

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 структур типа «монорельс».

Известна транспортная система с рельсовой путевой структурой, образованной парой расположенных на одном уровне рельсов, каждый из которых выполнен в виде соединённых между собой вертикальной плитой (шейкой) труб, т.е. гантелевидного профиля, напоминающего рельс железнодорожного типа с двумя оппозитно расположенными головками (пат. США № 5738016, кл. E 01B 25/00, 1998). Каждая пара труб, образующих рельс гантелевидного профиля, крепится посредством соединяющей их плиты на Т-образных опорах эстакадного типа к торцам перекладин, и образует с противоположащей парой одну рельсовую колею для качения несущих и предохранительных (блокирующих) колёс транспортного средства.

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 материалоемкости рельсовой путевой структуры и снижению её удельной несущей способности.

Известна также транспортная система (Юницкого), содержащая закреплённую на основании на опорах по меньшей мере одну основную (рельсовую) нить в виде предварительно напряжённого (натяжением) силового органа, заключённого в корпус с сопряжённой с ним поверхностью качения для подвижных (транспортных) средств, а также по меньшей мере одну вспомогательную нить в виде предварительно напряжённого силового органа, закреплённую в пролётах между смежными опорами на другом уровне от основной нити (пат. РФ № 2080268, кл. В 61В 5/02, 13/00, 1994) - прототип. Вспомогательные нити («струны»), количество которых может достигать 4 и более, располагаются либо на одном уровне с основными (несущими), либо над ними.

Способ построения транспортной системы такого типа включает в себя установку на основании анкерных и промежуточных опор, натяжение и закрепление на анкерных опорах силовых органов по меньшей мере одной основной и одной вспомогательной нитей, а также фиксацию основной и вспомогательных нитей на промежуточных опорах.

Транспортная система с путевой структурой такого типа обеспечивает высокую удельную несущую способность и низкую материалоемкость, благодаря чему позволяет создать необходимую для скоростного движения ровность (гладкость) пути при достаточно больших пролётах между смежными опорами (до 25 м). Однако в реальных условиях местности при строительстве транспортной системы встречаются весьма протяжённые участки, например, занятые поймами рек или большими провалами в земной коре, которые для их преодоления требуют существенного увеличения пролётов между смежными опорами при условии сохранения необходимой ровности рельсовых нитей.

В основу изобретения положена задача обеспечения возможности увеличения пролётов между смежными опорами при сохранении скоростных характеристик транспортной системы и низкой удельной материалоемкости путевой структуры.

Решение поставленной задачи в транспортной системе Юницкого (первый вариант), содержащей закреплённую на основании на опорах по меньшей мере одну основную нить в виде предварительно напряжённого силового органа, заключённого в корпус с сопряжённой с ним поверхностью качения для подвижных средств, а также по меньшей мере одну вспомогательную нить в виде предварительно напряжённого силового органа, закреплённую в пролётах между смежными опорами на другом уровне от основной нити, обеспечивается тем, что вспомогательная нить закреплена под основной нитью с прогибом между смежными опорами, а транспортная система по меньшей мере в одном пролёте между смежными опорами оснащена группой рассредоточенных по вспомогательной нити подвесных опор для основной нити и, соответственно, группой связанных с точками их закрепления тяг с натяжным органом в форме аппроксимирующей выпуклую дугу ломаной линии, высшая точка которого связана со вспомогательной нитью, а нижняя - закреплена на опоре или/и на основании, причём длины проекций натяжного органа на вертикальную и горизонтальную плоскости удовлетворяют соотношениям

$$0,02 \leq \frac{H}{\ell_0} \leq 4$$

$$2 \leq \frac{H}{f} \leq 200,$$

где  $H$  - длина проекции натяжного органа на вертикальную плоскость, м;

$l_0$  - длина проекции натяжного органа на горизонтальную плоскость, м;

$f$  - величина максимального предварительного прогиба вспомогательной нити в пролёте между смежными опорами, м.

Выполнение путевой структуры в указанных границах соотношений позволяет обеспечить ровность заключённого между опорами участка пути за счёт достижения при этом повышенной жёсткости структуры при минимальной её материалоемкости.

При  $H/l_0 < 0,02$  для обеспечения требуемой жёсткости путевой структуры потребовалось бы существенное увеличение поперечных сечений стержней натяжного органа, образующих ломаную линию, так как для противодействия вертикальной нагрузке от подвижного средства, натяжной орган, занимающий в этом случае слишком вытянутое (пологое между опорами) положение, должен быть натянут до весьма больших усилий.

При  $H/l_0 > 4$  значительно увеличивается общая протяжённость тяг и стержней натяжного органа на пролёте между смежными опорами, что приводит к неоправданному увеличению удельной материалоемкости системы.

При  $H/f < 2$  просвет под вспомогательной нитью (расстояние между вспомогательной нитью и основанием) становится настолько малым в сравнении с предварительным прогибом нити, что возникает вопрос о целесообразности использования натяжного органа вообще, т.к. предпочтительнее будет установить ещё одну низкую поддерживающую опору, что уменьшит пролёт и снизит требуемую величину предварительного натяжения силовых органов нитей.

При  $H/f > 200$  относительный прогиб вспомогательной нити становится настолько малым (относительно высоты  $H$  натяжного органа), что делает натяжной орган недостаточно устойчивым из-за его чрезмерной ажурности и слабого натяжения (о чём свидетельствует малая величина  $f$ ), кроме этого, поддерживающие опоры в данном случае установлены слишком часто, что приводит к увеличению материалоемкости системы.

Решение поставленной задачи обеспечивается также тем, что подвесные опоры основной нити, расщепленные по вспомогательной нити, имеют возрастающую к середине пролёта между смежными опорами высоту.

Благодаря такому выполнению обеспечивается высокая ровность основной нити, определяющей ровность сопряжённой с ней поверхности качения, так как высота подвесных опор выполнена как разница между проектными отметками основной и вспомогательной нитей, которые и соединяются друг с другом в путевую структуру посредством подвесных опор.

Решение поставленной задачи обеспечивается также тем, что подвесные опоры основной нити, расщепленные по вспомогательной нити, имеют возрастающее к середине пролёта между смежными опорами превышение над прямой линией, проведённой через точки закрепления основной нити на смежных опорах.

