

DOI: 10.26730/1999-4125-2019-1-66-77

УДК 622

**РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ДЛЯ СИСТЕМ ГРУНТОПРИГРУЗА  
ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЗАКРЫТЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК И ПОДХОДОВ  
ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ К ПРОДУКТИВНЫМ ПЛАСТАМ ЧЕРЕЗ  
АЛЛЮВИАЛЬНЫЕ И СМЕШАННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ФОРМАЦИИ  
МЕХАНИЗИРОВАННЫМ СПОСОБОМ**

**DEVELOPMENT OF A STRUCTURAL SCHEME FOR SOIL-LOADING SYSTEMS  
DURING THE CONSTRUCTION OF CLOSED MINE WORKINGS AND  
APPROACHES OF RECTANGULAR CROSS SECTION TO PRODUCTIVE  
STRATA THROUGH ALLUVIAL AND MIXED GEOLOGICAL FORMATIONS IN  
A MECHANIZED WAY**

Анищенко Василий Иванович<sup>1</sup>,  
инженер, исполнительный директор  
Vasily I. Anischenko<sup>1</sup>, Engineer, Executive Director  
Атрушкевич Виктор Аркадьевич<sup>2</sup>,  
доктор техн. наук, профессор  
Victor A. Atrushkevich<sup>2</sup>, Dr. Sc. in Engineering, Professor

<sup>1</sup>ООО «Спецмодульпроект», 241022, г. Брянск, ул. Афанасьева, 19-59

<sup>1</sup>LLC Spetsmodulproekt, 241022, Bryansk, ul. Afanasyev, 19-59

<sup>2</sup>Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», 119049, Россия, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4,

<sup>2</sup>National University of Science and Technology MISIS, 2, Leninskiy prospekt, Moscow, 119049, Russian Federation

**Аннотация:** Данная статья раскрывает суть взаимной работы систем и агрегатов механизированного проходческого комплекса в крайне неустойчивых геологических условиях: в несвязном грунте, грунте с критическим углом внутреннего трения при значительном водопритоке и неоднородном горном массиве. Авторы описывают систему грунтопригруза на одном из тоннелепроходческих комплексов квадратного сечения, объясняют особенности конструкции элементов системы поддержания стабильности забоя при помощи правильного выбора режимов проходки в различных условиях и контроля параметров забойной камеры, применения пены, глинистых растворов, полимеров для кондиционирования грунта и предотвращения просадок и иных аварийных ситуаций, а также предоставляют схему расположения узлов и агрегатов на борту ТПМК и на дневной поверхности.

**Ключевые слова:** дневная поверхность, грунтопригруз, забойная камера, забой, EPB щит, став, пеногенератор.

**Abstract:** The article discloses the aspects of coordinated functioning of all constituents of earth pressure balance system in one tunnel boring machine for alluvial and mixed ground conditions: in unconsolidated non-homogeneous geological formations with high water table. The authors introduce the earth pressure balance system of one of rectangular TBMs, describe the design features of the elements of the balance system maintaining the stability of the face, give the guidelines for the correct choice of tunneling modes in various soil conditions. They also disclose the major working principles of systems for feeding foam, bentonite and polymers to control the face pressure and prevent subsidence and emergency situations, and they present as well the layout scheme of all assemblies and units on board of a tunnel boring machine and on the surface.

**Key words:** surface of the day, grunt, loading chamber, face, EPB shield, becoming, foam generator.

Системы активного грунтопригруза (11), применяемые в современных механизированных проходческих комплексах (1), (6) используют давление грунта в забое тоннелепроходческой машины для стабилизации давления в забойной камере. Забойная камера отделяется от обитаемого пространства герметичной диафрагмой, в которой может быть создано избыточное давление, называемое давлением активного пригруза на забой. Данная система позволяет вести проходку безопасно для персонала и с минимальными геологическими рисками в местах, где открытая выработка связана с нестабильностью горного массива (2,12). Эффективность и безопасность процесса при этом полностью зависят от правильного функционирования системы грунтопригруза. В России механизированные проходческие комплексы чаще применяют для строительства тоннелей транспортного и коммунального назначения и реже – для устройства подходов к горным выработкам (12). Цель данной статьи – интеграция всех устройств, которые так или иначе связаны с системой грунтопригруза, в одну общую схему, на основе которой можно спроектировать систему грунтопригруза механизированных щитовых комплексов. В открытых источниках можно найти информацию о том, как каждый из этих компонентов работает в отдельности, однако разработка единой схемы взаимодействия всех элементов для российских щитов ранее не производилась.

Щит с грунтовым пригрузом особенно часто

используется в связанных грунтах с большим содержанием глины, суглинка и/или ила, которые имеют низкую водопроницаемость.

В приведенной таблице гранулометрический состав грунта является одним из критериев выбора правильного метода стабилизации забоя: грунто- или гидропригруза (10, 11).

Для предотвращения просадок (8) отработанный материал, разработанный рабочим органом, используется для поддержания забоя тоннеля во время проходки.

Для того, чтобы обеспечить поддержку забоя, отработанный грунт должен обладать следующими характеристиками:

- высокой пластичностью,
- консистенцией от жидкой до мягкой,
- низким внутренним трением,
- низкой водонепроницаемостью.

Придать грунту эти характеристики без кондиционирования грунта в процессе проходки невозможно. Отработанный грунт должен кондиционироваться при помощи различных полимеров и специальных пенных растворов (3) для того, чтобы грунт можно было транспортировать, однако изменения в грунтовой массе должны быть приняты во внимание в процессе проходки.

