

Изобретение относится к области транспорта, в частности к транспортным системам с путевой структурой, родственной путям подвесного и эстакадного типа. Оно может быть использовано при создании скоростных дорог струнного типа, для больших городов и междугородных сообщений, в том числе в условиях сильно пересечённой местности, гор, пустынь, а также при построении межцеховых транспортных структур рассредоточенных производственных предприятий и их объединений - структур, как многорельсовых, так и типа «монорельс».

Известна транспортная система с рельсовой путевой структурой, образованной парой горизонтальных рельсов, каждый из которых выполнен в виде соединённых между собой вертикальной плитой (шейкой) труб, т.е. гантелевидного профиля, напоминающего стандартный рельс с двумя оппозитно расположенными головками (пат. США № 5738016, кл. Е 01В 25/10, 1998).

Известная транспортная система имеет весьма громоздкую металлоёмкую конструкцию рельсовой путевой структуры, требующую для обеспечения прямолинейности (ровности) пути образования весьма малых пролётов между опорами эстакады. Увеличение же пролётов между опорами, несмотря на конструкционную жёсткость рельсов такого профиля, ведёт (при условии сохранения прямолинейности пути) к чрезмерному увеличению материалоёмкости рельсовой путевой структуры и снижению её удельной несущей способности.

Известна также транспортная система (Юницкого), содержащая закрепленные на основании в пролётах между смежными опорами и связанные между собой, по меньшей мере, одну основную нить в виде предварительно напряжённого силового органа, заключённого в корпус с сопряжённой с ним поверхностью качения для подвижных (транспортных) средств, и, по меньшей мере, одну вспомогательную нить с предварительно напряжённым силовым органом, расположенную на другом уровне от основной нити (пат. РФ № 2080268, кл. В 61В 5/02, 13/00, 1994 – прототип).

Транспортная система с путевой структурой такого типа обеспечивает высокую удельную несущую способность и низкую материалоёмкость, благодаря чему позволяет создать необходимую для скоростного движения прямолинейность (ровность) пути при весьма больших пролётах между смежными опорами (до 25 м). Однако в реальных условиях местности при прокладке транспортной системы встречаются весьма протяжённые участки, например овраги, поймы рек, которые для их преодоления требуют существенного увеличения пролётов между опорами при сохранении необходимой прямолинейности и жёсткости рельсовых нитей.

Способ построения транспортной системы, реализуемый в известном техническом решении, включает в себя установку на основании анкерных и промежуточных опор, натяжение и закрепление на разных уровнях на анкерных опорах продольных силовых органов («струн»), по меньшей мере, одной основной и одной вспомогательной нитей, а также последующую фиксацию основных и вспомогательных нитей на промежуточных опорах. Отсутствие связи между этими нитями (и соответствующих операций способа) не позволяет увеличить пролёты между смежными опорами из-за недостаточной несущей способности и невысокой жёсткости такого пролётного строения, что не позволяет обеспечить высокую ровность путевой структуры.

В основу изобретения положена задача обеспечения возможности увеличения пролётов между смежными опорами, при сохранении скоростных характеристик транспортной системы, ровности и жёсткости струнной путевой структуры.

Решение поставленной задачи в транспортной системе Юницкого, содержащей закрепленные на основании в пролётах между смежными опорами и связанные между собой, по меньшей мере, одну основную нить в виде предварительно напряжённого силового органа, заключённого в корпус с сопряжённой с ним поверхностью качения для подвижных средств, и, по меньшей мере, одну вспомогательную нить с предварительно напряжённым силовым органом, расположенную на другом уровне от основной нити, достигается тем, что основная и вспомогательная нити на пролёте между смежными опорами связаны между собой посредством последовательности периодически зигзагообразно ориентированных стержневых элементов, продольные оси которых образуют с продольными осями основной и вспомогательной нитей треугольники.

Таким выполнением транспортной системы (с путевой структурой в виде предварительно напряжённой струнно-стержневой фермы), благодаря сочетанию и взаимосвязи в ней свойств предварительно напряжённой путевой структуры со свойствами структур конструкционной жёсткости, каковыми являются традиционные стержневые фермы, обеспечивается возможность увеличения пролётов между опорами до 50... 100 м и более, практически при нулевой стреле провеса основной нити. Это позволяет строить транспортные системы как с многорельсовыми путевыми структурами, так и со структурами типа «монорельс».

Решение поставленной задачи обеспечивается как при выполнении вспомогательной нити в виде силового органа без сплошного корпуса (когда корпус как бы вырождается в множество рассредоточенных вдоль силового органа соединительных обечаек), так и при выполнении её со сплошным протяжённым корпусом, охватывающим силовую орган. В последнем случае вспомогательная нить (одна или более), будучи расположена под основной нитью в одной плоскости с ней, может использоваться в качестве подпорного рельса, имеющего боковую поверхность качения для пространственной ориентации на-

весных колёсных транспортных средств (для транспортной системы типа «монорельс»).

Решение задачи обеспечивается и в том случае, если вспомогательная нить в пролёте между смежными опорами закреплена под основной нитью с прогибом вниз относительно неё.

Это также способствует увеличению несущей способности путевой структуры, так как предварительно напряжённая вспомогательная нить при этом образует для основной нити распределённую по длине пролёта опорную поверхность.

При наличии двух основных нитей, образующих одну горизонтальную колею дороги, путевая структура может включать в себя одну, две, три или четыре вспомогательные нити (с протяжённым корпусом, охватывающим предварительно натянутый силовой орган, или без явно выраженного корпуса), располагаемых симметрично под основными двумя нитями.

Решение поставленной задачи обеспечивается и в том случае, если вспомогательная нить, закреплённая под основной нитью с прогибом вниз, снабжена одним или несколькими дополнительными предварительно напряжёнными силовыми органами, связывающими с основанием или/и с опорой одну или несколько её промежуточных точек, соответствующих вершинам углов треугольников, образованных стержневыми элементами и вспомогательной нитью.

Таким выполнением вспомогательной нити достигается смещение рабочей зоны характеристики распределённой опоры, работающей подобно пружине, в область меньших деформаций (т.е. за счет увеличения крутизны характеристики упругой распределённой опоры). Жёсткость такой опоры сохраняется до тех пор, пока дополнительный силовой орган (или множество их) находится в состоянии натяжения. Это также способствует возможности увеличения пролётов между опорами транспортной системы.

Решение задачи обеспечения возможности увеличения пролётов между опорами достигается также тем, что образуемые зигзагообразной ориентацией стержневых элементов и нитей треугольники имеют в своей последовательности возрастающую от смежных опор к середине пролёта между ними высоту, при этом основная нить расположена с выгибом вверх относительно прямой линии, проходящей через точки её закрепления на смежных опорах.

