

DOI: 10.26730/1999-4125-2021-5-15-23

УДК 622.283.4

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТИВНОГО РЕШЕНИЯ ВЫСОКОТОЧНОЙ ТОННЕЛЬНОЙ ОБДЕЛКИ ВИНТОВОЙ ФОРМЫ ДЛЯ ГЕОХОДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Казанцев Антон Александрович^{1,5},
кандидат техн. наук, ak_uti@rambler.ru;

Аксенов Владимир Валерьевич^{2,4},
доктор техн. наук, 55vva42@mail.ru,

Садовец Владимир Юрьевич^{3,4},
кандидат техн. наук, доцент, svyu.pmh@kuzstu.ru.

¹Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Губкинский филиал, 309186, Белгородская обл., г. Губкин, ул. Комсомольская, 16

²Институт угля ФИЦ УУХ СО РАН, Россия, 650610, г. Кемерово, пр. Ленинградский, 10

³Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

⁴Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, филиал в г. Прокопьевск, 653033, Кемеровская обл., г. Прокопьевск, ул. Ноградская, 19а

⁵СТИ НИТУ «МИСиС», 309516, Россия, Белгородская обл., г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, д. 42



Информация о статье

Поступила:

28 июня 2021 г.

Рецензирование:

30 сентября 2021 г.

Принята к печати:

25 октября 2021 г.

Ключевые слова:

горные машины, геоходная технология, тоннельная обделка, блок, возведение крепи.

Аннотация.

В статье представлено конструктивное решение высокоточной тоннельной обделки винтовой формы, которая применяется в геоходной технологии образования полости в подземном пространстве. Обоснование целесообразности конструктивного решения обусловлено представленным анализом существующих вариантов высокоточной сегментной обделки. Проведено сравнение представленных вариантов по основным технологическим параметрам возведения тубинговой крепи. Проведен анализ разработанного варианта тубинговой крепи для геоходной технологии, выделены основные достоинства и недостатки, даны основные рекомендации к применению. Разработанная конструкция блока возможна к применению на прямолинейных участках трассы тоннеля. Известные технические решения для поворота трассы тоннеля, применяемые для прямоугольных блоков обделки, к винтовому типу обделки не подходят. Намечены основные направления дальнейших научных и опытно-конструкторских работ по разработке вариантов тоннельной обделки.

Для цитирования: Казанцев А.А., Аксенов В.В., Садовец В.Ю. Разработка конструктивного решения высокоточной тоннельной обделки винтовой формы для геоходной технологии // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2021. – № 5 (147). – С. 15-23 – DOI: 10.26730/1999-4125-2021-5-15-23

Шестой технологический уклад, прогнозируемый к началу примерно с 2030 г., станет укладом транспортной революции, глобальных мультимедийных сетей с использованием космических технологий, нанотехнологий, геной инженерии и искусственного интеллекта [1], и для становления транспортной революции, по нашему мнению, не последнюю роль может сыграть революция в области освоения (формирования) подземного пространства, корнями

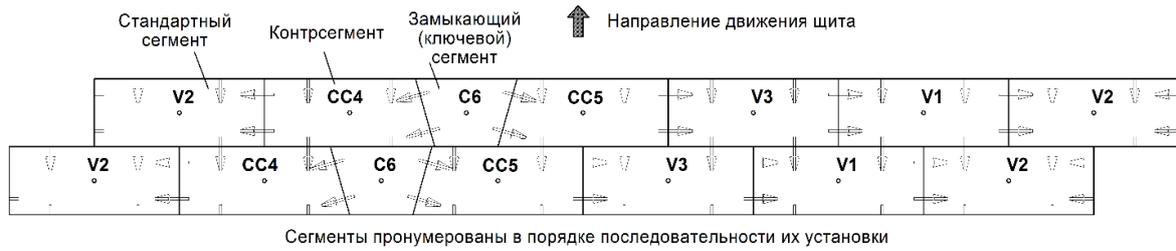


Рис. 1. Развертка кольца прямоугольной блочной (сегментной) тоннельной обделки
 Fig. 1. Developed view of a ring of a rectangular block (segment) tunnel lining

