

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(11) 047744

(13) B1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2024.09.04

(21) Номер заявки
202392858

(22) Дата подачи заявки
2023.10.06

(51) Int. Cl. *B61B 1/00* (2006.01)
B61B 13/10 (2006.01)
B61C 5/00 (2006.01)
E02D 29/00 (2006.01)

(54) ГИПЕРСКОРОСТНОЙ ТРАНСПОРТНЫЙ КОМПЛЕКС

(43) 2024.08.30

(96) 2023/ЕА/0064 (ВУ) 2023.10.06

(71)(72)(73) Заявитель, изобретатель и
патентовладелец:

**ЮНИЦКИЙ АНАТОЛИЙ
ЭДУАРДОВИЧ (ВУ)**

(74) Представитель:
Гончаров В.В. (ВУ)

(56) US-A-20160325759
EA-B1-020824
EA-B1-037983
EA-B1-038723

(57) Изобретение относится к области высокоскоростного транспорта, в частности к магистральным транспортным системам для перевозки пассажиров и грузов, и направлено на снижение энергетических затрат для обеспечения движения транспортного средства в форвакуумном тоннеле со скоростью от 900 км/ч, а также на повышение эффективности использования объема транспортного средства. Представлен гиперскоростной транспортный комплекс Юницкого, который включает самоходное колёсное транспортное средство, содержащее корпус с силовой установкой и системой обеспечения её окислителем, включающей резервуар с окислителем, для перемещения по предварительно напряжённой растяжением путевой структуре, расположенной в герметичном тоннеле, снабжённом на остановках шлюзами, причём тоннель выполнен в виде трубы, предварительно напряжённой в продольном направлении растягивающим усилием, а корпус транспортного средства выполнен в виде тела вращения и расположен эквидистантно внутренней поверхности тоннеля. Силовая установка транспортного средства выполнена в виде двигателя на метановом топливе, связанного газопроводом с газозаборным устройством, при этом тоннель заполнен метаном с разрежением давления Р, Па, составляющим от 0,05 до 0,99 от величины атмосферного давления, а соотношение площади миделевого сечения транспортного средства к площади поперечного сечения тоннеля находится в диапазоне от 0,05 до 0,5.

B1

047744

047744

B1

Изобретение относится к области высокоскоростного транспорта, в частности к магистральным транспортным системам для перевозки пассажиров и грузов, обеспечивающим движение в пространстве по траектории, заданной рельсом путевой структуры.

На сегодняшний день именно гиперскоростная транспортная система (в которой обеспечивается скорость движения, сравнимая со скоростью звука и превышающая её) является перспективным способом транспортировки, способная обеспечить высокую эффективность и экономичность передвижения [1]. Для достижения экономической целесообразности строительства подобных систем требуется применение комплекса специальных решений, позволяющих оптимизировать параметры и условия движения, строительства и обеспечение поддержания бесперебойной работы.

Движение подвижного состава с околозвуковыми скоростями сопряжено с необходимостью расхода огромного количества энергии. Для экономической целесообразности передвижения с высокими скоростями исследователи сходятся во мнении, что подвижной состав должен двигаться в тоннеле в среде разреженного воздуха [2], поскольку требуемая энергия на преодоление аэродинамического сопротивления снижается пропорционально росту разреженности среды внутри форвакуумного тоннеля.

Известна сверхзвуковая наземная транспортная система Янсуфина, содержащая транспортное средство с вагонами, оборудованными в нижней части ротором линейного двигателя, суперэлектромагнитами и суперпостоянными магнитами. Статор линейного двигателя установлен на сооружённых на трассе опорах и выполнен со сверхпроводниковой обмоткой, охлаждаемой жидким гелием, а также с суперэлектромагнитами и суперпостоянными магнитами, ориентированными полюсами с возможностью создания магнитной подушки. На опорах установлена цельнометаллическая воздухонепроницаемая магистральная труба, составленная из отдельных труб, соединённых между собой герметично посредством кольцевых сильфонов. На конечных и на промежуточных пунктах остановки транспортного средства выполнены шлюзы. Вагоны оборудованы открывающимися наружу дверями. По всей длине трассы на магистральной трубе установлены отрегулированные на автоматическую работу вакуум-насосы, а сверху магистральной трубы, преимущественно на стыках отдельных труб, установлены ветроэнергетические установки [3].

Известна также транспортная система, которая состоит из транспортного средства - летательного аппарата и электротранспортной линии. Транспортное средство состоит из вагонов, соединённых между собой межвагонными переходами. Корпус транспортного средства состоит из отдельных отсеков и заполняется газом легче воздуха. Вагоны состоят из пассажирских салонов и отсеков для грузов. Имеются регулятор высоты и рули поворота, электрическая азотурбина. Электротранспортная линия включает в себя транспортные мачты и рельсы. По рельсам скользит каретка, передающая электроэнергию через токопроводящие щетки от рельса, по которому подается напряжение для транспортного средства. Впереди транспортного средства находятся очистные ножи, которые подготавливают и чистят рельсы от внешнего загрязнения. В случае аварии транспортное средство отстреливается от линии [4].

Известна сверхскоростная транспортная система с электропоездом, содержащая рельсовый путь, контактный провод, вагоны, токоприёмник, приводные ходовые тележки с электрическими и пневматическими тормозами, органы управления. Рельсовый путь расположен в железобетонном путепроводе закрытого типа в наземном или подземном положении. В качестве вагонов используют фюзеляж самолета, для боковой устойчивости вагонов на кривых участках рельсового пути над вагонами в путепроводе предусмотрен специальный рельс, охватываемый роликами, смонтированными на крыше вагонов. Рельсовый путь в начале движения направлен под уклон, который при обратном движении является подъёмом и помогает осуществлять более эффективное торможение в конце пути, с этой же целью производится отсос воздуха из путепровода со стороны станции назначения и нагнетание воздуха со стороны станции отправления [5].

Для указанных транспортных систем характерны низкий коэффициент полезного действия, высокая стоимость инфраструктуры (особенно по обеспечению левитации транспортного средства на протяжённых участках путевой структуры), существенное увеличение сопротивления воздуха при высоких скоростях движения транспортного средства, при этом в известных конструкциях не в полной мере используются возможности по снижению лобового сопротивления воздушного потока, что ведёт к значительным необоснованным издержкам при их использовании.