Таким выполнением путевой структуры транспортной системы достигается упреждающая компенсация неровности пути, которая могла бы возникнуть в динамике, при прохождении подвижного средства в пролёте между смежными опорами. Тем самым обеспечивается возможность дополнительного увеличения пролётов между опорами, без снижения скоростных параметров транспортной системы.

Решение поставленной задачи обеспечивается также тем, что расстояние на основной нити между смежными вершинами треугольников, образованных стержневыми элементами, и базовая длина подвижного средства удовлетворяют соотношению

$$0,1 \leq \frac{\ell_1}{\ell_2} \leq 10$$

где ℓ_1 - расстояние между смежными вершинами треугольников на основной нити, м;

ℓ_2 - базовая длина подвижного средства, м.

При соотношении $\ell_1/\ell_2 < 0,1$ расстояния ℓ_1 между вершинами треугольников струнно-стержневой фермы становятся настолько малыми в сравнении с ℓ_2 (т.е. в сравнении с габаритами подвижного средства), что ферма как бы вырождается в одну податливую нить, не обеспечивающую необходимую жёсткость и ровность пути при движении такого протяжённого подвижного средства (протяжённого в сравнении с ℓ_1).

При соотношении $\ell_1/\ell_2 > 10$ произойдёт перегрузка основной нити в интервале ℓ_1 колёсами многоколёсного подвижного средства, что потребует усиления основной нити и приведёт к повышению её материалоемкости.

Решение поставленной задачи достигается и в том случае, если сопряжённая с корпусом основной нити поверхность качения образована головкой рельса железнодорожного типа, подошва которого связана с корпусом нити.

Использование рельсов железнодорожного типа для построения структуры струнно-стержневого типа стало возможным благодаря тому, что соединение рельса с напряжённой основной нитью (силовой орган которой может натягиваться, в том числе вместе с рельсом, до усилий в несколько сотен тонн) исключает возможность потери устойчивости рельсом в случае появления температурных сжимающих напряжений в нём. Такая путевая структура может быть использована для движения железнодорожного транспорта, в том числе и скоростного, а также трамваев, рудничных и шахтных транспортных средств (вагонеток) и др.

Решение задачи достигается и в том случае, если сопряжённые с корпусами основных нитей поверхности качения объединены в общую поверхность, которая образована опирающимися на основные нити пакетом поперечных балок, уложенных с зазорами между собой.

Такое выполнение путевой структуры обеспечивает создание дорожного полотна без образования явно выраженных температурных деформационных швов, так как все температурные деформации возьмут на себя зазоры (имеющие величину 0,1... 1 мм) между поперечными балками, пакет которых, например, благодаря жёсткому соединению балок точками в шахматном порядке будет работать как своеобразная гармошка, без явных перемещений, так как каждая балка пакета будет лишь упруго прогибаться

на величину зазора между её точками связи с другими (смежными) балками.

Решение поставленной задачи в транспортной системе Юницкого (второй вариант), содержащей закреплённые на основании в пролётах между смежными опорами и связанные между собой, по меньшей мере, одну основную нить в виде предварительно напряжённого силового органа, заключённого в корпус с сопряжённой с ним поверхностью качения для подвижных средств, и, по меньшей мере, одну вспомогательную нить в виде предварительно напряжённого силового органа, заключённого в корпус с сопряжённой с ним поверхностью качения, расположенную эквидистантно под основной нитью, обеспечивается тем, что поверхность качения вспомогательной нити расположена сбоку, при этом с основной нитью вспомогательная нить на пролёте между смежными опорами связана посредством последовательности периодически зигзагообразно ориентированных стержневых элементов, продольные оси которых образуют с осями основной и вспомогательной нитей треугольники.

Таким выполнением транспортной системы обеспечивается дополнительная возможность её использования для движения подвижных средств навесного типа, так как эквидистантно расположенные под основной нитью вспомогательные нити (от одной до трёх) с боковыми поверхностями качения образуют вместе с нею единую жёсткую путевую структуру типа «монорельс».

В частности, решение поставленной задачи обеспечивается в такой системе тем, что она содержит две вспомогательные нити с боковыми поверхностями качения, расположенные на одном уровне симметрично относительно основной нити и связанные между собой стержневыми элементами.

Таким выполнением путевой структуры обеспечивается дополнительное повышение её жёсткости и несущей способности, а также улучшаются условия для обеспечения устойчивости и пространственной ориентации подвижных средств.

В способе построения транспортной системы, включающем установку на основании анкерных и промежуточных опор, натяжение и закрепление на разных уровнях на анкерных опорах продольных силовых органов, по меньшей мере, одной основной и одной вспомогательной нитей, а также последующую фиксацию основных и вспомогательных нитей на промежуточных опорах, решение поставленной задачи обеспечивается тем, что после закрепления основных и вспомогательных нитей на промежуточных опорах их связывают между собой системой рассредоточенных по всему пролёту между смежными опорами стержневых элементов, продольные оси которых образуют с продольными осями основной и вспомогательной нитей треугольники.

Решение задачи обеспечивается также тем, что силовые органы основной и вспомогательной нитей натягивают на анкерные опоры с усилиями, которые выбирают согласно соотношениям

$$5 \leq \frac{T_1}{P} \leq 1000 ,$$

$$0,1 \leq \frac{T_1}{T_2} \leq 10 ,$$

где T_1 - усилие натяжения силового органа основной нити, кгс;

T_2 - усилие натяжения силового органа вспомогательной нити, кгс;

P - нагрузка от подвижного средства на основную нить в интервале между смежными вершинами треугольников, образованных стержневыми элементами, кгс.

Такое натяжение продольных силовых органов нитей обеспечит оптимальные характеристики струнно-стержневой путевой структуры. Поскольку основная нить находится под непосредственным воздействием подвижной нагрузки (транспортного средства), то она работает как струнная балка (как жёсткая нить) в интервале l_1 между смежными вершинами стержневых треугольников и как напряжённая нить («пояс») струнно-стержневой фермы на пролёте l_0 между смежными опорами. Поэтому жёсткость основной нити будет определяться жёсткостью как за счёт натяжения T_1 её силового органа, так и за счёт изгибной жёсткости самой нити, образованной силовым органом, корпусом, элементами конструкции, создающими поверхность качения (и наполнителем, если таковой присутствует в корпусе).

При $T_1/P < 5$ натяжение основной нити обеспечит в интервале l_1 менее 10% жёсткости, а более 90% должны быть обеспечены за счёт жёсткости балки, имеющей, однако, повышенную материалоемкость. Поэтому дальнейшее уменьшение T_1 нецелесообразно.

При $T_1/P > 1000$ локальную жёсткость путевой структуры на 90% и более обеспечит натяжение T_1 нити, поэтому изгибная жёсткость струнной балки в интервале l_1 будет недоиспользована, что также приведёт к повышенной материалоемкости системы, в том числе за счёт чрезмерного нагружения анкерных опор.