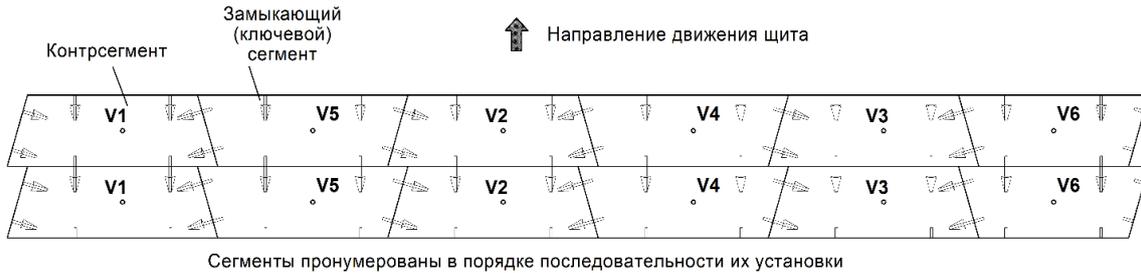


Рис. 2. Развертка кольца трапецевидной блочной (сегментной) тоннельной обделки
 Fig. 2. Developed view of a trapezoidal block (segmental) tunnel lining ring

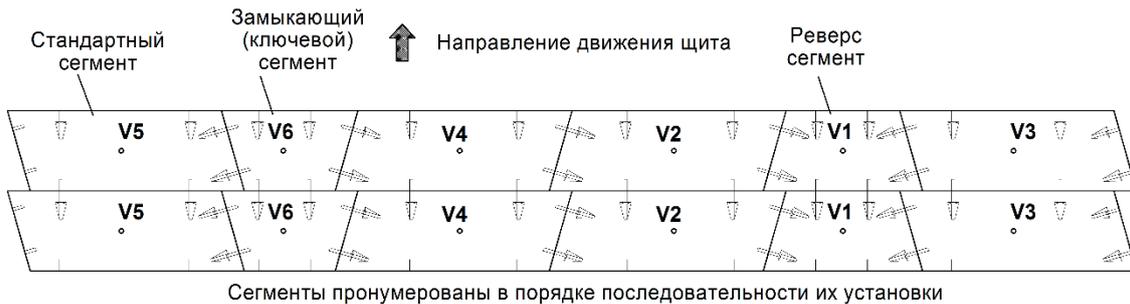


Рис. 3. Развертка кольца ромбовидной блочной (сегментной) тоннельной обделки
 Fig. 3. Developed view of a ring of a diamond-shaped block (segmental) tunnel lining

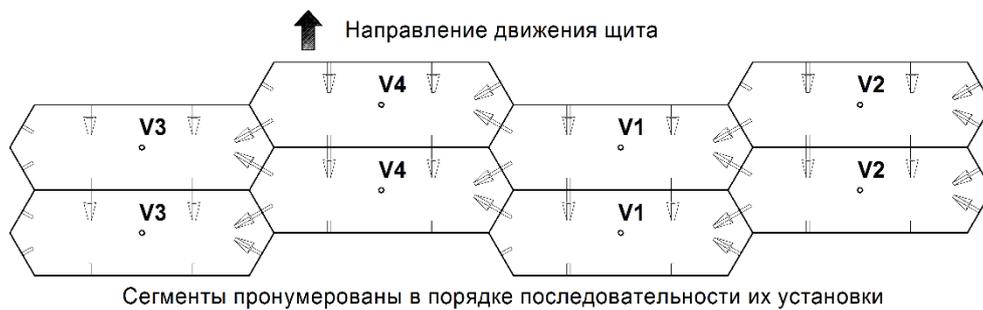


Рис. 4. Развертка «кольца» гексагональной блочной (сегментной) тоннельной обделки
 Fig. 4. Developed view of the "ring" of the hexagonal block (segmental) tunnel lining