Благодаря такому выполнению рельсовой структуры, ровность пути удаётся сохранить при увеличении пролётов между смежными опорами, так как при этом основная нить, опирающаяся на подвесные опоры, имеет упреждающую выпуклость (выгиб вверх), которая при наезде подвижного средства, деформируясь, превращается в ровную (прямолинейную) поверхность качения. Величина такой выпуклости составляет  $1/100 \dots 1/10000$  от длины пролёта  $L$  между смежными опорами.

Решение задачи обеспечивается и тем, что подвесные опоры установлены друг относительно друга с интервалом, величина которого удовлетворяет соотношению

$$0,1 \leq \frac{l_1}{l_2} \leq 10,$$

где  $l_1$  - интервал между смежными подвесными опорами, м;

$l_2$  - базовая длина подвижного средства, м.

При отношении  $l_1/l_2 < 0,1$  расстояния  $l_1$  между смежными подвесными опорами становятся настолько малыми в сравнении с  $l_2$  (т.е. в сравнении с габаритами подвижного средства), что это приводит к неоправданному увеличению количества подвесных опор, тяг и стержней натяжного органа и, соответственно, к повышению удельной материалоемкости системы, что нецелесообразно.

При отношении  $l_1/l_2 > 10$  произойдёт перегрузка основной нити в интервале  $l_1$  колёсами многоколёсного подвижного (транспортного) средства, поэтому потребуется усиление основной нити, что приведёт к увеличению её материалоемкости.

Решение задачи обеспечивается также тем, что в пролёте между смежными опорами транспортная система содержит наклонно расположенные тяги, связывающие точки закрепления подвесных опор на вспомогательной или/и основной нити с углами ломаной линии натяжного органа.

Таким выполнением путевой структуры транспортной системы обеспечивается фиксация узлов натяжного органа от продольных смещений при движении подвижных средств, а тем самым и повышается жёсткость структуры, способствующая увеличению пролётов между смежными опорами.

Решение поставленной задачи в транспортной системе Юницкого (второй вариант), содержащей закреплённую на основании на опорах по меньшей мере одну основную нить в виде предварительно напряжённого силового органа, заключённого в корпус с сопряжённой с ним поверхностью качения для подвижных средств, а также по меньшей мере одну вспомогательную нить в виде предварительно напряжённого силового органа, закреплённую в пролётах между смежными опорами на другом уровне от основной нити, обеспечивается тем, что сопряжённая с корпусом основной нити поверхность качения образована головкой рельса железнодорожного типа, соединённой с корпусом посредством подошвы, при этом вспомогательная нить закреплена под основной нитью с прогибом между смежными опорами, а транспортная система по меньшей мере в одном пролёте между смежными опорами оснащена группой рассредоточенных по вспомогательной нити подвесных опор для основной нити и, соответственно, группой связанных с точками их закрепления тяг с натяжным органом в форме аппроксимирующей выпуклую дугу ломаной линии, высшая точка которого связана со вспомогательной нитью, а нижняя закреплена на опоре или/и на основании, причём длины проекций натяжного органа на вертикальную и горизонтальную плоскости удовлетворяют соотношениям

$$0,02 \leq \frac{H}{\ell_0} \leq 4,$$

$$2 \leq \frac{H}{f} \leq 200$$

где  $H$  - длина проекции натяжного органа на вертикальную плоскость, м;

$\ell_0$  - длина проекции натяжного органа на горизонтальную плоскость, м;

$f$  - величина максимального предварительного прогиба вспомогательной нити в пролёте между смежными опорами, м.

Благодаря такому выполнению транспортной системы, наряду с ровностью пути, обеспечивается возможность использования её для грузоперевозок традиционными транспортными средствами железнодорожного типа, в том числе средствами рудничного и шахтного транспорта, замена которых на другие (специальные) средства вряд ли могла быть оправдана.

Указанные границы соотношений для этого варианта транспортной системы не отличаются от указанных границ для первого объекта защиты, так как струнная путевая структура системы остаётся неизменной. Такими же остаются и соображения, положенные в основу выбора границ этих соотношений.

Как и в общем случае, решение поставленной задачи обеспечивается тем, что подвесные опоры основной нити, рассредоточенные по вспомогательной нити, имеют возрастающую к середине пролёта между смежными опорами высоту.

Как и для общего случая, решение поставленной задачи обеспечивается также тем, что подвесные опоры основной нити, рассредоточенные по вспомогательной нити, имеют возрастающее к середине пролёта между смежными опорами превышение над прямой линией, проведённой через точки закрепления основной нити на смежных опорах.

Таким же образом, как и в общем случае, решение поставленной задачи обеспечивается и тем, что подвесные опоры установлены друг относительно друга с интервалом, величина которого удовлетворяет соотношению

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

где  $\ell_1$  - интервал между смежными подвесными опорами, м;

$\ell_2$  - базовая длина подвижного средства, м.

Как и для первого объекта, решение задачи обеспечивается и тем, что по меньшей мере в одном пролёте между смежными опорами транспортная система содержит наклонно расположенные тяги, связывающие точки закрепления подвесных опор на вспомогательной или/и основной нити с углами ломаной линии натяжного органа.

Для всех перечисленных средств решения поставленной задачи остаются в силе обоснования, приведённые выше для общего случая предлагаемой системы.

В транспортной системе Юницкого (третий вариант), содержащей закреплённые на одном уровне на опорах на основании по меньшей мере две основные нити в виде предварительно напряжённых силовых органов, заключённых в корпуса с сопряжённой с ними поверхностью качения для подвижных средств, а также по меньшей мере две вспомогательные нити в виде предварительно напряжённых силовых органов, закреплённых между смежными опорами на другом уровне от основных нитей, решение поставленной задачи обеспечивается тем, что сопряжённая с корпусами основных нитей поверхность качения объединена в общую поверхность качения, образованную закреплённым на нитях пакетом поперечных балок, уложенных с зазорами между собой, при этом вспомогательные нити закреплены под основными нитями с прогибом между смежными опорами, а транспортная система по меньшей мере в од-

ном пролёте между смежными опорами оснащена группой рассредоточенных по вспомогательным нитям подвесных опор для основных нитей и, соответственно, группой связанных с этими опорами тяг с натяжным органом в форме аппроксимирующей выпуклую дугу ломаной линии, высшая точка которого связана со вспомогательной нитью, а нижняя - закреплена на опоре или/и на основании, причём длины проекций натяжного органа на вертикальную и горизонтальную плоскости удовлетворяют соотношениям

$$0,02 \leq \frac{H}{l_0} \leq 2,$$

$$2 \leq \frac{H}{f} \leq 200$$

где  $H$  - длина проекции натяжного органа на вертикальную плоскость, м;

$l_0$  - длина проекции натяжного органа на горизонтальную плоскость, м;

$f$  - величина максимального предварительного прогиба вспомогательной нити в пролёте между смежными опорами, м.