При $T_1/T_2 < 0,1$ вспомогательная нить будет иметь избыточную прочность (по сравнению с основной нитью), что приведёт к неоправданно повышенной материалоемкости и, следовательно, к нецелесообразности. При этом конструкция практически перестаёт работать как ферма из-за ослабленного верхнего пояса.

При $T_1/T_2 > 10$ струнно-стержневая структура фермы вырождается в жёсткую основную нить, так как она перестаёт работать как ферма из-за слабого второго пояса. При этом возможна потеря устойчивости струнно-стержневой структурой из-за появления во вспомогательной нити сжимающих усилий, обуслов-

ленных как изгибающим моментом в пролёте l_0 от подвижной нагрузки, так и температурными деформациями.

Решение поставленной задачи достигается и тем, что вспомогательные нити, расположенные на одном уровне эквидистантно основной нити, предварительно соединяют между собой системой рассредоточенных по пролёту стержневых элементов, после чего эти нити соединяют стержневыми элементами с основной нитью.

Такая последовательность операций позволяет строить путевые структуры типа «монорельс», не нарушая параллельности вспомогательных нитей, образующих сопряжённые с их корпусами боковые поверхности качения для пространственной ориентации подвижных средств навесного типа.

Сущность изобретения иллюстрируется графическими материалами, где представлены

на фиг. 1 - схема общего вида транспортной системы;

на фиг. 2 - фрагмент выполнения одного из возможных вариантов конструктивной связи между основной и вспомогательной нитями транспортной системы;

на фиг. 3а, 3б, 3в - возможные виды конструктивного выполнения рельсов основной нити;

на фиг. 4а, 4б, 4в - возможные виды конструктивного выполнения вспомогательной нити;

на фиг. 5а, 5б, 5в - возможные схемы взаимного расположения основной и вспомогательной нитей для транспортной системы монорельсового типа;

на фиг. 6а, 6б, 6в, 6г, 6д, 6е - возможные схемы взаимного расположения основной и вспомогательной нитей для монорельсовой транспортной системы;

на фиг. 7 - фрагмент транспортной системы с вспомогательной нитью, закрепленной между смежными опорами с прогибом вниз;

на фиг. 8 - фрагмент транспортной системы с вспомогательной нитью, выполненной с дополнительными предварительно напряжёнными оттягивающими силовыми органами;

на фиг. 9 - фрагмент транспортной системы с основной нитью, закрепленной между смежными опорами с выгибом вверх;

на фиг. 10 - возможный вариант конструктивного сопряжения с корпусом основной нити поверхности качения в виде головки рельса железнодорожного типа;

на фиг. 11а, 11б, 11в - один из видов конструктивного выполнения объединённой плоскостной поверхности качения (для езды поверху) в виде пакета поперечных балок, уложенных на основных нитях (проекции);

на фиг. 12а, 12б - возможные варианты размещения поверхностей качения, образованных пакетом поперечных балок на основных нитях (для езды понизу).

Предлагаемая транспортная система (фиг. 1) содержит закреплённые на основании 1 между анкерными 2 и промежуточными 2' опорами, по меньшей мере, одну основную нить 3 и одну вспомогательную нить 4, размещённые на разных уровнях и связанные между собой посредством последовательности периодически зигзагообразно ориентированных стержневых элементов 5 (фиг. 2).

Основная нить 3 образована натянутыми между анкерными опорами 2 рельсами струнного типа (см. фиг. 3а, 3б, 3в), которые могут иметь множество конструктивных разновидностей и помимо тех, что представлены на фиг. 3а, 3б, 3в. Общей же особенностью рельсов такого типа является наличие протяжённого корпуса 6 с сопряжённой с ним поверхностью качения 6' и с заключённым внутри него предварительно напряжённым продольным силовым органом 7. Поверхность качения 6' может быть образована поверхностью самого корпуса 6, например, в виде его верхней части - неявно выраженной головки (фиг. 3б) или головки, выраженной явно (фиг. 3в), либо может быть образована рельсом или головкой накладного типа, как это показано на фиг. 3а (а также на фиг. 2), где функции корпуса 6 выполняет спираль из высокопрочной проволоки или ленты. В данном случае головка с удлинённой нижней частью (юбкой), перекрывающей большую часть поверхности спиралевидного корпуса 6, при натяжении нити на опорах берёт на себя функции предварительно напряжённого корпуса рельса. Со стержневыми элементами 5 юбка при этом соединяется посредством крепежных элементов 8, представляющих собой скобы, приваренные к юбке (и к стержневым элементам). В любом из вариантов конструкции сопряжённая с корпусом 6 поверхность качения 6' образует гладкий путь для опорных колёс 9 подвижного средства (фиг. 5а, 5б, 5в), каждое из которых даёт вертикальную нагрузку P на путевую структуру.

В качестве силового органа 7 в струнных рельсах могут использоваться один или несколько пучков силовых элементов из высокопрочной стальной проволоки (фиг. 3а), прутья, собранные в один пучок (фиг. 3б), либо рассредоточенные по сечению полости корпуса 6 рельса, один или несколько стандартных витых или невитых стальных канатов (фиг. 3в), а также нити, полосы, ленты или другие протяжённые элементы из высокопрочных материалов (на рисунках не показано). Пустоты в корпусе между элементами силового органа могут заполняться твердеющим материалом 7а (фиг. 3в) на основе полимерных связующих или цементными смесями, которые жёстко связывают в одно целое элементы силового органа 7 и корпус 6, омоноличивая конструкцию струнного рельса.

Конструкции струнных рельсов, показанные на фиг. 3а, 3б, 3в и 4в, могут использоваться как для основной нити 3, так и для вспомогательной нити 4, а показанные на фиг. 4а и 4б - только для вспомогательных нитей, так как они не имеют сплошного корпуса.

Вспомогательная нить 4 (фиг. 1) может быть образована силовым органом 7' без явно выраженного корпуса, как это представлено на фиг. 2, где функции корпуса частично выполняют крепежные элементы 8' - обечайки (фиг. 2), хомуты (фиг. 4а) или зажимы (фиг. 4б), обеспечивающие (преимущественно, сваркой) со стержневыми элементами 5 жёсткую связь между основной 3 и вспомогательной 4 нитями. Вспомогательная нить может быть образована и силовым органом, заключённым в жёсткий корпус 6 по всему пролёту между смежными опорами (фиг. 4в). Охваченный же крепежными элементами 8' силовой орган 7' может состоять из одного каната или прута (фиг. 2) или может включать в себя несколько силовых элементов в виде канатов, прутьев или других протяжённых элементов из высокопрочных материалов (фиг. 4а, 4б). В качестве силового элемента основной и вспомогательной нитей дополнительно могут использоваться также корпус нитей и другие продольно ориентированные элементы путевой структуры, например головка рельса.

