

# Структурный анализ трудозатрат при возведении тоннелей открытым, закрытым способами и методами top down

УДК 626

## Король Елена Анатольевна

Профессор, д.т.н., профессор, заведующая кафедрой «Жилищно-коммунального комплекса» Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия, e-mail: professorkorol@mail.ru

## Чипова Зарина Хусеновна

Аспирант кафедры «Жилищно-коммунального комплекса» Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия, e-mail: zara4\_2011@mail.ru

## Актуальность работы.

В современном мире все больше внимания уделяется повышению эффективности производительности труда, особенно сокращению сроков строительства при строительстве подземных сооружений.

С целью выбора эффективной технологии возведения подземных сооружений необходимо, в первую очередь, оценить показатели технологичности, трудоемкости, продолжительности, стоимости возведения тоннелей. В рамках сооружения транспортных и пешеходных тоннелей рассматриваются оптимизация графиков производства строительных работ и структурный анализ трудозатрат при открытом, закрытом способе и методе TOPDOWN возведения тоннелей. [5]

## Материалы и методы.

В качестве основного метода исследования использовался метод структурного анализа. Материалы для исследования использованы графики производства работ при сооружении транспортных и пеше-

ходных тоннелей в рамках программы «Развития Киевского направления Московского железнодорожного узла для усиления пригородного пассажирского движения. Строительство IV главного пути на участке Москва-Сортировочная-Киевская-Апрелевка. Реконструкция путепроводной развязки в створе Новомещерского проезда через железную дорогу».

В составе реконструкции путепроводной развязки выполняются работы по строительству городского транспортного тоннеля и пешеходного тоннеля. Строительство этих объектов должно вестись в строгой последовательности. Основные конструкции пешеходного и транспортного тоннелей должны сооружаться в соответствии с принятой технологической последовательностью, а демонтаж существующих железнодорожных путепроводов осуществляется после ввода тоннелей в эксплуатацию.

В административном отношении участок работ расположен на территории г. Москвы, в юго-западной части города. Железнодорожный путепровод расположен на ПК141+75,43 по оси I гл. ж.д. пути линии Москва – Брянск и пересекает автодорогу

## STRUCTURAL ANALYSIS OF LABOR COST IN THE CONSTRUCTION OF TUNNELS BY OPEN, CLOSED METHODS AND THE TOP DOWN METHOD

### Korol Elena Anatolyevna

Professor, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Housing and Communal Complex, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,

e-mail: professorkorol@mail.ru

### Chipova Zarina Khusenovna

Postgraduate student of the Department of Housing and Communal Complex, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia, e-mail: zara4\_2011@mail.ru

**Annotation.** In connection with the need to increase labor productivity, the choice of effective technologies, this paragraph discusses the technology and optimization of the work schedule for the construction of transport and pedestrian tunnels. After a structural analysis of labor costs during the construction of tunnels in an open and closed way and using the TOP DOWN method (using bored piles), a technology algorithm was proposed that will systematize, optimize the construction schedule and reduce construction time by 15-20%, which will significantly increase efficiency building production.

**Key words:** underground structure, transport tunnel, pedestrian tunnel, metal structures, open construction method, closed construction method, TOPDOWN method

