

## СПОСОБ СООРУЖЕНИЯ ЗАЩИТНОГО ЭКРАНА ДЛЯ ПРОХОДКИ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ ТОННЕЛЬНОГО ТИПА

Н.М. Прибыльская, В.А. Гречухин  
Белорусский национальный технический университет,  
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, [pnm17@tut.by](mailto:pnm17@tut.by)

Серьезным препятствием для развития транспортной инфраструктуры на современном этапе становятся объекты городской застройки и действующие железнодорожные и автомобильные магистрали.

Традиционно применяемые методы строительства тоннелей со вскрытием земной поверхности в условиях плотной городской застройки зачастую не применимы, а в случае нагруженных транспортных магистралей потребовали бы остановки на период строительства движения по ним, что неизбежно привело бы к финансовым потерям и созданию дискомфорта для людей. Проходка тоннелей щитовым способом в этих условиях экономически невыгодна, так как в большинстве случаев подземные транспортные коммуникации залегают на относительно небольшой глубине от земной поверхности, проходят в слабых грунтах и имеют небольшую длину.

При отсутствии какого-либо укрепления грунта над данным сооружением, это может привести к вертикальному смещению несущих слоев грунта в зоне строительства, и как следствие оказать негативное влияние на расположенные на поверхности земли здания и сооружения.

В связи с вышеизложенным, определено направление дальнейших исследований для решения данной проблемы. Рассмотрены наиболее применяемые имеющиеся варианты и представлены основные причины нецелесообразности их применения для устройства защитных экранов. Предложено техническое решение конструкции и технологии устройства защитного экрана.

**Ключевые слова:** подземные транспортные коммуникации, защитные экраны, продавливание, нарушение структуры вышележащих слоев грунта, деформации и просадка поверхности несущего слоя.

Для устройства подземных транспортных коммуникаций без нарушения структуры вышележащих слоев грунта в условиях интенсивной городской застройки применяют различные технические решения.

Наиболее известна щитовая проходка. Однако для устройства подземных коммуникаций небольшой протяженности она неприменима.

Одним из решений является метод крепления выработки - ADECO-RS. Метод ADECO-RS появился в результате двадцатилетней практической и теоретической работы компании РокСойл С.п.А.

Суть метода заключается в предварительном армировании массива грунта и последующем тщательном отслеживании параметров деформационной реакции окружающего земляного массива. В качестве армирующих элементов используют стекловолоконные элементы, которые укрепляют слабые грунты и уменьшают деформации. Такой метод крепления эффективен при проходке тоннелей в полусвязных грунтах и грунтах с очень низкими прочностными характеристиками.

Использование стекловолокна для армирования обосновано сочетанием достаточно высокого сопротивления на изгиб и его хорошей ломкостью при работе на срез, что позволяет легко скалывать его при разработке грунта, используя тот же проходческий инструмент.

Таким образом, стекловолокно в представленной конструкции выполняет функцию армирующего каркаса в цементном растворе, кондуктора для нагнетающей трубы и обсадки при незамедлительном введении элемента в пробуренную скважину [1].

Однако использование вышеописанного метода высокочастотного и требует применения сложной техники. Поэтому одним из наиболее распространенных методов является устройство защитных экранов из труб или других элементов, устраиваемых по контуру будущего подземного сооружения. Данный способ позволяет проводить работы без нарушения несущего слоя грунта. Что особенно актуально при наличии слабых грунтов.

Для сооружения защитного экрана применяют стальные, железобетонные трубы, возможно изготовление труб из других материалов. Эти трубы вдавливают в грунт домкратной установкой, расположенной на поверхности земли или в котловане, или проталкивают в пробуренные скважины отдельными секциями, объединяя их различными способами. Процесс вдавливания сопровождается извлечением грунта из образовавшегося контура, и последующим созданием монолитной или сборной обделки.

Защитный экран может быть использован в двух функциях. Первая в качестве временной крепи, вторая с его включением в работу постоянной конструкции в качестве несущего элемента.