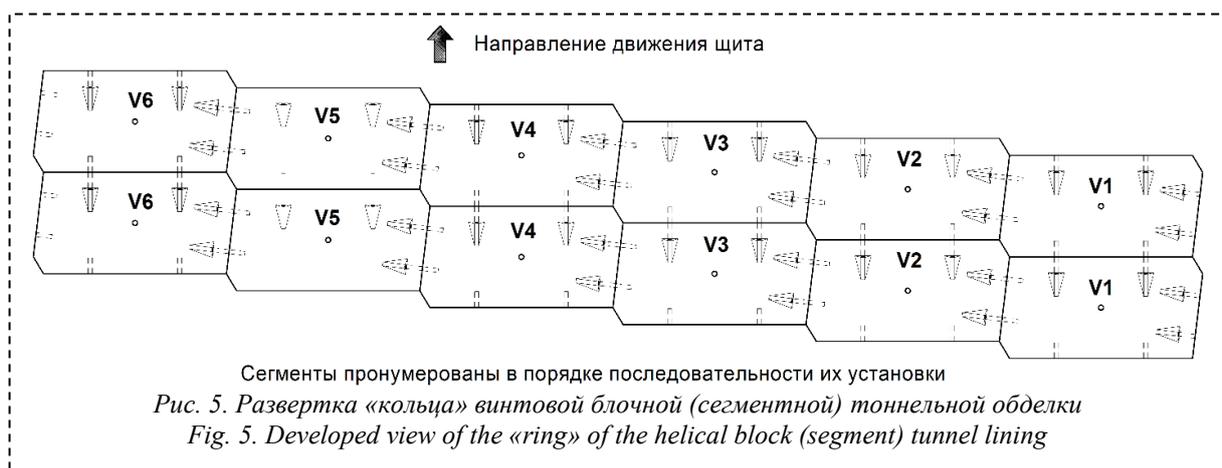
которой будут технологии в области горного дела, а именно технологии проведения горных выработок и тоннелей и технологии строительства подземных сооружений и предприятий.

Говоря о технологии проведения горных выработок и тоннелей, ключевым фактором, позволяющим приблизить транспортную революцию, можно назвать производительность тоннелепроходческих (горнопроходческих) систем, имея в виду скорость строительства транспортного тоннеля (м/мес.), которая по некоторым экспертным оценкам зависит не менее чем от 148 факторов [2]. Достигнутая устойчивая скорость строительства тоннеля у новейших

тоннелепроходческих механизированных комплексов (ТПМК) типа double-shield и main beam – 800 м/мес. [3, 4], т.е. уже в 2-2,2 раза выше, чем у лучших образцов ТПМК 30-летней давности [5].

Не исключено, что транспортная революция возьмет старт с инфраструктуры многоуровневых подземных транспортных тоннелей – идеи И. Маска, главного исполнительного директора компаний SpaceX, Tesla Motors и SolarCity. По его мнению, вполне возможно увеличить скорость проходки на 500-1000% или достичь уровня 1600 м/нед. [5], что в свою очередь можно реализовать благодаря повышению скорости строительства тоннелей за счет совмещения операций проходки и возведения обделки тоннеля (что уже реализовано в ТПМК типа double-shield, а также потенциально может быть реализовано в «геоходной технологии» [6]).

С учетом вышеизложенного, а также сформулированных требований к системе возведения тоннельной обделки для геоходной технологии [7,8] рассмотрим известные варианты высокоточной сегментной обделки. Высокоточная блочная (сегментная) обделка формируется из отдельных колец, связанных между собой метизами. Каждое кольцо состоит из отдельных блоков, число блоков варьируется и может достигать 12 шт. и более в зависимости от диаметра прокладываемого тоннеля. Каждый блок оборудован гидроизоляционным уплотнением по периметру, блоки подаются в рабочую зону в точной последовательности. Перевязка блоков между собой также осуществляется метизами. Среднее время возведения одного кольца обделки составляет 30 минут. Варианты развертки колец сборной высокоточной обделки представлены на рис. 1-5.



Каждый из представленных типов сегментной обделки обладает своими особенностями и общими признаками, например, все типы сегментов должны быть увязаны с параметрами ТПМК как по протяженности по дуге окружности, так и по ширине. Ширина сегмента увязана с шагом подачи ТПМК на забой и ходом цилиндров подачи, т.к. для продвижения щита на забой он отталкивается от крайнего возведенного кольца обделки. Протяженность по дуге окружности увязана с диаметром проводимого тоннеля и допустимым весом сегмента.

Сегменты прямоугольной обделки (рис. 1) подаются к ТПМК в определенном порядке. На сегодняшний день это самый распространенный тип блочной обделки ввиду того, что «подрезка» торца или обоих торцов собранного кольца позволяет сузить кольцо с одной или двух сторон соответственно, что в свою очередь позволяет использовать ее для криволинейных участков с радиусом кривизны 400-600 м. Разумеется, «подрезка» не осуществляется вручную, а проектируется заранее и блоки отливаются уже готовой формы, именно поэтому блоки к месту установки должны подаваться в строго определенном порядке.