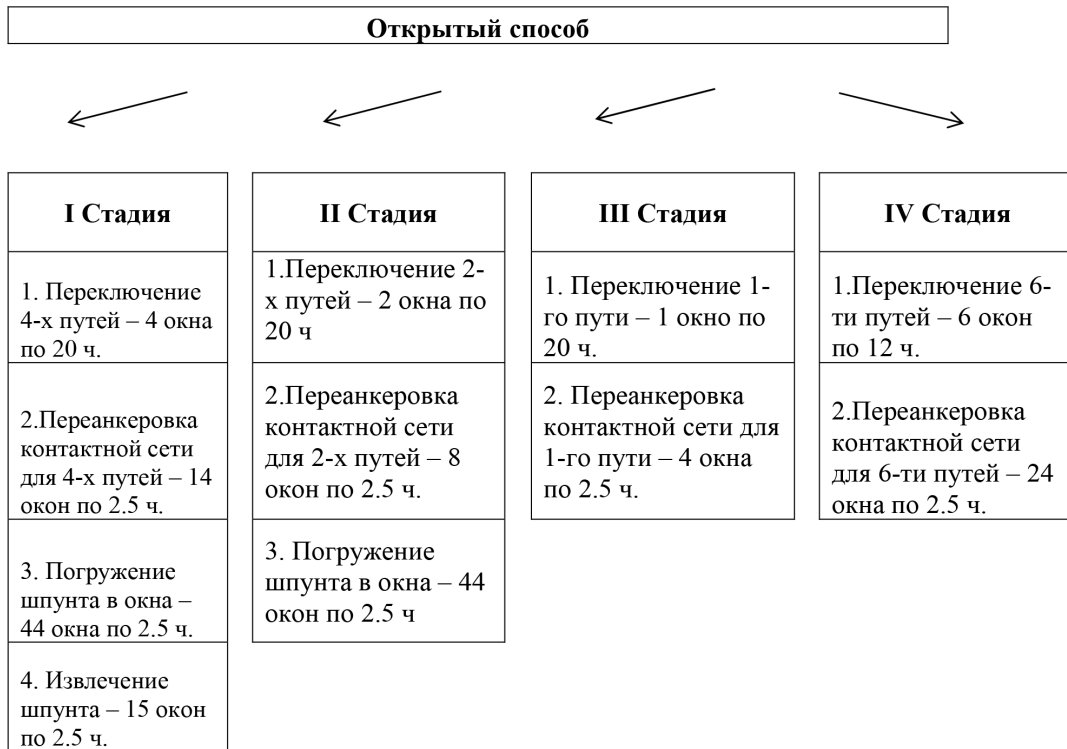


Схема 1. Открытый способ сооружения тоннеля

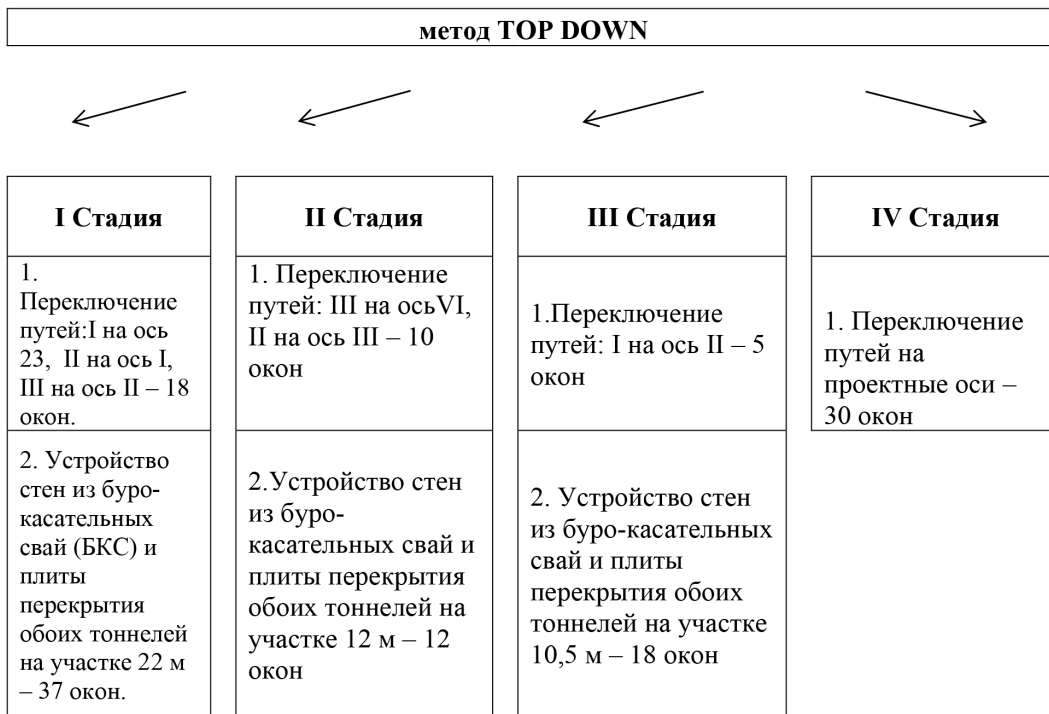


Схема 2. Сооружения тоннеля методом TOP DOWN

района Солнцево, Западного административного округа г. Москвы. Сооружение городского транспортного тоннеля производится для пропуска четырехполосной автомобильной дороги под I, II, III главными, укладываемому IV главному, 23 соединительному и 21 приемоотправочному путями. Для разработки проектной документации объекта «Реконструкция путепроводной развязки в створе Новомещерского проезда через железную дорогу» принят вариант строительства тоннеля на новой оси с разборкой существующих путепроводов. Сооружение пешеходного тоннеля на ПК 140+90 по оси I главной железно-дорожной пути производится для пропуска пешеходов под I, II, III главными, укладываемому IV главному и 23 соединительному путями. Для разработки проектной документации объекта «Реконструкция путепроводной развязки в створе Новомещерского проезда через железную дорогу», в соответствии с протоколом от 05.12.2019г утвержденным заместителем генерального директора ОАО «РЖД» О.В. Тони и заместителем Мэра Москвы по вопросам градостроительной политики и строительства М.Ш. Хуснуллиным принят вариант строительства пешеходного тоннеля на новой оси с разборкой существующих путепроводов.