Указанный диапазон соотношений параметров путевой структуры транспортной системы по этому варианту, а также соображения, положенные в основу выбора границ соотношений, как это видно, остаются такими же, как и для первого варианта выполнения транспортной системы.

Как и для других вариантов выполнения транспортной системы, решение поставленной задачи обеспечивается тем, что подвесные опоры основной нити, рассредоточенные по вспомогательной нити, имеют возрастающую к середине пролёта между смежными опорами высоту.

Как и для предшествующего варианта, решение поставленной задачи обеспечивается также тем, что подвесные опоры основной нити, рассредоточенные по вспомогательной нити, имеют возрастающее к середине пролёта между смежными опорами превышение над прямой линией, проведённой через точки закрепления основной нити на смежных опорах.

Подобным образом, решение задачи обеспечивается и тем, что подвесные опоры установлены друг относительно друга с интервалом, величина которого удовлетворяет соотношению

$$0,1 \leq \frac{l_1}{l_2} \leq 10,$$

где  $l_1$  - интервал между смежными подвесными опорами, м;

$l_2$  - базовая длина подвижного средства, м.

Как и для предшествующего варианта выполнения системы, решение задачи обеспечивается и тем, что по меньшей мере в одном пролёте между смежными опорами транспортная система содержит наклонно расположенные тяги, связывающие точки закрепления подвесных опор на вспомогательной или/и основной нити с углами ломаной линии натяжного органа.

Для всех перечисленных средств решения поставленной задачи обоснования, приведённые для первого варианта системы, остаются в силе.

В способе построения транспортной системы, включающем установку на основании анкерных и промежуточных опор, натяжение и закрепление на анкерных опорах силовых органов по меньшей мере одной основной и одной вспомогательной нитей, а также фиксацию основной и вспомогательной нитей на промежуточных опорах, решение поставленной задачи обеспечивается тем, что предварительно на анкерных опорах натягивают и закрепляют силовой орган вспомогательной нити и фиксируют его на промежуточных опорах, затем системой тяг, рассредоточенных по вспомогательной нити в пролёте между смежными опорами, вспомогательную нить посредством связанного с её тягами натяжного органа оттягивают вниз на величину  $f$ , определяемую соотношением

$$0,002 \leq \frac{f}{L} \leq 0,2,$$

где  $f$  - величина максимального прогиба вспомогательной нити в пролёте между смежными опорами, м;

$L$  - длина пролёта между смежными опорами, м,

в точках соединения тяг со вспомогательной нитью на ней устанавливают и фиксируют подвесные опоры, а после натяжения основной нити с ней соединяют верхние концы подвесных опор.

При этом силовые органы основной и вспомогательной нитей натягивают на анкерные опоры с усилиями, которые выбирают согласно соотношениям

$$10 \leq \frac{T_1}{P} \leq 1000,$$

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

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

$T_2$  - усилие натяжения силового органа вспомогательной нити, кгс;

$P$  - нагрузка на основную нить от подвижного средства в интервале между подвесными опорами, кгс,

а вспомогательную нить оттягивают вниз системой тяг с усилиями в тягах, которые выбирают согласно соотношению

$$0,1 \leq \frac{T_3}{P} \leq 10,$$

где  $T_3$  - усилие в одной тяге, кгс.

Помимо решения поставленной задачи, такой последовательностью операций обеспечивается удобство и технологичность монтажа, так как становится возможным использование вспомогательной нити, ставшей на порядок более жёсткой благодаря оттягиванию вниз, в качестве несущей конструкции для перемещения монтажных вспомогательных средств подвешенного типа, например люлек, кареток, клетей в пролётах между смежными опорами.

Указанные пределы соотношений выделяют оптимальный диапазон усилий натяжения элементов путевой структуры, обеспечивающий необходимую жёсткость структуры, а следовательно, и её несущую способность в пролётах между опорами при минимальной материалоемкости конструкции.

Выбор величины максимального прогиба предварительно напряжённой вспомогательной нити в пролёте между смежными опорами в пределах

$$0,002 \leq \frac{f}{L} \leq 0,2,$$

который достигается оттягиванием вниз системой тяг и натяжным органом в виде выпуклой ломаной линии, позволяет при разумных требованиях, предъявляемых к усилиям их натяжения, обеспечить необходимую жёсткость и несущую способность конструкции.

Уменьшение величины максимального прогиба вспомогательной нити за пределы, определяемые указанным соотношением ( $f/L < 0,002$ ), приводит к необходимости использования значительных усилий для предварительного натяжения нити, что, в свою очередь, вызывает необходимость увеличения сечения её предварительно напряжённого продольного силового органа и приводит к повышению материалоемкости конструкции. Тогда как увеличение максимального прогиба за указанные пределы ( $f/L > 0,2$ ) приводит к понижению жёсткости путевой структуры и к увеличению её материалоемкости из-за чрезмерного увеличения габаритов по высоте.

При  $T_1/P < 10$  силовой орган основной нити окажется натянутым слабо, а так как площадь поперечного сечения нити с учётом корпуса и сопряжённой поверхности качения может быть значительной, то при повышенных температурах окружающей среды температурные усилия сжатия в путевой структуре могут превысить усилия предварительного натяжения силового органа, что приведёт к потере устойчивости системы. Кроме этого, из-за слабого натяжения основной нити, для обеспечения необходимой жёсткости пути, она должна быть выполнена, преимущественно, как балка, поэтому будет иметь повышенную материалоемкость.