Цель настоящей работы – показать, что новое техническое решение конструкции и технологии устройства металлического защитного экрана, используемого при строительстве подземных транспортных коммуникаций, позволяет предотвратить деформации и просадки поверхности несущего слоя; свести к минимуму влияние проводимых строительно-монтажных работ на городскую и транспортную инфраструктуру; обеспечить безопасность проведения строительных работ; предотвратить перерывы и какие-либо ограничения движения железнодорожного и автомобильного транспорта на участке строительства объекта.

Для достижения данной цели необходимо решение следующих задач:

улучшить санитарно-гигиенические условия работы;

снизить трудозатраты и сократить сроки строительства;

снизить металлоемкость процесса;

снизить мощность, применяемого при производстве работ оборудования.

Были рассмотрены известные способы устройства и сооружения защитных экранов. Например, строительство транспортных сооружений, под автомобильными и железными дорогами с применением защитного экрана, который создают путем ступенчатого продавливания труб, с последующей выемкой породы из продавленной секции и вырезки из нее продольной полосы на величину ступени продавливания очередной секции. Вырез осуществляют в пределах сектора  $90 \div 120$  градусов. Для предотвращения деформаций в месте вырезанной продольной полосы приваривают ребра жесткости.

Перед продавливанием очередную секцию заводят в упомянутый выше вырез. Каждая секция состоит из двух труб с вырезанными секторами соединенных друг с другом [2].

Данный защитный экран предотвращает деформацию и просадку поверхности, минимизирует влияние строительно-монтажных работ на городскую и транспортную инфраструктуру, обеспечивает безопасные условия труда, отсутствие перерывов движения и ограничений железнодорожного и автомобильного транспорта на участках строительства объекта [3].

Недостатком данного варианта является работа человека в трубе, заключающаяся в удалении из нее породы, вырезку сектора трубы и осуществление сварочных работ [3]. При горизонтальном продавливании труб для таких случаев установлено ограничение минимального диаметра трубы, не менее 1,2 м, что ведет к увеличению металлоемкости защитного экрана, а также к необходимости применения более мощного оборудования при производстве работ (пункт 19.24 ТКП 45-1.03-44-2006) [4].

Для устранения вышеперечисленных недостатков, предложено решение, позволяющее улучшить санитарно-гигиенические условия труда, снизить трудозатраты и

сократить сроки строительства при одновременном уменьшении металлоемкости процесса и возможности применять менее мощное оборудование для выполнения работы.

В данном решении результат достигается за счет использования при продавливании трех видов однотипных элементов. Первый вид элементов представлен на рисунке 1. Он применяется в качестве промежуточного элемента, перекрывающего участки без резких изменений положения поверхность, например, горизонтальные и вертикальные плоскости, цилиндрические поверхности.