Перечисленные недостатки отчасти устраняются наиболее близким по технической сущности и достигаемому положительному эффекту техническим решением по принятому за прототип патенту [6], а именно: посредством гиперскоростного транспортного комплекса Юницкого, который включает самоходное колёсное транспортное средство, содержащее корпус с силовой установкой для перемещения по предварительно напряжённой растяжением путевой структуре, расположенной в герметичном тоннеле, снабжённом на остановках шлюзами, где силовая установка выполнена в виде водородного двигателя, связанного газопроводом с газозаборным устройством, при этом тоннель заполнен водородом под давлением, находящимся в пределах от 500 до 1500 Па, транспортное средство снабжено системой обеспечения водородного двигателя окислителем, включающей резервуар с окислителем, причём тоннель выполнен в виде трубы, предварительно напряжённой в продольном направлении растягивающим усилием, а корпус транспортного средства выполнен в виде тела вращения и расположен эквидистантно внутренней

поверхности тоннеля.

При всей кажущейся рациональности движения в тоннеле, существует и весомый недостаток. С ростом скорости подвижного состава, в зоне между фюзеляжем и внутренней стенкой тоннеля возрастает скорость газовой среды из-за образовавшегося сужения проходного сечения тоннеля. Когда в данном сечении скорость потока среды достигает скорости Маха, возникают силы, препятствующие дальнейшему росту скорости прохождения потока, т. е. возникает эффект поршня [7]. Это, в свою очередь, приводит к существенному повышению давления в носовой части фюзеляжа, и, следовательно, росту энергозатрат, необходимых на достижение и поддержание требуемой высокой скорости.

В основу изобретения положены задачи:

снижения энергетических затрат для обеспечения движения транспортного средства в форвакуумном тоннеле со скоростью от 900 км/ч;

повышения эффективности использования объема транспортного средства.

Техническая цель в соответствии с задачей изобретения достигается посредством гиперскоростного транспортного комплекса Юницкого, который включает самоходное колёсное транспортное средство, содержащее корпус с силовой установкой и системой обеспечения её окислителем, включающей резервуар с окислителем, для перемещения по предварительно напряжённой растяжением путевой структуре, расположенной в герметичном тоннеле, снабжённом на остановках шлюзами, причём тоннель выполнен в виде трубы, предварительно напряжённой в продольном направлении растягивающим усилием, а корпус транспортного средства выполнен в виде тела вращения и расположен эквидистантно внутренней поверхности тоннеля, отличия которого в соответствии с изобретением в том, что силовая установка транспортного средства выполнена в виде двигателя на метановом топливе, связанного газопроводом с газозаборным устройством, при этом тоннель заполнен метаном с разрежением давления P , Па, составляющим от 0,05 до 0,99 от величины атмосферного давления, а соотношение площади миделевого сечения транспортного средства к площади поперечного сечения тоннеля находится в диапазоне от 0,05 до 0,5.

Двигатель на метановом топливе может быть выполнен в виде двигателя внутреннего сгорания.

Двигатель на метановом топливе может быть выполнен и в виде топливных элементов для создания электрической тяги.

В качестве окислителя наиболее целесообразно применение кислорода.

Герметичный тоннель может быть выполнен с круговым сечением с толщиной h , м, стенки, определяемой из соотношения:

$$0,15 \leq h/R \leq 0,5,$$

где R , м - внутренний радиус тоннеля.

Указанный результат достигается также и тем, что транспортное средство размещают в тоннеле с круговым зазором δ , м, соответствующим площади проходного сечения тоннеля, исключающего достижение порога запыления потока газообразной среды в тоннеле.

При этом площадь проходного сечения тоннеля определяется разностью площадей сечения трубопровода и миделевого сечения транспортного средства.

Тоннель может быть размещён над поверхностью земли, и/или в толще земли, и/или в толще воды.

При этом тоннель характеризуется нулевой плавучестью относительно внешней среды его размещения.

Указанный результат достигается также и тем, что носовая и хвостовая части корпуса транспортного средства выполнены конусообразными с S-образной формой профиля при одновременном выполнении условия, что образующие профиля корпуса выполнены криволинейными со знакопеременной кривизной или совокупностью прямолинейных и криволинейных участков, расположенных со знакопеременной направленностью.

Упомянутое газозаборное устройство может быть размещено предпочтительно в носовой части транспортного средства.

Сущность настоящего изобретения поясняется при помощи чертежей фиг. 1-11, на которых изображено следующее:

фиг. 1 - схематичное изображение гиперскоростного транспортного комплекса Юницкого (вариант исполнения);

фиг. 2 - схематичное изображение поперечного сечения тоннеля и путевой структуры с транспортным средством (вариант исполнения);

фиг. 3 - схематичное изображение варианта силовой установки и системы обеспечения транспортного средства (вариант исполнения);

фиг. 4 - схематичное изображение поперечного сечения тоннеля и путевой структуры с транспортным средством (вариант исполнения - в два ряда, в вертикальной плоскости, на опорах над поверхностью земли);

фиг. 5 - схематичное изображение поперечного сечения тоннеля и путевой структуры с транспортным средством (вариант исполнения - в два ряда, в вертикальной плоскости, один - на опорах над поверхностью земли, второй - в толще земли);

фиг. 6 - схематичное изображение поперечного сечения тоннеля и путевой структуры с транспортным средством (вариант исполнения - в один ряд в вертикальной поперечной плоскости, в насыпи на поверхности земли);

фиг. 7 - схематичное изображение поперечного сечения тоннеля и путевой структуры с транспортным средством (вариант исполнения - в один ряд в вертикальной поперечной плоскости, в толще земли);

фиг. 8 - схематичное изображение поперечного сечения тоннеля и путевой структуры с транспортным средством (вариант исполнения - в один ряд в вертикальной поперечной плоскости, в воде на одном уровне);

фиг. 9 - схематичное изображение поперечного сечения тоннеля и путевой структуры с транспортным средством (вариант исполнения - в один ряд в вертикальной поперечной плоскости, под водой, в донном грунте);

фиг. 10 - схематичное изображение поперечного сечения тоннеля и путевой структуры с транспортным средством (вариант исполнения - в один ряд в вертикальной поперечной плоскости, под водой, в насыпи на дне водоёма);

фиг. 11 - схематичное изображение фрагмента гиперскоростного транспортного комплекса Юницкого с шлюзовыми камерами и станциями (вариант исполнения).

Позиции на рисунках:

1 - транспортное средство;

2 - корпус;

3 - силовая установка;

3.1 - двигатель на метановом топливе;

3.2 - газопровод;

3.3 - газозаборное устройство;

4 - система обеспечения силовой установки окислителем;

4.1 - окислитель;

4.2 - резервуар;

5 - путевая структура;

6 - колесо;

7 - рельсовая нить;

8 - тоннель;

8.1 - труба;

8.2 - силовой элемент трубы тоннеля;

9 - основание;

10 - опора;

11 - станция;

12 - шлюз;

13 - насыпь;

14 - вода;

15 - поплавок;

16 - якорь

17 - элемент, связывающий поплавок, тоннель и якорь;

18 - метан;

19 - кислород;

h , м - толщина стенки тоннеля;

R , м - внутренний радиус тоннеля;

δ , м - круговой зазор вокруг транспортного средства;

F , H - усилие растяжения предварительно напряжённой в продольном направлении путевой структуры;

T , H - усилие растяжения предварительно напряжённой в продольном направлении трубы тоннеля;

A - носовая часть корпуса;

B - хвостовая часть корпуса;

C - внутренняя поверхность тоннеля.