Грунтовой массив разрабатывается при помощи специального режущего инструмента, смонтированного на режущем рабочем органе, и сквозь отверстия в рабочем органе попадает в приемную





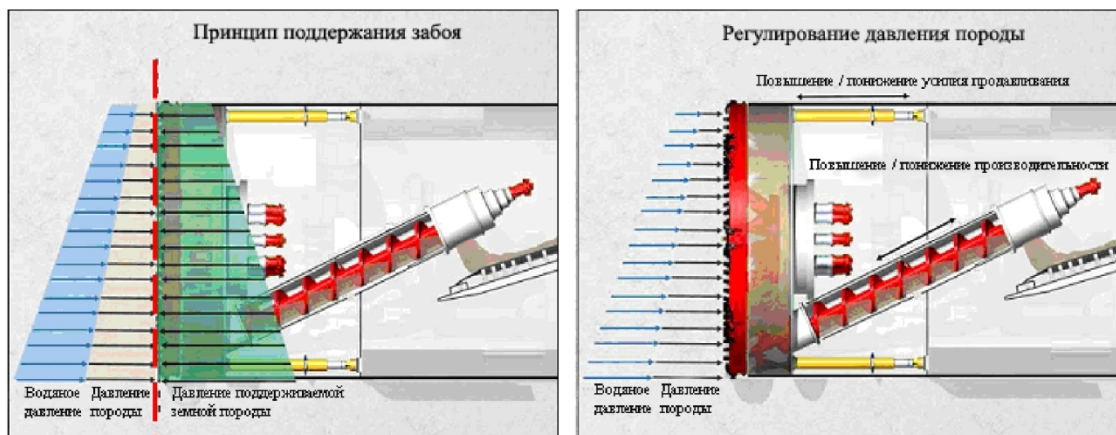


Рис. 2. Принцип поддержания забоя и принцип регулирования давления породы

камеру. Там происходит смешивание с уже существующей пластичной массой. Усилие продавливания передается на грунтовую массу через герметическую перегородку для того, чтобы предотвратить попадание грунта в приемную камеру. Когда давление грунтовой массы уравнивается с давлением грунтового массива и давлением грунтовых вод, мы получаем необходимый баланс. Текущее давление грунтового массива в призабойном пространстве приблизительно соответствует давлению всего грунтового массива. Последующее увеличение давления со стороны щита приведет к разбалансировке и образованию излишков грунта в призабойном пространстве и приемной камере, что в свою очередь приведет к вспучиванию грунта на поверхности и перед щитом. С понижением давления на забой отработанный грунт может попадать в приемную камеру, и тем самым будут образовываться усадки дневной поверхности. Применение кондиционирующих добавок дает возможность добиться равномерности свойств грунта в забойной камере. Однако следует понимать, что щиты с квадратным сечением имеют свои особенности. Главная сложность при работе с ними состоит в том, чтобы равномерно воздействовать на забой одним или несколькими рабочими органами, а также кондиционировать остатки грунта в нижних углах забойной камеры.

При помощи шнекового конвейера отработанный грунт транспортируется из приемной камеры, находящейся под давлением, в тоннель. Для того, чтобы осуществить передачу материала в тележку из выходного отверстия шнека при открытом затворе, водонепроницаемость грунта должна быть как можно меньше во избежание попадания воды с грунтом в тоннель.

На давление грунтового массива влияют следующие факторы (3,4):

- скорость проходки,
- количество отработанного материала,
- применение добавок для

кондиционирования грунта.

Во время проходки с заданной скоростью, грунтовое давление обычно регулируется посредством изменения скорости вращения шнека. Когда отработанный грунт выдвигается быстрее из-за большей скорости вращения шнека, грунтовое давление падает. Когда грунт выдвигается более медленно, грунтовое давление повышается. В общем, представляется возможным регулировать грунтовое давление посредством изменения скорости проходки. Понижение скорости проходки приведет к уменьшению грунтового давления, повышение скорости проходки приведет к увеличению грунтового давления.

Целью кондиционирования грунта в забойной камере является поддержание грунтового давления постоянным во время ведения проходки. Давление, создаваемое в приемной камере, служит для компенсации давления забоя (перед рабочим органом) для предотвращения усадок грунта.

При помощи датчиков грунтового давления, которые установлены в различных положениях на герметичной перегородке на панели управления, можно видеть значения давлений.

Скорость вращения режущего рабочего органа может изменяться во время проходки для смешивания и кондиционирования грунта и для уменьшения угла закручивания щита.

Все данные и необходимые процессы для управления щитом сосредоточены на панели управления щитом. Скорость проходки, скорость вращения режущего рабочего органа, скорость вращения шнекового конвейера и другие операционные циклы могут быть изменены с панели управления.

Регулируя давления в цилиндрах продавливания, щит может поворачивать в соответствии с заданным направлением при помощи навигационной системы.

В целях обеспечения безопасности проходки очень важно снизить усадку дневной поверхности

до абсолютного минимума.

Следующие факторы оказывают влияние на масштаб усадок во время проходки (5):

- неожиданное изменение грунтовых условий;
- недостаточное давление на забой;
- недостаточное давление на грунтовый массив вокруг щита;
- подвижки грунта, вызванные движением по кривой и регулировкой положения щита при помощи цилиндров управления;
- высокое трение, вызванное недостаточной смазкой кольцевого зазора между трубой и грунтовым массивом;
- правильное заблочное нагнетание цементного раствора для заполнения кольцевого зазора.

Авторы статьи проектировали схему работы грунтопригруза для щита прямоугольного сечения размером 4х4 метра. Проектом была предусмотрена полузакрытая конструкция режущего рабочего органа на четырех точках опоры (рама на кривошипях), что обеспечивало равномерное воздействие на забой.