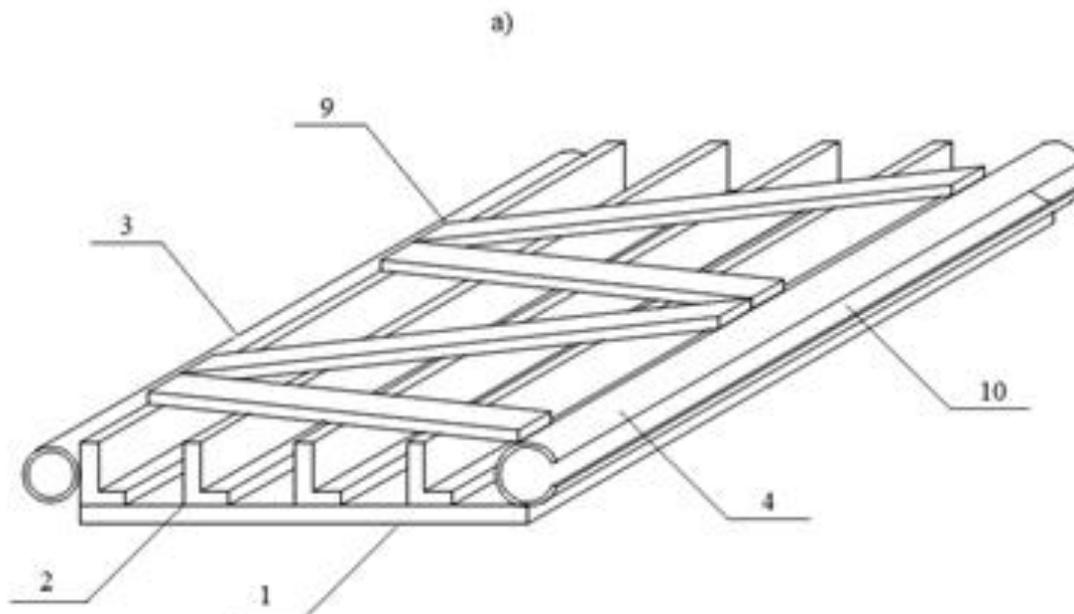


Рис. 1. Первый вид элемента защитного экрана

Он сконструирован следующим образом: к прокатному листу 1 вдоль направления продавливания привариваются прокатные уголки 2, вместо которых можно использовать другой прокатный профиль. Число уголков может варьироваться в зависимости от ширины листа 1. Уголки привариваются параллельно направлению продавливания защитного экрана. Первый уголок приваривается таким образом, что не приваренная сторона уголка, является продолжением боковой грани листа 1. К не приваренной стороне первого приваренного уголка приваривается труба 3 кольцевого сечения, а с противоположной стороны к листу 1 приваривается труба 4 кольцевого сечения с вырезанным по всей ее длине сектором, внутренний радиус трубы 4 должен быть больше внешнего радиуса трубы 3. С целью повышения жесткости поверх данной конструкции зигзагообразно привариваются стальные полосы 9. Количество полос и угол, под которым они привариваются к направлению продавливания, зависят от длины листа.

Второй вид используемых элементов представлен на рисунке 2. Данный элемент и элемент, представленный на рисунке 3, применяются в качестве элементов, с помощью которых резко изменяют положение поверхности, например, на угол  $90^\circ$  в месте сопряжения горизонтальной поверхности и боковых стенок.

Он конструируется следующим образом: к прокатному листу 5 параллельно направлению продавливания привариваются прокатные уголки 6, число уголков может варьироваться в зависимости от ширины листа 5. Первый уголок приваривается таким образом, что не приваренная сторона уголка, является продолжением боковой грани листа. Для изменения положения прокатных листов с горизонтального на вертикальное, к листу 5 под первым приваренным уголком приварена труба 7 кольцевого сечения, а с противоположной стороны листа, к листу приварена труба 8 кольцевого сечения, с вырезанным сектором, внутренний радиус трубы 8 должен быть больше внешнего радиуса трубы 7. Поверх данной конструкции зигзагообразно привариваются стальные полосы 9.

Количество полос и угол, под которым они привариваются к направлению продавливания, зависят от длины листа.

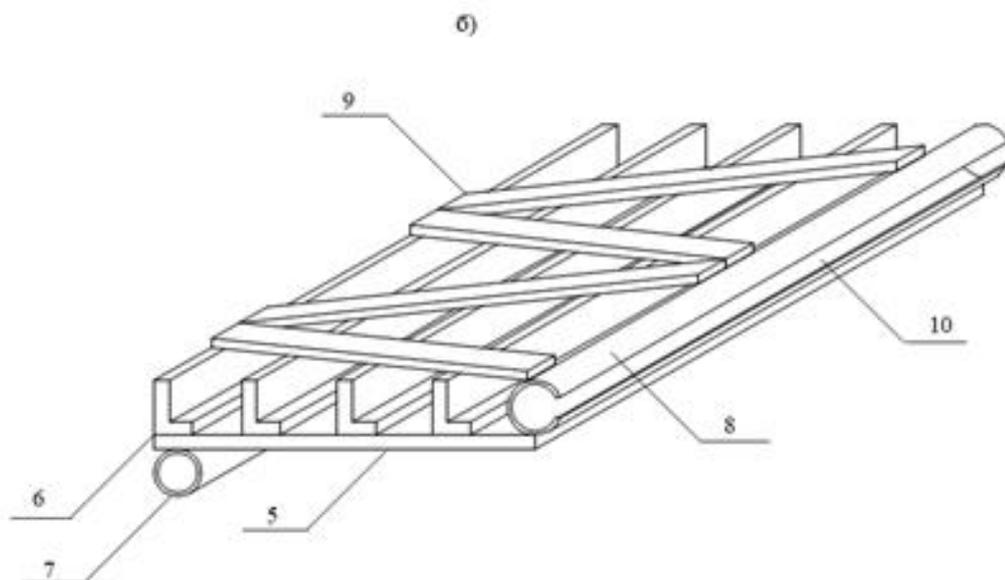


Рис. 2 Второй вид элемента защитного экрана

Третий вид используемых элементов представлен на рисунке 3, назначение данного элемента представлено выше.