Сегменты трапециевидной обделки (рис. 2) хороши тем, что они одинаковы по конфигурации. Этот факт позволяет ввести термин «универсальное кольцо обделки», но ввиду особенностей сборки такого кольца они должны устанавливаться по правилу собираемости: сначала ставятся контрсегменты, а затем замыкающие.

Ромбовидная форма обделки (рис. 3) позволяет выполнять монтаж сегментов без фрикционных прокладок, которые обязательны в прямоугольной обделке, а также позволяет

цилиндрам подачи щита более равномерно распределять прижатие уплотнений друг к другу, нежели при осуществлении этого блокоукладчиком.

Гексагональная (рис. 4) и винтовая (рис. 5) форма обделки, как и в случае с трапецевидной формой, позволяет ввести одинаковый сегмент для сборки кольца, что дает существенное преимущество в скорости сборки каждого кольца. Существуют реальные практические примеры, когда скорость возведения таких типов обделки достигала 100 блоков в день. Но к недостаткам такой конструкции следует отнести сложность монтажа уплотнений и невозможность использования на криволинейных участках ввиду невозможности применения тех же методов «подрезки», как в случае с прямоугольной обделкой [9, 10].

И тем не менее трапецевидная, гексагональная и винтовая формы отвечают главному запросу настоящей статьи – повышение скорости строительства тоннеля. Учитывая базовый принцип перемещения геолода (подача на забой по винтовой линии), наиболее интересной к проработке видится конструкция винтовой сегментной обделки.

На основании конструктивных параметров геолода модели 401, требований к системе возведения тоннельной обделки для геолодной технологии и с учетом реальных размеров блоков высокоточной обделки, а также рекомендаций по проектированию высокоточной обделки авторами была предпринята попытка разработки конструктивного решения винтовой обделки с шириной сегмента 0,8 м, представленная на рис. 6. Из представленного конструктивного решения видно, что многие размеры отличаются от общепринятых стандартных рядов и указаны на рисунке намеренно и, по нашему мнению, это является особенностью винтового сегмента с шириной блока 800 мм. Количество блоков в кольце принято равным шести, прогнозируемая масса – около 600 кг. Следует отметить, что в конструкции пока предварительно намеренно не проектировались элементы для законтурных каналов, т.к. на данном этапе это усложнило бы конструкцию блока, а для проверки возможности сопряжения блоков достаточно такой конфигурации. Развертка кольца винтовой обделки, возможная к применению на прямолинейных участках, представлена на рис. 5.

В таблице 1 приведена спецификация элементов и покупных комплектующих изделий на отдельно взятый спроектированный блок.

Следующая решаемая задача – проверка сопряжения блоков на криволинейных участках. Для этого была предпринята попытка использования имеющейся практики подрезки кольца для прямоугольных блоков. Для этого на одной стороне кольца выполняется скос (рис. 7) влево для выполнения левого поворота или вправо для правого поворота соответственно. Для кольца диаметром 6 м угол скоса составляет $0^{\circ}15'$, что позволяет при сборке таких блоков реализовать радиус поворота приблизительно в 620 м. Соответственно, с увеличением угла скоса радиус поворота уменьшается.

Для выполнения схожей операции на винтовой обделке блоки были выстроены так, как показано на рис. 8, для осуществления подрезки. Чтобы разница между блоками была более заметна, угол скоса был увеличен на 30%.

Таблица 1. Спецификация элементов на блок

Table 1. Specification of elements per block

№ п/п	Обозначение	Наименование	Кол.	Единица измерения
1	ГОСТ 25192-2012	Бетон В45F300W12П4	0,185	м ³
2	ГОСТ Р 52544-2006	Арматура В500С	22,2	кг
3	М 385 44	Уплотнительная лента – М 385 44	9037	мм
4		Дюбель Т25х140	4	шт.
5		Отверстие под болт захвата блокоукладчика Т54,7/180	1	шт.
6	Уплотняющая прокладка	Силиконовый шнур 15х15мм	4519	мм