Выполнение в транспортной системе вспомогательной нити с корпусом 6 (фиг. 4в), охватывающим натянутый под основной нитью продольный силовой орган по всей его длине, создаёт возможность использования такой путевой структуры для навесного (монорельсового) подвижного средства. В подобной структуре вспомогательная нить (одна или несколько) располагается эквидистантно под основной нитью, и образует, по меньшей мере, одну дополнительную боковую поверхность качения для пространственной ориентации навесного подвижного средства. Монорельсовая путевая структура (фиг. 5а, 5б, 5в), в зависимости от назначения и грузонасыщенности транспортной системы, при одной основной нити 3 может включать в себя от одной (фиг. 5а) до трех (фиг. 5в) вспомогательных нитей 4, которые образуют две дополнительные боковые поверхности качения для вспомогательных колёс 10 подвижного средства, при этом опорное колесо 9 опирается на основную нить 3 сверху. Для увеличения жёсткости путевой структуры вспомогательные нити 4 соединены друг с другом поперечинами (стержневыми элементами) 5' (фиг. 5б, 5в).

При построении многорельсовой транспортной системы (фиг. 6а, 6б, 6в, 6г, 6д, 6е) она может включать в себя от одной (фиг. 6а) до четырёх вспомогательных нитей 4 (фиг. 6е), располагаемых симметрично относительно двух основных нитей 3. При этом выбор числа вспомогательных нитей определяется грузонасыщенностью транспортной системы, а схема взаимного расположения их относительно основных нитей - конструктивными соображениями. Так, например, схемы, представленные на фиг. 6в, 6д, 6е, обеспечивают большую жёсткость выдержки базового размера колеи и позволяют обойтись без поперечин, которые подобно шпалам обычной железной дороги задают и поддерживают эту базу.

Схемы же, показанные на фиг. 6а, 6б, 6г, обеспечивают больше возможностей для дополнительной стабилизации подвижного средства на основных нитях 3, например так, как это показано на предыдущем рисунке 5а - с использованием вспомогательных колёс 10. В любом случае основная 3 и вспомогательные 4 нити, связанные между собой стержневыми элементами 5, размещены в одной плоскости - вертикальной или наклонной.

Для увеличения поперечной жёсткости многорельсовой путевой структуры основные нити 3 (фиг. 6б) или вспомогательные нити 4 (фиг. 6в) могут быть соединены поперечинами (стержневыми элементами) 5', которые как и стержневые элементы 5 в пролётах между смежными опорами, могут быть связаны с нитями с образованием треугольников.

Возможен также целый ряд схем с диагональной (перекрестной) ориентацией плоскостей расположения стержневых элементов, связывающих между собой основные и вспомогательные нити путевой структуры рассматриваемого типа (на рисунках не показано).

Вспомогательная нить 4 может быть закреплена между смежными опорами 2' (фиг. 7) с прогибом f вниз, что способствует повышению ровности пути, так как вспомогательная нить в этом случае образует распределённую опору для связанной с ней стержневыми элементами 5 основной нити 3. При этом, благодаря увеличению расстояния между продольными осями основной и вспомогательной нитей к середине пролёта, возрастает момент сопротивления эквивалентного сечения такой (струнно-стержневой) путевой структуры под нагрузкой. Вспомогательная нить 4 (фиг. 8) при этом может быть снабжена одним или несколькими дополнительными предварительно напряжёнными силовыми органами 11, несущими функции оттяжек, которые связывают с основанием или/и с опорами вершины углов треугольников, образуемых стержнями 5 и нитью 4. Силовые органы с такими функциями, благодаря их связи с вершинами углов стержневых треугольников, позволяют обеспечивать более высокую прямолинейность основной нити струнно-стержневой путевой структуры при всех тех значениях расчетной нагрузки от подвижного средства, в диапазоне которых дополнительные силовые органы находятся под действием предварительно заданных растягивающих усилий. Силовые органы такого рода могут быть выполнены как ответвление от силового органа 7' вспомогательной нити 4 либо отдельно от вспомогательной нити с последующим сочленением их между собой. На указанной фигуре изображены два дополнительных силовых органа 11, связывающих с основанием 1 две равноудалённые от промежуточных опор 2' точки вершин углов стержневых треугольников на вспомогательной нити 4. Но на практике могут использоваться и другие схемы такой связи, в том числе и с меньшим (одна) или большим числом точек, а также как с наклонным размещением силового органа 11, так и с вертикальным (на рисунках не показано). Во всех вариантах выполнения вспомогательной нити с предварительным прогибом f (фиг. 7, фиг. 8, фиг. 9) его

значения выбирают согласно соотношению

$$\frac{1}{500} \leq \frac{f}{\ell_0} \leq \frac{1}{5}$$

При соотношении $f/\ell_0 < 1/500$ относительное значение прогиба становится настолько малым, что это практически не скажется на работе струнно-стержневой фермы.

При значениях $f/\ell_0 > 1/5$ путевая структура будет иметь повышенную материалоемкость из-за чрезмерного увеличения габаритов струнно-стержневой фермы по высоте в центре пролёта, что нецелесообразно.

Для особо протяженных пролётов - при условии сохранения скоростных характеристик транспортной системы - целесообразно основную нить 3 (фиг. 9) располагать с выгибом вверх в пролёте между смежными опорами на величину Δ , уступающую величину деформации (прогиб) её под действием веса проходящего по пролёту между опорами 2' подвижного средства 12. Обеспечивается такой (упреждающий) выгиб Δ выполнением последовательности указанных стержневых треугольников с возрастающей от периферии к середине пролёта между смежными опорами высотой, что легко рассчитывается на основании известных предпосылок и зависимостей. При этом выгиб основной нити принимают в соответствии с соотношением

$$0,0001 \ell_0 < \Delta < 0,01 \ell_0$$

Базовая длина ℓ_2 подвижного средства 12 (расстояние между колесами) в оптимальном варианте должна быть больше половины интервала ℓ_1 между смежными вершинами стержневых треугольников на основной нити 3 (фиг. 9), т.е. $\ell_1/\ell_2 \leq 2$.

При соотношении $\ell_1 = 2 \ell_2$ максимальный изгибающий момент от двух колёс 9 с нагрузкой P на каждое колесо в интервале ℓ_1 будет равен $M'_{\text{тах}} = P \cdot \ell_1 / 4$, а максимальный изгибающий момент от одного колеса с нагрузкой P , находящегося в центре этого же интервала ℓ_1 также будет равен $M''_{\text{тах}} = P \cdot \ell_1 / 4$. Поэтому во всем диапазоне указанного соотношения ($0,1 \leq \ell_1/\ell_2 \leq 2$) работа основной нити на интервале ℓ_1 будет находиться в режиме нагружения одним колесом подвижного средства. При $\ell_1/\ell_2 > 10$ изгибающий момент под воздействием второго колеса многоколёсного подвижного средства станет значительным и соизмеримым с изгибающим моментом от первого колеса, что приведёт к перегрузке основной рельсовой нити на интервале ℓ_1 и увеличению её материалоемкости, что нецелесообразно.