При  $T_1/P > 1000$  потребуются чрезмерное натяжение основной нити, что приведёт к повышению материалоемкости системы как за счёт увеличения материалоемкости основной нити, так и анкерных опор, куда они напрягаются, а также - промежуточных опор, которые должны нести нагрузку от более тяжёлой путевой структуры.

При  $T_1/T_2 < 0,1$  вспомогательная нить будет иметь избыточную прочность и жёсткость (по сравнению с основной нитью), что приведёт к неоправданно повышенной материалоемкости и, следовательно, к нецелесообразности.

При  $T_1/T_2 > 10$  основная нить будет иметь избыточную прочность по сравнению с несущей (и определяющей жёсткость всей путевой структуры) вспомогательной нитью, что приведёт к повышению материалоемкости системы, в том числе за счёт увеличения материалоемкости анкерных опор, куда напрягаются нити, и поддерживающих опор, которые будут поддерживать более материалоемкую и, соответственно, более тяжёлую путевую структуру.

При  $T_3/P < 0,1$  несущая способность вспомогательной нити, образующей своеобразное основание для подвесных опор основной нити, оказывается недостаточной, что приводит к ослаблению натяжений тяг, связывающих натяжной орган с вспомогательной нитью. При этом по достижении нулевых значений этих натяжений путевая структура снизит свою несущую способность, и произойдёт перераспределение

нагрузок от подвижного средства на соседние тяги, что повысит деформативность системы и ухудшит ровность пути.

При  $T_3/P > 10$  тяги и вспомогательная нить окажутся излишне напряжены, что потребует существенного увеличения их поперечных сечений, а следовательно, и повышения материалоемкости путевой структуры.

Изобретение иллюстрируется графическими материалами, где представлены  
на фиг. 1а, 1б - возможные схемы транспортной системы при различных видах рельефа местности;  
на фиг. 2а - фрагмент транспортной системы в пролёте между смежными опорами;  
на фиг. 2б - фрагмент транспортной системы с подвесными опорами, имеющими возрастающее к середине пролёта превышение над прямой линией;  
на фиг. 3а, 3б, 3в, 3г - возможные виды конструктивного выполнения основной нити;  
на фиг. 4а, 4б, 4в - возможные виды конструктивного выполнения вспомогательной нити;  
на фиг. 5а, 5б, 5в - вид путевой структуры (три проекции) с основными нитями, имеющими общую поверхность качения, образованную пакетом поперечных балок.

Предлагаемая транспортная система содержит (во всех вариантах её выполнения) закреплённые на основании 1 между анкерными опорами 2 и промежуточными опорами 2' (фиг. 1а, фиг. 1б) по меньшей мере одну основную (рельсовую) нить 3 и одну вспомогательную нить 4, расположенную под основной нитью с прогибом  $f$  на пролёте между смежными опорами. При этом в пролёте между смежными опорами основная нить 3 дополнительно опирается на ряд равномерно рассредоточенных по вспомогательной нити 4 подвесных опор 5 (см. также фиг. 2а, 2б), которые верхней частью соединены с основной нитью, а нижней - посредством крепёжных узлов 6 связаны со вспомогательной нитью 4 и с тягами 7, имеющими общий натяжной орган, элементы 8 которого размещены в форме ломаной линии, вписанной в выпуклую дугу. В высшей своей точке натяжной орган 8 связан со вспомогательной нитью, а нижними концами в натянутом состоянии зафиксирован на смежных опорах 2' или/и на основании 1 между ними (см. фиг. 1а, 1б, фиг. 2а, 2б). Натяжной орган 8 из-за имеющего место разнообразия рельефа местности прокладки магистрали может быть выполнен и как часть дуги, как это показано на фиг. 1б, при этом его высшая точка может находиться как в центре пролёта между опорами, так и в любой другой точке его, вплоть до точек сопряжения вспомогательной нити с промежуточными или анкерными опорами.

Для предотвращения продольных деформаций натяжного органа при скоростном движении подвижных средств, некоторые (или все) углы его ломаной линии жёстко связаны дополнительными наклонно ориентированными тягами 9 с точками соединения подвесных опор (или/и промежуточных опор, или/и анкерных опор) со вспомогательной 4 или основной 3 нитью (фиг. 1а, 1б). Тяги такого назначения, преимущественно, используются как дополнительные к вертикальным тягам 7, но могут быть использованы и взамен вертикальных тяг (фиг. 1а, крайний левый пролёт), так как позволяют совместить в себе функции тяг обоих видов. При этом в группах подвесных опор 5, рассредоточенных по вспомогательной нити 4 в пролётах между смежными опорами, могут присутствовать и дополнительные подвесные опоры (стойки) 10, непосредственно не связанные с тягами 7 (фиг. 2а, 2б) натяжного органа 8.

Образуя ломаную линию элементы 8 натяжного органа выполняются в виде жёстких прутков, проволок, канатов или других протяжённых элементов, соединённых между собой шарнирно, либо жёстко. Вертикально ориентированные тяги 7 и наклонно ориентированные тяги 9 могут быть выполнены как в виде прутков, так и в виде отрезков каната (троса) как витого, так и не витого. Для сохранения ровности пути в достаточно больших пролётах  $L$  между смежными опорами каждая группа подвесных опор 5 между ними установлена на вспомогательной нити с возрастающим к середине пролёта превышением  $\Delta$  их верхних концов над уровнем крайних подвесных опор пролёта. Тем самым основная нить 3 (фиг. 2б), опирающаяся на эти опоры, обретает выпуклую форму поверхности качения. Величина превышения  $\Delta$  задаётся равной расчётному значению деформации путевой структуры под действием проезжающего подвижного средства и составляет  $0,0001 L < \Delta < 0,01 L$ . Тем самым обеспечивается ровность пути при движении подвижных средств. В любом случае подвесные опоры 5 (и стойки 10, если они имеются) имеют возрастающую к середине пролёта между смежными опорами высоту.