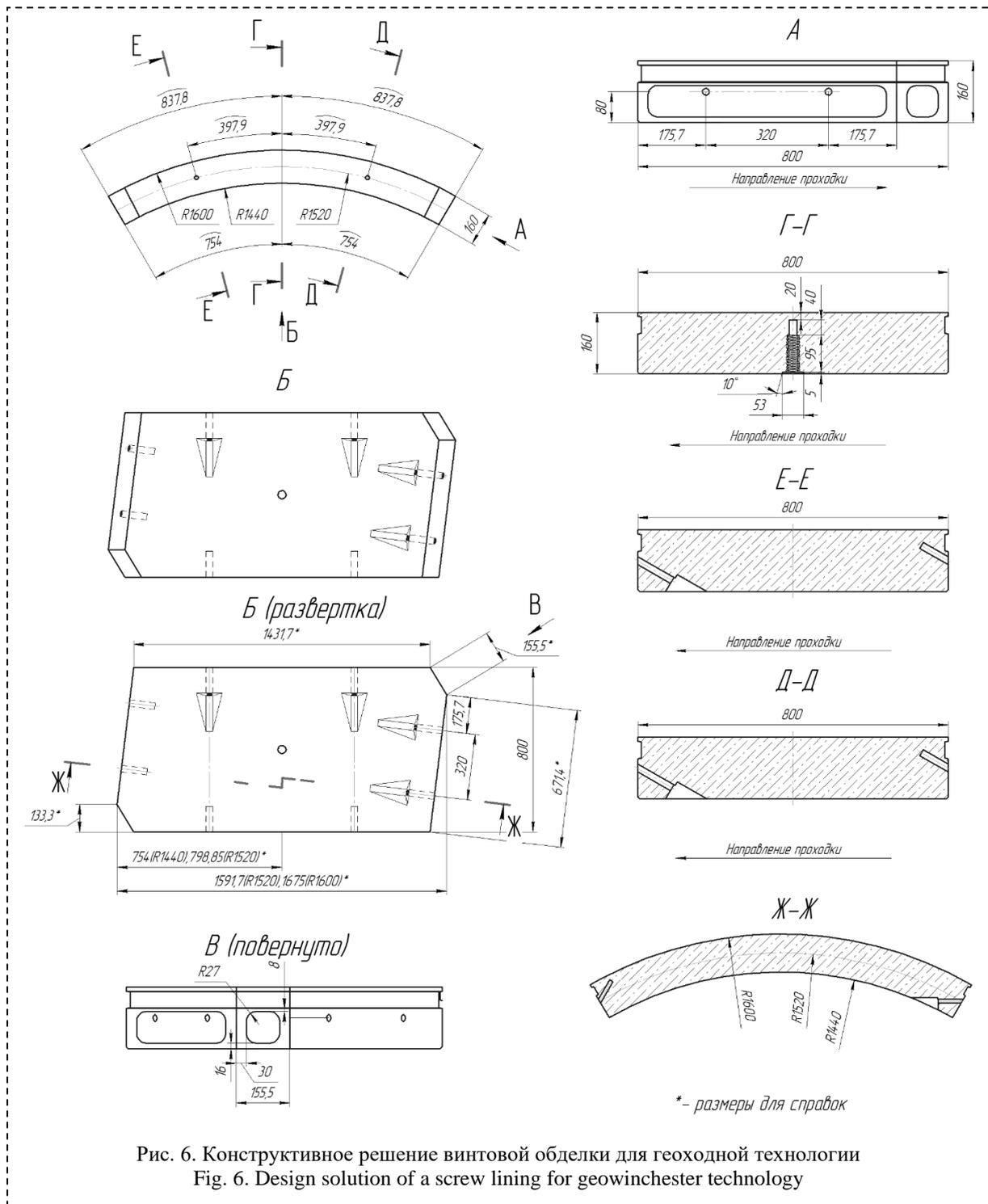


Рис. 6. Конструктивное решение винтовой обделки для геоходной технологии
 Fig. 6. Design solution of a screw lining for geowinchester technology

Как видно из рис. 9, сборка такого кольца некорректна, так как не обеспечит восприятие внешних и внутренних эксплуатационных нагрузок и воздействий на конструкцию с сохранением заданных геометрических размеров внутреннего сечения тоннеля, а также защиту тоннеля от проникновения подземных вод из-за раскрытия стыка в подрезанной части кольца. Таким образом, техническое решение, работающее на прямоугольных блоках обделки, не подходит для обделки винтового типа, и очевидно, что увеличение или уменьшение угла скоса эту проблему не решит. Для решения этой задачи необходима проработка других вариантов.

