

Шуть В. Н., Тур А. В., Гогоберидзе Г. Г.

ЩЕЛЕВОЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ МЕТРО «КРотовые норы»

Введение. Нарастающие транспортные проблемы крупных городов России и Беларуси вызваны сегодня очевидным несовершенством организации передвижения по городу значительной части населения. Наиболее подвижная его часть предпочитает передвигаться на частных автомобилях. Как следствие, резко сокращаются безопасность передвижения и скорость поездки. Это заставляет по-новому взглянуть на перспективы развития скоростного общественного транспорта.

Абсолютно ясно, что экологически чистый и экономичный городской общественный транспорт, который сможет обеспечить пассажиру большие удобства и безопасность поездки, а также более высокие скорости передвижения по городу, чем индивидуальный автомобиль, кажется невозможным. Такой транспорт для внутригородских пассажирских перевозок был бы способен составить реальную конкуренцию частному автомобилю.

Человек уже успел привыкнуть ко всем удобствам и комфорту, которые предоставляет личный транспорт. У него время ожидания транспорта близко к нулю (спуститься от квартиры к автомобилю, открыть дверь и завести его). Он позволяет от пункта отправления и до пункта назначения проехать без промежуточных остановок. Чтобы заставить современного человека пересесть на общественный транспорт, необходимо, чтобы этот общественный транспорт приближался по комфорту проезда к личному транспорту и одновременно обладал высокой провозной способностью. Кажется, требования совершенно несовместимые в одном транспортном средстве. Тем не менее, уже известны исследования в области возможности создания такого транспорта [1–5].

При существующем уровне развития техники массовые пассажирские перевозки в крупных городах наиболее эффективно выполняет рельсовый скоростной внеуличный транспорт (СВТ) [6]. Поэтому за рубежом и в России этот транспорт активно разрабатывается и внедряется. За рубежом его называют легкорельсовый транспорт (ЛРТ). В России – это наземное метро (НМ), монорельсовая дорога (МД) и метротрамвай (МТ) [7–8]. Основные требования, предъявляемые сегодня к СВТ, – это безопасность и комфортабельность поездки, удобство посадки и высадки из вагонов, высокая технико-экономическая эффективность и самокупаемость при относительно невысокой плате за проезд.

1. Метро щелевого типа «кротовые норы» в приложении к арктическому региону. Во многих странах Европы и в некоторых республиках экс-СССР скоростные трамваи (Stadtbahn) выполняют функцию своеобразного метро: они недороги в эксплуатации, передвигаются со скоростью (от 25 и до 35 км/ч), экологичны, надежны и комфортабельны. Строительство путей для них на два порядка ниже строительства метро. Но скоростной трамвай не дотягивает до метро по провозной способности на порядок. Таким образом, в городах с высокой численностью населения (свыше 1 млн) нет альтернативного транспорта, способного конкурировать с метро по провозной способности.

Вторым существенным достоинством метро как вида городского транспорта является отсутствие влияния на него внешних погодных воздействий, что очень важно в арктических условиях снегопадов и низких температур. Низкие температуры ухудшают работу всех

систем наземного транспорта, выводят их в режим неоптимального функционирования, а часто и вообще из строя, что снижает надежность городских транспортных систем перевозки пассажиров. В условиях низких температур необходимы немалые дополнительные энергозатраты для подогрева салона транспортного средства для обеспечения комфортного проезда пассажиров. Так при температуре окружающей среды -30°C на обогрев салона пассажирского транспортного средства тратится до 40% расходуемого двигателем топлива, а при температуре -40°C эти потери уже составляют 60%. Снегопады также снижают надежность функционирования городских транспортных систем.

Таким образом, самым удобным видом транспорта для городов арктического региона может стать метро. Основным препятствием для его использования является его высокая стоимость (так стоимость 1 км метро составляет от 40 до 60 млн долларов [9–10]), а также большая длительность его строительства (8–10 лет и более). В СССР существовал ценз на строительство метро только в тех городах, где численность населения достигает 1 млн человек. Этот уровень сохраняется и для России.