Сущность изобретения более подробно заключается в следующем.

Предлагаемый гиперскоростной транспортный комплекс Юницкого (см. фиг. 1 и 2) включает самоходное колёсное транспортное средство 1, содержащее корпус 2 с силовой установкой 3 (см. фиг. 3).

Силовая установка 3 транспортного средства 1 выполнена в виде двигателя 3.1 на метановом топливе, связанного газопроводом 3.2 с газозаборным устройством 3.3. При этом транспортное средство 1 снабжено системой обеспечения 4 двигателя 3.1 на метановом топливе окислителем 4.1, которая включает резервуары 4.2 с окислителем 4.1 (см. фиг. 3).

Силовая установка 3 обеспечивает перемещение транспортного средства 1 по предварительно напряжённой в продольном направлении (растяжением усилием F , H) путевой структуре 5, на которую ко-

лѣсами 6 и установлено транспортное средство 1 (см. фиг. 1-3).

В соответствии с любым из неограниченных вариантов исполнения предлагаемого транспортного комплекса, одним из основных его элементов является путевая структура 5 в виде рельсовых нитей 7, выполненная предварительно напряжённой растяжением в продольном направлении, например, в виде соответствующим образом предварительно напряжённых силовых элементов, размещённых, например, в корпусе рельсовой нити 7 (на чертежах не показано) и представляющих собой витые, и/или невитые канаты, тросы, проволоку, ленты и и/или другие протяжённые элементы из любых прочных материалов.

Указанные силовые элементы рельсовой нити 7 могут быть объединены в силовую структуру, при этом пустоты в корпусе рельсовой нити 7 между её силовыми элементами могут быть заполнены твердеющим материалом (на чертежах не показано) на основе полимерных связующих, композитов или цементными смесями, которые жёстко связывают силовые элементы в силовую структуру, омоноличивая в одно целое рельсовую нить 7 путевой структуры 5 (более подробно структура рельсовых нитей рассмотрена в других патентах, касающихся транспортной системы Юницкого).

Путевая структура 5 расположена в тоннеле 8. Тоннель 8 выполнен в виде герметичной трубы 8.1, предварительно напряжённой в продольном направлении силовыми элементами 8.2, растянутыми усилием Т, Н (фиг. 1).

В качестве силовых элементов 8.2 тоннеля 8 могут быть использованы компоненты, аналогичные силовым элементам рельсовой нити 7, указанные выше.

Выполнение путевой структуры 5 и тоннеля 8 транспортного комплекса предварительно напряжёнными растяжением в продольном направлении позволяет достигнуть существенных преимуществ по сравнению с известными техническими решениями. В частности, позволяет достигнуть требуемой прямолинейности путевой структуры 5, повышения её жёсткости и снижения материалоемкости при обеспечении компенсации температурных расширений как путевой структуры 5, так и тоннеля 8, и тем самым обеспечить повышение надёжности и эффективности работы транспортного комплекса в целом.

В зависимости от проектного решения тоннель 8 может быть размещён как на земле, так и/или в толще воды 15, на дне, и/или может быть расположен под/над землёй (фиг. 1, 4-10).

В зависимости от свойств основания 9, места расположения, набора функций и проектного решения, герметичная труба 8.1 тоннеля 8 может быть размещена на основании 9 любыми известными способами.

Одним из основных вариантов расположения тоннеля 8 на суше является размещение его на опорах 10.

В качестве опор 10 могут выступать стальные и железобетонные столбчатые (фиг. 1, 4) и каркасные конструкции, здания и сооружения, специально оборудованные станциями 11 (вокзалами, остановками, фиг. 11) и/или грузовыми терминалами.

Одним из вариантов исполнения транспортного комплекса является расположение герметичных труб 8.1 тоннелей 8 в один ряд в вертикальной поперечной плоскости, на опорах над поверхностью земли на одном уровне (фиг. 1).

Альтернативным вариантом исполнения транспортного комплекса является расположение герметичных труб 8.1 тоннелей 8 в два ряда в вертикальной поперечной плоскости, на опорах над поверхностью земли (фиг. 4).

Также тоннель 8 может быть размещён, например, на эстакаде (на чертежах не показано).

По аналогии, тоннели 8 транспортного комплекса могут быть расположены в два ряда в вертикальной поперечной плоскости, например, один - на опорах 10 над поверхностью земли, второй - в толще земли (фиг. 5).

Еще одним из множества возможных вариантов исполнения транспортного комплекса является расположение герметичных труб 8.1 тоннелей 8 в один ряд в вертикальной поперечной плоскости, в толще земли (фиг. 7).

Вариантом исполнения транспортного комплекса является и расположение герметичных труб 8.1 тоннелей 8 на подготовленном основании 9 в один ряд в вертикальной поперечной плоскости, в насыпи 13 - на поверхности земли (фиг. 6) и/или под водой 14 (фиг. 10).

Герметичная труба 8.1 тоннеля 8, в зависимости от проектного решения, может быть размещена и в толще воды 14 (фиг. 4) и/или в толще дна водоёма (фиг. 9).

При этом в зависимости от варианта практической реализации и при любом из альтернативных видов исполнения транспортного комплекса в воде 14, герметичная труба 8.1 тоннеля 8 предпочтительно выполняется с нулевой плавучестью, в том числе благодаря поплавкам 15, якорям 16 и связывающим их между собой и с герметичной трубой 8.1 элементами 17 (фиг. 8).

При любых вариантах практических реализаций расположения и исполнения тоннеля 8 достигается требуемая прямолинейность, герметичность, безопасность и стабильность путевой структуры 5 на всём протяжении транспортного комплекса.

Кроме того, тоннель 8 может быть направлен под уклон в начале движения и на подъём в конце движения транспортного средства 1 (на чертежах не указано). Это позволяет экономить энергию, использовать менее габаритную силовую установку и увеличить полезный объём корпуса 2 транспортного

средства 1.

В основе конструкции и работы предлагаемого гиперскоростного транспортного комплекса положена тождественная зависимость скорости распространения звука в газообразной среде от его атомарного веса. Чем меньше атомарный вес газа - тем выше скорость звука в нём и тем более высокой может быть его дозвуковая скорость.