Подобным же образом (упреждением величины деформации) обеспечивается ровность пути (т.е. компенсируется возможная неровность пути) при наезде колёс подвижного средства на участки основной нити, находящиеся в интервале между каждыми двумя смежными подвесными опорами. Как и в случае для пролёта между смежными опорами (фиг. 2б), в интервалах между подвесными опорами 5 (эти интервалы могут достигать 5 ... 10 м и более) сопряжённая с корпусом основной нити поверхность качения может быть расположена с возрастающим к середине интервала превышением  $\Delta'$  над прямой линией, проведённой через точки соединения основной нити с двумя соседними подвесными опорами (см. фиг. 2а, превышение не показано).

Такое превышение  $0,0001 I_1 < \Delta' < 0,01 I_1$  может быть создано, например, посредством изменения высоты дополнительных подвесных опор (стоек) 10, располагаемых между каждыми двумя соседними подвесными опорами 5. Необходимым условием при этом является синфазность наезда колёс подвижного средства 11 на соответствующие участки основной нити 3, ограниченные интервалом  $I_1$  (фиг. 2а). Та-

кая синфазность обеспечивается, если базовая длина подвижного средства  $l_2$  и величина интервала  $l_1$  между соседними подвесными опорами 5 удовлетворяет соотношению, указанному ранее.

Основная нить 3 (фиг. 1а, 1б, фиг. 2а, 2б) может быть образована рельсами «струнного типа» различных конструктивных видов (фиг. 3а, 3б, 3в), которые могут иметь множество разновидностей и помимо тех, которые представлены на указанных рисунках. Общей особенностью рельсов такого типа является наличие полого корпуса 12 с сопряжённой поверхностью качения 12' и с заключённым внутри него предварительно напряжённым (растянутым) силовым органом 13. Поверхность качения 12' может быть образована поверхностью самого корпуса 12, его верхней частью - неявно выраженной головкой (фиг. 3б) или головкой, выраженной явно (фиг. 3а, фиг. 3в, фиг. 3г). В струнном рельсе, показанном на фиг. 3а, поверхность качения образована головкой 12' накладного типа, а функции корпуса 12 выполняет спираль из высокопрочной проволоки или ленты, плотно охватывающей силовой орган 13, выполненного в виде пучка проволок.

В другом варианте системы используется конструкция, представленная на фиг. 3г. В ней сопряжённая с корпусом 12 поверхность качения образована головкой 12' рельса железнодорожного типа, подошва 12а которого, опирающаяся на упругую подкладку 12б, соединена с корпусом 12 основной нити. При этом силовой орган выполнен в виде пучка высокопрочных прутьев (или проволок, или канатов и др.), заполняющих полость корпуса 12. Как видно, рельс железнодорожного типа в этой конструкции выполняет роль накладной головки и целесообразность такого технического решения заключается в обеспечении сопрягаемости струнной путевой структуры с путевыми структурами уже эксплуатируемых транспортных систем железнодорожного типа и особенно с путевыми структурами транспортных систем шахт и рудников и парком их транспортных средств.

Расположение вспомогательной нити в этом варианте транспортной системы под основной нитью и оснащение последней подвесными опорами с тягами и натяжным органом обеспечивает прямолинейность пути, как и в случае с иными конструкциями рельсов основной нити (фиг. 3а, 3б, 3в).

Вспомогательная нить 4 может быть образована как силовым органом 13' без корпуса (фиг. 4а, 4б), так и силовым органом, заключённым, как и в случае основной нити, в жёсткий корпус 12 (фиг. 4в) по всему пролёту между смежными опорами. При этом охваченный крепёжными элементами (хомутами, зажимами) 14 силовой орган 13' может состоять из одного каната (или прута), как показано на фиг. 4в, или может включать в себя несколько силовых элементов в виде канатов (витых или невитых), отдельных проволок, или прутьев (фиг. 4а, 4б), а также в виде высокопрочных нитей, полос, лент или других протяжённых элементов (на фигурах не показано). В качестве силового элемента основной и вспомогательной нитей дополнительно могут использоваться также корпус нитей и другие продольно ориентированные элементы путевой структуры, например, головка рельса.

Пустоты в корпусе между элементами силового органа могут заполняться твердеющим материалом 13а (фиг. 3в) на основе полимерных связующих или цементными смесями для обеспечения прочной связи между элементами силового органа и корпуса нити и создания монолитной конструкции струнного рельса.

Выбор того или иного конструктивного выполнения основной и вспомогательной нитей определяется грузонасыщенностью проектируемой транспортной системы, климатическими условиями её функционирования, а также её назначением и конструктивными особенностями.

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 в третьем частном варианте выполнения транспортной системы сопряжённая с корпусами основных нитей поверхность качения объединена в одну общую поверхность качения 12' (фиг. 5а, 5б, 5в). Особенность общей поверхности качения при этом заключается в том, что образована она пакетом поперечных балок 15 (с покрытием 16 или без него), закреплённых на основных нитях 3 с небольшими (0,1 ... 1 мм) зазорами  $\delta$  между собой и скреплённых между собой, например, сваркой, в точках 17, рассредоточенных по зазорам в шахматном порядке (фиг. 5в). Такое соединение поперечных балок между собой позволяет им прогибаться в зазорах между каждыми двумя точками 17 соединения при температурных напряжениях, сохраняя тем самым неизменным положение крайних балок пакета и, соответственно, неизменной длину пакета (вдоль путевой структуры). Этим обеспечивается возможность жёсткого крепления (без создания температурных деформационных швов) пакета на нитях путевой структуры. При этом величина зазора между балками находится в пределах

$$0,001 a \leq \delta \leq 0,1 a,$$

где  $a$  - ширина балки 15.

Описанная транспортная система, независимо от конкретного варианта её выполнения, работает следующим образом.

При появлении в пролёте между смежными опорами подвижного средства 11 (фиг. 1а), по мере его продвижения от одной опоры к другой, возрастает изгибающий момент, создаваемый им относительно точки крепления основной нити 3, стремящийся прогнуть эту нить на пролёте между смежными опора-

ми. Присутствие подвесных опор 5, опирающихся на предварительно прогнутую вспомогательную нить 4, создаёт противодействующий момент (момент сопротивления), величина которого зависит от предварительного напряжения вспомогательной нити 4, создаваемого тягами 7 (фиг. 2а) и натяжным органом 8. Величина момента сопротивления путевой структуры, установленная таким образом, сохраняется стабильной до тех пор, пока нагрузка от подвижного средства (если она превысила бы расчётную величину нагрузки) не достигнет такого значения, при котором закреплённые концы натяжного органа 8 утратят состояние растяжения. Но в заранее рассчитанном диапазоне натяжений этого произойти не может.