При другом граничном соотношении $\ell_1 < 0,1 \ell_2$ интервал ℓ_1 между смежными вершинами треугольников на основной нити 3 становится настолько малым в сравнении с ℓ_2 , что струнно-стержневая ферма будет работать как одна жёсткая нить, натянутая усилием $T_0 = T_1 + T_2$, то есть она вырождается в одиночную нить, имеющую недостаточную жёсткость на больших пролётах. При оптимальном соотношении $\ell_1 = \ell_2$ струнно-стержневая ферма имеет оптимальную жёсткость при минимальной материалоемкости. Поэтому такое соотношение наиболее целесообразно для обеспечения высокой жёсткости и ровности основной нити путевой структуры на больших пролётах.

Во всех рассмотренных выше случаях выполнения транспортной системы в последовательности периодически зигзагообразно ориентированных стержневых элементов 5, связывающих между собой основную 3 и вспомогательную 4 нити, могут присутствовать стержневые элементы, ориентированные относительно основной нити нормально. При этом они могут либо чередоваться с наклонно ориентированными стержневыми элементами (фиг. 7), либо быть дополнительно установлены между ними (фиг. 8).

Соединение стержневых элементов 5 с основной 3 и вспомогательной 4 нитями путевой структуры может производиться (как жёстко, так и шарнирно) сваркой, клепкой, болтами, либо другими известными способами. На вспомогательной нити для этого могут использоваться не только хомуты (фиг. 4а) или зажимы (фиг. 4б), но и обечайки в виде опрессовочных колец или патрубков, вплоть до ограниченных участков в виде корпуса без поверхности качения (на фиг. не показано).

Поверхность качения б' основной рельсовой нити может быть образована также головкой ба рельса железнодорожного типа, который через подошву бб и упругую подкладку бв связан с корпусом б основной нити (фиг. 10). Рельс может быть зафиксирован от поперечных и продольных перемещений зажимами бг с болтами бд.

Такая конструкция транспортной системы может использоваться для железнодорожного, трамвайного или иного рельсового транспорта, в том числе высокоскоростного.

Транспортная система струнного типа не ограничивается использованием подвижных средств колёсного типа и может быть реализована с бесколёсными транспортными средствами, например со средствами на магнитной или воздушной подушке. Для этого сопряжённая с корпусами основных нитей поверхность качения б' в транспортной системе такого рода может быть образована и опирающимся на эти нити пакетом поперечных балок бе (с дорожным покрытием или без него), уложенных на две или более основные нити 3 с зазорами δ между собой (фиг. 11а, 11б, 11в). Такой пакетный настил может быть выполнен из стальных балок или стального проката (швеллер, тавр, двутавр, уголок, труба и др.), которые дискретно (например, сваркой) скреплены между собой в точках бж, рассредоточенных в шахматном порядке по зазорам между ними (фиг. 11в). Это позволяет пакету в пределах локальной упругой деформации балок бе в промежутке δ между точками бж их соединения (за счёт прогиба каждой из них на ве-

личину 0,1... 1 мм) компенсировать температурные деформации без явно выраженных перемещений настила. Благодаря этому температурные напряжения в настиле, работающем подобно нерастяжимой гармошке, не будут передаваться нитям, на которых он закреплён. Поэтому отпадает также потребность в устройстве поперечных температурных деформационных швов в конструкции струнной путевой структуры. При этом величина зазора δ между балками б_е, имеющими ширину а, определяется соотношением

$$0,001 \leq \frac{\delta}{a} \leq 0,1.$$

На настиле может быть уложено дорожное покрытие бз, например асфальтобетонное или с использованием других упруго-пластичных связующих, образующее поверхность качения б'.

Образованная настилом такого вида общая поверхность качения (которую можно назвать плоскостной) может монтироваться на основных нитях 3 путевой структуры как при их расположении над вспомогательными нитями 4 (фиг. 11а, 11б, 11в), так и при их расположении под вспомогательными нитями 4 (фиг. 12а, 12б). При этом настил из пакета поперечных балок б_е может использоваться как с дорожным покрытием бз (фиг. 12а), так и без него, например в случае, когда поверхность качения в виде головки рельса ба сопряжена с корпусами основных нитей посредством поперечных балок би, выполняющих при этом функции шпал (фиг. 12б).

Описанная транспортная система работает следующим образом.

При появлении в пролёте 1₀, например, между смежными промежуточными опорами 2' (фиг. 1) подвижного средства 12, по мере его продвижения от одной опоры к другой возрастает изгибающий момент, создаваемый им относительно точки крепления на опоре основной нити 3, стремящийся прогнуть эту нить. Этому изгибающему моменту противодействуют не только величины натяжения Т₁ основной и Т₂ вспомогательной нитей, но и жёсткость пространственной структуры зигзагообразно ориентированных стержневых элементов 5, образующих вместе с обеими нитями своеобразную струнно-стержневую предварительно напряжённую ферму, обладающую собственным моментом сопротивления в каждом сечении. Присутствие связанной жесткими стержневыми элементами 5 с основной рельсовой нитью 3 вспомогательной нити 4 приводит к тому, что воспринимаемая основной нитью 3 нагрузка через треугольники, образованные осями жестких стержневых элементов 5, передаётся вспомогательной нити 4, т.е. воспринимается всей путевой структурой, работающей подобно стержневой ферме (но предварительно напряжённой). При этом, если вспомогательная нить 4 под основной нитью закреплена с прогибом f вниз (фиг. 7, фиг. 8, фиг. 9), то момент сопротивления поперечного сечения такой путевой структуры при движении подвижного средства от опоры к опоре возрастает к середине пролёта между ними, что уменьшает деформацию путевой структуры при движении подвижного средства.

Благодаря тому, что силовые органы основной 3 и вспомогательной 4 нитей предварительно натянуты до высоких усилий, в них под действием расчётного изгибающего момента от расчётной подвижной нагрузки в сжатых участках не возникают напряжения сжатия (в них лишь уменьшаются усилия растяжения на величину усилий сжатия). Поэтому они сохраняют и устойчивость при малых поперечных размерах и, соответственно, низкой материалоемкости. Движение подвижного средства в пролёте между опорами лишь изменит напряжения растяжения в силовых органах нитей до меньших значений (например, с 10000 до 5000 кгс/см²). Кроме этого, во всем температурном диапазоне работы струнно-стержневой структуры (например, от +50°С летом до -50°С зимой) в ней не появятся результирующие сжимающие температурные напряжения, т.к. силовые органы нитей предварительно растянуты до усилий, больших чем максимальные температурные усилия сжатия, возникающие в сплошных протяженных элементах путевой структуры (силовой орган, корпус рельса, головка рельса и др.). Тем самым исключается необходимость в температурных деформационных швах (стыках) в нитях (в корпусе и головке рельса) и обеспечивается высокая ровность основной нити и сопряжённой с ней поверхности качения.