В то же время, - чем меньше лобовое сопротивление движущегося в газе тела, тем меньше энергии требуется для обеспечения его гиперскоростного движения (со скоростью, превышающей скорость звука).

Благодаря тому, что в предложенном изобретении силовая установка 3 транспортного средства 1 выполнена в виде двигателя 3.1 на метановом топливе, связанного газопроводом 3.2 с газозаборным устройством 3.3, а тоннель 8 заполнен метаном (позиция 18 на чертежах) с разреженным давлением P , P_a , составляющим от 0,05 до 0,99 от величины атмосферного давления; в процессе движения достигается возможность одновременного обеспечения топливом (метаном) силовой установки 3 и снижения лобового сопротивления транспортного средства 1. При этом увеличивается полезный объём транспортного средства 1, предназначенный для размещения пассажиров и/или грузов, а объём транспортного средства 1, предназначенный для размещения силовой установки 3, существенно уменьшается.

Значения пределов величин давления выделяют оптимальный диапазон давления метана в тоннеле 8 и позволяют обеспечить эксплуатационные характеристики гиперскоростного транспортного комплекса, предусматривающие минимизацию издержек по преодолению сопротивления высокоскоростному движению транспортного средства 1 при условии бесперебойной работы его силовой установки 3, выполненной в виде двигателя 3.1 на метановом топливе.

Если давление метана будет меньше 0,05 от величины атмосферного давления, то невозможно обеспечить стабильную работу силовой установки 3 транспортного средства 1 из-за возникновения эффекта топливного "голодания" двигателя 3.1 на метановом топливе вследствие обеднения топливной смеси основной топливной компонентой - метаном.

Если давление метана будет больше 0,99 от величины атмосферного давления, то существенно возрастает лобовое сопротивление газовой среды тоннеля 8 движению транспортного средства 1. Кроме этого, снижается уровень безопасности транспортного комплекса из-за возможных протечек метана в атмосферу.

Целесообразно чтобы корпус 2 транспортного средства 1 был выполнен в виде тела вращения (фиг. 3) и расположен в центре окружности, описывающей внутреннюю поверхность C тоннеля 8 (фиг. 2). Т.е. корпус транспортного средства выполнен в виде тела вращения и расположен эквидистантно внутренней поверхности тоннеля. Такое выполнение и расположение транспортного средства 1, в свою очередь, способствует снижению энергетических затрат при достижении сверхзвуковой скорости при движении транспортного средства 1 по путевой структуре 5 предлагаемого гиперскоростного транспортного комплекса Юницкого.

Как отмечалось выше, для обеспечения работы двигателя 3.1 на метановом топливе, в любом из альтернативных вариантов его исполнения, в корпусе 2 транспортного средства 1 установлена система обеспечения 4 двигателя 3.1 на метановом топливе окислителем 4.1, которая включает сообщающийся с двигателем 3.1 резервуар 4.2 с окислителем 4.1 (фиг. 3).

В зависимости от проектного решения в качестве окислителя 4.1 может быть использован кислород (позиция 19 на чертежах). При этом в результате работы двигателя 3.1 на метановом топливе будет выделяться экологически чистый продукт - вода и углекислый газ. Оба продукта реакции нуждаются в утилизации и такая утилизация осуществляется любым подходящим способом. Например, вода может быть собрана в специальной ёмкости с полным или частичным использованием для бытовых нужд на борту транспортного средства. Углекислый газ может быть подвержен дополнительной обработке (например, адсорбции на цеолите или плазменной конверсии с доочисткой адсорбционным разделением) или отведён с борта транспортного средства в боковой тоннель или в тоннель, встроенный в основной тоннель (на чертежах не показано). В любом из неограничивающих альтернативных вариантов возможного применения в предлагаемом изобретении иных окислителей 4.1, так, например, могут быть использованы: перекись водорода, фтор, хлор и/или другие соединения, выбранные из совокупности существенных признаков настоящего изобретения.

В соответствии с любым из неограниченных вариантов исполнения заявленного гиперскоростного транспортного комплекса Юницкого, двигатель 3.1 на метановом топливе может быть выполнен, например, в виде двигателя внутреннего сгорания, например, газотурбинного типа.

Альтернативно транспортное средство может быть оснащено любым вариантом исполнения электрической тяги, где источником для генерации энергии для электродвигателя служат топливные элементы, работающие на метане.

Для обеспечения непрерывной работы транспортного комплекса и герметичности тоннеля 8 на перекрёстах между станциями 11, его герметичная труба 8.1 снабжена шлюзами 12 (фиг. 11).

При этом тоннель 8 выполнен (фиг. 2) в виде герметичной трубы 8.1 кругового сечения и с толщиной h , m , стенки, определяемой из отношения:

$$0,15 \leq h/R \leq 0,5, \quad (1)$$

где R , м - внутренний радиус тоннеля 8.

Толщина стенки является расчётной величиной, определяемой при проектировании в зависимости от материала стенки, среды размещения тоннеля, динамических нагрузок, возникающих в процессе эксплуатации транспортного комплекса и пр.

При выполнении тоннеля 8 в виде герметичной трубы 8.1 кругового сечения с толщиной h , м, стенки соответствующей значениям, указанным в соотношении (1), удаётся достаточно просто обеспечить требуемую форму и целостность тоннеля 8 даже при условии созданного в нём форвакуума (разрежения), в том числе при землетрясениях и других динамических воздействиях.

Результаты моделирования показывают, если соотношение (1) будет меньше 0,15, то для обеспечения герметичности и целостности герметичной трубы 8.1 тоннеля 8 при его изготовлении необходимо применять дорогостоящие высокопрочные материалы и сложные конструктивные решения, влекущие за собой существенное удорожание всего транспортного комплекса.

Соотношение (1) со значением более 0,5 приведёт к увеличению материалоёмкости герметичной трубы 8.1 тоннеля 8.

Площадь проходного сечения тоннеля 8, определяющая область его заполнения метаном, определяется разностью площадей сечения тоннеля 8 с внутренним радиусом R и миделевого (наибольшего по площади) сечения транспортного средства 1.

Для оптимизации соотношений сечений форвакуумного тоннеля и миделя гиперскоростного транспортного средства необходимо учитывать влияние параметров газовой среды на основные характеристики прохождения подвижного состава через тоннель.

Во время разгона транспортного средства в тоннеле до околосвуковых скоростей, скорость воздуха, проходящего в сечении между транспортом и тоннелем, может достигать скорости звука, задолго до достижения транспортом крейсерской скорости. Поток газа, проходящий через гидравлическое или аэродинамическое сопротивление, связанное с уменьшением поперечного сечения потока, в область с более низким давлением, увеличивает свою скорость. Если в передней по ходу движения части потока (до его сужения) имеются дозвуковые условия, то в месте сужения скорость потока возрастает (согласно закону сохранения масс). В то же время, эффект Вентури приводит к тому, что статическое давление, а значит и плотность, в месте сужения падает. При некотором значении скорости газовой среды возникают такие условия, при которых дальнейшее уменьшение давления после сужения не приводит к увеличению массового расхода (при неизменном давлении перед сужением).

