

УДК (UDC) 621.86

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБЩЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ
БАЗОВЫХ КОЛЕСНЫХ СТАНЦИЙ МОБИЛЬНЫХ КАНАТНЫХ ДОРОГGENERAL STABILITY OF A BASE VEHICLE
OF A MOBILE ROPEWAYЛагереv А.В.¹, Таричко В.И.², Солдатченков С.П.¹
Lagerev A.V.¹, Tarichko V.I.², Soldatchenkov S.P.¹¹ – Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского (Брянск, Россия)² – АО «Брянский автомобильный завод» (Брянск, Россия)¹ – Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University (Bryansk, Russian Federation)² – Bryansk Automobile Plant JSC (Bryansk, Russian Federation)

Аннотация. В статье представлены основные подходы к обеспечению общей устойчивости базовых станций инновационных транспортных систем – мобильных канатных дорог. Мобильная канатная дорога состоит из приводной базовой станции, на которой установлен приводной шкив, неприводной базовой станции, на которой установлен неприводной шкив и механизм натяжения грузонесущего каната. Оборудование канатной дороги смонтировано на базовых шасси повышенной проходимости. В общем случае, шасси может иметь любой движитель (колесный, гусеничный). Перевозимый груз подвешивается на канат с помощью дополнительного технологического оборудования (кран-манипулятор, конвейер и др.). Мобильные канатные дороги могут использоваться для быстрого создания переправ через водные преграды, овраги, ущелья, болотистую местность. Они предназначены для использования в тех местах или в тех условиях, когда невозможно или не целесообразно создание капитальных сооружений (мостов, туннелей, насыпей), например, при выполнении строительно-монтажных или ремонтных работ автономных объектов или при ликвидации последствий стихийных бедствий. В работе рассмотрены варианты размещения аутригеров и анкерных опор, позволяющие компенсировать воздействие горизонтальных и вертикальных эксплуатационных нагрузок. Определены схемы воздействия внешних нагрузок с учетом произвольной пространственной ориентации приводной и неприводной базовой станции.

Предложены математические зависимости, позволяющие выполнить предварительный анализ запаса общей устойчивости базовой станции мобильной канатной дороги (в продольном и поперечном направлении). Результаты исследования использованы на АО «Брянский автомобильный завод».

Ключевые слова: мобильная канатная дорога, мобильная транспортно-технологическая машина, выносная опора, анкеровка, устойчивость, опрокидывание, повышение устойчивости.

Abstract. This article is about the main approaches to ensuring of the general stability of the base stations of innovative transport systems – mobile ropeways. The mobile ropeway consists of a drive base station on which the drive pulley is installed, a non-drive base station on which the non-drive pulley and the tension mechanism of the load-bearing rope are installed. The equipment of the cable car is mounted on the base chassis for the cross-country. In general, the chassis can have mover of any type (wheeled, tracked). The transported cargo is suspended on a rope with the help of additional technological equipment (loader crane, conveyor etc.). Mobile ropeways can be used to quickly create crossings over water barriers, ravines, gorges, marshland. They are intended for use in places or in conditions where it is not possible or advisable to establish capital structures (bridges, tunnels, embankments). For example, in the construction, installation or repair of Autonomous facilities or in the aftermath of natural disasters. The paper considers options for placing outriggers and anchor supports to compensate for the impact of horizontal and vertical operating loads. The schemes of influence of external loads taking into account the arbitrary spatial orientation of the drive and non-drive base station are determined. The mathematical models allowing to carry out the preliminary analysis of the General stability of base station of the mobile ropeway (in the longitudinal and cross direction) are offered. The results of the study were used at Bryansk Automobile Plant JSC.

Keywords: mobile ropeway, mobile transport and technological machine, remote support, anchoring, stability, overturning, increasing stability.

Дата принятия к публикации: 15.04.2019

Дата публикации: 25.06.2019

Date of acceptance for publication: 15.05.2019

Date of publication: 25.06.2019



Сведения об авторах:

Лагереv Александр Валерьевич – доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе НИИ фундаментальных и прикладных исследований ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», *e-mail: bsu-avl@yandex.ru. ORCID: 0000-0002-0921-6831*

Таричко Вадим Игоревич – кандидат технических наук, заместитель генерального директора – главный конструктор АО «Брянский автомобильный завод», *e-mail: 32.6909@mail.ru*

Солдатченко Сергей Петрович – студент ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», *sergej.soldat.2012@mail.ru.*

Authors' information:

Alexander V. Lagerev - Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice director of Research Institute of Fundamental and Applied Research at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, *e-mail: bsu-avl@yandex.ru. ORCID: 0000-0003-0380-5456.*

Vadim I. Tarichko – Candidate of Technical Sciences, Deputy general director – General designer, Bryansk Automobile Plant JSC, *e-mail: 32.6909@mail.ru.*

Sergey P. Soldatchenkov – student at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, *sergej.soldat.2012@mail.ru.*

1. Введение

Общая устойчивость против опрокидывания мобильных транспортно-технологических машин определяется соотношением опрокидывающих и удерживающих моментов, зависящих от веса груза, исполнительных механизмов и базового шасси, динамических, ветровых и инерционных нагрузок. Для повышения общей устойчивости автомобильные краны, мобильные бетонные насосы, краны-манипуляторы, экскаваторы, вышки и подъемники оборудуются выносными опорами (аутригерами), которые увеличивают опорный контур, что вызывает увеличение удерживающего момента [1-3].