Окна в конструкции режущего рабочего органа (7) повышают проходимость отработанного грунта от передней части ротора до задней части ротора для того, чтобы облегчить прохождение грунта на шнековый конвейер. Все окна на режущем рабочем органе специально рассчитаны и сконструированы для того, чтобы обеспечить оптимальное движение отработанного материала. Система ротора и статора расположена позади режущего рабочего органа и на передней части герметичной перегородки, что должно способствовать правильному замешиванию и кондиционированию грунта.

Регулировка давления в приемной камере осуществляется посредством изменения скорости продавливания щита, скоростью вращения шнекового конвейера, количеством пены и стабильностью смеси грунт + пена. Увеличение скорости продавливания щита или уменьшение скорости вращения шнека в обоих случаях служит для повышения предельного давления. И наоборот, уменьшение скорости продавливания щита и увеличение скорости вращения шнека приводит к уменьшению предельного давления пригруза.

В забое и шнеке предусмотрен ряд датчиков давления, смонтированных на герметичной перегородке со стороны приемной камеры с диапазоном измерения от 0 до 2 бар. Значения давлений отображаются на панели управления щита.

Знание расположения датчиков давления позволяет нам определить предельные значения для максимального среднего грунтового давления, которое определяется проектной организацией, и максимальную разницу давлений.

Объединение этих параметров посредством программируемого логического контроллера

позволяет производить постоянный и автоматический мониторинг предельного давления в приемной камере.

В дополнение к методам мониторинга разработки грунта и усадок поверхности, существуют другие возможности.

Существует три косвенных способа расчета объема отработанного грунта с использованием доступных или расчетных параметров транспорта отработанного грунта и системы складирования. Первым из этих способов является скорость вращения шнека и теоретическое смещение шнека, что является индикатором отработанной породы. Вторым способом расчета объема отработанного грунта может быть получен из механизма натяжения ленты и плотности отработанного грунта. Третьим способом измерения объема отработанного грунта является измерение объема отвала отработанного грунта на поверхности.

Погрешность измерения объема отработанной породы для ограничения усадки дневной поверхности должна быть в пределах 1%. Ни один из выше-названных способов не может предоставить информацию об этой погрешности (обычно ни один процесс не может предоставлять информацию о погрешности – погрешность может обеспечиваться) но некоторые успешные результаты могут быть получены благодаря тщательному изучению и факторизации параметров измерения на ранних стадиях проходки. Это означает, что контроль давления грунтопригруза является основополагающим фактором для безопасности проходки. При создании давления грунтопригруза грунт смешивается с пеной, образуя кондиционированную смесь, которая остается стабильной лишь некоторое время. В случае использования качественной пены с мелким размером пузырьков и высокой реологией пенообразователя давление смеси в забое можно удерживать в течение нескольких часов; в случае, когда пузырьки пены изначально имеют большой размер, давление в забое можно удерживать только очень короткое время, по прохождению которого воздух выйдет в свод забойной камеры, а грунт уплотнится на дне, что создаст опасность потери стабильности грунтового массива.

Ниже – фотография, которая показывает качественную пену на выходе из пеногенератора.

Принцип производства пены для режима работы с компенсацией давления горных пород основан на соединении воздуха с пенящейся жидкостью. Смешивание воды и тензида в жидкую среду происходит в области технологических тележек. При этом тенсид из бака для тензида с помощью дозирующего насоса и воды из технического трубопровода через расходомер подается в соответствующие трубопроводы для жидкой среды.

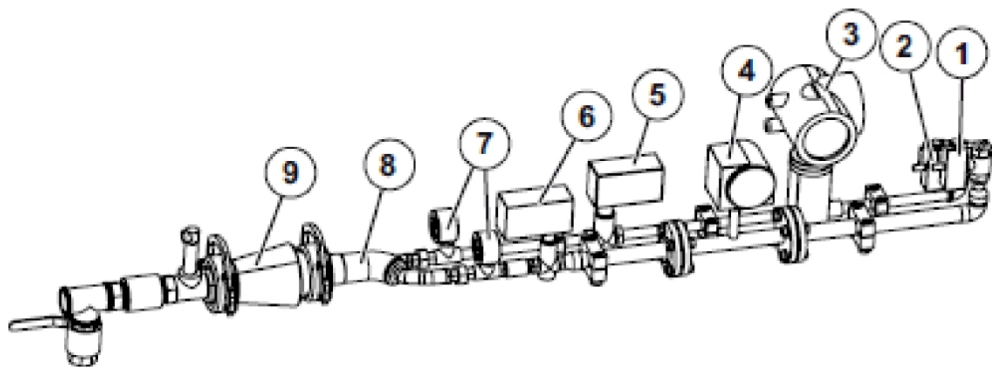
Создание собственно пены происходит в нескольких пенных форсунках (3). В данной



модификации машины предлагается подавать пену \_\_\_\_\_ скорости проходки, опорного давления и предвари-



Рис. 3. Подача пены на выходе из вспенивателя



1	шаровой кран с пневмоприводом	6	вентиль сжатого воздуха регулировки двигателя
2	шаровой кран с пневмоприводом	7	напорный трубопровод
3	расходомер жидкой среды	8	индикатор давления
4	расходомер сжатого воздуха	9	смеситель
5	регулятор двигателя жидкой среды		трубка подачи пены

Рис. 4. Общая упрощенная схема устройства пеногенератора

постоянно из четырех форсунок, при этом общее количество форсунок для подачи пены должно быть шесть, на две больше, чем традиционно устанавливается в щиты с той же площадью забоя (4x4 метра): четыре форсунки в забое и две в шнеке; учитывая небольшую длину шнека, пена может стабилизировать давление в забое.

Оба компонента дозируются с помощью программируемых элементов управления и систем для измерения расхода и подаются в пеногенераторы (3). Настройки изменяются в зависимости от

тельно заданной рецептурной настройки. Эти режимы могут использоваться в соответствии с конструкцией установки в ручном, полуавтоматическом или автоматическом режиме.