Для однородных газов физическая точка, при которой возникает запирание потока при адиабатных условиях, достигается тогда, когда линейная скорость потока достигает скорости звука, или, иными словами, при достижении числом Маха значения единицы. Возникающее явление, зависящее от скорости звука в движущейся среде, называют запиранием потока. При наступлении явления запирания потока, массовый расход может возрастать лишь в том случае, если растёт давление в передней части потока. Поэтому для движения транспорта с околосвуковыми скоростями важно учитывать соотношение геометрических размеров транспортного средства и тоннеля.

Аэродинамические характеристики подвижного состава зависят от скорости его движения и могут существенно меняться в зависимости от соотношений размеров транспортного средства и тоннеля. Критический показатель соотношения площади проходного сечения тоннеля к площади проходного сечения, приводящий к возникновению явления запирания потока для движения с необходимой скоростью был сформирован в [8]. Критический порог запирания потока при скорости движения транспортного средства до 1 Маха определяется в [9].

Скорость звука является одним из важных параметров газа и зависит от его состава, температуры и давления. Именно скорость звука определяет скорость передачи давления в газе и, следовательно, способствует передаче аэродинамических сил в тоннеле.

При проектировании гиперскоростных транспортных систем важно исключить возникновение явления запирания потока, т. к. при его возникновении значительно возрастают энергозатраты на преодоление аэродинамического сопротивления. Сила лобового сопротивления определяется по формуле:

$$F_f = C_x \frac{\rho v^2}{2} S_M, \quad (2)$$

где C_x - коэффициент лобового сопротивления, определяемый натурными или виртуальными испытаниями;

ρ - плотность среды, кг/м³;

v - скорость подвижного состава, м/с;

S_M - лобовая проекция площади поперечного сечения (мидель), м².

Формула (2) демонстрирует, что существенное влияние на преодоление сил лобового сопротивления оказывает плотность среды. Благодаря конструкции форвакуумного тоннеля, позволяющей снизить давление в тоннеле на несколько порядков, и достигается возможность существенного снижения силы лобового сопротивления.

Для определения оптимального соотношения сечения форвакуумного тоннеля и гиперскоростного

транспортного средства необходимо учитывать следующие параметры для анализируемых сред на основе параметров применяемой газовой среды:

- 1) скорость звука в газовой среде при заданных значениях температуры, давления и состава газа;
- 2) скорость запираания потока при заданных параметрах газовой среды;
- 3) определение оптимального диаметра тоннеля на основе значений указанных скоростей.

Для сравнительного анализа запираания потока и относительных геометрических размеров форвакуумного тоннеля выбираем воздух, кислород и метан. Воздух выбран в качестве базового газа, поскольку именно он изначально и содержится в тоннеле. В качестве альтернативных вариантов выбраны кислород и метан. Оба этих газа могут использоваться для работы силовой установки на борту гиперскоростного юнимобиля, кислород как окислитель, метан как топливо. Преимуществом метана является то, что данный газ природного происхождения, он дешевле и может подаваться в форвакуумный тоннель прямо от газопровода. Существуют не менее интересные газы, обладающие низкой молярной массой. К ним можем отнести водород и гелий. Водород не рассматривается по причине его дороговизны и высокого класса взрывоопасности. Даже при небольшом натекании воздуха в тоннель возможно образование взрывоопасной смеси, способной полностью разрушить транспортную инфраструктуру. Гелий - инертный газ, однако ввиду своей высокой проникающей способности, нераспространённости, сложности добычи, а следовательно, и высокой цены нецелесообразен к использованию в качестве рабочей среды.

Характеристики газов, необходимые для выполнения сравнительных расчётов, известны из справочной литературы и приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики исследуемых газов при атмосферном давлении

Параметр	Среда		
	Воздух	Метан	Кислород
Плотность при атмосферном давлении, кг/м ³	1,27	0,7168	1,429
Показатель адиабаты γ	1,4	1,32	1,4
Молярная масса, кг/моль	0,029	0,016	0,032
Скорость звука в газе*, м/с	342,9	448,3	326,5
Число Маха для движения со скоростью 1000 км/ч	0,81	0,62	0,85

* скорость звука указана для $t=20$ °С.

Поскольку основным искомым параметром является внутренний диаметр форвакуумного тоннеля, обеспечивающий отсутствие запираания потока, то в качестве исходных данных зададимся диаметром фюзеляжа транспортного средства, имеющего круглую форму. На основании предварительных компоновок гиперскоростного юнимобиля, спроектированного инженеринговой компанией ЗАО "Струнные технологии", перспективными обозначены варианты с диаметрами фюзеляжа, равными 2,0 и 2,6 м.

Используем формулу (3) для изэнтропического предела, определяющего критерий запираания потока при скорости движения юнимобиля до 1 Маха, обоснованного в [9] для расчёта предельной значений скорости юнимобиля в форвакуумном тоннеле, при котором возможно движение транспортного средства без запираания потока:

$$\frac{S}{S_1} = \frac{1}{M_0} \left(\frac{(1 + \frac{\gamma-1}{2} M_0^2)^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}}}{\frac{\gamma+1}{2}} \right), \quad (3)$$

где γ - показатель адиабаты газа;

M_0 - число Маха;

δ - площадь сечения трубопровода, м²;

S_1 - площадь проходного сечения, равная $S_1 = S - S_M$, м²;

S_M - лобовая проекция площади поперечного сечения транспортного средства (миделевое сечение), м²,

$$M_0 = \frac{v}{v_{зв}},$$

число Маха определяется по формуле:

где v - скорость юнимобиля, м/с;

$v_{зв}$ - скорость звука в газе, м/с.

При изменении внутреннего диаметра тоннеля от 7 до 12 метров и, соответственно, площади проходного сечения от 33,18 до 107,79 м², соответствующие значения скоростей при запираании потока, км/ч, следующие:

для воздушной среды тоннеля - от 771,9 до 957,2;

для метана - от 1014,1 до 1254,5;

для кислорода - от 734,8 до 911,2 км/ч.

Таким образом, при приведенных выше исходных данных возможность достижения скорости юни-мобилем 1000 км/ч без запираания потока обеспечивается при использовании рабочей среды на основе метана.