Одним из способов повышения устойчивости против опрокидывания мобильных машин является использование дополнительной анкерной выносной опоры (аутригера). Эффективность данного способа подтверждена для мобильных машин, оснащенных манипуляционными системами [3-7]. В частности, могут быть использованы анкерные элементы в виде плоских ножей, вводимых в грунт под углом к опорной поверхности [3, 5-7] или винтовые анкерные элементы [3, 4].

Помимо анкерной выносной опоры общая устойчивость транспортно-технологических машин может быть обеспечена за счет увеличения собственной массы [6]. Такой способ, в частности, применяется для обеспечения устойчивости сваедавливающих машин и буровых установок. Однако для мобильных машин этот путь существенно ограни-

чен, так как их масса ограничена максимальной грузоподъемностью базового шасси.

В связи с разработкой новых видов мобильных транспортно-технологических и подъемно-транспортных машин требуется дальнейшее развитие способов повышения их общей устойчивости.

Данная статья посвящена теоретическому обоснованию использования анкерной выносной опоры для повышения общей устойчивости мобильных машин, используемых для размещения базовых станций мобильных канатных дорог.

Мобильные канатные дороги, оборудование которых размещено на базовых шасси, как правило, на колесных машинах высокой грузоподъемности (на грузовых автомобилях), могут использоваться для быстрого создания переправ через водные преграды, овраги, ущелья, болотистую местность. Они предназначены для использования в тех местах или в тех условиях, когда невозможно или не целесообразно создание капитальных сооружений (мостов, туннелей, насыпей), например, при выполнении строительно-монтажных или ремонтных работ автономных объектов или при ликвидации последствий стихийных бедствий.

Схема мобильной канатной дороги [8] показана на рис. 1. В простейшем случае мобильная канатная дорога состоит из приводной базовой станции 1, на которой установлен приводной шкив, неприводной базовой станции 2, на которой установлен неприводной шкив и механизм натяжения грузонесущего каната 3. Оборудование канатной доро-

ги смонтировано на базовых колесных шасси 4. В общем случае, шасси может иметь иной движитель. Перевозимый груз 5 подвешивается на канат с помощью дополнительного технологического оборудования [8].

Известны варианты мобильной канатной дороги [9-11], когда в качестве неприводной базовой станции используются стационарные конструкции. Однако это не принципно,

так как устойчивость каждого базового шасси оценивается индивидуально.

Соотношение действующих в канатной системе сил накладывает свои требования к выносным опорам. Одной из важнейших научно-технических задач является обоснование оптимального количества, конструкций и мест размещения аутригеров базовых станций мобильных канатных дорог.

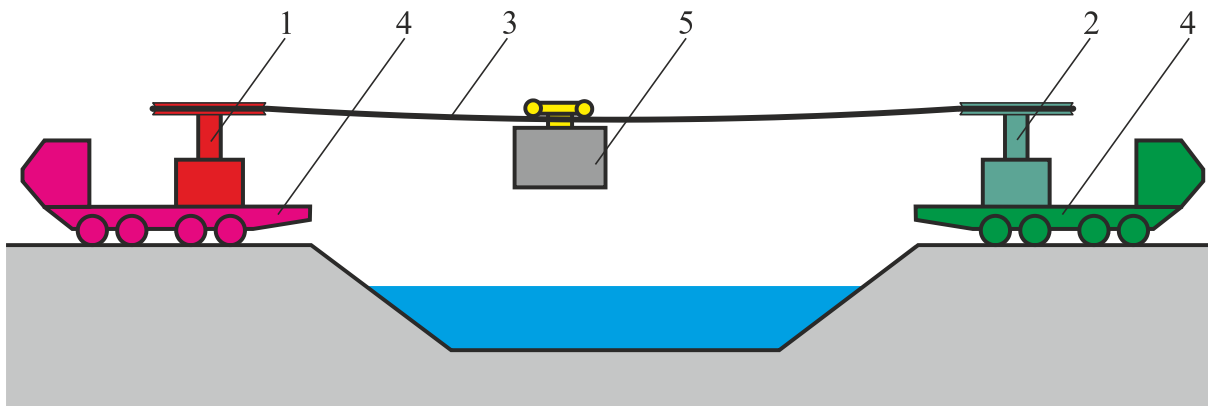


Рис. 1. Схема мобильной канатной дороги [8]: 1 – приводная базовая станция; 2 – неприводная базовая станция; 3 – грузонесущий канат; 4 – базовое колесное шасси; 5 – груз

2. Внешние воздействия на базовые станции мобильных канатных дорог

В отличие от мобильных грузоподъемных машин, устойчивость базовых станций мобильных канатных дорог в большей степени определяется действием не вертикальных, а горизонтальных нагрузок, действующих в плоскости шкива канатной системы.

Следует различать два крайних положения, отличающихся положением ребра опрокидывания и распределением нагрузок на выносные опоры базовых станций. Положение I – когда канатная система ориентирована вдоль продольной оси базовой станции (рис. 2, а). Положение II – когда канатная система ориентирована вдоль поперечной оси базовой станции (рис. 2, б).

В условиях эксплуатации возможно промежуточное положение канатной системы относительно осей базовой станции, которое определяется углом φ_{ks} (рис. 2, в). Тем не

менее, расположение базовых станций в положении I является предпочтительным [8].