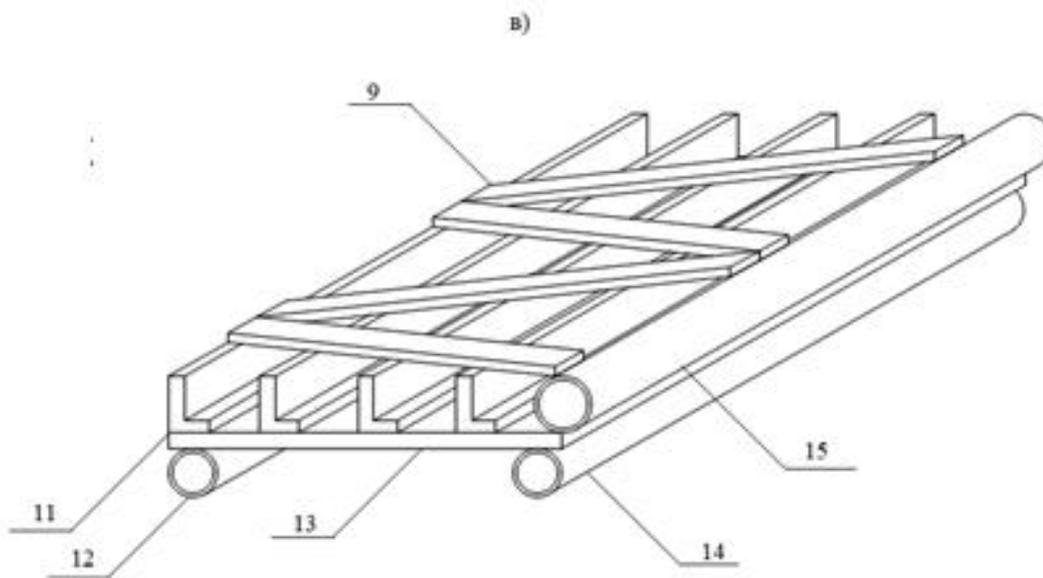


Рис. 3 Третий вид элемента защитного экрана

Он конструируется следующим образом: к прокатному листу 13 в вдоль направления продавливания привариваются прокатные уголки 11, число уголков может варьироваться в зависимости от ширины листа 13. Уголки привариваются параллельно направлению продавливания. Первый уголок приваривается таким образом, что не приваренная сторона уголка, является продолжением боковой грани листа. К листу 13 под первым приваренным уголком приваривается труба 12 кольцевого сечения, а с противоположной стороны листа, к листу привариваются две трубы: труба 14 кольцевого сечения и труба 15 кольцевого сечения. Поверх данной конструкции привариваются стальные полосы 9. Полоски привариваются зигзагообразно, количество полос и угол, под которым они привариваются к направлению продавливания, зависят от длины листа.

Защитный экран состоит из центрального элемента или нескольких элементов (рисунок 1) и двух боковых (рисунки 2, 3).

На начальном этапе продавливания выстраивается центральная секция. Для этого однотипные элементы первого вида продавливаются один за другим последовательно (рисунок 4).