Интерес представляет диапазон скоростей 900-1000 км/ч (как и крейсерская скорость современных пассажирских самолётов). Используя формулу (3), определим расчётные минимальные внутренние диаметры тоннелей, обеспечивающие достижение скоростей движения 900-1000 км/ч без запираания потока для юнимобилей с диаметрами фюзеляжа 2,0 (см. табл. 2) и 2,6 м (см. табл. 3).

Таблица 2

Внутренние диаметры тоннелей, обеспечивающие достижение скоростей движения гиперскоростного юнимобиля с диаметром фюзеляжа 2 метра без запираания потока газовой среды

Параметр	Воздух	Метан	Кислород	Воздух	Метан	Кислород
Скорость юнимобиля км/ч	Число Маха			Минимальный диаметр тоннеля, м		
900	0,73	0,56	0,77	7,58	4,48	8,84
950	0,77	0,59	0,81	8,99	4,84	10,90
1000	0,81	0,62	0,85	11,00	5,25	14,14

Таблица 3

Внутренние диаметры тоннелей, обеспечивающие достижение скоростей движения гиперскоростного юнимобиля с диаметром фюзеляжа 2,6 метра без запираания потока газовой среды

Параметр	Воздух	Метан	Кислород	Воздух	Метан	Кислород
Скорость юнимобиля км/ч	Число Маха			Минимальный диаметр тоннеля, м		
900	0,73	0,56	0,77	9,86	5,83	11,49
950	0,77	0,59	0,81	11,68	6,29	14,16
1000	0,81	0,62	0,85	14,30	6,83	18,38

Как видно из табл. 2 и 3, наименьший диаметр тоннеля, обеспечивающий движение гиперскоростного юнимобиля без запираания потока, будет при использовании метана, в качестве заполняемой среды. Из исследуемых газов самым неоптимальным является кислород.

Строительство форвакуумного тоннельного комплекса с диаметрами тоннелей в каждом направлении, равными 10 м и более, слишком затратно и экономически нецелесообразно. Руководствуясь принципом разумной достаточности, для аэродинамических расчётов следует рассматривать тоннель с внутренним диаметром 5 метров для фюзеляжа диаметром 2,0 метра и тоннель с внутренним диаметром 6 метров для фюзеляжа диаметром 2,6 метра, как базовый и в то же время оптимальный вариант.

С точки зрения оптимизации энергоэффективности следует ограничить скорости движения в газовой среде тоннеля до 0,9 от числа Маха. Например, в среде воздуха этот предел наступает на скорости 1099 км/ч, кислорода - 1058 км/ч, метана - 1452 км/ч. Даже если исключить явления запираания потока газовой среды, ни кислород, ни воздух не в состоянии обеспечить энергоэффективность движения со скоростями 1100 км/ч и более.

Транспортное средство должно быть размещено в тоннеле с круговым зазором δ , м, соответствующим площади проходного сечения тоннеля, исключающего достижение порога запираания потока газовой среды в тоннеле.

Как следует из расчётов, для снижения аэродинамического сопротивления транспортного средства 1 движению по путевой структуре 5 внутри тоннеля 8, целесообразно, чтобы транспортное средство 1 было размещено в тоннеле 8 с круговым зазором δ , м, определяемым из отношения:

$$0,15 < \delta/R < 1 \quad (4)$$

Если соотношение (4) будет меньше 0,15, то наблюдается создание эффекта экранирования между внутренней поверхностью С (фиг. 2) тоннеля 8 и боковой поверхностью корпуса 2 транспортного средства 1, что ведёт к недопустимому повышению аэродинамического сопротивления движению транспортного средства.

Отношение (4) больше 1 невозможно физически.

Требованиями минимизации аэродинамического сопротивления транспортного средства 1 движению по путевой структуре 5 внутри тоннеля 8 обусловлены и выбор профиля транспортного средства 1 и расположение на нём газозаборного устройства 3.3 (фиг. 3).

В результате исследований аэродинамических характеристик масштабной модели корпуса 2 транспортного средства 1, которые были проведены в аэродинамической трубе, удалось оптимизировать технические параметры корпуса 2 транспортного средства 1.

В соответствии с результатами проведенных испытаний, носовая А и хвостовая В части корпуса 2 транспортного средства 1 выполнены конусообразными с S-образной формой профиля (фиг. 3).

При этом, образующие профиля корпуса 2 выполнены криволинейными со знакопеременной кривизной или совокупностью прямолинейных и криволинейных участков, расположенных со знакопеременной направленностью.

Целесообразно, чтобы при этом газозаборное устройство 3.3 было бы расположено на вершине передней конусообразной части корпуса 2 (фиг. 1, 3).

Построение представленного гиперскоростного транспортного комплекса Юницкого предусматривает создание герметичного тоннеля 8 кругового сечения, например, - в виде трубы 8.1. Обеспечение его на станциях 11 шлюзами 12. Выполнение в тоннеле 8 рельсовых нитей 7 путевой структуры 5. При этом герметичную трубу 8.1 тоннеля 8 выполняют с определённой толщиной h , m , стенки, а на рельсовых нитях 7 путевой структуры 5, эквидистантно внутренней поверхности C тоннеля 8, на колёсах 6 располагают самоходное колёсное транспортное средство 1, содержащее корпус 2 с силовой установкой 3 в виде метанового двигателя 3.1 для перемещения транспортного средства 1 по путевой структуре 5, которую выполняют, как и трубу 8.1 тоннеля 8 - предварительно напряжёнными в продольном направлении растягивающими усилиями соответственно: F , H , и T , H . Тоннель 8 заполняют метаном 18 под определённым выше давлением, а в корпусе 2 транспортного средства 1, в его S -образной конусообразной части располагают газозаборное устройство 3.3 силовой установки 3.

При движении транспортного средства 1 метан 18 из тоннеля 8 через газозаборное устройство 3.3, связанное газопроводом 3.2 с двигателем 3.1 на метановом топливе, поступает, например, в камеру подготовки топливной смеси (на рисунках не показана). Одновременно в эту камеру из резервуара 4.2 системы обеспечения 4 силовой установки 3 подаётся окислитель 4.1, например, кислород 19. Подготовленная топливная смесь сгорает в силовой установке 3 и обеспечивает движение транспортного средства 1 по путевой структуре 5.

В то время как в данном изобретении описаны предпочтительные примеры исполнения конструкции, ясно, что изобретение не ограничено только ими и может быть выполнено с использованием других известных конструктивных элементов в пределах указанной совокупности существенных признаков изобретения.

Гиперскоростной транспортный комплекс Юницкого описанной конструкции позволяет снизить энергетические затраты для обеспечения движения транспортного средства со скоростью, превышающей 1000 км/ч и повысить эффективность его работы.

Источники информации.