Небольшие величины деформаций, которые испытывает путевая структура такого вида, компенсируются с упреждением тем обстоятельством, что поверхность качения имеет в пролёте между смежными опорами слегка выпуклую форму (фиг. 2б) настолько, чтобы при наезде подвижного средства путевая структура обретала бы прямолинейную форму поверхности качения, опускаясь вниз в середине пролёта на величину  $\Delta$ . Подобный процесс деформаций происходит и при наезде колёс подвижного средства 11 (фиг. 2а) на участки основной нити, располагающиеся в интервале между соседними подвесными опорами 5: предварительно упруго деформированная в интервале  $l_1$  основная нить работает при этом как жёсткая нить, которая под нагрузкой  $P$  от колеса подвижного средства прогибается вниз на величину  $\Delta'$  (на фигуре не показано), создавая тем самым прямолинейный путь на этом участке. Если же в этом интервале между соседними подвесными опорами 5 расположена дополнительная подвесная опора 10, не связанная непосредственно с тягами 7, то воспринимаемая ею нагрузка от колеса подвижного средства будет встречена противодействием путевой структуры в большей степени и, следовательно, величина упреждающей деформации участка нити в этом случае может быть установлена меньшей.

Способ построения транспортной системы такого типа реализуется следующим образом.

После установки анкерных 2 и промежуточных 2' опор предварительно подготовленную вспомогательную нить 4 (фиг. 1а) поднимают на опоры и натягивают на анкерные опоры до заранее определённых значений. После закрепления предварительно натянутой вспомогательной нити на анкерных опорах её на соответствующем уровне фиксируют на промежуточных опорах, и в каждом пролёте между смежными опорами на ней посредством крепёжных узлов 6 устанавливают с равномерным распределением (с учётом базы расчётного подвижного средства) подвесные опоры 5 возрастающей к середине пролёта высоты. Затем на анкерных опорах натягивают и закрепляют основную нить 3 и фиксируют её на соответствующем уровне на промежуточных опорах. Далее системой тяг 7, соединённых с вспомогательной нитью 4 в узлах 6, при помощи натяжного органа 8 вспомогательную нить оттягивают вниз на величину  $0,002 \leq f/L \leq 0,2$  до тех пор, пока подвесные опоры 5 (а также стойки 10, если они присутствуют) не войдут под основную нить 3 в проектное положение, после чего концы подвесных опор соединяют с основной нитью (преимущественно сваркой). После этого натяжение концов натяжного органа 8 ослабляют до расчётной величины (для получения выгиба  $\Delta$  вверх) и жёстко фиксируют на смежных опорах или на подготовленных точках (анкерах) на основании.

При этом усилия натяжения элементов при построении транспортной системы устанавливают в пределах

$$10 \leq T_1/P \leq 1000, 0,1 \leq T_1/T_2 \leq 10, 0,1 \leq T_3/P \leq 10,$$

причём усилия предварительного натяжения силовых органов основной и вспомогательной нитей ( $T_1$  и  $T_2$ ) находятся в диапазоне от  $10^3$  кгс (для легкотипных подвижных средств и малых пролётов) до  $10^7$  кгс (для тяжёлых подвижных средств и больших пролётов).

Во всех описанных соотношениях размеры ( $l_0, H, f, \Delta, \Delta', l_1, l_2, L, a, \delta$ ) выражаются в метрах, а значения усилий ( $T_1, T_2, T_3$ ) и нагрузки ( $P$ ) - в кгс. Предлагаемая транспортная система с вариантами её конкретного выполнения может найти применение при строительстве транспортных магистралей в самых различных природных условиях, так как позволяет довести пролёты между опорами до 50-100 м и более.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Транспортная система, содержащая закреплённую на основании на опорах по меньшей мере одну основную нить в виде предварительно напряжённого силового органа, заключённого в корпус с сопряжённой с ним поверхностью качения для подвижных средств, а также по меньшей мере одну вспомогательную нить в виде предварительно напряжённого силового органа, закреплённую в пролётах между смежными опорами на другом уровне от основной нити, отличающаяся тем, что вспомогательная нить закреплена под основной нитью с прогибом между смежными опорами, а транспортная система по меньшей мере в одном пролёте между смежными опорами оснащена группой рассредоточенных по вспомогательной нити подвесных опор для основной нити и соответственно группой связанных с точками их закрепления тяг с натяжным органом в форме аппроксимирующей выпуклую дугу ломаной линии, высшая точка которой связана со вспомогательной нитью, а нижняя закреплена на опоре или/и на основании, причём длины проекций натяжного органа на вертикальную и горизонтальную плоскости удовлетворяют соотношениям

$$0,02 \leq \frac{H}{l_0} \leq 4,$$

$$2 \leq \frac{H}{f} \leq 200,$$

где  $H$  - длина проекции натяжного органа на вертикальную плоскость, м;

$l_0$  - длина проекции натяжного органа на горизонтальную плоскость, м;

$f$  - величина максимального предварительного прогиба вспомогательной нити в пролёте между смежными опорами, м.

2. Транспортная система по п.1, отличающаяся тем, что подвесные опоры основной нити, рассредоточенные по вспомогательной нити, имеют возрастающую к середине пролёта между смежными опорами высоту.

3. Транспортная система по любому из пп.1, 2, отличающаяся тем, что подвесные опоры основной нити, рассредоточенные по вспомогательной нити, имеют возрастающее к середине пролёта между смежными опорами превышение над прямой линией, проведённой через точки закрепления основной нити на смежных опорах.

4. Транспортная система по любому из пп.1, 2, 3, отличающаяся тем, что подвесные опоры установлены друг относительно друга с интервалом, величина которого удовлетворяет соотношению

$$0,1 \leq \frac{l_1}{l_2} \leq 10,$$

где  $l_1$  - интервал между смежными подвесными опорами, м;

$l_2$  - базовая длина подвижного средства, м.

5. Транспортная система по любому из пп.1, 2, 3, 4, отличающаяся тем, что в пролёте между смежными опорами транспортная система содержит наклонно расположенные тяги, связывающие точки закрепления подвесных опор на вспомогательной или/и основной нити с углами ломаной линии натяжного органа.