Современное состояние информационно-коммуникационных технологий позволяет на базе мобильных автономных роботов построить дешевую подземную транспортную систему (при полном отсутствии в её контуре управления человека) высокой производительности, достигающей производительности современного метро, надежной и безопасной. Сроки строительства метро на порядок ниже, а стоимость на два порядка ниже. *Теперь этот ценз (в 1 млн человек) можно снизить, и построение метро становится экономически выгодным и возможным в городах арктического региона, где в основном численность населения не превышает 300 тыс. человек.*

2. Концепция метро щелевого типа. Таким образом, основными недостатками современного метрополитена являются:

- высокая стоимость строительства;
- низкая скорость строительства (300–350 м в месяц), отсюда длительные, до 10 лет, сроки строительства;
- наличие эскалаторов;
- высокие энергозатраты на перевозку;
- недостаточная адаптивность к пассажиропотоку; так, в вечерние часы вагоны идут полупустые либо с большим интервалом движения;
- большие дистанции между остановками метро (1,5–2 км), что снижает транспортную доступность этого вида транспорта для населения, в то время как у наземных видов транспорта эта дистанция составляет 0,3–0,5 км;
- недостаточно высокая средняя скорость движения электропоездов метро. Так, на Московском метрополитене скорость сообщения (средняя скорость движения с учетом времени остановки) метропоездов между станциями, расположенными под землей, составляет 41,3 км/ч, на метрополитене С. Петербурга – 39 км/ч, а на Ташкентском метрополитене – 39,4 км/ч. Самая высокая скорость сообщения метропоездов сегодня на Минском метрополитене – 41,4 км/ч [11–12].

Как известно, за время поездки среднестатистический пассажир

Шуть Василий Николаевич, к. т. н., доцент кафедры интеллектуальных информационных технологий Брестского государственного технического университета.

Тур Андрей Викторович, к. т. н., доцент кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета. Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Гогоберидзе Георгий Гивевич, д. э. н., к. физ.-мат. н., ведущий научный сотрудник Мурманского арктического государственного университета.

РФ, г. Мурманск, ул. Капитана Егорова, 15.

проводит в сооружениях метрополитена от 25 до 40 мин. Из них примерно половину времени он находится непосредственно в подвижном составе. А остальное время затрачивает на подход к подвижному составу, включая спуски «под землю» на эскалаторах, на ожидания прибытия метропоездов, на посадку и высадку из вагонов, на пересадки, на подъем на поверхность земли и выход в город. Провозная способность электроподвижного состава (основного транспорта метро) значительно превышает провозную способность эскалаторов — вспомогательного (встроенного) транспорта метро.

Все указанные выше, достаточно серьезные недостатки современного метрополитена устранены в метро щелевого типа «Кротовые норы». Теперь большинство городов, и не только миллионников, могут иметь метро, так как стоимость его на два порядка ниже традиционного метро, а скорость строительства в три раза выше (до 1000 м в месяц).

Это совершенно новый тип полностью автоматического подземного городского общественного транспорта (метро) на базе беспилотных электрокаров (инфобусов) вместимостью до 50 человек, курсирующих в узких тоннелях неглубокого заложения и обслуживающих пассажиров по требованию.

Данный тип транспорта высокопроизводителен (не уступает традиционному метро), безопасен, энергоэкономичен, значительно более дешев в сравнении с традиционным метро, имеет более высокую транспортную доступность. Данный тип транспорта является транспортом по запросу, т. е. адаптирован к любому пассажиропотоку (большому, среднему, низкому). Время ожидания пассажиром транспорта минимально и составляет 20 секунд. При этом пассажирам предоставляется возможность движения из пункта А в пункт В без остановок.

Метрополитен щелевого типа «кротовые норы» является новым видом городского транспорта. Это полностью автоматическая, интеллектуальная, роботизированная транспортная система городской перевозки пассажиров нового типа. *Технические характеристики, которыми он обладает, недоступны ни одному виду городского пассажирского транспорта, известного на сегодняшний день.*

В отличие от традиционного метрополитена, вагоны которого имеют большую вместимость (250–300), данный тип транспорта имеет небольшой объем (до 50 пассажиров) вагона-робота (беспилотного) и ширину вагона всего один метр, что позволило решить три задачи:

- обеспечить минимальную ширину ствола тоннеля для движения беспилотных вагонов-роботов, что ведет к снижению стоимости строительства на два порядка за счет сокращения объема железобетонных конструкций и работ, и перевод их в область готовых конструкций заводского панельного исполнения. Последнее ускоряет сроки строительства метро на порядок;
- создать транспорт, адаптивный к пассажиропотоку. В режиме реального времени идет мониторинг числа прибывающих пассажиров на станции метрополитена и, в зависимости от их количества, на линию выходит требуемое для их обслуживания число вагонов-роботов;
- предоставить пассажирам транспортную услугу преимущественного проезда без промежуточных либо с минимальным числом остановок от пункта отправления до пункта назначения. Этим экономится не только время пассажира на поездку, но и удельные электрозатраты на провоз одного пассажира сокращаются в несколько раз.

