. ; $n_{міс.}$ – число змін в місяці, зм./міс. при 6-годинній робочій зміні: $n_{міс.} = 120 \text{ зм.}$; $n_{рем.}$ – число ремонтних змін, зм./міс. Вважати, що робота по забою виконується в 4 зміни, а $n_{рем.} = 0$.

Очікуваний об'єм розробленої породи складе

$$W_{оч.пор.} = W_{пор.} + W_{зб.пор.}, \text{ м}^3/\text{міс.} \quad (6)$$

Підставивши рівняння (3), (4), (5) в (6), отримаємо

$$W_{оч.пор.} = (W_{пор.} \cdot K_{Т.Е.}) / (K_{Т.Е.} - W_{пор.}), \text{ м}^3/\text{міс.}, \quad (7)$$

де $K_{Т.Е.}$ – коефіцієнт технологічної ефективності при застосуванні нової техніки :

$$K_{Т.Е.} = [(n_{міс.} - n_{рем.}) \cdot \omega_{перев.} \cdot t_{см.}] / t_{мон.дем.}, \text{ м}^3/\text{міс.} \quad (8)$$

Слід зазначити, що при використанні стрічкового конвеєра, що працює при довжині транспортування, що змінюється, виключається перевантажувач між тунелепрохідницьким комплексом і кінцевою станцією традиційного стрічкового конвеєра.

Висновки

1. Використання трубчастого стрічкового конвеєра з довжиною транспортування, що змінюється, при проведенні тунелів дозволяє:

- збільшити машинний час тунелепрохідницького комплексу за рахунок скорочення технологічних операцій по нарощуванню забійного конвеєра;
- виключити з транспортного технологічного ланцюжка перевантажувачі між тунелепрохідницьким комплексом і забійним стрічковим конвеєром;
- транспортувати вантаж при кутах установки до $30\text{--}35^\circ$ з плоскою стрічкою;
- транспортувати вантаж по викривленій трасі;
- швидко видаляти із забою пересувну станцію і забійну техніку у разі підтоплення забою або вибухових роботах;
- по отриманим залежностям можна визначити технологічну ефективність застосування трубчастого стрічкового конвеєра з довжиною транспортування, що змінюється при проведенні тунелів.

Список літератури

1. Покровский Н. М. Проектирование комплексов выработок подземных сооружений. Москва. Недра,

1970. 320 с.

2. Зарубежное военное обозрение. 2002. № 9. С. 51–52.

3. <http://www.herrenknecht.com>.

4. <http://www.alptransit.ch/en/home.html>.

5. Гаврюков О. В. Развитие теории трубчатых стрічкових конвеєрів: монографія. Краматорськ: Дон-НАБА, 2017. 279 с. ISBN 978-617-7415-34-2.

References

1. Pokrovsky N. M. (1970). Design of complexes workings of underground structures. Moscow. Nedra. 320.

2. Foreign military review. (2002). No. 9. 51-52.

3. <http://www.herrenknecht.com>.

4. <http://www.alptransit.ch/en/home.html>.

5. Gavryukov O. V. (2017). Development of the theory of tubular belt conveyors: monograph. Kramatorsk: The Donnas, 279. ISBN 978-617-7415-34-2.

ПРИМЕНЕНИЕ ТРУБЧАТОГО ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА, РАБОТАЮЩЕГО С ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ ДЛИНОЙ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТОННЕЛЕЙ

А. В. Гаврюков

Аннотация. Работа посвящена исследованию связанному со строительством тоннелей. В статье приведены характеристики крупнейших зарубежных железнодорожных тоннелей. Указывается, что на скорость строительства тоннелей существенно влияет транспортная установка, предназначенная для выдачи породы из забоя. В качестве примера приводятся транспортная установка которая использовалась при проведении самого протяженного в мире Готардского базисного тоннеля. На основе анализа работы этой транспортной установки установлено, что скорость проведения тоннеля можно было бы увеличить если применить трубчатый ленточный конвейер работающий при переменной длине транспортировки для выдачи породы из забоя. В работе приведены результаты выполненных конструкторско-технологические исследований по созданию транспортной установки работающей с изменяющейся длиной транспортирования. Установлены зависимости по которым можно определить технологическую эффективность применения, при проведении тоннелей, трубчатого ленточного конвейера с изменяющейся длиной транспортировки.

Ключевые слова: строительство тоннеля, трубчатый ленточный конвейер с изменяющейся длиной транспортировки, коэффициент технологической эффективности применения новой техники.

USE OF TUBULAR BELT CONVEYOR OPERATING WITH CHANGEABLE LENGTH OF TRANSPORTATION FOR CONDUCT OF TUNNELS

O. V. Gavryukov

Abstract. The work is devoted to research associated with the construction of the tunnels. The article presents the characteristics of the largest foreign railway tunnels.

Indicates that the speed of tunnel construction are significantly affected by the transport unit for muck removal from the face. To illustrate, the transport system that was used for the longest in the world the Gotthard base tunnel. Based on the analysis of this transport installation established that the speed of the tunnel could be increased if you apply to a tubular belt conveyor with variable-length transportation for muck removal from the face. The paper presents the results of performed engineering studies on the new transport installation operating with varying length of transportation. Dependences which can determine the technological effectiveness of application, when conducting tunnels, tubular belt conveyor with changeable length of transportation.

Key words: tunnel construction, tubular belt conveyor with variable length of transport, the coefficient of technological efficiency of application of new technology.

О. В. Гаврюков ORCID 0000-0002-6377-4180.