Со стороны канатной системы на базовую станцию через шкив и его опору действуют усилия T_1 (в набегающей ветви) и T_2 (в сбегающей ветви). Они переменны во времени и определяются с помощью соответствующих динамических моделей, которые в рамках данного исследования подробно не рассматриваются.

В расчетах при произвольном положении канатной системы внешние усилия удобно раскладывать по осям системы координат, центр которой расположен в центре тяжести базовой станции, на продольные (N_1, N_2) и поперечные (Q_1, Q_2) усилия (рис. 2, в). Продольные усилия стремятся перевернуть базовую станцию относительно стороны АВ (рис. 2), поперечные – относительно стороны AD (рис. 2). Расстояние между центром тяжести базовой станции и осью шкива – l_t .

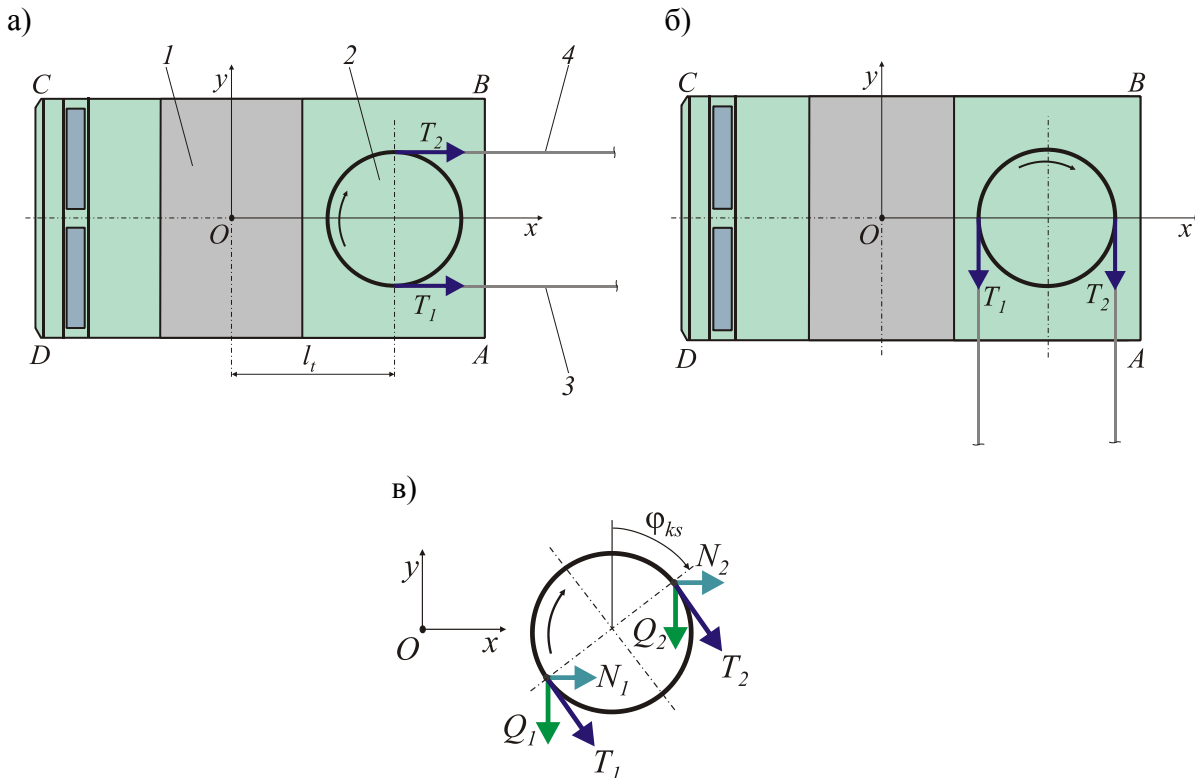


Рис. 2. Усилия со стороны канатной системы на базовую станцию: а – положение I; б – положение II; в – промежуточное положение; 1 – базовая станция на мобильном шасси; 2 – шкив; 3 – набегающая ветвь каната; 4 – сбегаящая ветвь каната

Рассмотрим систему из приводной и не приводной базовой станции (рис. 3) мобильной канатной дороги. Глобальная система координат Oxy совпадает с системой координат $O_1x_1y_1$, связанной с центром тяжести приводной станции. Система координат $O_2x_2y_2$, связанная с центром тяжести не приводной базовой станции, повернута на угол φ_{12} .

В общем случае следует отличать усилия, действующие на приводную (T_{11}, T_{21}) и на не приводную (T_{12}, T_{22}) базовые станции, а также их компоненты по осям указанных систем координат – $Q_{11}, Q_{21}, Q_{12}, Q_{22}, N_{11}, N_{21}, N_{12}, N_{22}$ (рис. 3).

В уравнениях движения системы с двумя базовыми станциями взаимосвязь систем координат может быть учтена напрямую. Однако при наличии нескольких промежуточных базовых станций рекомендуется использовать матрицы преобразования координат, как это делается при исследовании динамики манипуляторов [5, 12-15].

3. Схемы размещения аутригеров базовых станций мобильных канатных дорог

В мобильных грузоподъемных машинах выносные опоры создают вертикальные силы реакции, уравнивающие вертикальные рабочие нагрузки (в основном, вес груза). Незначительные горизонтальные нагрузки компенсируются трением опорных плит аутригеров об опорную поверхность и сдвигами деформациями грунта под ними.