Общая продолжительность строительных работ определяется на стадии проектирования. При открытом способе строительство тоннелей осуществляется в 4 (четыре) стадии, с перекладкой путей на каждой стадии, с переустройством контактной сети и сетей СЦБ.

Согласно графику производства строительных работ при сооружении тоннелей открытым способом срок реализации проекта составит 32, 5 месяцев, с возможным увеличением срока еще на 2 месяца из-за невозможности произвести переключение путей в зимнее время.

На практике строительство подземных сооружений существует менее распространенный способ – метод TOPDOWN (с применением буро-касательных свай). [17]. При таком методе строительство осуществляется в 4 -стадии, с перекладкой путей на каждой стадии, с переустройством контактной сети и сетей СЦБ.

По календарному графику производства строительных работ общий срок реализации проекта с применением метода TOPDOWN составляет 23 месяца. С возможным увеличением срока от 2 до 5 месяцев из-за невозможности произвести переключение путей в зимнее время.

При закрытом способе сооружений тоннелей проходка и устройство постоянных конструкций пешеходного тоннеля выполняется за один проход, транспортный тоннель выполняется последовательно: сначала в правой секции, затем в левой. При последовательной проходке секций уменьшаются общие деформации окружающего массива насыпи железной дороги. [15]

Перед началом производства работ по устройству защитного экрана из труб необходимо установить страховочные рельсовые пакеты над сооружаемыми тоннелями. Страховочные рельсовые пакеты предусмотрены для пяти железнодорожных путей на участке прокладки экрана из труб закрытым способом.

В основной период выполняется строительство порталных участков в котлованах способа работ и параллельное строительство тоннелей закрытым способом.

Принята следующая организация строительства тоннеля:

- выполняется забивка свай и погружение шпунта с лидерным бурением под рабочий и приемный котлованы
- разрабатываются котлованы для устройства защитного экрана из труб, по мере разработки грунта производится установка поясов и расстрелов, крепление стен котлована затяжкой;
- выполняется монтаж подмостей и упоров для микро тоннеле проходческого комплекса;
- осуществляется прокладка защитного экрана из труб при помощи микро тоннеле проходческого комплекса AVN;
- производится цементация замковых соединений защитного экрана и тела насыпи;
- выполняется установка рам, армирование и бетонирование заходками по мере проходки закрытым способом;
- осуществляется монтаж оборудования и отделочные работы, обратная засыпка сооруженных конструкций.

Устройство защитного экрана предусматривается для выполнения основного условия – обеспечения строительства тоннелей без перерыва движения поездов. Экран выполняется из труб для пешеходного тоннеля  $d = 530$  мм, для транспортного тоннеля  $d = 630$  мм с замковыми соединениями. Для исключения выпуска грунта насыпи через замковые соединения выполняется их цементация. В трубы устанавливаются армокаркасы, следом заполняются бетоном.

Таблица 1

## Календарный график

Способы строительства	Продолжительность
1. Открытый способ	32, месяцев
2. Метод TOP DOWN	23 месяцев
3. Закрытый способ	19 месяцев

Грунт в тоннеле разрабатывается пневмоколесным экскаватором обратной лопата и вывозится за портал погрузчиком, перегружается экскаватором обратная лопата в автосамосвалы и вывозится в отвал. [20]

Временное крепление лба забоя осуществляется за счет нанесения защитного слоя установкой для торкретирования и устройства фиброгласовых анкеров.

Защитный экран из труб раскрепляется металлическими рамами. Между рамами устраивается монолитная железобетонная обделка тоннеля с установкой армирования и бетонированием. Опалубкой служит металлоизоляция выполненная по металлическим рамам.

Приготовленная бетонная смесь на строительную площадку доставляется автобетоносмесителями и подается к месту укладки бетононасосами.

Срок реализации проекта по закрытому способу, согласно, календарному графику составляет 19 месяцев.

## Результаты:

Сооружения транспортного и пешеходного тоннелей закрытым способом с применением защитных экранов из труб является наиболее эффективным решением при выборе технологического варианта. По сравнению с аналогами основные преимущества-сооружения тоннелей закрытым способом с применением защитных экранов из труб – это уменьшение трудозатрат, а также сокращение продолжительности строительства. На сегодняшний день имеется ряд проблем по развитию технологий устройства ограждающих металлических конструкций при строительстве транспортных и пешеходных тоннелей, особое внимание следует уделить принятию решений в области технического и нормативного регулирования.

## Выводы:

Общая продолжительность строительных работ определяется на стадии проектирования, следовательно, по графику производства работ срок реализации проекта по закрытому способу составил 19 месяцев. Но на практике в связи с необходимостью повышения производительности труда и во избежание дополнительных затрат удалось сократить сроки строительства еще на 13 месяцев, с помощью выполнения некоторых работ параллельно, сокращением срока выполнения отдельных видов работ и с применением современных технологий.