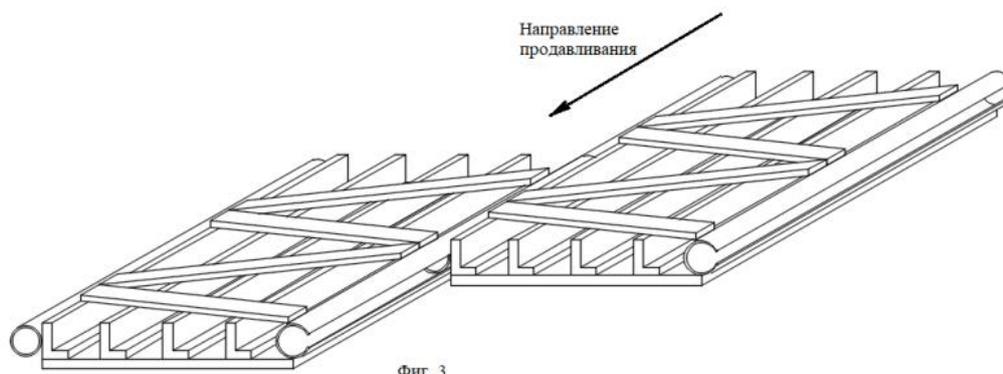


Рис. 4. Элементы защитного экрана

Элементы соединяются друг с другом при помощи замково-направляющего соединения, которое выполнено в виде приваренных на обращенных друг к другу поверхностях смежных элементов экрана: трубы 3, 7 и трубы с вырезанным сектором 4, 8. При переходе к сборке боковых секций используются элементы второго (рисунок 2) и третьего (рисунок 3) видов. За счет изменения положения сектора 10 на трубах 4 и 8, а также места приваривания труб, можно менять вид защитного экрана, который может иметь как прямоугольную, так и сводчатую формы. При этом элементы жесткости: прокатные уголки или другие прокатные профили, и стальные полосы могут располагаться как внутри, так и снаружи защитного экрана.

Таким образом, создается защитный экран прямоугольной или цилиндрической формы. В конце с обеих сторон экран жестко заделывается в железобетонные порталы, после чего производится выработка грунта с 2-х сторон подземного сооружения. Экран укрепляется временными стальными опорными рамами до бетонирования сооружения.

### Выводы

Предлагаемый защитный экран предотвращает деформацию и просадку поверхности, минимизирует влияние строительно-монтажных работ на городскую и транспортную инфраструктуру, так как однотипные элементы являются достаточно жесткими за счет использования в их конструкции прокатных уголков или другого прокатного профиля и зигзагообразно приваренных полос. Вышесказанное подтверждают расчеты, выполненные с использованием программного продукта SolidWorks. Напряжения, возникающие в элементах конструкции, не превышают предел текучести простой углеродистой стали, а перемещения укладываются в рамки допустимых и не требуют остановки движения или снижения скорости движения при производстве работ.

В результате данное технологическое решение позволит:

1. улучшить санитарно-гигиенические условия работы и снизить трудозатраты;
2. сократить сроки строительства, так как отсутствует необходимость работы персонала внутри секций: производить вырезку сектора трубы и осуществлять сварочные работы в ней, удалять породу из трубы и многое другое;
3. снизить металлоемкость процесса за счет использования однотипных элементов;
4. дать возможность применять менее мощное оборудование при производстве работ;

Перечисленные выше результаты ведут к снижению себестоимости строительства и уменьшению его продолжительности.