6. Транспортная система, содержащая закреплённую на основании на опорах по меньшей мере одну основную нить в виде предварительно напряжённого силового органа, заключённого в корпус с сопряжённой с ним поверхностью качения для подвижных средств, а также по меньшей мере одну вспомогательную нить в виде предварительно напряжённого силового органа, закреплённую в пролётах между смежными опорами на другом уровне от основной нити, отличающаяся тем, что сопряжённая с корпусом основной нити поверхность качения образована головкой рельса железнодорожного типа, соединённой с корпусом посредством подошвы, при этом вспомогательная нить закреплена под основной нитью с прогибом между смежными опорами, а транспортная система по меньшей мере в одном пролёте между смежными опорами оснащена группой рассредоточенных по вспомогательной нити подвесных опор для основной нити и соответственно группой связанных с точками их закрепления тяг с натяжным органом в форме аппроксимирующей выпуклую дугу ломаной линии, высшая точка которого связана со вспомогательной нитью, а нижняя закреплена на опоре или/и на основании, причём длины проекций натяжного органа на вертикальную и горизонтальную плоскости удовлетворяют соотношениям

$$0,02 \leq \frac{H}{l_0} \leq 4,$$

$$2 \leq \frac{H}{f} \leq 200,$$

где  $H$  - длина проекции натяжного органа на вертикальную плоскость, м;

$l_0$  - длина проекции натяжного органа на горизонтальную плоскость, м;

$f$  - величина максимального предварительного прогиба вспомогательной нити в пролёте между смежными опорами, м.

7. Транспортная система по п.6, отличающаяся тем, что подвесные опоры основной нити, рассредоточенные по вспомогательной нити, имеют возрастающую к середине пролёта между смежными опорами высоту.

8. Транспортная система по любому из пп.6, 7, отличающаяся тем, что подвесные опоры основной нити, рассредоточенные по вспомогательной нити, имеют возрастающее к середине пролёта между смежными опорами превышение над прямой линией, проведённой через точки закрепления основной нити на смежных опорах.

9. Транспортная система по любому из пп.6, 7, 8, отличающаяся тем, что подвесные опоры установлены друг относительно друга с интервалом, величина которого удовлетворяет соотношению

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

где  $\ell_1$  - интервал между смежными подвесными опорами, м;

$\ell_2$  - базовая длина подвижного средства, м.

10. Транспортная система по любому из пп.6, 7, 8, 9, отличающаяся тем, что по меньшей мере в одном пролёте между смежными опорами транспортная система содержит наклонно расположенные тяги, связывающие точки закрепления подвесных опор на вспомогательной или/и основной нити с углами ломаной линии натяжного органа.

11. Транспортная система, содержащая закреплённые на одном уровне на опорах на основании по меньшей мере две основные нити в виде предварительно напряжённых силовых органов, заключённых в корпуса с сопряжённой с ними поверхностью качения для подвижных средств, а также по меньшей мере две вспомогательные нити в виде предварительно напряжённых силовых органов, закреплённых между смежными опорами на другом уровне от основных нитей, отличающаяся тем, что сопряжённая с корпусами основных нитей поверхность качения объединена в общую поверхность качения, образованную закреплённым на нитях пакетом поперечных балок, уложенных с зазорами между собой, при этом вспомогательные нити закреплены под основными нитями с прогибом между смежными опорами, а транспортная система по меньшей мере в одном пролёте между смежными опорами оснащена группой рассредоточенных по вспомогательным нитям подвесных опор для основных нитей и соответственно группой связанных с этими опорами тяг с натяжным органом в форме аппроксимирующей выпуклую дугу ломаной линии, высшая точка которой связана со вспомогательной нитью, а нижняя закреплена на опоре или/и на основании, причём длины проекций натяжного органа на вертикальную и горизонтальную плоскости удовлетворяют соотношениям

$$0,02 \leq \frac{H}{\ell_0} \leq 4,$$

$$2 \leq \frac{H}{f} \leq 200,$$

где  $H$  - длина проекции натяжного органа на вертикальную плоскость, м;

$\ell_0$  - длина проекции натяжного органа на горизонтальную плоскость, м;

$f$  - величина максимального предварительного прогиба вспомогательной нити в пролёте между смежными опорами, м.

12. Транспортная система по п.11, отличающаяся тем, что подвесные опоры основной нити, рассредоточенные по вспомогательной нити, имеют возрастающую к середине пролёта между смежными опорами высоту.

13. Транспортная система по любому из пп.11, 12, отличающаяся тем, что подвесные опоры основной нити, рассредоточенные по вспомогательной нити, имеют возрастающее к середине пролёта между смежными опорами превышение над прямой линией, проведённой через точки закрепления основной нити на смежных опорах.

14. Транспортная система по любому из пп.11, 12, 13, отличающаяся тем, что подвесные опоры установлены друг относительно друга с интервалом, величина которого удовлетворяет соотношению

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

где  $\ell_1$  - интервал между смежными подвесными опорами, м;

$\ell_2$  - базовая длина подвижного средства, м.

15. Транспортная система по любому из пп.11, 12, 13, 14, отличающаяся тем, что по меньшей мере в одном пролёте между смежными опорами транспортная система содержит наклонно расположенные тяги, связывающие точки закрепления подвесных опор на вспомогательной или/и основной нити с углами ломаной линии натяжного органа.

16. Способ построения транспортной системы, включающий установку на основании анкерных и промежуточных опор, натяжение и закрепление на анкерных опорах силовых органов по меньшей мере одной основной и одной вспомогательной нитей, а также фиксацию основной и вспомогательной нитей на промежуточных опорах, отличающийся тем, что предварительно на анкерных опорах натягивают и закрепляют силовой орган вспомогательной нити и фиксируют его на промежуточных опорах, затем системой тяг, рассредоточенных по вспомогательной нити в пролёте между смежными опорами, вспомогательную нить посредством связанного с её тягами натяжного органа оттягивают вниз на величину  $f$ , определяемую соотношением

$$0,002 \leq \frac{f}{L} \leq 0,2,$$

где  $f$  - величина максимального прогиба вспомогательной нити в пролёте между смежными опорами, м;

$L$  - длина пролёта между смежными опорами, м,

в точках соединения тяг со вспомогательной нитью на ней устанавливают и фиксируют подвесные опоры, а после натяжения основной нити с ней соединяют верхние концы подвесных опор.