С помощью управляемых шаровых кранов оператор машины должен иметь возможность дополнительно с помощью элементов стенда управления вводить пену в следующие места:

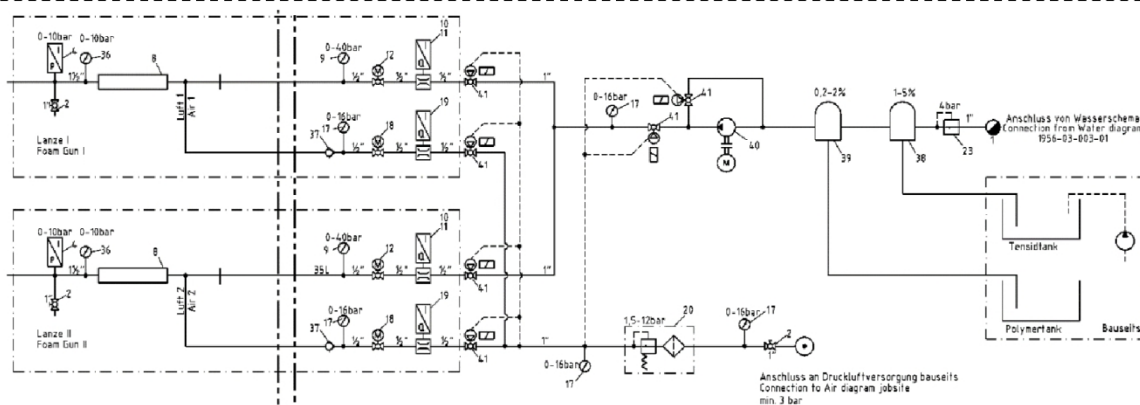


Рис. 5. Гидравлическая схема устройства, соединяющего два пеногенератора

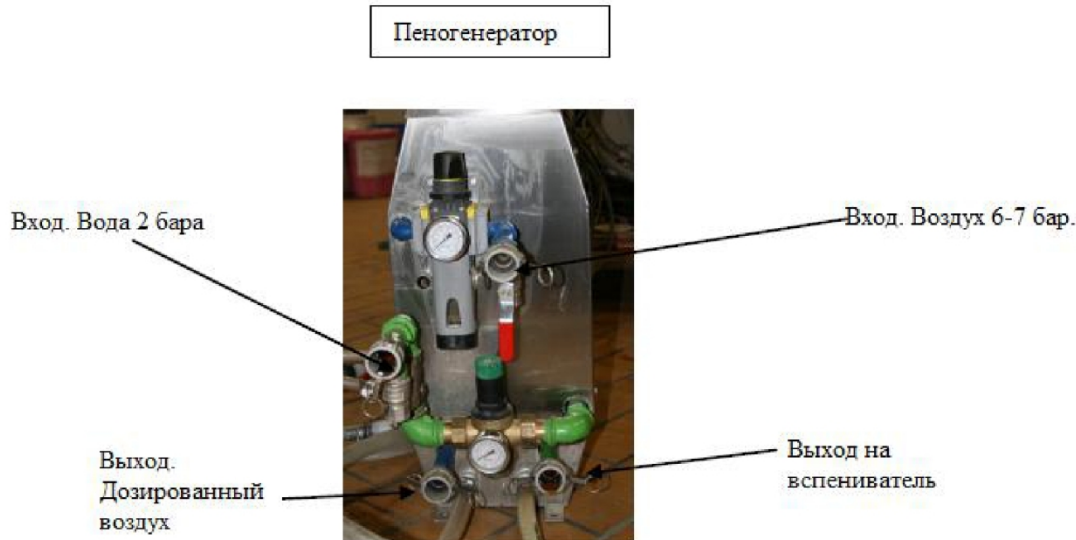


Рис. 6. Обвязка пеногенератора

- корпус щита (консоли для перемешивания грунта или непосредственно на забой из форсунок в переборке из-за невозможности расположить пенопроводы в коленвале привода рабочего органа);

- шнековый транспортер

Использование пен в качестве кондиционеров особенно эффективно при неоднородных почвах с высокой плотностью в режиме работы щита с компенсацией давления горных пород (3).

Технологические преимущества применения пены:

- передача опорного давления в забое,
- достаточная пластичность,
- низкую водопроницаемость,
- выраженная упругость,
- сокращение прилипания к ТПМК.
- сокращения износа,
- сокращение приводной мощности.

Для производства пены в проходческой машине используются пеногенераторные установки (3). Пеногенераторная установка состоит из следующих компонентов:

- бак для тенсида,

- устройство регулировки подачи жидкой среды,

- устройство регулировки подачи сжатого воздуха,

- компрессорная установка / подача сжатого воздуха,

- пеногенераторы,

- блок управления и измерительное оборудование,

- переключение на воду для промывки.

Гидравлическая схема устройства, соединяющего два пеногенератора, может выглядеть как указано на рисунке 5.

В случае с четырьмя пеногенераторами структурная схема значительно не изменится и будет выглядеть как указано на рисунке 7.

Давайте рассмотрим компоненты пеногенераторной установки в отдельности.