На мобильные машины базовых станций действуют большие горизонтальные нагрузки T (рис. 4), поэтому требуется применение специальных опор, создающих горизонтальные силы реакции R (рис. 4). Это могут быть гибкие оттяжки с помещенным в землю анкерным элементом (рис. 4, а), винтовые анкеры (рис. 4, б) или иные анкерные опоры. Тем не менее, должны быть предусмотрены традиционные аутригеры, воспринимающие вес элементов транспортной системы и иные вертикальные нагрузки.

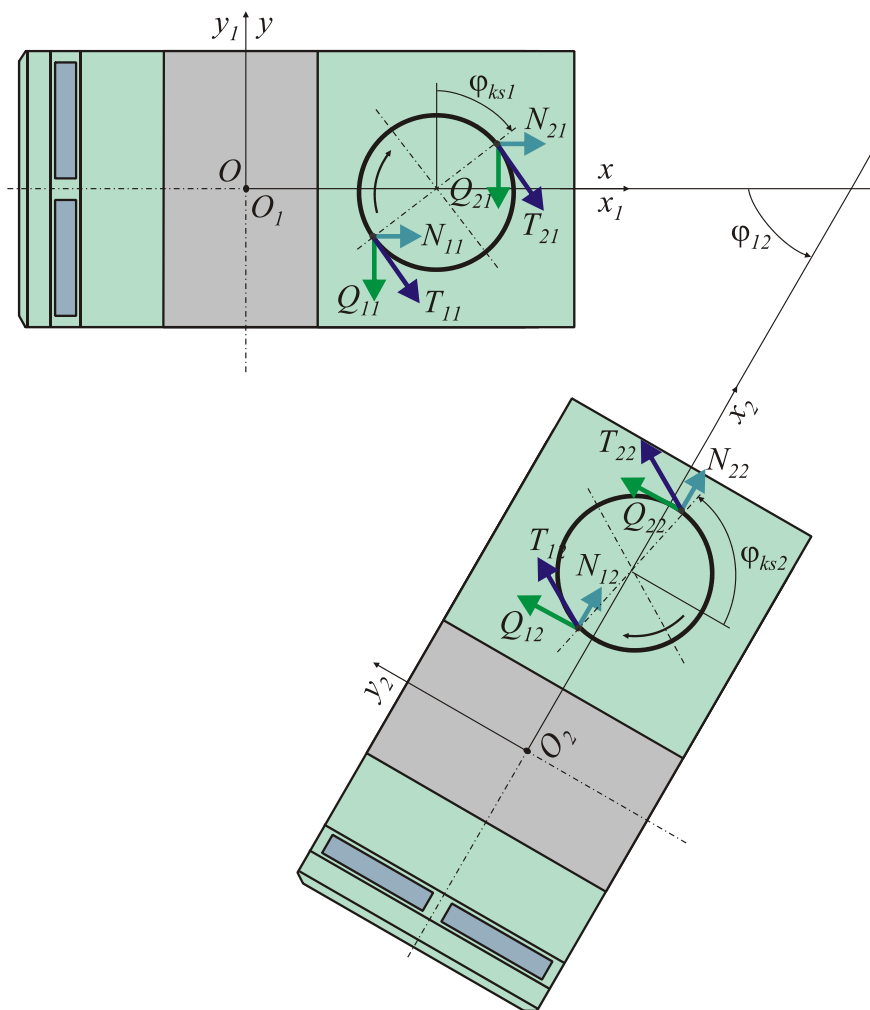


Рис. 3. Пространственное положение базовых станций и действующих на них усилий

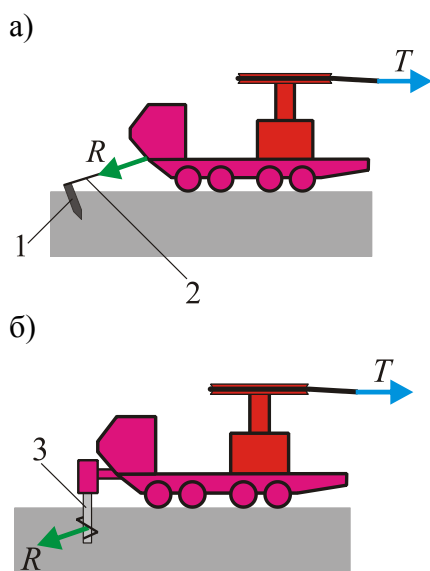


Рис. 4. Опоры для восприятия горизонтальных нагрузок: а – гибкие оттяжки; б – винтовые анкеры; 1 – анкерный элемент; 2 – оттяжка; 3 – винтовой анкер

Так как в передней части мобильной машины располагается двигатель и кабина, то привод и шкив канатной системы располагаются сзади. Согласно этим условиям компоновки базовой станции рабочие нагрузки в положении I стремятся поднять передний мост мобильной машины, а в положении II и в промежуточном положении – дополнительно опрокинуть на бок.

Следовательно, наиболее целесообразно размещать винтовые анкеры или оттяжки в передней части мобильного шасси, так как это приводит к увеличению плеча их действия, а, значит, и к увеличению эффективности анкеровки.