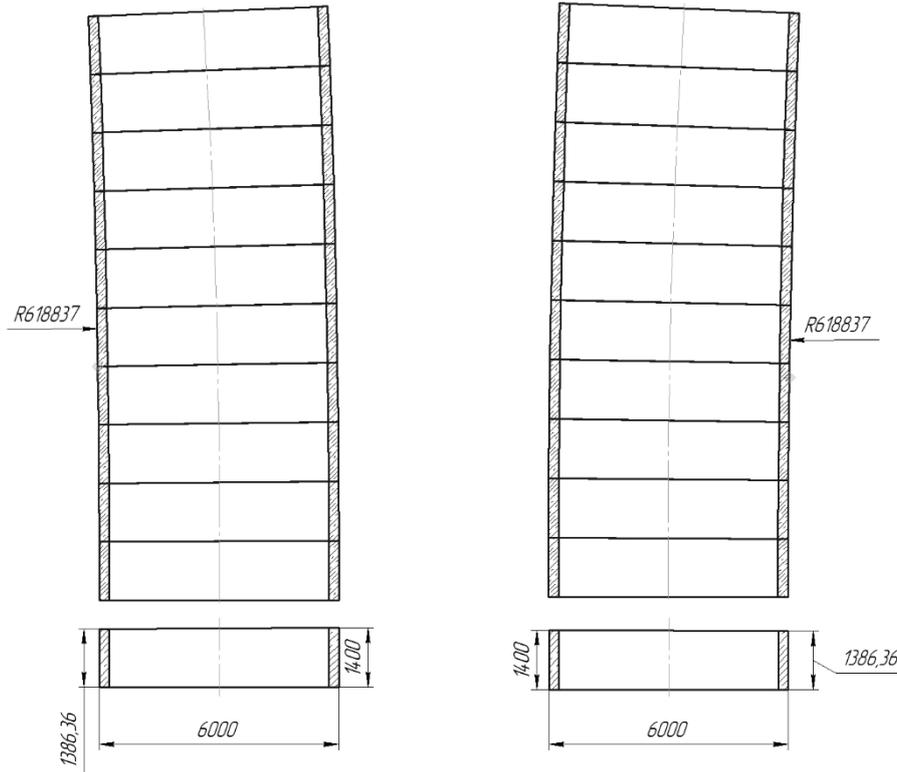


Рис. 7. Выполнение поворота при комбинации клиновидных блоков
Fig. 7. Performing a turn with a combination of wedge blocks

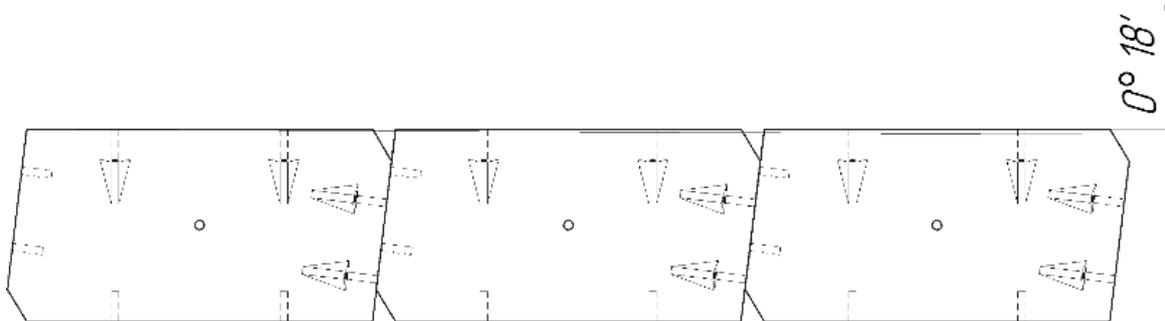


Рис. 8. Выполнение операции по «подрезке» кольца
Fig. 8. Performing the ring "trimming" operations