## Литература

- СП 122.13330.2012 Тоннели железнодорожные и автодорожные. Актуализированная редакция СНиП 32-04–97 (с Изменением № 1): свод правил: дата введения 2013-01-01 / Минрегион России. — Изд. официальное. — Москва : Минрегион России, 2012.
- СТО НОСТРОЙ 2.27.19–2011 Освоение подземного строительства. Сооружение тоннелей тоннелепроходческими механизированными комплексами с использованием высокоточной обделки (с Изменением № 1, с Поправкой): стандарт организации: дата принятия 2017-06-02 / НОСТРОЙ. — URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200090839> (дата обращения: 15.02.2021).
- Король Е.А., Никифорова Н.С. Особенности проектирования и строительства подземных сооружений неглубокого заложения в сложных грунтовых условиях // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2018. № 1. С. 25-27.
- Теличенко В.И. Управление программами строительства подземных объектов: Научное издание / Теличенко В. И., Король Е. А., Каган П. Б., Конюхов Д. С. - Москва: Издательство АСВ, 2010. - 296 с.
- Теличенко В.И., Зерцалов М.Г., Конюхов Д.С., Королевский К.Ю., Король Е.А. Современные технологии комплексного освоения подземного пространства мегаполисов./Научное издание - Москва: Издательство АСВ, 2010. - 360 с.
- Korol E.A., Korol O.A. Development of calculating methods for multiplayer reinforced concrete sandwich panels with monolithically-tied layers // Proceedings of the First U.S.A.-Russia Geotechnical Engineering Workshop. March 29-30, 2012. Oakland, California. M. : Publishing house ASV, 2014. Pp. 85-91.
- Chinenkov U.V., Korol E.A. To the choice of the calculation method for the three layer concrete external structure // Bulletin of the Construction Science Branch. RAASN. 1997. No. 2. Pp. 423-427.
- Король Е.А., Никифорова Н.С. Особенности проектирования и строительства подземных сооружений неглубокого заложения в сложных грунтовых условиях // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2018. № 1. С. 25-27.
- Fairhurst D. Coatings for structures in contact with the ground // Shreir's Corrosion. Vol. 4: Management and Control of Corrosion. Elsevier Science, 2010. Pp. 2702-2719.
- Ghafari N. Corrosion control in underground concrete structures using double waterproofing shield system (DWS) // International Journal of Mining Science and Technology. 2013. Vol. 23. Issue 4. Pp. 603-611.
- Riskin J. Corrosion and protection of underground and underwater structures attacked by stray currents //

- Electrocorrosion and Protection of Metals. 2008. pp. 23-35.
12. Jender B., Jelu i P., Boumezerane D. The feasibility analysis of underground gas storage caverns // *Engineering Structures*. 2013. Vol. 55. Pp. 16-25.
  13. Gerasimova V. Underground engineering and trenchless technologies at the defense of environment // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 165. Pp. 1395-1401.
  14. Sadati S., Arezoumandi M., Shekarchi M. Long-term performance of concrete surface coatings in soil exposure of marine environments // *Construction and Building Materials*. 2015. Vol. 94. Pp. 656-663.
  15. Пономарев А.Б. Подземное строительство: учебное пособие / А.Б. Пономарев, Ю.Л. Винников. — Пермь: Изд-во Пермского нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. — 261 с. — ISBN 978-5-398-01233-0.
  16. Симутин А.Н. Методики расчета параметров компенсационного нагнетания для управления деформациями оснований зданий и сооружений: автореферат дис. кандидата технических наук : 25.00.20 / Симутин Алексей Николаевич ; место защиты: Моск. гос. строит. ун-т. — Москва, 2015. — 27 с
  17. Современные технологии комплексного освоения подземного пространства мегаполисов / [В.И. Теличенко и др.]. — Москва: Издательство Ассоц. строит. вузов : МГСУ, 2010. — 359 с. — ISBN 978-5-93093-744-4.
  18. Улицкий В.М. Геотехническое сопровождение развития городов: практическое пособие / В.М. Улицкий, А.Г. Шашкин, К.Г. Шашкин. — Санкт-Петербург: Стройиздат Северо-Запад: Группа компаний «Геореконструкция», 2010. — 551 с. — ISBN 978-5-91956-020-3.
  19. Шулятьев О.А. Основания и фундаменты высотных зданий / О.А. Шулятьев. - Москва: Изд-во АСВ, 2016. — 391 с. — ISBN 978-5-4323-0163-5.
  20. Шулятьев О.А. Освоение подземного пространства городов / О.А. Шулятьев, О.А. Мозгачева, В.С. Поспехов. — Москва: АСВ, 2017. — 511 с. — ISBN 978-5-4323-0225-0.