Возможны различные варианты размещения аутригеров базовой станции мобильной канатной дороги (рис. 5). Существующие технические решения предлагают дополнить традиционные аутригеры, воспринимающие вертикальные нагрузки, аутриге-

ром с винтовым анкером (рис. 5, а). Для повышения устойчивости базовой станции в условиях произвольной ориентации канатной системы возможно использование пары аутригеров с винтовым анкером (рис. 5, б). Возможно отказаться от винтовых анкеров при условии установки на традиционные

аутригеры анкерных элементов, конструкция которых приведена в [3] (рис. 5, в).

Таким образом, перед проектировщиком базовой станции мобильной канатной дороги стоит задача рационального или оптимального выбора схемы размещения аутригеров и анкерных элементов.

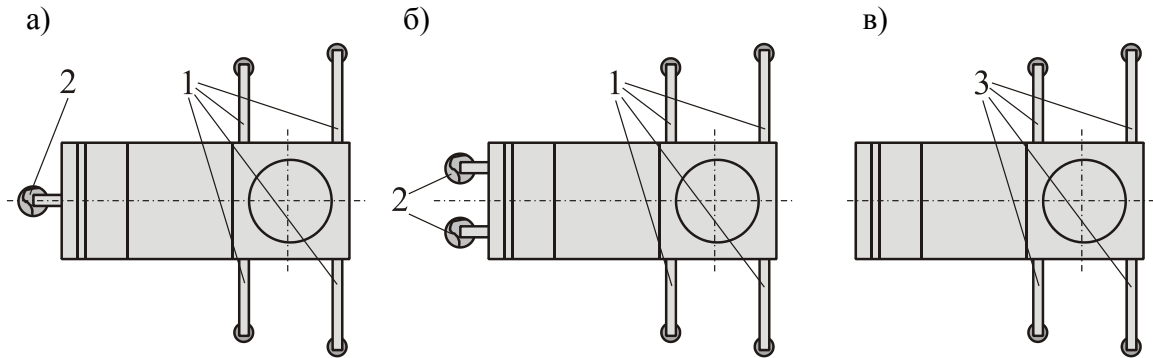


Рис. 5. Варианты размещения аутригеров: 1 – стандартный аутригер; 2 – аутригер с винтовым анкером; 3 – аутригер с анкеркой [3]

4. Методика оценки устойчивости базовых станций мобильных канатных дорог

Расчетная схема для оценки продольной и поперечной устойчивости базовой станции мобильной канатной дороги показана на рис. 6. На рисунке изображены анкерные опоры. Продольная устойчивость базовой станции нарушается воздействием продольных усилий $N = N_1 + N_2$ (рис. 6, а), поперечная устойчивость – поперечных усилий $Q = Q_1 + Q_2$ (рис. 6, б). Расчетная схема для оценки поперечной устойчивости является модификацией известных схем [3, 16].

Условие общей продольной устойчивости мобильной машины (рис. 6, а), установленной на негоризонтальной поверхности с помощью аутригеров с дополнительными анкерными устройствами (рис. 5, в), в общем случае имеет вид:

$$\begin{aligned} & (k_{G1}N + W_{m1})(h_D \cos \alpha_1 + (l_A + l_D) \sin \alpha_1) + \\ & + W_{s1}[h_E \cos \alpha_1 + (l_A + l_E) \sin \alpha_1] = \\ & = Q_s(l_A \cos \alpha_1 - h_C \sin \alpha_1) + \quad (1) \\ & + Q_m[(l_A + l_D) \cos \alpha_1 - h_D \sin \alpha_1] + \sum_{i=1}^{i=n_o} m_{o,li}, \end{aligned}$$

где k_{G1} – коэффициент перегрузки, учитывающий негативное влияние случайных

и инерционных нагрузок; Q_m – вес металлоконструкции шкива и приведенный вес канатной системы; Q_s – вес базового шасси; W_{m1} – ветровая нагрузка на шкив и канатную систему в продольном направлении; W_{s1} – ветровая нагрузка на базовое шасси в продольном направлении; l_A, l_B – расстояния до опор; l_D – горизонтальная координата оси шкива; l_E – горизонтальное расстояние до точки E ; h_C, h_D, h_E – высотные координаты характерных точек мобильной машины; L_s – база базового шасси; α_1 – угол отклонения опорной поверхности грунта от горизонтальной плоскости в продольном направлении; n_o – число используемых выносных опор с анкеркой; $m_{o,11}, m_{o,12}$ – удерживающие моменты выносных опор с анкеркой, расположенных у противоположного ребра опорного контура мобильной машины и вдоль ребра опрокидывания соответственно (в терминологии [3]).