При наезде подвижного средства 12 на путевую структуру с выгнутой вверх основной нитью (фиг. 9) последняя, прогибаясь вниз (вместе со вспомогательной нитью 4 и стержневой структурой 5) на заранее определённую величину Δ, обеспечивает подвижному средству ровный (прямолинейный) путь движения. Наличие такого механизма взаимодействия подвижного средства с путевой структурой позволяет существенно увеличить пролёты между опорами без ухудшения ровности пути.

Работа путевой структуры, в которой сопряжённая с корпусами нитей поверхность качения образована настилом из поперечных балок, уложенных пакетом, происходит аналогичным образом, так как путевая структура, образованная струнно-стержневыми фермами, остаётся неизменной.

Способ построения транспортной системы описанного типа осуществляется следующим образом.

После установки анкерных 2 и промежуточных 2' опор на основании 1 сначала на анкерные опоры 2 натягивают и закрепляют силовые органы основной 3 и вспомогательной 4 нитей путевой структуры (фиг. 1, фиг. 7, фиг. 8, фиг. 9). Затем на промежуточных (поддерживающих) опорах 2' фиксируют (в проектом положении) обе нити относительно друг друга, после чего их жёстко, например сваркой, связывают между собой последовательностью периодически зигзагообразно ориентированных стержневых элементов 5, обеспечивая при этом необходимые величины натяжения (Т₁ и Т₂) основной и, соответственно, вспомогательной нитей.

Корпуса нитей и головки рельса могут монтироваться как до, так и после фиксации силовых органов нитей на промежуточных опорах.

Фиксацию нитей в проектном положении в пролёте между смежными опорами при монтаже стержневых элементов 5 осуществляют известными вспомогательными средствами, например с помощью лесов и подмостей. Этими же средствами обеспечивается и соблюдение проектных значений усилий натяжения T_1 и T_2 в процессе строительно-монтажных работ, так как основным условием неизменности этих усилий является отсутствие поперечных перемещений нитей в пролёте между смежными опорами, что и обеспечивается фиксацией нитей. При этом усилия T_1 и T_2 предварительного натяжения силовых органов основной и вспомогательной нитей выбирают в пределах

$$\begin{aligned} 5 \leq T_1/P \leq 1000, \\ 0,1 \leq T_1/T_2 \leq 10, \end{aligned}$$

которые находятся в диапазоне от 10^3 кгс (для лёгких подвижных средств и малых пролётов) до 10^7 кгс (для тяжёлых подвижных средств и больших пролётов).

При построении монорельсовой системы (фиг. 5б, 5в) с несколькими вспомогательными нитями их вначале эквидистантно и на одном уровне закрепляют на опорах, соединяют между собой системой распределённых по пролёту стержневых элементов 5', после чего эти нити жёстко соединяют с основной нитью стержневыми элементами 5.

При построении транспортной системы с прогнутой вниз вспомогательной нитью 4 (фиг. 7, фиг. 8, фиг. 9) она может выполнять функции подмостей при монтаже основной нити 3 и стержней 5 (для этого её прогиб f в струнно-стержневой ферме должен быть согласован с монтажным прогибом под действием веса монтируемых элементов).

Основные и вспомогательные нити могут натягиваться на анкерные опоры в виде плетей (длиной до 5000 м). В этом случае сплошной корпус 6 (фиг. 3б, фиг. 3в, фиг. 4в) будет предварительно напряжён (растянут вместе с силовым органом). В случае использования наборного (спиралевидного) корпуса 6 (фиг. 3а), корпус после натяжения силового органа 7 основной (или вспомогательной) нити напряжён не будет.

Выбор того или иного варианта конструктивного выполнения основной и вспомогательной нитей для построения транспортной системы определяется условиями её эксплуатации, проектными требованиями к ней, прежде всего её назначением, видом перевозимых грузов, массой и скоростью движения подвижных средств.

Во всех описанных соотношениях размеры элементов ($l_0, l_1, l_2, \Delta, f, \delta, a$) выражаются в метрах, а значения усилий (T_1, T_2) и нагрузки (P) - в кгс.

Описанная транспортная система может найти применение при строительстве как монорельсовых, так и монорельсовых магистралей в самых различных природных условиях, так как позволяет довести пролёты между опорами до 50... 100 м и более, при невысокой её материалоемкости и, соответственно, стоимости.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Транспортная система, содержащая закреплённые на основании в пролётах между смежными опорами и связанные между собой, по меньшей мере, одну основную нить в виде предварительно напряжённого силового органа, заключённого в корпус с сопряженной с ним поверхностью качения для подвижных средств, и, по меньшей мере, одну вспомогательную нить с предварительно напряжённым силовым органом, расположенную на другом уровне от основной нити, отличающаяся тем, что основная и вспомогательные нити на пролёте между смежными опорами связаны между собой посредством последовательности периодически зигзагообразно ориентированных стержневых элементов, продольные оси которых образуют с продольными осями основной и вспомогательной нитей треугольники.

2. Транспортная система по п.1, отличающаяся тем, что вспомогательная нить в пролёте между смежными опорами закреплена под основной нитью с прогибом вниз относительно нее.

3. Транспортная система по любому из пп.1, 2, отличающаяся тем, что вспомогательная нить, закреплённая под основной нитью с прогибом вниз, снабжена одним или несколькими дополнительными предварительно напряжёнными силовыми органами, связывающими с основанием или/и с опорой одну или несколько её промежуточных точек, соответствующих вершинам углов треугольников, образованных стержневыми элементами и вспомогательной нитью.

4. Транспортная система по любому из пп.1, 2, 3, отличающаяся тем, что образуемые зигзагообразной ориентацией стержневых элементов и нитей треугольники имеют в своей последовательности возрастающую от смежных опор к середине пролёта между ними высоту, при этом основная нить расположена с выгибом вверх относительно прямой линии, проходящей через точки её закрепления на смежных опорах.

5. Транспортная система по любому из пп.1, 2, 3, 4, отличающаяся тем, что расстояние на основной нити между смежными вершинами треугольников, образованных стержневыми элементами, и базовая длина подвижного средства удовлетворяют соотношению

$$0,1 \leq \frac{\ell_1}{\ell_2} \leq 10,$$

где ℓ_1 - расстояние между смежными вершинами треугольников на основной нити, м;

ℓ_2 - базовая длина подвижного средства, м.