3. Описание конструкции метро щелевого типа. Для строительства метрополитена щелевого типа «кротовые норы» не нужны большие котлованы с огромным использованием железобетонных работ (строительство открытым способом) или трудоемкие тоннели при строительстве закрытым способом.

Строительство выполняется следующим образом. В городе выбирается магистраль с большим пассажиропотоком. Обычно такая магистраль имеет от трех до пяти полос шириной по 3–4 метра по каждому направлению движения. От разделительной линии магистрали отделяется по полосе слева и справа, т. е. от каждого

направления движения изымается по полосе. Таким образом, формируется зона строительства шириной до 6 метров. По разделительной линии роется траншея шириной 1,5 м (0,75 м слева и 0,75 м справа от разделительной линии) и глубиной 3 метра вдоль всей магистрали, в которую по мере частичного прорытия траншеи вставляются готовые железобетонные конструкции (изготовленные в заводских условиях) и сборные рельсовые конструкции с междурельсовой шириной 1 м (ширина инфобуса).

Магистраль при проведении работ не закрывается, и полосы движения вне зоны строительства функционируют в обычном режиме. Единственным неудобством является некоторое снижение пропускной способности магистрали.

Либо возможен вариант работы в ночное время. Тогда магистраль на ночное время закрывается, а утром открывается по всем полосам движения. Таким образом, строительство метро щелевого типа не сказывается на функционировании города. В то время как при традиционном строительстве метро в г. Минске проспект Независимости был закрыт для движения транспорта на 8 лет.

Устройство ствола тоннеля под разделительной линией магистрали гарантирует отсутствие подземных инженерных коммуникаций, что значительно снижает стоимость строительства в сравнении с традиционным метро, в стоимости строительства которого до 20% могут достигать работы по переносу коммуникаций.



Рисунок 1 – Сборные элементы для устройства метро

Рассмотрим некоторые строительные конструкции. Следует отметить, что конструктивные решения для таких видов транспорта в свою очередь должны обладать низкими показателями стоимости и трудозатрат по сравнению с существующими решениями метро. Так как данные конструкции проектируются из условия небольшого заглубления, отпадает вопрос необходимости проведения глубоких геологических исследований, а так же устройства котлованов, что ведёт к существенному снижению сроков строительства.

Соответствующим выбором конструктивного решения, применяемых материалов и назначения наиболее рациональных сечений и пролётов элементов можно так же существенно повысить скорость строительства, уйти от сложных систем опалубки (в отличие от применяемого монолитного варианта) и тем самым снизить стоимость строительства.

Предлагаемый вариант щелевого метро, выполняемый в сборном (из отдельных модульных секций) варианте, обладает всеми вышеперечисленными достоинствами. В качестве конструктивного решения щелевого метро типа «кротовые норы» выбран сборный вариант. Это позволяет существенно увеличить скорость строительства при имеющейся заводской линии, настроенной на производство отдельных секций.

К основным сборным элементам можно отнести элемент, объединяющий покрытие и стенки и плиту днища, в которой изначально закладываются элементы для устройства путей для инфобуса (рис. 1).

Если покрытие и стенки выполняются как единый элемент, сокращается количество стыков сборной конструкции и повышается темп монтажа. Назначение размеров элементов производится исходя из размеров инфобуса. Для выполнения криволинейных участков наиболее рациональным можно назначить длину секции 6 метров. На линейных участках длина секции может быть увеличена.

Соответствующим выбором конструктивного решения, применяемых материалов и назначения наиболее рациональных сечений и пролётов элементов можно так же существенно повысить скорость строительства, уйти от сложных систем опалубки (в отличие от применяемого монолитного варианта) и тем самым снизить стоимость строительства. Стыковка плиты днища со стенками осуществляется с применением системы постнапряжения (без сцепления с бетоном). Канаты пропускаются в специальные пазы в стенках, после чего производится их натяжение на элементы секции.