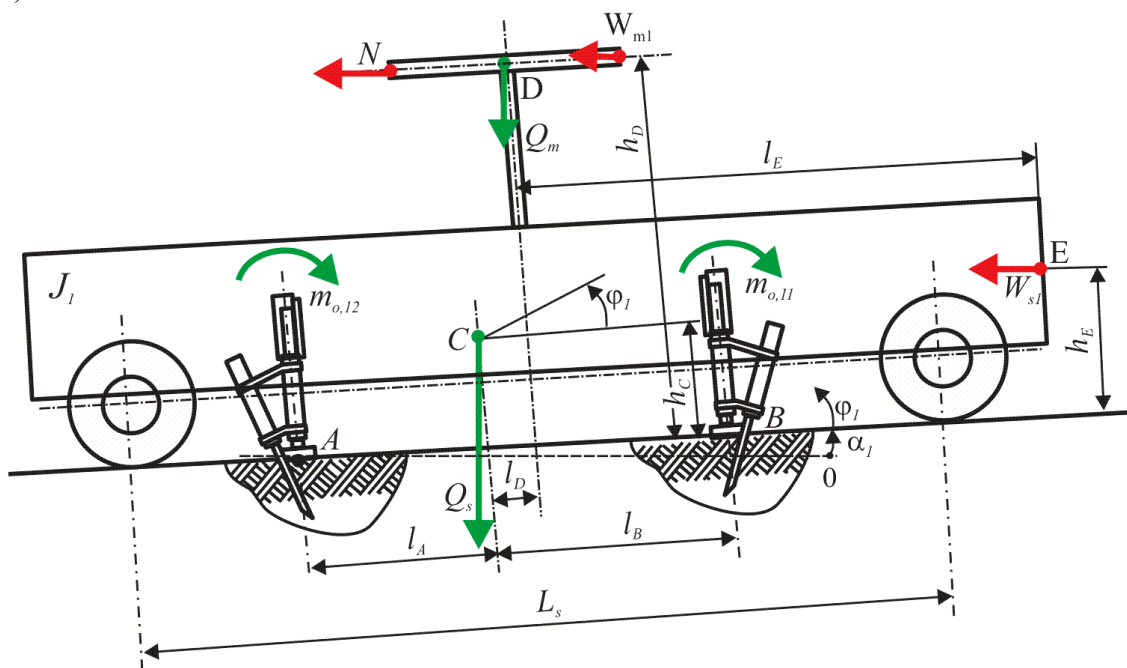
Условие общей поперечной устойчивости мобильной машины (рис. 6, б), установленной на негоризонтальной поверхности с помощью аутригеров с дополнительными анкерными устройствами, в общем случае имеет вид:

$$\begin{aligned} & (k_{G2}Q + W_{m2})(h_D \cos \alpha_2 + l_C \sin \alpha_2) + \\ & + W_{s2}[h_E \cos \alpha_2 + (l_C + B_s / 2) \sin \alpha_2] = \\ & = Q_s(l_C \cos \alpha_2 - h_C \sin \alpha_2) + \\ & + Q_m[l_C \cos \alpha_2 - h_D \sin \alpha_2] + \sum_{i=1}^{i=n_o} m_{o,2i}, \end{aligned} \quad (2)$$

где k_{G2} – коэффициент перегрузки; B_s – колея базового шасси; l_C – полуширина опорного контура; W_{m2} – ветровая нагрузка на шкив и канатную систему в поперечном на-

правлении; W_{s2} – ветровая нагрузка на базовое шасси в поперечном направлении; α_2 – угол отклонения опорной поверхности грунта от горизонтальной плоскости в поперечном направлении; $m_{o,21}$, $m_{o,22}$ – удерживающие моменты выносных опор с анкерровкой, расположенных у противоположного ребра опорного контура мобильной машины и вдоль ребра опрокидывания соответственно.

а)



б)

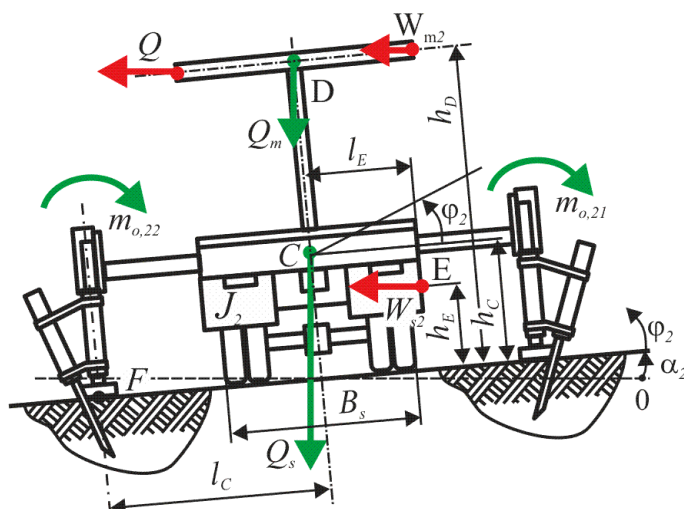


Рис. 6. Расчетная схема для оценки устойчивости базовой станции мобильной канатной дороги: а – продольная устойчивость; б – поперечная устойчивость [3, 16]

Если на базовой станции установлены опоры с винтовыми анкерами (рис. 5, а, б), то используется расчетная схема, показанная на рис. 7), а уравнение (1) принимает следующий вид:

$$\begin{aligned} & (k_{G1}N + W_{m1})(h_D \cos \alpha_1 + (l_V + l_D) \sin \alpha_1) + \\ & + W_{s1}[h_E \cos \alpha_1 + (l_V + l_E) \sin \alpha_1] = \\ & = Q_s(l_V \cos \alpha_1 - h_C \sin \alpha_1) + \\ & + Q_m[(l_V + l_D) \cos \alpha_1 - h_D \sin \alpha_1] + \sum_{i=1}^{i=n_o} m_{o,li}, \end{aligned} \quad (3)$$

где l_V – горизонтальная координата винтового анкера (анкеров).

При моделировании динамики угол наклона меняется во времени t и в выражении (1) вместо угла α_1 необходимо подставить угол $\phi_1 = \alpha_1 + \varphi_1(t)$, а в выражении (2) вместо угла α_2 необходимо подставить угол $\phi_2 = \alpha_2 + \varphi_2(t)$.