1. Yavuz, Mehmet & ÖZTÜRK, Zübeyde. (2021). Comparison of conventional high speed railway, maglev and hyperloop transportation systems. *International Advanced Researches and Engineering Journal*. 5. 113-122. 10.35860/iarej.795779.
2. Sui, Yang & Niu, Jiqiang & Ricco, Pierre & Yu, QiuJun & Cao, Xiaoling & Yang, Xiaofeng. (2021). Impact of vacuum degree on the aerodynamics of a high-speed train capsule running in a tube. *International Journal of Heat and Fluid Flow*. 88. 108752. 10.1016/j.ijheatfluidflow.2020.108752.
3. Патент РФ 2252881 МПК В60L13/10, В60V3/02, публ. 27.05.2005 г.
4. Патент РФ 2486086 МПК В61B13/08, В61B15/00, В61B3/02, публ. 27.06.2013 г.
5. Патент РФ 2109647 МПК В61B13/10, публ. 27.04.1998 г.
6. Патент ЕА 37983 МПК В61В 1/00, В61В 13/10, В61С 5/00, E02D 29/00, публ. 18.06.2021 (прототип).
7. Chen, C. & Yan, L. & Pan, S. & Li, X. & Hu, Q. & Deng, Y.. (2015). Optimal setting of air shafts for subway tunnel based on piston effect. 36. 70-77. 10.3969/j.issn.1001-4632.2015.06.10.
8. Ota, Masahiro. (2016). New frontier of engineering and science fields pried by Arthur R. Kantrowitz. *The Proceedings of Mechanical Engineering Congress, Japan*. 2016. S2010105. 10.1299/jsmemecj.2016.S2010105.
9. Anderson JD. *Fundamentals of Aerodynamics*. Aviation Industry Press 2014.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Гиперскоростной транспортный комплекс, который включает самоходное колёсное транспортное средство, содержащее корпус с силовой установкой и системой обеспечения её окислителем, включающей резервуар с окислителем, для перемещения по предварительно напряжённой растяжением путевой структуре, расположенной в герметичном тоннеле, снабжённом на остановках шлюзами, причём тоннель выполнен в виде трубы, предварительно напряжённой в продольном направлении растягивающим усилием, а корпус транспортного средства выполнен в виде тела вращения и расположен эквидистантно внутренней поверхности тоннеля, отличающийся тем, что силовая установка транспортного средства выполнена в виде двигателя на метановом топливе, связанного газопроводом с газозаборным устройством, при этом тоннель заполнен метаном с разрежением давления P , Па, составляющим от 0,05 до 0,99 от величины атмосферного давления, а соотношение площади миделевого сечения транспортного средства к площади поперечного сечения тоннеля находится в диапазоне от 0,05 до 0,5.

2. Транспортный комплекс по п.1, отличающийся тем, что двигатель на метановом топливе выполнен в виде двигателя внутреннего сгорания.

3. Транспортный комплекс по п.1, отличающийся тем, что двигатель на метановом топливе выполнен в виде топливных элементов для создания электрической тяги.

4. Транспортный комплекс по п.1, отличающийся тем, что в качестве окислителя используют кислород.

5. Транспортный комплекс по п.1, отличающийся тем, что тоннель имеет круговое сечение с толщиной h , м, стенки, определяемой из соотношения: $0,15 \leq h/R \leq 0,5$, где R , м - внутренний радиус тоннеля.

6. Транспортный комплекс по п.1, отличающийся тем, что транспортное средство размещено в тоннеле с круговым зазором δ , м, соответствующим площади проходного сечения тоннеля, исключающего достижение порога запаривания потока газообразной среды в тоннеле.

7. Транспортный комплекс по п.6, отличающийся тем, что площадь проходного сечения тоннеля определяется разностью площадей сечения трубопровода и миделевого сечения транспортного средства.

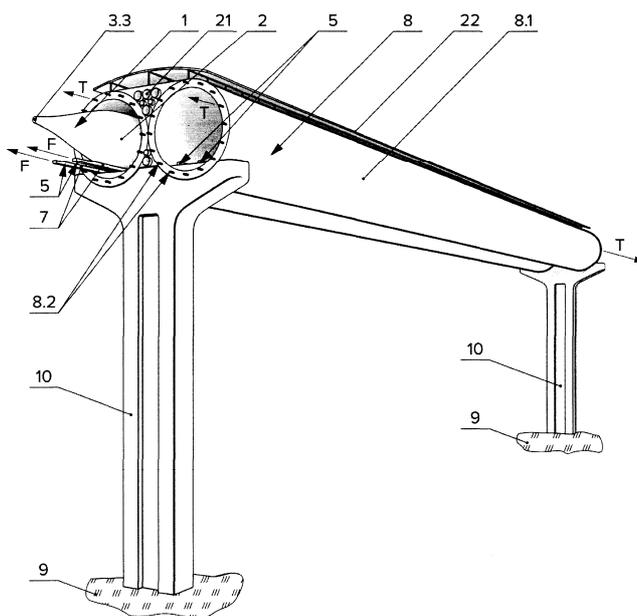
8. Транспортный комплекс по п.1, отличающийся тем, что тоннель размещён над поверхностью земли, и/или в толще земли, и/или в толще воды.

9. Транспортный комплекс по любому из пп.1 и 7, отличающийся тем, что тоннель выполнен с нулевой плавучестью относительно внешней среды его размещения.

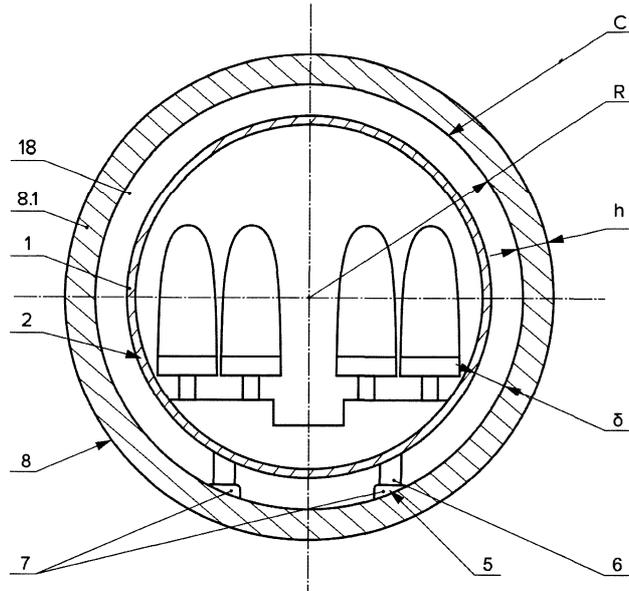
10. Транспортный комплекс по п.1, отличающийся тем, что носовая и хвостовая части корпуса транспортного средства выполнены конусообразными с S-образной формой профиля.