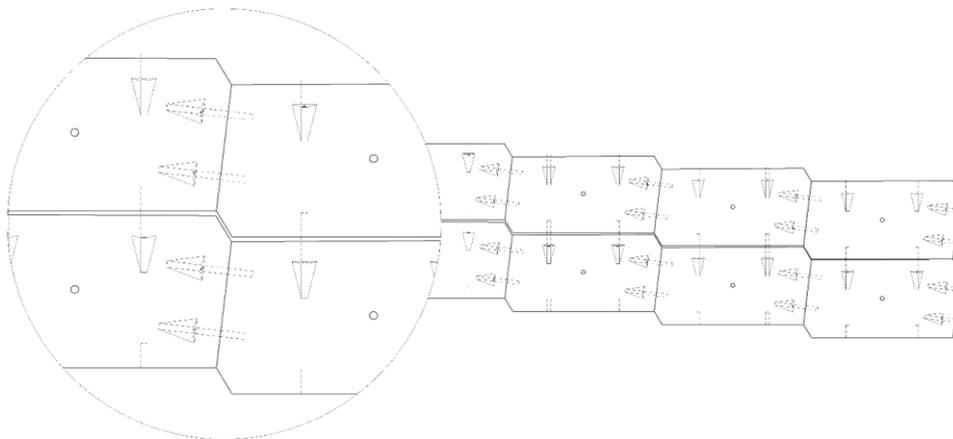


Рис. 9. Сборка «подрезанного» кольца
Fig. 9. Assembling the "trimmed" ring

Выводы

1. Разработано конструктивное решение винтовой обделки с увязкой параметров обделки с параметрами геодохода модели 401 для применения в геодоходной технологии.
2. Конструктивные параметры разработанного блока высокоточной обделки потенциально позволяют выполнять быстровозводимую обделку тоннеля за счет унификации элемента и собираемости в простом последовательном порядке, что отвечает требованию и тенденции совмещения операций проходческого цикла в современных ТПМК.
3. Разработанная конструкция блока возможна к применению на прямолинейных участках трассы тоннеля. Известные технические решения для поворота трассы тоннеля, применяемые для прямоугольных блоков обделки, к винтовому типу обделки не подходят.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуриева Л.К. Концепция технологических укладов // Инновации: журнал. – СПб., 2004. – № 10. – С. 70-75.
2. Patel, Siddharth & Pandit, Devanshu. (2017). Productivity studies of tunneling projects. Proceedings of International Conference on Frontiers in Engineering, Applied Sciences and Technology (FEAST'17) ISBN 978-81-908388-8-7, Volume -1 (Page No. - 1 to 7), Conference dates - March 32st & April – 1st, 2017.
3. Robbins Double Shield tunnel boring machine is conquering the Himalayas. – July 26, 2018. <https://www.canadianundergroundinfrastructure.com/article/28716/robbins-double-shield-tunnel-boring-machine-is-conquering-the-himalayas>
4. Røssåga Main Beam sets Norwegian milestone – December 17, 2015. <https://www.canadianundergroundinfrastructure.com/article/22320/rossaga-main-beam-sets-norwegian-milestone>
5. T.R. Goldman // Why Elon Musk is throwing money down a hole // PoliticoMagazine, 16 March 2017. <https://www.politico.com/magazine/story/2017/03/elon-musk-tunnel-digging-investment-infrastructure-transportation-214917>
6. Дронов А.А., Блащук М.Ю., Тимофеев В.Ю. Формирование требований к узлу сопряжения секций геодохода // Горное оборудование и электромеханика. – 2016. – № 8 (126). – С. 39-42.
7. Аксенов В.В., Казанцев А.А. Разработка требований к вспомогательным системам геодохода // Инновации в машиностроении. Сборник трудов X Международной научно-практической конференции. Под редакцией В.Ю. Блюменштейна. – 2019. – С. 280-286.
8. Аксенов В.В., Казанцев А.А., Яровой С.Е. Формулировка требований к системе возведения тоннельной обделки для геодоходной технологии // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство. Материалы XVI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – 2019. – С. 148-152.
9. Мы строим метро: сборник. – М.: Моск. рабочий, 1983. – 320 с., ил.
10. Concrete for Underground Structures: Guidelines for Design and Construction. / edited by Robert J. F. Goodfellow. Copyright © 2011 Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. ISBN-13: 978-0873353465

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2021 Авторы. Издательство Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

DOI: 10.26730/1999-4125-2021-5-15-23

UDS 622.283.4

**DEVELOPMENT OF DESIGN SOLUTION OF HIGH-PRECISION SCREW SHAPE
TUNNEL LINING FOR GEOWINCHESTER TECHNOLOGY**

Anton A. Kazantsev^{1,5},
C. Sc. in Engineering, ak_uti@rambler.ru;
Vladimir V. Aksenov^{2,4},
Dr. Sc. in Engineering, 55vva42@mail.ru,
Vladimir Yu. Sadovets^{3,4},
C. Sc. in Engineering, Associate Professor, svyu.pmh@kuzstu.ru