Динамика потери устойчивости моделируется с помощью подходов, изложенных в работе [16]. Уравнения (1) и (2) [16] записываются для продольного и поперечного направления. При этом следует отличать моменты инерции в продольном (J_1) и поперечном (J_2) направлении.

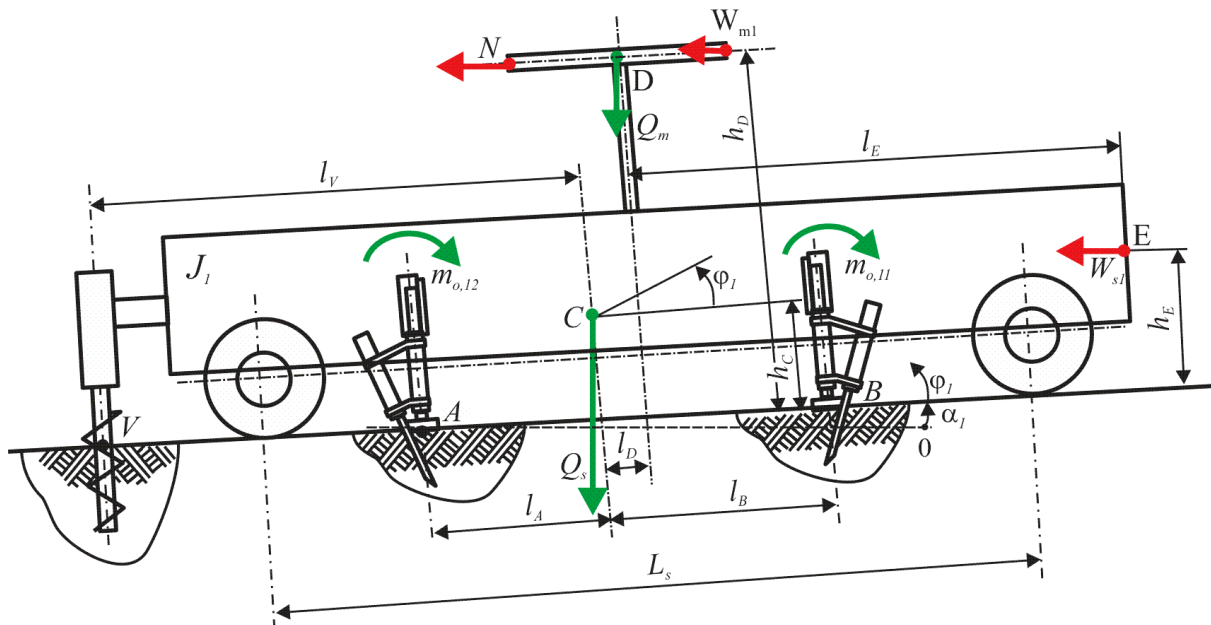


Рис. 7. Расчетная схема для оценки продольной устойчивости базовой станции мобильной канатной дороги при наличии опор с винтовыми анкерами

5. Сравнительный анализ вариантов размещения аутригеров базовых станций мобильных канатных дорог

Для оценки эффективности использования различных вариантов размещения аутригеров были выполнены расчеты продольной и поперечной устойчивости базовой станции мобильной канатной дороги, созданной на базе трехосного колесного шасси. Были рассмотрены следующие варианты.

Вариант I – наличие одной опоры с винтовым анкером и обычных аутригеров (без анкеровки), соответствующий рис. 5, а.

Вариант отличается тем, что винтовой анкер плохо противостоит потере устойчивости в поперечном направлении.

Вариант II – наличие двух опор с винтовыми анкерами и обычных аутригеров (без анкеровки), соответствующий рис. 5, б. Вариант отличается тем, что пара винтовых анкеров активно препятствует потере устойчивости в поперечном направлении.

Вариант III – наличие аутригеров с анкерровкой [3], соответствующий рис. 5, в.

Значения удерживающих моментов вычислены с использованием методики [16] и составляют: $m_{o,11} = 2500$ Нм, $m_{o,12} = 1480$ Нм,

$m_{o,21}=4100$ Нм, $m_{o,22}=2030$ Нм. Значение удерживающего момента винтового анкера вычислено с использованием методики [17] и составляет: $m_v = 750$ Нм. Значения моментов могут отличаться в зависимости от типа грунта, угла внедрения анкерного элемента в опорную поверхность и т.д. [3; 16]. Однако для выполнения сравнительного анализа ряда вариантов это не существенно.

Были приняты следующие параметры расчетной схемы: $N = 30000$ Н; $Q = 30000$ Н; $Q_m = 45000$ Н; $Q_s = 152500$ Н; $W_{s1} = W_{s2} = 500$ Н; $W_{m1} = W_{m2} = 500$ Н; $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ град.; $l_A = 1,1$ м; $l_B = 2,7$ м; $l_C = 2,4$ м; $l_D = 3,595$ м; $l_E = 6,12$ м; $l_V = 5,75$ м; $h_C = 1,1$ м; $h_D = 4,5$ м; $h_E = 0,5$ м; $L_s = 6,57$ м; $B_s = 2,22$ м, $k_{G1} = k_{G2} = 1,2$.

Получены следующие расчетные значения коэффициентов запаса устойчивости базовой станции мобильной канатной дороги (см. табл.). Коэффициент запаса рассчитывался как отношение правой к левой части выражений (1)-(3).