1) Вспениватель должен располагаться максимально близко к забою и форсункам подачи пены. На каждый канал подачи пены необходимо установить отдельный вспениватель (рис. 8)

### Характеристики пеногенератора для ТПМК с по-

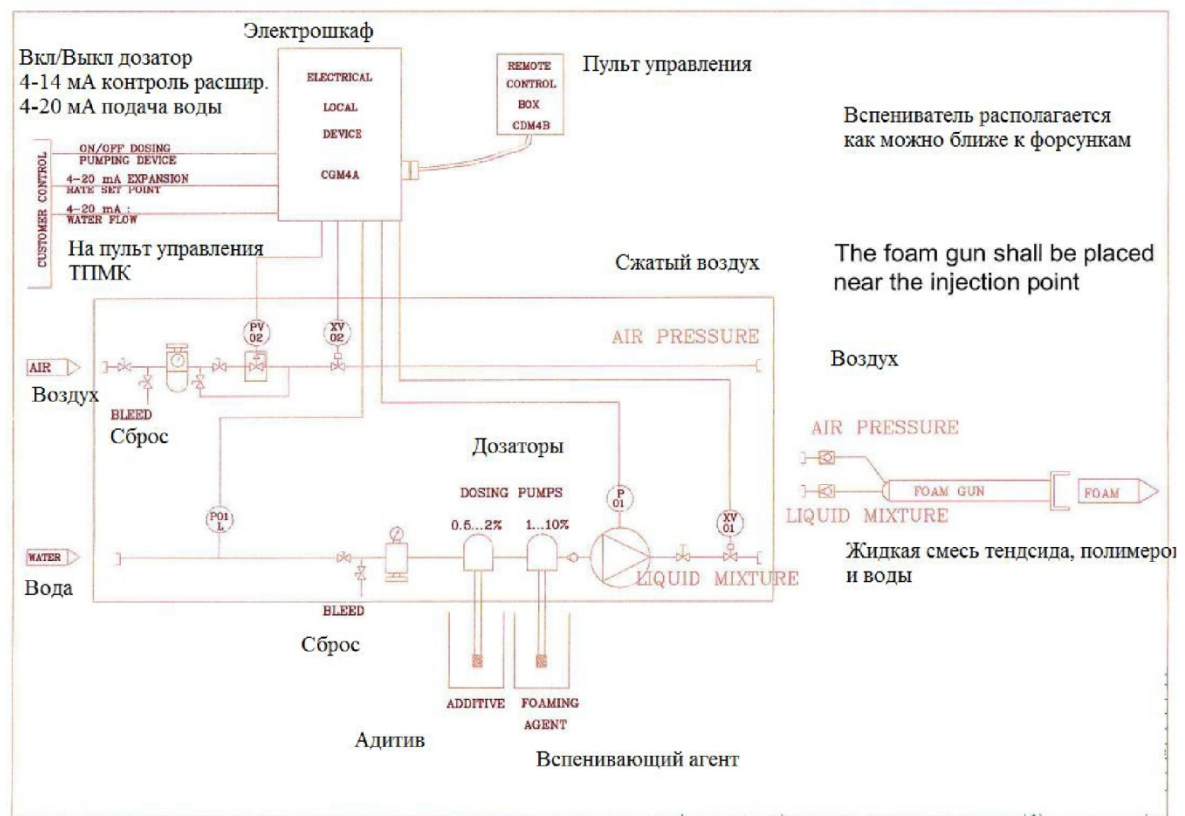


Рис. 7. Схема устройства пеногенератора, предлагаемая для разрабатываемого ТПМК. На последующих этапах работы схема подлежит уточнению в части трубной обвязки и системы клапанов.



Рис. 8. Вспениватель

2) Пульт дистанционного управления. Пульт должен располагаться как можно ближе к электро-распределительному шкафу на расстоянии максимум 60 метров от него независимо от производителя (рис. 9).

3) Пеногенератор должен находиться обязательно в горизонтальном положении в технологической тележке, ближайшей к забою (рис. 10).

Для проектирования тоннелепроходческого комплекса нам необходимо представлять размеры и вес пеногенераторных установок и их частей.

добным сечением будут следующими:

Размеры: электрический шкаф – 600×400×250, пеногенератор – 1050×600×300, вспениватель – 900×170, размер емкости для тенсидов – 1 еврокуб.

1. Предварительный вес пеногенератора с распределительным шкафом – около 300 кг.

2. Количество датчиков давления грунтопригруза: 4 в забое + 2 в шнеке. 2 бара от 4 до 20 мА.





Рис. 9. Общий вид пульта управления кондиционированием грунта

3. Электрические подключения: 8 х 24В для датчиков, 16х24В для пеногенераторов и управления клапанами, 380В для подачи электроэнергии. Потребляемая мощность пеногенераторной установки – порядка 24 кВт.

4. Подключение сжатого воздуха: 6-8 бар, 50-60 м<sup>3</sup>/час.

5. Подача промышленной воды 2-4 бар, система часто оборудована редукционным клапаном и использует определенное давление, например, 2 бара. Максимальный расход – 1000 л/мин. Максимальный расход используется только для промывки.

6. Коэффициент расширения пены – 35.

7. Рекомендуемые настройки: 0.5 2% для полимерных добавок, 1-10% – для подачи вспенивателя.

8. Положение форсунок – равномерно на забое, обязательно выше и ниже оси проходки.

Некоторые компании используют бентонит в забое машины EPB для следующих целей:

- смазки труб в процессе домкратного продавливания;

- создания фильтрата на забое перед сменой режущих инструментов или проведением иных работ в забое (например, дробления валунов в аварийных ситуациях);

- стабилизации забоя в случае куполообразования или резкого неожиданного падения давления грунтопригруза.

Система подачи бентонита для всех вышеупомянутых целей должна состоять из следующих компонентов:

1. смесительная установка объемом 2-4 м<sup>3</sup> с перемешивателем;

2. накопительная емкость объемом минимум 1,5 объема призабойной камеры;

3. шланги подачи бентонита: однодюймовые шланги после распределительных клапанов, двухдюймовые шланги на основные линии в шахте и тоннеле;

4. линии подачи бентонита в забой – 2

подключения по 2 дюйма в верхней и в нижней части забоя;

5. распределительные клапана в тоннеле через каждые 15 метров. Клапаны могут быть автоматическими или ручными по желанию заказчика;

6. система фильтров бентонита для предотвращения попадания крупной фракции и грязи в клапана. Внимание! Закрытие клапанов для смазки должно производиться до снижения давления в линии.