¹National Research Technological University «MISIS», Gubkinsky Branch, 309186, Belgorod Region, Gubkin, st. Komsomolskaya, 16

²Institute of Coal of the Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry, Siberian Branch of the RAS, 650610, 10, Leningradsky Av., Kemerovo, Russia

³T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 650000, 28 Vesennaya St., Kemerovo, Russia

⁴T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Prokopievsk branch, Nogradskaya str. 19a, Prokopievsk, 653039

⁵Stary Oskol branch of NUST «MISiS», 309516, Russia, Belgorod region, Stary Oskol, Makarenko comm. 42



Article info

Received:
28 June 2021

Revised:
30 September 2021

Accepted:
25 October 2021

Keywords: mining machines,
geowinchester technology,
tunnel lining, block, support
erection.

Abstract.

The article presents a design solution for a high-precision screw-shaped tunnel lining, which is used in the geowinchester technology of the formation of a cavity in an underground space. Justification of the feasibility of a design solution is due to the presented analysis of existing options for high-precision segmental lining. The comparison of the presented options is carried out according to the main technological parameters of the installation of the tubing support. The analysis of the tubing lining version developed for the geowinchester technology is carried out, the main advantages and disadvantages are highlighted, and the main recommendations for use are given. The developed block structure is possible for use on straight sections of the tunnel route. The known technical solutions for turning the tunnel route used for rectangular lining blocks are not suitable for the screw-type lining. The main directions of further scientific and experimental design work on the development of options for tunnel lining are outlined.

For citation Kazantsev A.A., Aksenov V.V., Sadovets V.Yu. Development of design solution of high-precision screw shape tunnel lining for geowinchester technology. Bulletin of the Kuzbass State Technical University, 2021, no.5 (147), pp. 15-23. DOI: 10.26730/1999-4125-2021-5-15-23

REFERENCES

1. Gurieva L.K. Konceptiya tekhnologicheskikh ukladov // Innovacii: zhurnal. – SPb., 2004. – № 10. – S. 70-75.
2. Patel, Siddharth & Pandit, Devanshu. (2017). Productivity studies of tunneling projects. Proceedings of International Conference on Frontiers in Engineering, Applied Sciences and Technology (FEAST'17) ISBN 978-81-908388-8-7, Volume -1 (Page No. - 1 to 7), Conference dates - March 32st & April – 1st,2017
3. Robbins Double Shield tunnel boring machine is conquering the Himalayas. – July 26, 2018. <https://www.canadianundergroundinfrastructure.com/article/28716/robbins-double-shield-tunnel-boring-machine-is-conquering-the-himalayas>
4. Røssåga Main Beam sets Norwegian milestone – December 17, 2015. <https://www.canadianundergroundinfrastructure.com/article/22320/rossaga-main-beam-sets-norwegian-milestone>
5. T.R. Goldman // Why Elon Musk is throwing money down a hole // PoliticoMagazine, 16 March 2017. <https://www.politico.com/magazine/story/2017/03/elon-musk-tunnel-digging-investment-infrastructure-transportation-214917>
6. Dronov A.A., Blashchuk M.yu., Timofeev V.Yu. Formirovanie trebovanij k uzlu sopryazheniya sekcij geohoda // Gornoe oborudovanie i elektromekhanika. – 2016. – № 8 (126). – S. 39-42.
7. Aksenov V.V., Kazancev A.A. Razrabotka trebovanij k vspomogatel'nym sistemam geohoda // Innovacii v

mashinostroenii. Sbornik trudov X Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferenciya. Pod redakciej V.Yu. Blyumenshtejna. – 2019. – S. 280-286.

8. Aksenov V.V., Kazancev A.A., Yarovoj S.E. Formulirovka trebovanij k sisteme vozvedeniya tonnel'noj obdelki dlya geohodnoj tekhnologii // Sovremennye problemy gorno-metallurgicheskogo kompleksa. Nauka i proizvodstvo. Materialy XVI Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. – 2019. – S. 148-152.

9. My stroim metro: sbornik. – M.: Mosk. rabochij, 1983. – 320 s., il.

10. Concrete for Underground Structures: Guidelines for Design and Construction. / edited by Robert J. F. Goodfellow. Copyright © 2011 Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. ISBN-13: 978-0873353465

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2021 The Authors. Published by T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).