

Изобретение относится к транспорту, в частности к транспортным системам эстакадного и подвесного типа, использующим рельсовую путевую структуру. Оно может быть использовано при создании скоростных дорог для больших городов и междугородных сообщений, в том числе в условиях сильно пересеченной местности, гор, пустынь, а также при построении межцеховых транспортных структур раскредитованных производственных предприятий - как для многорельсовых, так и монорельсовых путей.

Известна транспортная система, содержащая рельсовый путь, выполненный из полых рельсов со скругленной головкой и перемещающиеся по нему подвижные единицы с составными колесами, контактирующими с рельсами (см. патент США № 4520733, НКИ 104/93, 1985). Недостатком известной системы является сложность конструкции рельса и колес, что удорожает систему.

Известна транспортная система, содержащая рельсовый путь, выполненный из полых рельсов цилиндрической формы, и подвижные единицы с колесами, контактирующими с рельсами. При этом ободья колес выполнены вогнутыми, охватывающими цилиндрические рельсы (см. патент США № 5738016, НКИ 104/107, 1998).

Недостатками известной транспортной системы являются сложность конструкции колесного модуля, высокий износ рельсов и колес и большое сопротивление качению. Это обусловлено тем, что обод колеса контактирует с рельсом всей своей вогнутой поверхностью.

Наиболее близкой к заявляемой по своей технической сущности и достигаемому результату является транспортная система, известная из описания к патенту США № 2997003, НКИ 104/93, 1961. Указанная транспортная система содержит рельсовый путь, выполненный из полых рельсов со скругленной головкой, и подвижные единицы с колесами, контактирующими с этими рельсами. Ободья колес выполнены вогнутыми, охватывающими рельс, при этом в зоне контакта колеса и рельса радиус кривизны вогнутости обода колеса больше внешнего радиуса скругленной головки рельса.

Недостатком известного технического решения является то, что рельсы в известной системе обладают малой удельной несущей способностью, если под ней понимать отношение веса подвижной нагрузки к их собственному весу, что особенно важно для дорог эстакадного и подвесного типа. Кроме этого, из-за неоптимальных радиусов кривизны головки рельса и обода колеса в зоне контакта "колесо - рельс", колесо и рельс имеют повышенный износ в процессе эксплуатации транспортной системы.

Заявляемая в качестве изобретения транспортная система направлена на повышение несущей способности рельсов и увеличение износостойкости головки рельса и колеса подвижной единицы.

Указанный результат достигается тем, что в транспортной системе, содержащей рельсовый путь, выполненный из полых рельсов со скругленной головкой, радиус кривизны которой в поперечном сечении меньше радиуса кривизны вогнутого обода контактирующего с ней колеса подвижной единицы, внутри рельса размещен предварительно напряженный продольный элемент, площадь поперечного сечения которого выбрана из соотношения

$$0,05 \leq \frac{F_{п.э}}{F_p} \leq 20$$

где $F_{п.э.}$ - площадь поперечного сечения продольного элемента, мм²;

F_p - площадь поперечного сечения рельса, мм²,

при этом отрезки рельса и продольного элемента закреплены в анкерных узлах, а рельсы и обод колеса выполнены со следующими соотношениями размеров:

$$0,001 \leq \frac{R_k - R_p}{R_p} \leq 5,$$

где R_k - радиус кривизны вогнутой поверхности обода колеса в зоне контакта с головкой рельса, мм;

R_p - радиус внешней поверхности головки рельса в зоне контакта с колесом, мм.

Указанный результат достигается также тем, что рельсы и обод колеса выполнены со следующими соотношениями размеров:

$$1 \leq \frac{R_{п.к.}}{R_p} \leq 10,$$

где $R_{п.к.}$ - радиус колеса по поверхности контакта с головкой рельса, мм.

Указанный результат достигается также тем, что пространство между внутренними стенками рельса и продольным элементом заполнено твердеющим материалом. В качестве твердеющего материала может быть использован материал, расширяющийся при затвердевании.