17. Способ по п.16, отличающийся тем, что силовые органы основной и вспомогательной нитей натягивают на анкерные опоры с усилиями, которые выбирают согласно соотношениям

$$10 \leq \frac{T_1}{P} \leq 1000$$

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

где  $T_1$  - усилия натяжения силового органа основной нити, кгс;

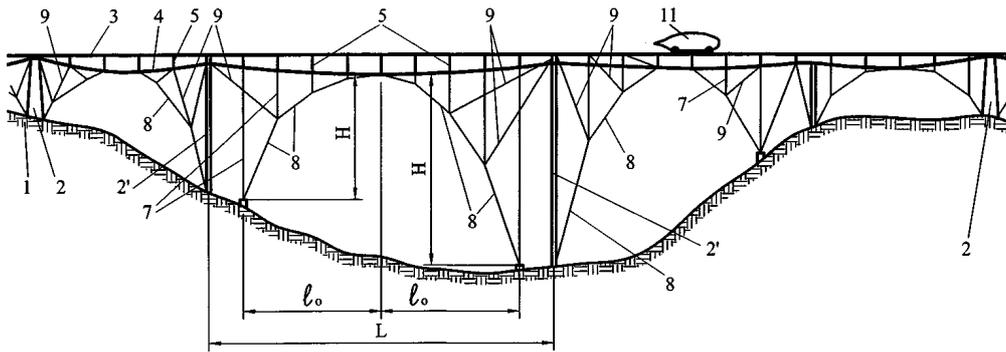
$T_2$  - усилия натяжения силового органа вспомогательной нити, кгс;

$P$  - нагрузка на основную нить от подвижного средства в интервале между подвесными опорами, кгс.

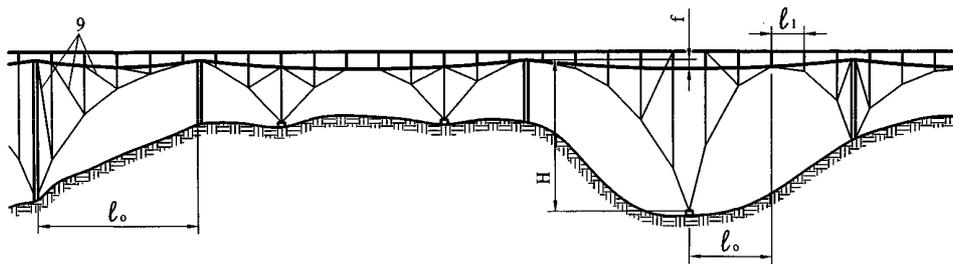
18. Способ по п.17, отличающийся тем, что вспомогательную нить оттягивают вниз системой тяг с усилиями в тягах, которые выбирают согласно соотношению

$$0,1 \leq \frac{T_3}{P} \leq 10,$$

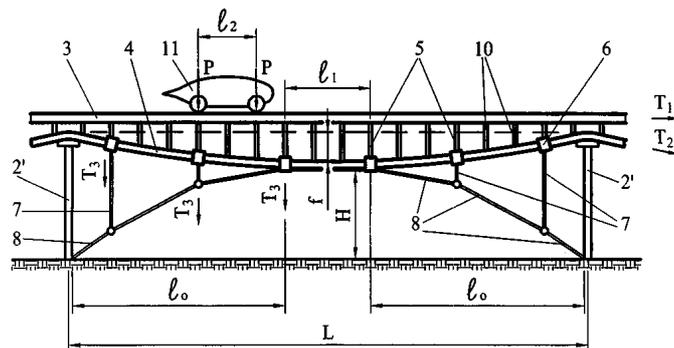
где  $T_3$  - усилие в одной тяге, кгс.



Фиг. 1а

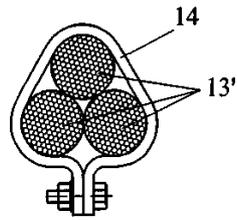


Фиг. 16

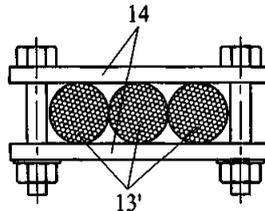


Фиг. 2а

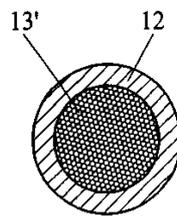




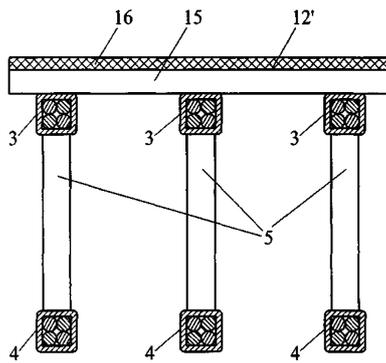
Фиг. 4а



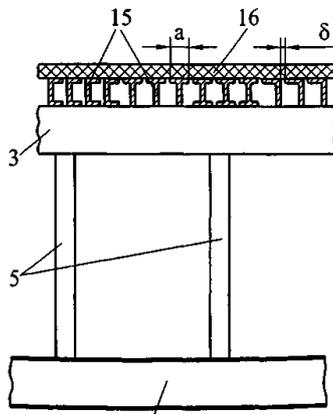
Фиг. 4б



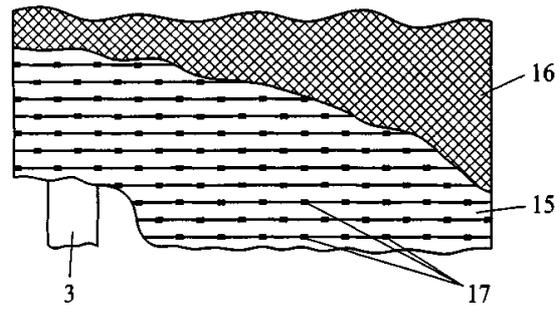
Фиг. 4в



Фиг. 5а



Фиг. 5б



Фиг. 5в