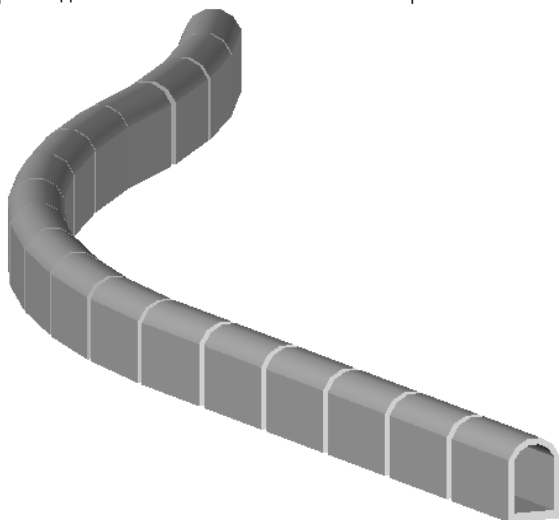


Рисунок 2 – Создание путей движения криволинейной конфигурации

На рис. 2 представлен участок трассы с криволинейным участком. Стыковка секций по длине осуществляется так же с помощью системы постнапряжения (post-tension). Канаты пропускаются в заложенные по проекту отверстия в стенках вдоль секции. После чего производят натяжение на стенки, выполняя таким образом их стягивание и обеспечивая неразрезность конструкции в продольном направлении.

Необходимо отметить, что преимуществом такой системы является то, что создание криволинейной трассы не вызовет больших трудозатрат, чем строительство прямолинейной, за счёт рационально подобранных размеров секций и способа их стыковки.

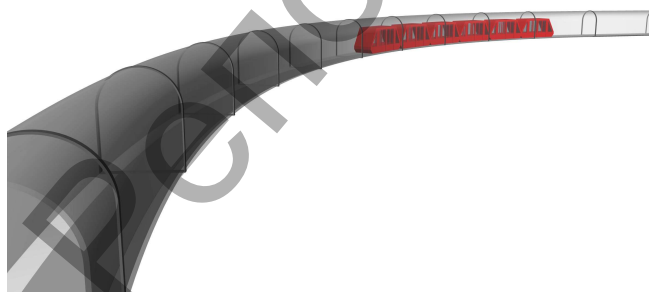


Рисунок 3 – Кассета из шести инфобусов в тоннеле

4. Особенности метро щелевого типа. На рис. 3 изображен тоннель с движущейся кассетой из 6 инфобусов со скоростью 200 км/ч. Такая высокая скорость движения обеспечивается разреженностью атмосферы в тоннеле, которая создается выходом сжатого первым инфобусом воздуха наружу через дроссель, который закрывается при прохождении возле него последнего инфобуса кассеты.

Второй причиной, обеспечивающей столь высокую скорость, является безостановочное движение инфобусов от пункта отправления и до пункта назначения, т. е. в одном инфобусе собраны пассажиры одной станции назначения. Когда инфокассета проезжает очередную станцию, то от её конечный инфобус отделяется от кассеты и начинает торможение с остановкой у станции и высадкой пассажиров. Оставшаяся часть кассеты продолжает движение с прежней скоростью 200 км/ч.

На рис. 4 изображен вход на станцию метро. Для этой станции эскалаторы не нужны, так как она находится на глубине 3-х метров от поверхности. Размер станции – площадка перед посадкой 3x40 метра; в традиционном метро длина станции составляет от 160 метров и выше. Поезда на станциях щелевого метро только одного направления движения (метро закольцовано).

Собственно понятие «станции метро» для метрополитена «котовые норы» в традиционном, классическом виде, к которому мы привыкли, отсутствует. Больше это похоже на подземный пешеходный переход. Сразу с тротуара пассажир попадает на площадку для посадки в поезд. Предварительно он проходит через турникет, где делает оплату за проезд, а также фиксирует себя в системе путем указания конечной станции назначения. На рис. 4 виден спуск к станции и частично турникеты для входа.

Расстояния между станциями не более 600–800 метров (в обычном метро это 1500 и более метров). В результате транспортная доступность для пассажиров такого вида метро выше, и меньше требуется наземного транспорта для связи между станциями метро.