Размещение внутри полости рельса предварительно напряженного продольного элемента, с указанными соотношениями площадей поперечного сечения, и их закрепление в анкерных узлах позволяет существенно повысить удельную несущую способность рельса. Это объясняется следующим. При перепаде температур в 100°C (от -50°C зимой до +50°C летом на солнце), коэффициенте температурного расширения стали $\alpha = 0,0000125$, модуле упругости стали $E = 2 \cdot 10^6$ кгс/см (2·10⁴ кгс/мм²), изменение напряжений в стали под воздействием температуры (при неизменной длине конструкции) составляет

$$\Delta\sigma = 0,0000125 \cdot 20000 \cdot 100^\circ\text{C} = 25 \text{ кгс/мм}^2 \text{ (2500 кгс/см}^2\text{)}.$$

Без продольного предварительно напряженного элемента, при положительной температуре окружающей среды, в рельсе (корпус рельса и головка рельса) могут возникнуть недопустимые температурные напряжения сжатия, в результате чего произойдет потеря продольной устойчивости путевой структуры.

При установке в полости рельса продольного предварительно напряженного элемента потери устойчивости рельса при возникновении в нем температурных сжимающих напряжений не происходит, если усилия сжатия в рельсе будут ниже усилий растяжения в предварительно напряженном продольном элементе (для конструкции в целом важна результирующая сила, равная сумме сжимающих $N_{р.сжатия}$ и растягивающих $N_{п.э. растяжения}$ усилий, а не каждая сила в отдельности):

$$N_{р.сжатия} < N_{п.э. растяжения}, \quad \text{или}$$

$$\sigma_{р.сжатия} \cdot F_p < \sigma_{п.э.растяж.} \cdot F_{п.э.}, \quad \text{или}$$

$$\sigma_{п.э.растяж.} \cdot F_{п.э.} - \sigma_{р.сжатия} \cdot F_p > 0.$$

При этом эпюра температурных напряжений в рельсе может быть с меньшими в два раза наибольшими напряжениями (напряжения растяжения $\sigma_{п.э.растяж.} = 0 \dots 12,5 \text{ кгс/мм}^2$ в температурном диапазоне $0 \dots -50^\circ\text{C}$ и напряжения сжатия $\sigma_{р.сжатия} = 0 \dots 12,5 \text{ кгс/мм}^2$ в температурном диапазоне $0 \dots +50^\circ\text{C}$). Допустимые напряжения в продольном высокопрочном элементе (например, стальном канате, высокопрочные проволоки которого получают волочением через фильеру) могут быть 200 кгс/мм^2 и более, а в корпусе рельса, получаемом прокатом, допускаемые температурные напряжения порядка 10 кгс/мм^2 , поэтому для обеспечения одинаковых усилий площадь продольного элемента может быть в $200/10 \text{ кгс/мм}^2 = 20$ раз меньшей (или наоборот: $10/200 = 0,05$).

При максимальном соотношении $F_{п.э.}/F_p > 20$ будет значительной площадь продольного элемента (и, соответственно, повышенная материалоемкость рельсового пути и анкерных опор, на которые натягиваются продольный элемент и рельс; соответственно - повышенная стоимость транспортной системы); это также приведет к возникновению значительных температурных изменений усилий в продольном элементе, что потребует возведения более мощных анкерных опор.

При минимальном соотношении $F_{п.э.}/F_p < 0,05$ усилия предварительного растяжения стального продольного элемента будет недостаточно для обеспечения устойчивости рельса под воздействием температурных сжимающих усилий в нем, поэтому необходимо будет использовать более высокопрочные и, соответственно, более дорогие материалы для продольного элемента, чем сталь (кристаллические усы, кевлар и т.п.).

Выбор соотношений кривизны вогнутости обода колеса и радиуса внешней поверхности скругленной головки рельса $(R_k - R_p)/R_p$ обусловлен следующими соображениями. Если это соотношение будет меньше чем $0,001$, то площадь поверхности контакта "колесо - рельс" будет достаточно большой и криволинейной, что приведет к повышению величины трения качения и к повышенному износу колес и головки рельсов. Если же это соотношение будет больше чем 5 , то площадь контакта будет очень малой, что будет приводить к высоким контактным напряжениям и к повышенному локальному износу контактирующих поверхностей колес и рельсов. Кроме того, при возрастании такого соотношения может оказаться, что колесо становится "очень большим", а рельс - очень "тонким", и поэтому теряющим свою несущую способность. Этими соображениями следует руководствоваться и при выборе соотношения размеров колеса и рельса. При $R_{п.к.}/R_p$ менее 1 в зоне контакта "колесо - рельс" будут чрезмерно высокими контактные напряжения (более 100 кгс/мм^2) из-за малой площади контакта. При $R_{п.к.}/R_p$ более 10 будет чрезмерно большим колесо подвижной единицы (и его неподрессоренная масса), что приведет к чрезмерным динамическим нагрузкам при высоких скоростях движения и потребует усиления рельсового пути и, соответственно, приведет к увеличению материалоемкости системы.