6. Транспортная система по любому из пп.1, 2, 3, 4, 5, отличающаяся тем, что сопряжённая с корпусом основной нити поверхность качения образована головкой рельса железнодорожного типа, подошва которого связана с корпусом нити.

7. Транспортная система по любому из пп.1, 2, 3, 4, 5, отличающаяся тем, что сопряженные с корпусами основных нитей поверхности качения объединены в общую поверхность, которая образована опирающимися на основные нити пакетом поперечных балок, уложенных с зазорами между собой.

8. Транспортная система, содержащая закреплённые на основании в пролётах между смежными опорами и связанные между собой, по меньшей мере, одну основную нить в виде предварительно напряжённого силового органа, заключённого в корпус, с сопряжённой с ним поверхностью качения для подвижных средств, и, по меньшей мере, одну вспомогательную нить в виде предварительно напряжённого силового органа, заключённого в корпус с сопряжённой с ним поверхностью качения, расположенную эквидистантно под основной нитью, отличающаяся тем, что поверхность качения вспомогательной нити расположена сбоку, при этом с основной нитью вспомогательная нить на пролёте между смежными опорами связана посредством последовательности периодически зигзагообразно ориентированных стержневых элементов, продольные оси которых образуют с осями основной и вспомогательной нитей треугольники.

9. Транспортная система по п.8, отличающаяся тем, что она содержит две вспомогательные нити с боковыми поверхностями качения, расположенные на одном уровне симметрично относительно основной нити и связанные между собой стержневыми элементами.

10. Способ построения транспортной системы, включающий установку на основании анкерных и промежуточных опор, натяжение и закрепление на разных уровнях на анкерных опорах продольных силовых органов, по меньшей мере, одной основной и одной вспомогательной нитей, а также последующую фиксацию основных и вспомогательных нитей на промежуточных опорах, отличающийся тем, что после закрепления основных и вспомогательных нитей на промежуточных опорах их связывают между собой системой рассредоточенных по всему пролёту между смежными опорами стержневых элементов, продольные оси которых образуют с продольными осями основной и вспомогательной нитей треугольники.

11. Способ по п.10, отличающийся тем, что силовые органы основной и вспомогательной нитей натягивают на анкерные опоры с усилиями, которые выбирают согласно соотношениям

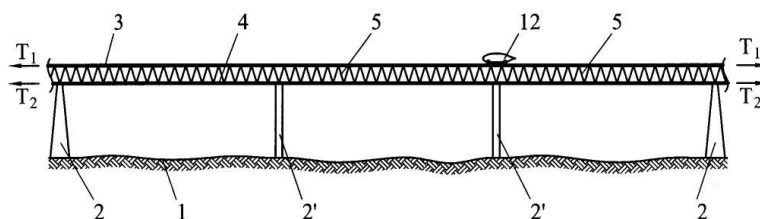
$$5 \leq \frac{T_1}{P} \leq 1000,$$

$$0,1 \leq \frac{T_1}{T_2} \leq 10,$$

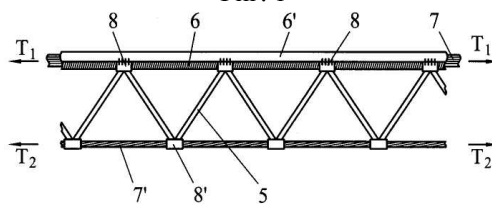
где T_1 - усилие натяжения силового органа основной нити, кгс;

T_2 - усилие натяжения силового органа вспомогательной нити, кгс;

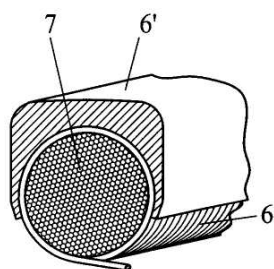
P - нагрузка от подвижного средства на основную нить в интервале между смежными вершинами треугольников, образованных стержневыми элементами, кгс.