11. Транспортный комплекс по любому из пп.1 и 10, отличающийся тем, что образующие профиля корпуса выполнены криволинейными со знакопеременной кривизной или совокупностью прямолинейных и криволинейных участков, расположенных со знакопеременной направленностью.

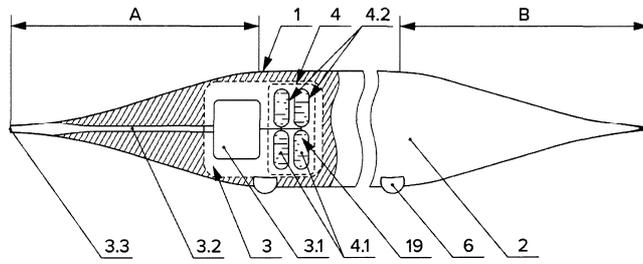
12. Транспортный комплекс по п.1, отличающийся тем, что газозаборное устройство размещено в носовой части транспортного средства.



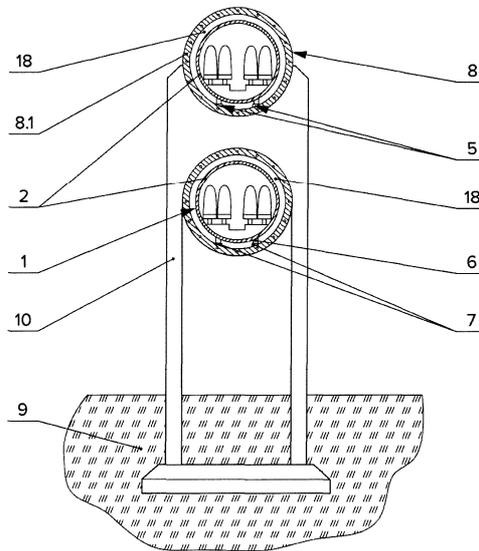
Фиг. 1



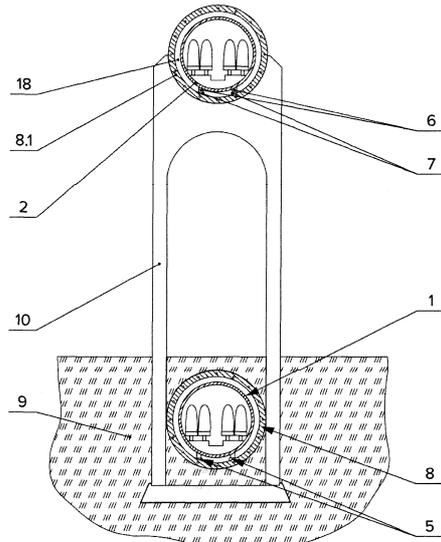
Фиг. 2



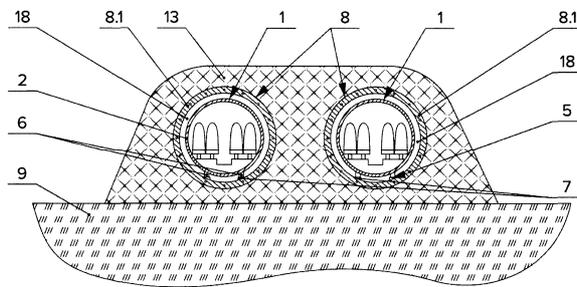
Фиг. 3



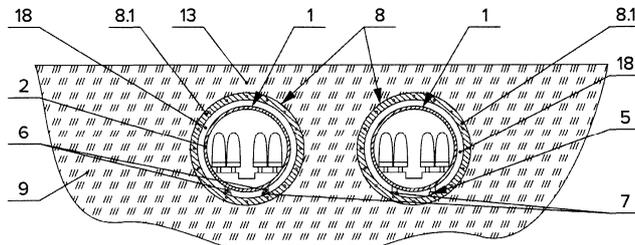
Фиг. 4



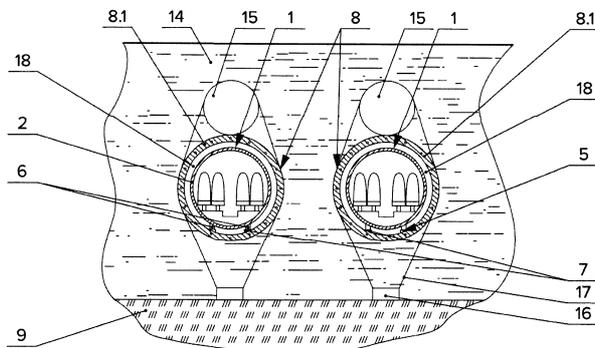
Фиг. 5



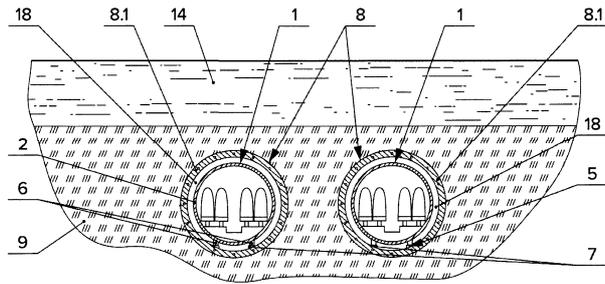
Фиг. 6



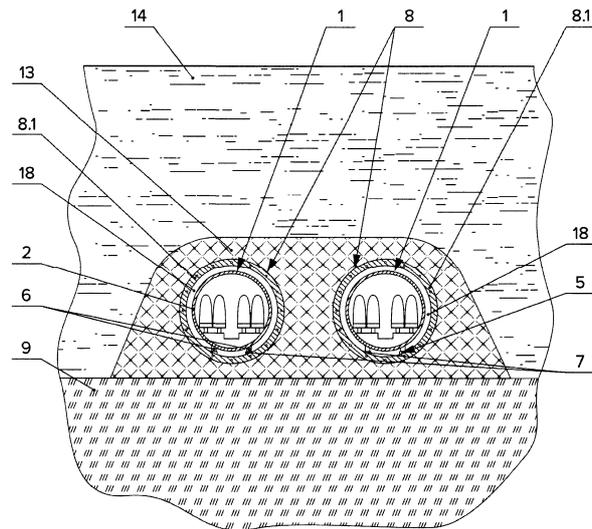
Фиг. 7



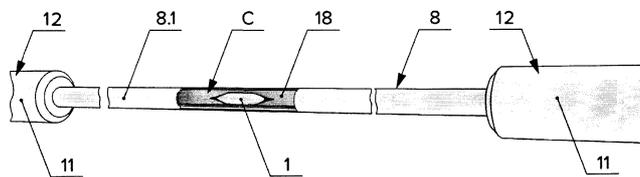
Фиг. 8



Фиг. 9



Фиг. 10



Фиг. 11