Заполнение пространства между внутренними стенками рельса и продольным элементом твердеющим материалом, в том числе расширяющимся при затвердевании (с созданием тем самым избыточного давления в полости рельса в $2 \dots 10 \text{ кгс/см}^2$ и более), позволяет повысить несущую способность рельса, т.к. в этом случае корпус рельса будет находиться в напряженном состоянии под усилием, направленным от центра рельса, и воздействие колес подвижных единиц, приводящее к локальному сжатию участков рельса, будет этим частично компенсироваться. Кроме того, повышается сопротивление прогибу рельса под воздействием веса подвижных единиц (транспортных средств).

Сущность изобретения иллюстрируется графическими материалами, где представлены

фиг. 1 - вариант выполнения рельса транспортной системы (поперечный разрез) и колеса подвижной единицы;

фиг. 2 - отрезок пути транспортной системы с подвижной единицей.

Транспортная система содержит (фиг. 1) пустотелый рельс 1 со скругленной головкой 1.1, выполненный, например, из стали, с внешним радиусом R_p (центр окружности O_1). Внутри рельса установлен предварительно напряженный продольный элемент 2, который может быть выполнен в виде каната, одного или нескольких прутьев, отдельных проволок, лент, полос как одиночных, так и собранных в пакет

и других элементов, изготовленных из стали или других высокопрочных материалов и композитов. Рельс 1 заполнен твердеющим материалом 3. На рельс опирается колесо 4 подвижной единицы 4.1 (фиг. 2), вогнутая поверхность обода 4.2 которого в зоне контакта с головкой рельса имеет радиус кривизны R_k (центр окружности O_2).

Отрезки рельса 1 и продольного элемента 2 закрепляются в анкерных узлах известным образом. Например, в случае реализации транспортной системы с путевой структурой, размещенной на анкерных 5 и промежуточных 5.1 опорах, как это показано на фиг. 2, такими узлами могут служить анкерные опоры 5, размещенные на основании 5.2. Корпус рельса 1 может соединяться с анкерным креплением 6 опор с помощью сварки или болтов, а продольный элемент 2, например, канат, с помощью зажимов 7.

В частных случаях пространство между внутренними стенками рельса 1 и продольным элементом 2 может оставаться свободным, а в других - заполняться наполнителем 3, который при затвердевании может увеличивать свой объем. В качестве такого материала может использоваться цементный раствор с мелкозернистым наполнителем и специальными добавками, обеспечивающими требуемые жесткостные и пластические характеристики наполнителя 3. Наполнитель может быть также изготовлен на основе полимерных связующих (эпоксидная смола, кремнийорганическая смола и др.), клеевых композитов, а также легкоплавких материалов (битум и др.). Этим же материалом может быть заполнено и пространство между отдельными элементами продольного элемента 2 (например, пространство между отдельными проволоками или прутьями), что в значительной степени позволит увеличить изгибную жесткость рельса.

Рельс может иметь головку, выполненную как одно целое с корпусом произвольной формы (прямоугольная форма корпуса, как показано на фиг. 1, эллиптическая, цилиндрическая или другая), либо - накладную головку, скрепленную с корпусом известными способами (сваркой, болтовыми соединениями, заклиниванием и др. - на чертежах не показано).

Транспортная система функционирует следующим образом.

Подвижная единица 4.1, снабженная автономной энергоустановкой, или состав подвижных единиц с локомотивом, перемещается по рельсовому пути, взаимодействуя колесами 4 с головкой 1.1 рельса 1. При движении подвижной единицы по рельсовому пути будет появляться прогиб рельса в нагруженном пролете транспортной системы, нарастающий по мере приближения к середине пролета и исчезающий при нахождении подвижной единицы на опоре. При этом, благодаря наличию предварительно напряженного продольного элемента 2, этот прогиб будет находиться в пределах $1/500 \dots 1/5000$ от длины пролета.