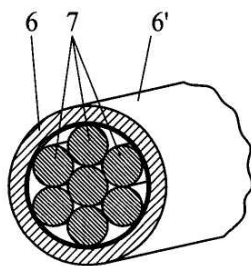
Фиг. 1



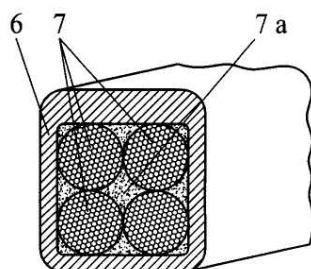
Фиг. 2



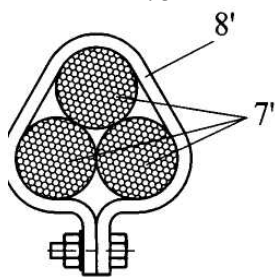
Фиг. 3а



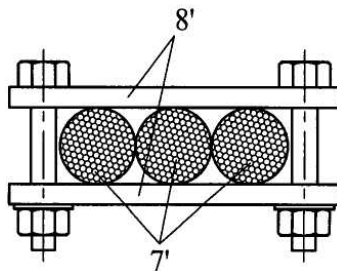
Фиг. 3б



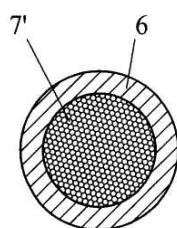
Фиг. 3в



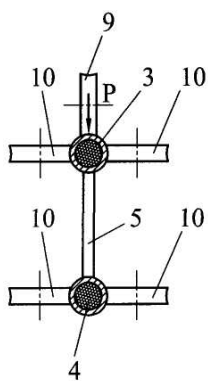
Фиг. 4а



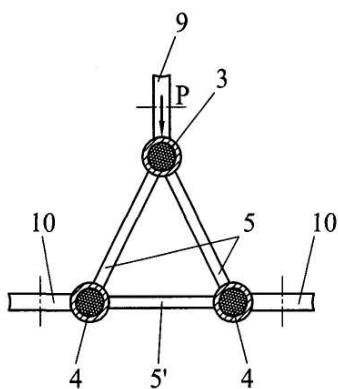
Фиг. 4б



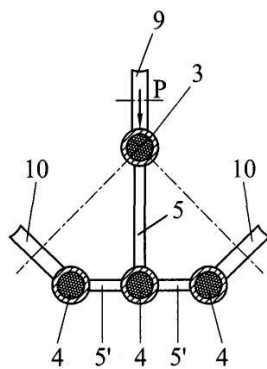
Фиг. 4в



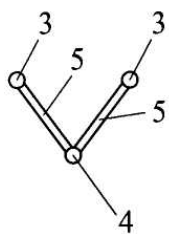
Фиг. 5а



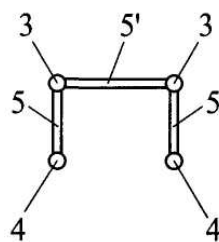
Фиг. 5б



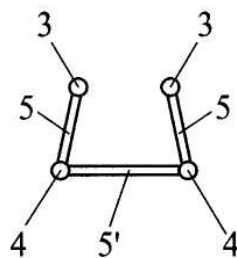
Фиг. 5в



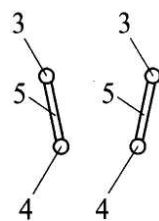
Фиг. 6а



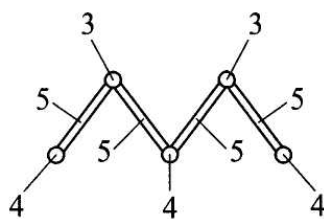
Фиг. 6б



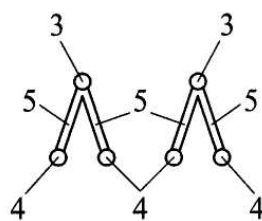
Фиг. 6в



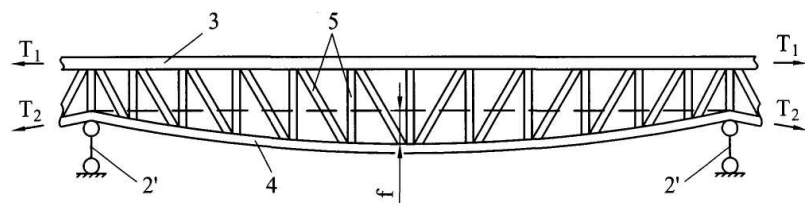
Фиг. 6г



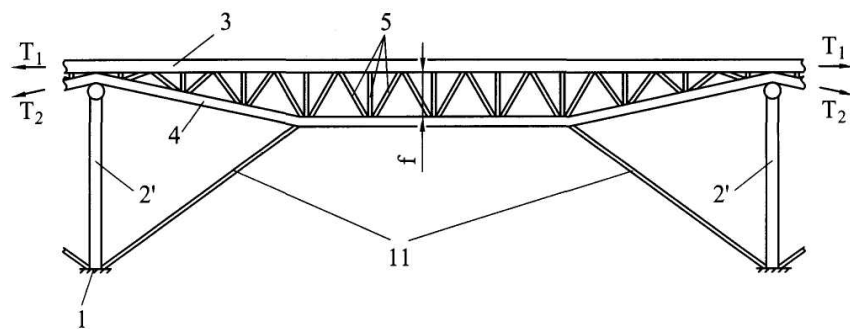
Фиг. 6д



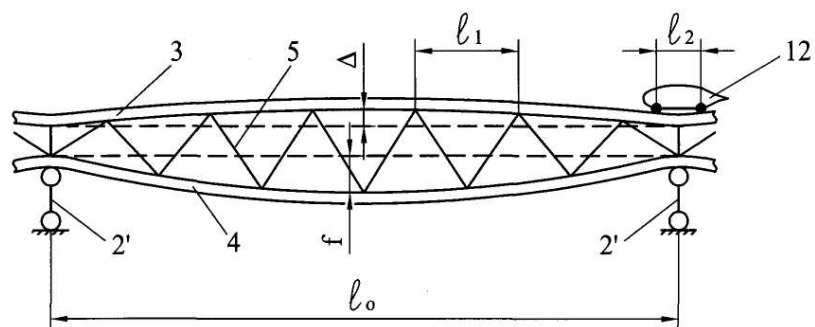
Фиг. 6е



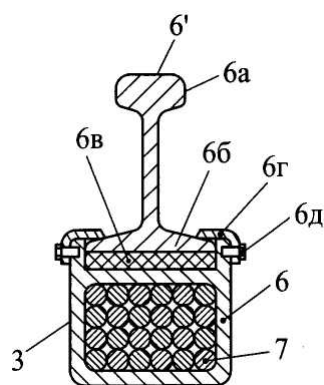
Фиг. 7



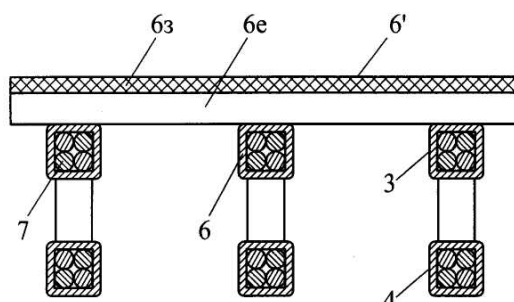
Фиг. 8



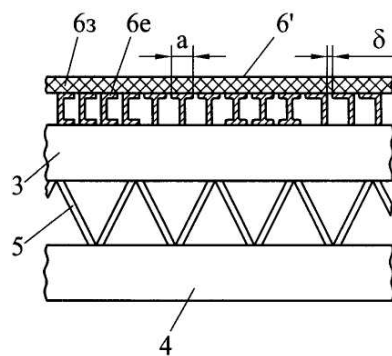
Фиг. 9



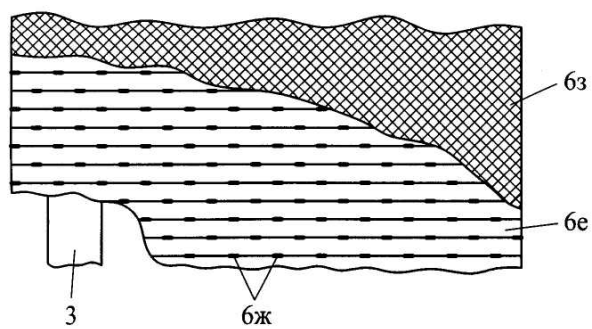
Фиг. 10



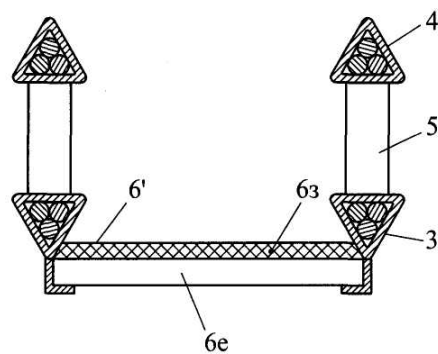
Фиг. 11а



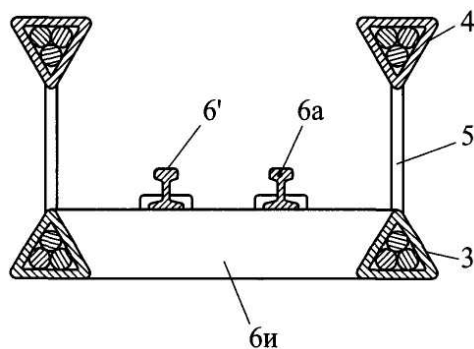
Фиг. 11б



Фиг. 11в



Фиг. 12а



Фиг. 12б