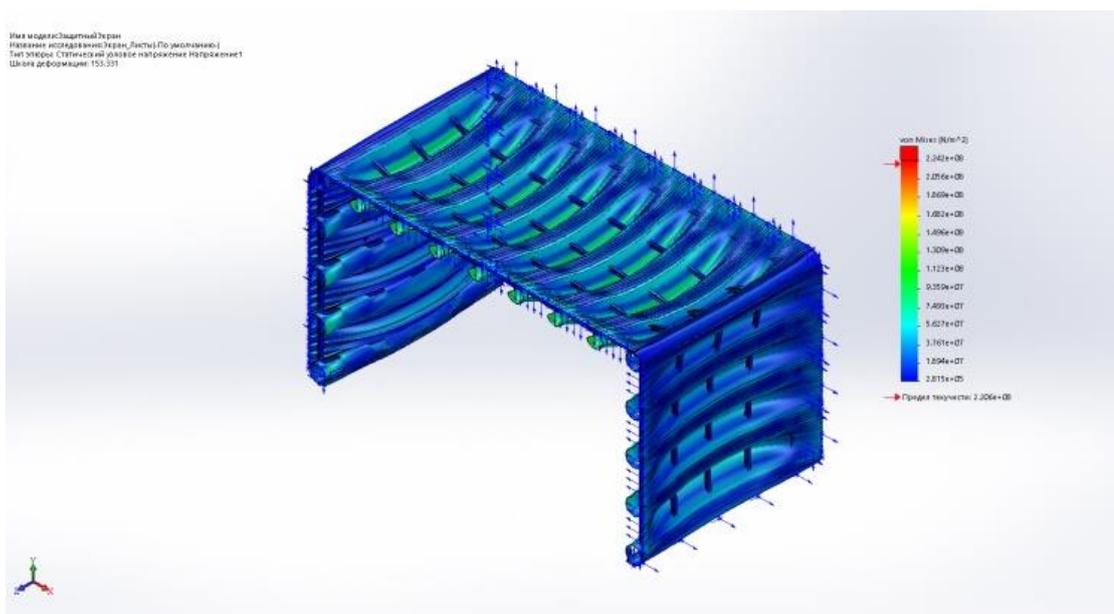


Рис.5 Результаты исследования напряженного состояния защитного экрана.

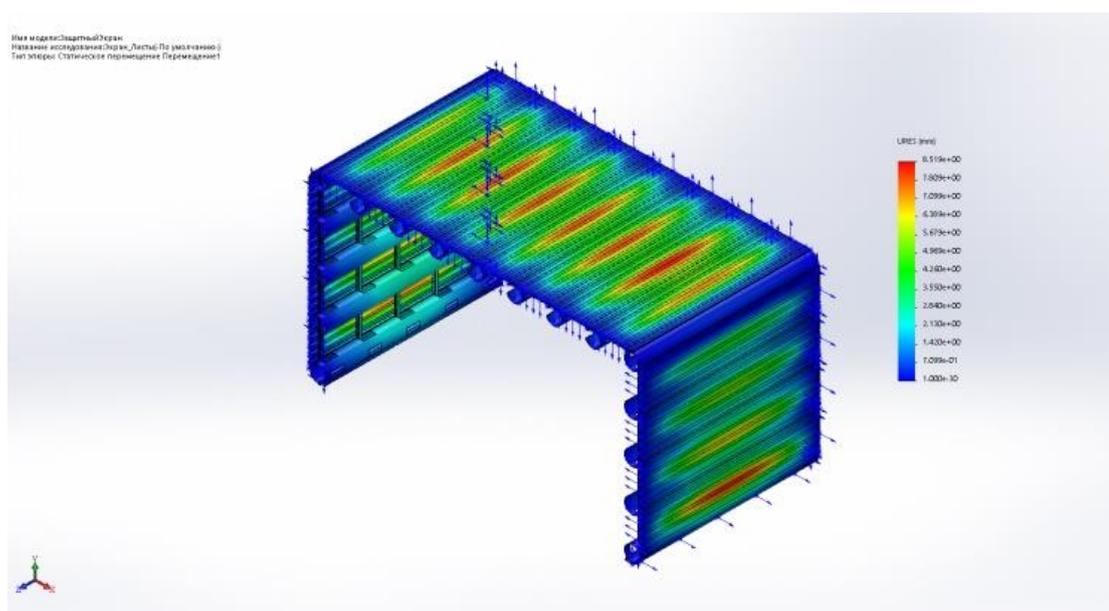


Рис.6 Результаты исследования перемещений, возникающих в защитном экране.

#### Литература

1. Проектирование тоннелей. Метод ADECO-RS // Дорожная держава. – СПб.: Отраслевая медиа-корпорация “Держава”, 2010. – №27. – с.18-21.
2. Патент № 121860 U1, Российская Федерация, МПК7 E21D 9/04, E21D 29/02. Секция защитного экрана : № 2012119721/03 : заявл. 14.05.2012, : опубл. 10.11.2012, / Сон И. Б., Ким В. М., Ананидзе Г. А., Коньков А. А., Зубов В. А. ; патентообладатель И. Б. Сон.
3. Патент № 2501953, Российская Федерация, МПК7 E21D 9/04, E21D 11/04. Способ создания защитного экрана : № 2012119720/03 : заявл. 14.05.2012, : опубл. 20.12.2013, / Сон И. Б., Ким В. М., Ананидзе Г. А., Коньков А. А., Зубов В. А. ; патентообладатель И. Б. Сон.
4. ТКП 45-1.03-44-2006 (02250) / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь – Минск: Минстройархитектуры, 2007 – 37 с.