Естественно, что при перепаде эксплуатационных температур напряженно-деформированное состояние элементов рельса будет меняться, но при предлагаемом выборе площадей поперечных сечений предварительно напряженного продольного элемента и рельса отрицательное влияние этого фактора будет минимизировано. Благодаря разнице в кривизне вогнутой поверхности обода колеса и внешней поверхности головки рельса перемещение транспортной единицы будет осуществляться с минимальными потерями на трение, т.к. будет отсутствовать имеющий место в традиционных системах контакт реборд колеса с рельсом. За счет отсутствия такого контакта существенно снижается износ рельсов и колес, а также уровень шума. Кроме того, при поворотах подвижных единиц или движении их по дуге будет сохраняться оптимальная площадь контактной дорожки "рельс - обод" и будет устранено отрицательное влияние центростремительных сил вследствие самоустановки обода колеса относительно головки рельса.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Транспортная система, содержащая рельсовый путь, выполненный из полых рельсов со скругленной головкой, радиус кривизны которой в поперечном сечении меньше радиуса кривизны вогнутого обода контактирующего с ней колеса подвижной единицы, отличающаяся тем, что внутри рельса размещен предварительно напряженный продольный элемент, площадь поперечного сечения которого выбрана из соотношения

$$0,05 \leq \frac{F_{п.э.}}{F_p} \leq 20,$$

где $F_{п.э.}$ - площадь поперечного сечения продольного элемента, мм^2 ;

F_p - площадь поперечного сечения рельса, мм^2 ,

при этом отрезки рельса и продольного элемента закреплены в анкерных узлах, а рельсы и обод колеса выполнены со следующими соотношениями размеров:

$$0,001 \leq \frac{R_k - R_p}{R_p} \leq 5,$$

где R_k - радиус кривизны вогнутой поверхности обода колеса в зоне контакта с головкой рельса, мм;

R_p - радиус внешней поверхности головки рельса в зоне контакта с колесом, мм.

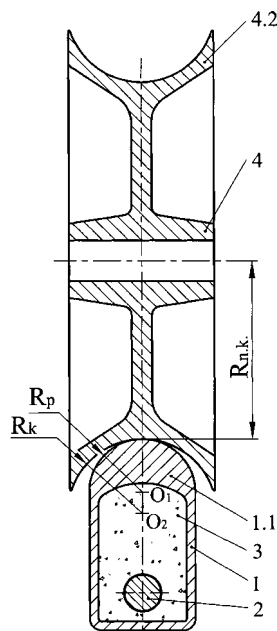
2. Транспортная система по п.1, отличающаяся тем, что рельсы и обод колеса выполнены со следующими соотношениями размеров

$$1 \leq \frac{R_{п.к.}}{R_p} \leq 10,$$

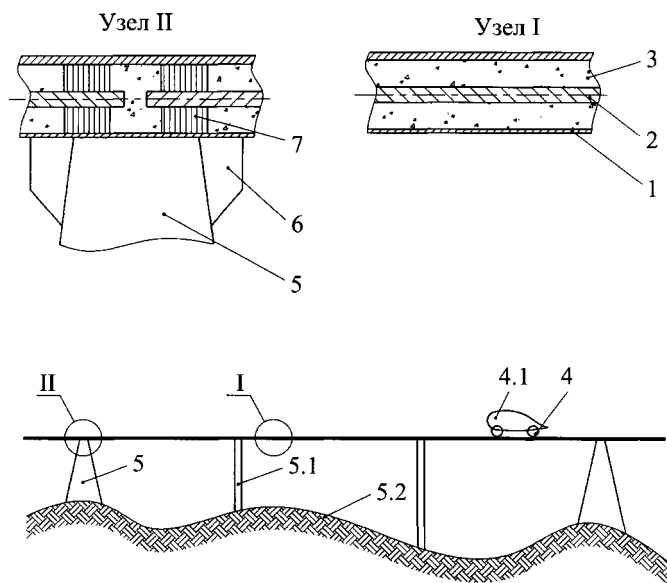
где $R_{п.к.}$ - радиус колеса по поверхности контакта с головкой рельса, мм.

3. Транспортная система по любому из пп.1, 2, отличающаяся тем, что пространство между внутренними стенками рельса и продольным элементом заполнено твердеющим материалом.

4. Транспортная система по любому из пп.1, 2, 3, отличающаяся тем, что пространство между внутренними стенками рельса и продольным элементом заполнено материалом, расширяющимся при затвердевании.



Фиг. 1



Фиг. 2



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2/6