В случае применения автоматических клапанов следует предусмотреть 24В для работы клапанов в режиме «открыть-закрыть». В системе управления следует предусмотреть возможность поочередного включения и выключения клапанов. Время включения одного клапана от 3 до 5 секунд. Время рассчитывается исходя из эффективности заполнения затрубного пространства.

В процессе продавливания труб гидравлическими домкратами сквозь грунт проталкивается весь став. Таким образом, между стенками трубы и массивом грунта возникают силы трения. Возникновение этих сил трения приводит в свою очередь к увеличению усилия для продавливания труб гидравлическими домкратами. Однако максимальная величина увеличения усилия для продавливания труб гидравлическими домкратами строго ограничена максимально допустимыми нагрузками на трубу.

Для уменьшения трения труба непрерывно смазывается. В процессе продавливания труб гидравлическими домкратами роль смазки играет бентонитовая эмульсия. Она смешивается в смесительном узле на строительной площадке объекта и закачивается посредством бентонитового насоса через шланги в туннель. Через инжекторные насадки в продавливаемых трубах смазка запрессовывается в затрубное пространство под давлением, немного превышающим давление грунтовых вод.

Любой нужный продуктопровод может быть оснащен установкой бетонитовой смазки с шестью или восемью шаровыми клапанами. Установка соединена с главным трубопроводом подачи бетонита. От затворов малые трубопроводы подачи бетонита идут к форсункам для выпуска бетонита, которые расположены по окружности трубы или кольца.

Электрический импульс от пульта управления активизирует клапаны и позволяет бентонитовой эмульсии поступать на выбранные инжекторные насадки. Эмульсия подается в затрубное пространство. Там бетонит формирует фильтрационный слой и смазочную пленку вокруг труб. Таким образом, затрубное пространство стабилизируется. Вследствие этого усилие для продавливания труб гидравлическими домкратами уменьшается, равно как и нагрузка на стены котлована.

Энергопотребление системы подачи бентонита



Рис. 10. Пеногенератор

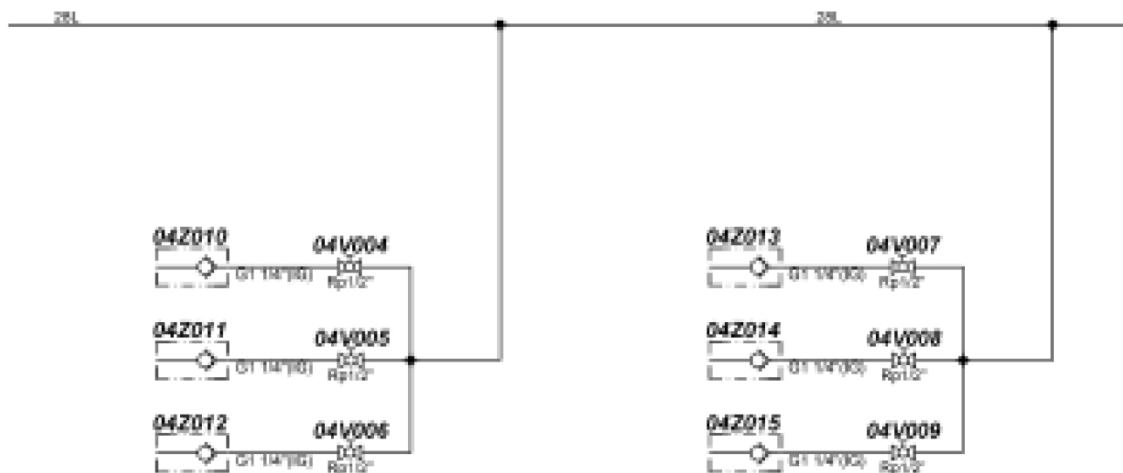


Рис. 11. Схема подачи бентонитовой суспензии для смазки верхней и нижней части трубы

для щитов такого размера – от 50 до 70 кВт.

Схема подачи бентонита для смазки в верхнюю и нижнюю часть трубы может выглядеть как указано на рисунке 11.

Разделение подачи бентонита на верхний и нижний контур может помочь выровнять машину в случае, если возникли сложности с ориентированием комплекса по высоте. Это происходит за счет увеличения или снижения трения верхней или нижней части става.

Учитывая относительно большую площадь поверхности трубы и ее квадратное сечение, разделение контуров может помочь более эффективно управлять ставом в процессе проходки.

Для контроля давления грунтопригруза следует использовать аналоговые датчики давления грунтопригруза от 4 до 20 мА. Аналоговый сигнал от датчика приходит на карту аналогово-цифрового преобразователя и отправляется в контроллер машины в цифровом виде.

Очень важно предусмотреть возможность замены датчиков пригруза без выхода в призабойную камеру.