Рисунок 4 – Вход на станцию метро

Средняя скорость традиционного метро составляет 35–40 км/ч. Щелевое метро будет иметь среднюю скорость 180 км/час, так как инфобус не делает промежуточных остановок, и все пассажиры одной станции назначения едут без остановок. Это стало возможным благодаря развитой системе предварительного сбора информации о пассажирах, т. е. пассажирский поток сразу при проходе через турникеты дифференцируется по станции назначения и инфобусы формируются пассажирами одной станции назначения [13]. Такой способ организации перевозок на порядок более энергоэкономичен, а для пассажиров более комфортен.

Вагоны метрополитена «котовые норы» характеризует прежде всего относительно небольшой [габарит подвижного состава](#), который в свою очередь ограничен размерами [тоннелей](#), при том, что последние должны быть как можно меньше, что даёт экономии в строительстве метрополитена. Так, в метро щелевого типа ширина траншеи составляет 1,5 метра. Ширина инфобуса 1,2 метра и высота 2,2 метра. В то время как ширина советских/российских вагонов метрополитена (типы [Г](#), [М5](#), [Д](#), [Е](#) и их производные) составляет 2686 мм, а высота – 3700 мм, а ширина и высота вагона электропоезда [ЭР2](#), соответственно, 3480 мм и 5086 мм.

Основной характеристикой линии метрополитена является провозная способность:

$$P = P \times B \times V \text{ тыс. пасс./ час,} \quad (1)$$

где P – плотность посадки пассажиров в вагоне чел/м²;

B – ширина вагона;

V – скорость движения вагона.

Следуя (1), можно вычислить, во сколько раз может быть увеличена провозная способность метрополитена, как $K = \Pi_2/\Pi_1$ или $(P \times B_2 \times V_2)/(P \times B_1 \times V_1) = (P \times 1.2 \times 180)/(P \times 3.48 \times 42) = 1.5$, то есть провозная способность щелевого метро в сравнении с традиционным может быть увеличена в 1.5 раза.

Особенностью инфобусов является увеличенное количество дверей и, как следствие, меньшее количество сидячих мест, что связано в первую очередь с необходимостью быстрой посадки и высадки пассажиров.

Практически по всем основным показателям щелевое метро «кротовые норы» превосходит традиционный метрополитен. Ему не нужны дорогостоящие подземные станции и огромное, тратящее около 30% всей электроэнергии на метрополитене, эскалаторное хозяйство.

Для щелевого метро «Кротовые норы» не требуется строить подземные станции (их сооружение «весит» до 40% в общей стоимости строительных работ) и эскалаторное хозяйство (около 10% стоимости). В крупных и средних городах (что раньше невозможно было) оптимальным, с точки зрения удобства для пассажиров, является расстояние между станциями 600–800 м (на Московском метрополитене среднее расстояние между станциями – 1700 м). Более частое размещение станций повышает долю их стоимости в общих строительных затратах до 50–60%. Поэтому реальные затраты на строительство линии щелевого метро «Кротовые норы» будут, как минимум, в несколько раз меньше, чем затраты на сооружение традиционного метрополитена. Да и строить тоннели щелевого типа гораздо проще, чем тоннели, подземные станции и эскалаторное хозяйство традиционного метрополитена. Всё это сокращает строительные объемы, цены и сроки строительных работ [14].

Заключение. Важной составляющей общего экономического эффекта от строительства и эксплуатации щелевого метро «кротовые норы» является экономический эффект от ускорения доставки пассажиров и сокращения их транспортной усталости от поездки.

Метрополитены в городах являются крупнейшими потребителями электроэнергии. Поэтому сокращение расхода электроэнергии на метро «кротовые норы» по сравнению с традиционным метро будет не только заметной составляющей общего сокращения эксплуатационных затрат, но и важной составляющей проводимых в городе экологических мероприятий.

Потенциальными потребителями данной разработки, помимо уже рассмотренных средних городов, являются города-миллионники России. Например, Красноярск, Ростов на Дону, Краснодар и др., которые имеют очень острые городские транспортные проблемы и высокую нагрузку дорог, но не имеют достаточных средств для построения метро в его современном виде.

Данный тип метро может стать резервным, параллельно работающим с уже имеющимся в городе традиционным метро. Это разгрузит основное метро и повысит надежность всей транспортной системы города. Особо это становится актуальным в условиях достижения предельных возможностей метрополитена как транспортной системы [11].