Датчики давления грунта (9) должны быть расположены на трех уровнях в забое, нижние два датчика должны быть разнесены в углы для определения налипания грунта. Предлагаемый тип датчиков для измерения давления пригруза – BER A



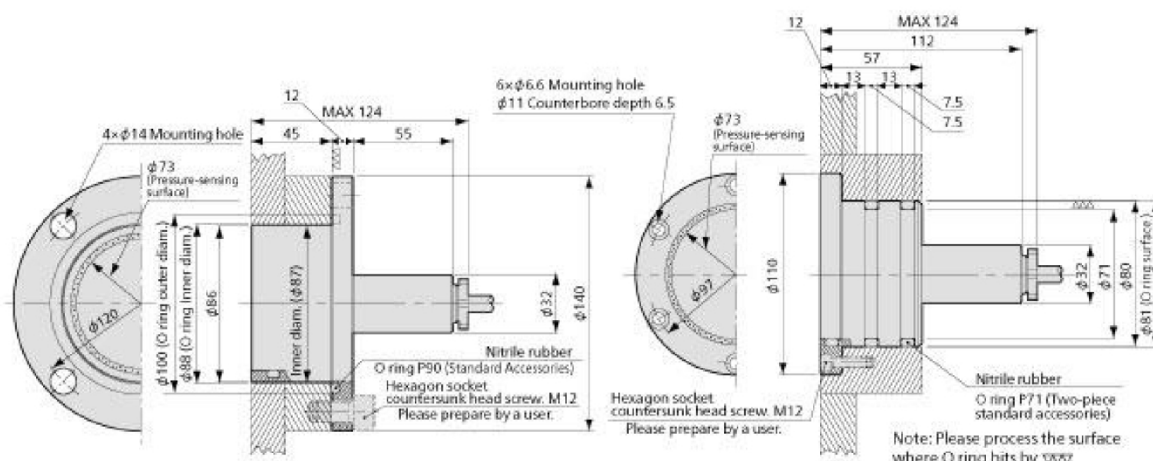


Рис. 12. Датчик давления

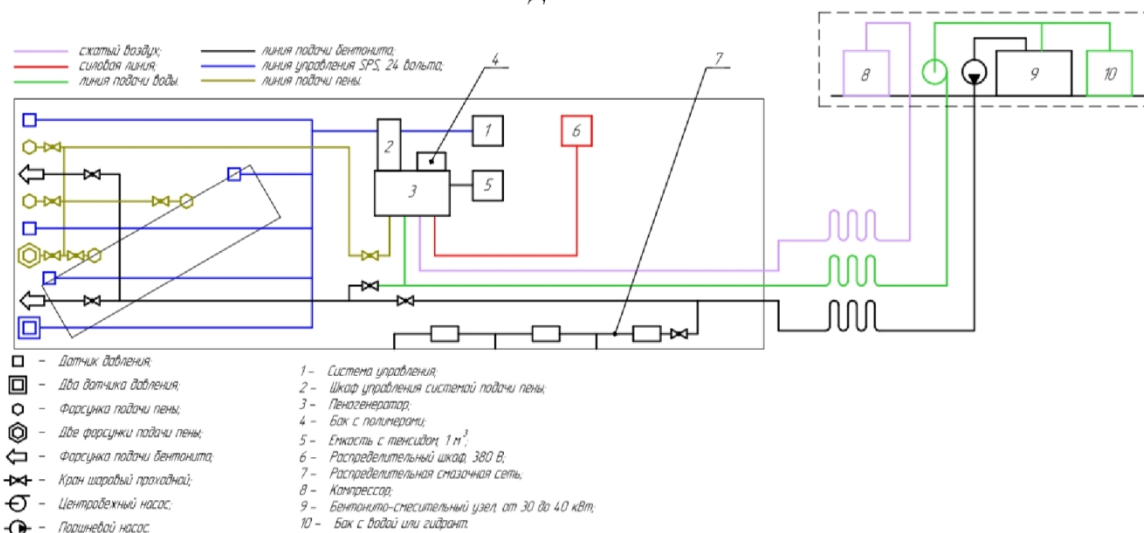


Рис. 13. Схема контроля грунтопригруза и кондиционирования грунта прямоугольного щита размером 4х4м.

500KP12S, тип усилителя – DR7DC производства Phimesure. Можно использовать эквивалентные датчики производства компаний Wika и иных производителей. Уточнение типов датчиков и логика их включения в систему управления щитом производится в процессе проектирования комплекса.

Размеры указанных выше датчиков даны на рисунке 12.

На основании вышесказанного мы предлагаем следующую схему расположения элементов системы грунтопригруза для прямоугольного щита размером 4х4 метра (рис. 13).

Данная схема интегрирует основные принципы стабилизации забоя и смазки става, изложенные

выше.

В заключении следует заметить, что при всей своей эффективности применение щитов с грунтопригрузом требует тщательного подхода к контролю давления грунта в забое, что является залогом успешного строительства объектов подземной инфраструктуры. В России нет широкого опыта производства щитов с грунтопригрузом, и мы хотели бы выразить надежду на то, что понимание устройства компонентов и системы грунтопригруза поможет отечественным производителям самостоятельно проектировать и строить проходческую технику.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. «К вопросу о выборе вида тоннелепроходческого механизированного щитового комплекса с активным пригрузом забоя», Г.П. Пастушков, В.А. Кузьмицкий, Автомобильные дороги и мосты/ №1 (11),



2013 УДК 656.342(075.8), стр.77-82.

2. Позлучесть осадочных горных пород. Теория и эксперимент/ Ж.С. Ержанов, А.С. Сагинов, Г.Н. Гуменюк и др. -Алма-Ата: Наука, 1970. – 208 с.
3. Foam conditioning in EPB tunneling M. Thewes & C. Budach Institute for Tunnelling and Construction Management, Ruhr-Universität Bochum, Germany A. Bezuijen Deltares, Delft, The Netherlands, The Researcher, September 2012, pages 127-135.
4. Budach, C. 2010, Neue Untersuchungen zur Konditionierung von Lockergesteinen bei Erddruckschilden, 50 Jahre STUVA 1960–2010: Vergangenheit trifft Zukunft, 252–261, Gütersloh: Bauverlag.
5. Rechitsky V.V. „Investigation of the day surface settlement profile in tunneling". In: Underground Space and Rock Mechanics. S.A.Yufin (ed.). pp.128-133, TA Engineering, Moscow, 2005. (Научная библиотека диссертаций и авторефератов disserCat <http://www.dissercat.com/content/prognozirovanie-deformatsii-dnevnoi-poverkhnosti-pri-prokhodke-tunnei#ixzz5eZ4amrqP>)
6. Ю.С. Фролов, Т.В. Иванес, Сооружение тоннелей щитами с активным пригрузом забоя. Учебное пособие. Санкт-Петербург, 2011 год, Петербургский государственный университет путей сообщения, стр.33-68
7. Т.В. Иванес, Тоннели сооружаемые щитовым способом Методические указания для курсового и дипломного проектирования. Петербургский государственный университет путей сообщения, Санкт-Петербург, 2008 г, с. 12-18
8. A Review on Selection of Tunneling Method and Parameters Effecting Ground Settlements
9. Tarkoy, P. J. and J. E. Byram (1991). "The advantages of tunnel boring: a qualitative/quantitative comparison of D&B and TBM excavation." Hong Kong Engineer 19(1): 30-36.
10. Burger, W. (2014). "Multi - mode tunnel boring machines/Multi - Mode Tunnelvortriebsmaschinen." Geomechanics and Tunnelling 7(1): 18-30
11. Sharma, P. D. (2011). "Tunnel Construction Methods and their comparison." Retrieved 23 March 2016, from <https://miningandblasting.wordpress.com>
12. В.И. Городниченко, А.П. Дмитриев, Основы горного дела, Москва, Издательство «Горная книга», 2008, Глава 7. Подземные горные работы, с 215-283.
13. "СП 249.1325800.2016. Свод правил. Коммуникации подземные. Проектирование и строительство закрытым и открытым способами" (утв. Приказом Минстроя России от 08.07.2016 N 485/пр)
14. Nihat Dipova Akdeniz University, Department of Civil Engineering, Antalya, Turkey, Determining the Grain Size Distribution of Granular Soils Using Image Analysis, Acta Geotechnica Slovenica, 2017/1, pp. 29-37

## REFERENCES

1. «К вопросу о выборе вида тоннелепроходческого механизированного шчитового комплекса с активным пригрузом забоя», G.P. Pastushkov, V.A. Kuz'mickij, Avtomobil'nye dorogi i mosty/ №1 (11), 2013 УДК 656.342(075.8), стр.77-82.
2. Pozluchest' osadochnyh gornyh porod. Teoriya i eksperiment/ ZH.S. Erzhanov, A.S. Saginov, G.N. Gumenyuk i dr.-Alma-Ata: Nauka, 1970. – 208 s.
3. Foam conditioning in EPB tunneling M. Thewes & C. Budach Institute for Tunnelling and Construction Management, Ruhr-Universität Bochum, Germany A. Bezuijen Deltares, Delft, The Netherlands, The Researcher, September 2012, pages 127-135.
4. Budach, C. 2010, Neue Untersuchungen zur Konditionierung von Lockergesteinen bei Erddruckschilden, 50 Jahre STUVA 1960–2010: Vergangenheit trifft Zukunft, 252–261, Gütersloh: Bauverlag.
5. Rechitsky V.V. „Investigation of the day surface settlement profile in tunneling". In: Underground Space and Rock Mechanics. S.A.Yufin (ed.). pp.128-133, TA Engineering, Moscow, 2005. (Nauchnaya biblioteka dissertacij i avtoreferatov disserCat <http://www.dissercat.com/content/prognozirovanie-deformatsii-dnevnoi-poverkhnosti-pri-prokhodke-tunnei#ixzz5eZ4amrqP>)
6. YU.S. Frolov, T.V. Ivanes, Sooruzhenie tonnelej shchitami s aktivnym prigrustom zaboya. Uchebnoe posobie. Sankt-Peterburg, 2011 god, Peterburgskij gosudarstvennyj universitet putej soobshcheniya, str.33-68
7. T.V. Ivanes, Tonneli sooruzhaemye shchitovym sposobom Metodicheskie ukazaniya dlya kursovogo i diplomnogo proektirovaniya. Peterburgskij gosudarstvennyj universitet putej soobshcheniya, Sankt-Peterburg, 2008 g, s. 12-18
8. A Review on Selection of Tunneling Method and Parameters Effecting Ground Settlements
9. Tarkoy, P. J. and J. E. Byram (1991). "The advantages of tunnel boring: a qualitative/quantitative comparison of D&B and TBM excavation." Hong Kong Engineer 19(1): 30-36.
10. Burger, W. (2014). "Multi-mode tunnel boring machines/Multi-Mode Tunnelvortriebsmaschinen." Geomechanics and Tunnelling 7(1): 18-30

11. Sharma, P. D. (2011). "Tunnel Construction Methods and their comparison." Retrieved 23 March 2016, from <https://miningandblasting.wordpress.com>
12. V.I. Gorodnichenko, A.P. Dmitriev, *Osnovy gornogo dela*, Moskva, Izdatel'stvo «Gornaya kniga», 2008, Glava 7. Podzemnye gornye raboty, s 215-283.
13. "SP 249.1325800.2016. Svod pravil. Kommunikacii podzemnye. Proektirovanie i stroitel'stvo zakrytym i otkrytym sposobami" (utv. Priказом Ministroya Rossii ot 08.07.2016 N 485/pr)
14. Nihat Dipova Akdeniz University, Department of Civil Engineering, Antalya, Turkey, Determining the Grain Size Distribution of Granular Soils Using Image Analysis, *Acta Geotechnica Slovenica*, 2017/1, pp. 29-37

Поступило в редакцию 19.02.2019

Received 19 February 2019