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шуть, В. Н. Альтернативный метро транспорт на базе мобильных роботов / В. Н. Шуть, Е. Е. Пролиско // Штучний інтелект. – 2016. – № 2(72) – С. 170–175.
2. Пролиско, Е. Е. Высокопроизводительный вид городского пассажирского транспорта на базе современных информационных технологий // Актуальные направления научных исследований XXI века : теория и практика : сб. научн. трудов по мат. Междунар. заочной научно-практич. конф. / Е. Е. Пролиско, В. Н. Шуть – Воронеж : ВГЛТУ, 2016. – Т. 4. – № 5. – Ч. 3 – С. 336–341.
3. Шуть, В. Н. Высокопроизводительная система городской транспортировки пассажиров // Електроніка та інформаційні технології : матеріали VIII-ї українсько-польської науково-практичної конференції / В. Н. Шуть, Е. Е. Пролиско. – Львов, 2016. – С. 62–64.
4. Пролиско, Е. Е. Роботизированный городской транспорт кассетно-конвейерной перевозки пассажиров // Развитие информатизации и государственной системы научно-технической информации : доклады XV Международной конференции / Е. Е. Пролиско, В. Н. Шуть. – Минск, 2016 – С. 86–91.
5. Persia, Luca High capacity robotic urban cluster-pipeline passengers transport // Искусственный интеллект : материалы Международной научно-технической конференции / Luca Persia, Jo Barnes, Vasili Shuts, Evgenii Prolisko, Valerii Kasjanik, Denis Kapskii, Aliaksandr Rakitski // Интеллектуальные транспортные системы (Be-Safe 2016)», посвященной 50-летию Брестского государственного технического университета, 25–28 мая 2016 г. – Брест, 2016 – С. 62–68.
6. Котов, В. В. Скоростной внеуличный транспорт в периферийных жилых массивах / В. В. Котов, В. П. Власюк, Г. В. Молодцов // Метро и тоннели. – № 6. – 2002.
7. Mnatsakanov, V. A real competitor to the private car Metrotram A 21st century urban public transport vehicle // Public Transport International – № 6/2002.
8. Мнацаканов, В. А. Качественные характеристики и сравнительные показатели метро, трамвая и метротрамвая // Метро и тоннели. – № 6. – 2002.
9. Стоимость сооружения 1 км метро в Минске составляет от 40 до 60 млн долларов. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://minsknews.by/blog/2014/08/19/stoimost-sooruzheniya-1-km-metro-v-minske-sostaviyaet-ot-40-do-60-mln-dollarov/>
10. Мнацаканов, В. А. Сколько стоит поездка на вагоне в транспортной технологии, именуемой метрополитен. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.metro.ru/analytics>.
11. Мнацаканов, В. А. Предельные возможности метрополитена как транспортной системы // Метро и тоннели. – № 3. – 2002.
12. Гаврилов, Я. И. Вагоны метрополитена с импульсными преобразователями / Я. И. Гаврилов, В. А. Мнацаканов. – М. : Транспорт, 1986. – 230 с.
13. Shuts, Vasili Mobile Autonomous robots – a new type of city public transport / Vasili Shuts, Valery Kasyanik // Transport and Telecommunication. – 2011. – V. 12. – № 4. – P. 52–60.
14. Інтэлектуальнае метро шчыліннага тыпу можа з'явіцца ў абласных цэнтрах – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zviazda.by/be/news/20171208/1512751621-intelektualnae-metro-shchylinnaga-typu-mozha-zyavicca-u-ablasnyh-centrah>

Материал поступил в редакцию 17.01.2019

SHUTS V. N., GOGOBERIDZE G. G., TUR A. V. Slit intellectual subway "wormholes"

The current state of information and communication technologies allows to build a cheap underground transport system (with a complete absence of a human) on the basis of mobile autonomous robots, with high productivity, achieving the performance of a modern metro, reliable and safe. It is an information system in which the vehicle is only an element of the system and can function only in its composition, unlike well-known vehicles such as bus, trolley, tram, subway train that operate autonomously. Metropolitan slit type "Moleholes" is a new type of urban transport. This is a fully automatic, intelligent robotic transportation system for urban transportation of passengers of a new type. Technical characteristics, which he possesses, are inaccessible to any kind of urban passenger transport, known to date.