Таблица
Расчетные значения коэффициентов запаса устойчивости базовой станции

Вариант	Коэффициент запаса	
	Продольная устойчивость	Поперечная устойчивость
I	7,57	2,82
II	7,58	2,83
III	2,27	2,89

Анализ полученных результатов показывает, что использование опор с винтовыми анкерными элементами, расположенными в передней части базовой станции (варианты I, II) позволяет обеспечить большой запас продольной устойчивости (до 7,58). Вариант

III не предполагает использование винтовых анкеров. Анкерные опоры конструкции [3] обеспечивают меньший, но удовлетворительный запас устойчивости, поэтому этот вариант также может применяться. Запас поперечной устойчивости примерно одинаков для всех вариантов, так как в большей степени определяется вылетом аутригеров. Однако с конструктивной точки зрения использование опор с винтовыми анкерами проще, чем использование четырех опор с анкерными элементами типа [3]. Следует также отметить, что значительного увеличения поперечной устойчивости при использовании двух опор с винтовыми анкерами не происходит (рост составляет 2%). Таким образом, для использования с целью обеспечения общей устойчивости базовых станций мобильных канатных дорог окончательно рекомендуется вариант I – одна опоры с винтовым анкером и четыре обычных аутригера без анкерки (рис. 5, а).

6. Основные выводы

В отличие от автомобильных кранов и кранов-манипуляторов, устойчивость базовых станций мобильных канатных дорог в большей степени определяется действием не вертикальных, а горизонтальных нагрузок, действующих в плоскости шкива канатной системы. Поэтому базовые станции должны иметь анкерные опоры, предназначенные для уравнивания горизонтальных нагрузок.

В общем случае, для обеспечения общей устойчивости базовых станций мобильных канатных дорог рекомендуется использование одной опоры с винтовым анкером и четырех обычных аутригеров без анкерки.

Список литературы

1. Александров, М.П. Грузоподъемные машины / М.П. Александров. – М.: МГТУ. – Высшая школа, 2000. – 552 с.
2. Надежность в технике. Оценка параметров безопасности колесных и гусеничных машин по опрокидыванию. Характеристики динамической и статической устойчивости: РД 50-233-81. – Утв. Госкомитет по стандартам 01.01.1982 г. – введ. в действие 01.01.82 г.

References

1. Aleksandrov M.P. *Gruzopodemnyye mashiny* [Lifting-transport machines]. Moscow, MG TU, 2000. 552 p. (In Russian)
2. RD 50-233-81. *Nadezhnost v tekhnike. Otsenka parametrov bezopasnosti kolesnykh i gusenichnykh mashin po oprokidyvaniyu. Kharakteristiki dinamicheskoy i staticheskoy ustoychivosti* [Reliability in technology. Assessment of safety parameters of wheeled and

3. Лагереv, А.В. Влияние анкеровки выносных опор на устойчивость мобильных транспортно-технологических машин, оснащенных стреловыми манипуляционными системами / А.В. Лагереv, И.А. Лагереv // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2018. – №2. – С. 152-169.

4. Бычков, И.С. Оценка устойчивости грузоподъемного крана, оборудованного грунтовыми якорями / И.С. Бычков // Вестник СибАДИ. – 2017. – № 3 (55). – С. 7-11. DOI: <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2018-04-02-152-169>

5. Лагереv, И.А. Современная теория манипуляционных систем мобильных многоцелевых транспортно-технологических машин и комплексов. Конструкции и условия эксплуатации / И.А. Лагереv, А.В. Лагереv. – Брянск: РИО БГУ, 2018. – 190 с. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1294622>

6. Лагереv, И.А. Моделирование рабочих процессов манипуляционных систем мобильных многоцелевых транспортно-технологических машин и комплексов / И.А. Лагереv. – Брянск: РИО БГУ, 2016. – 371 с. DOI: [10.5281/zenodo.1198980](https://doi.org/10.5281/zenodo.1198980).

7. Гончаров, К.А. Экспериментальная оценка эффективности использования анкерных устройств на выносных опорах мобильного крана / К.А. Гончаров, И.О. Остроухов // Сб. материалов Всеросс. научно-практич. конф. «Современная наука: идеи, которые изменяют мир». – Брянск: РИО БГУ, 2018 – С. 85-88.

8. Пат. 2337023 Рос. Федерация: МПК7 В61В 7/00. Мобильная подвесная канатная дорога / Короткий А.А., Хальфин М.Н., Маслов В.Б. и др.; заявитель и патентообладатель ООО «Инженерно-консультационный центр «Мысль» НГТУ. – № 2007102705/11; заявл. 24.01.2007; опубл. 27.10.2008, Бюл. 30.

9. Пат. 2465423 Рос. Федерация: МПК7 Е04Н 3/14. Стадион / Короткий А.А., Приходько В.М. Кустарев Г.В. и др.; заявитель и патентообладатель ООО «Инженерно-консультационный центр «Мысль» НГТУ. – № 2011112660/03; заявл. 01.04.2011; опубл. 27.10.2012, Бюл. 30.

tracked vehicles for tipping. Dynamic and static stability characteristics]. Moscow, Goskomitet po standartam, 1982. (In Russian)

3. Lagerev A.V., Lagerev I.A. The influence of anchoring of remote supports on the stability of mobile transport and technological machines equipped with boom lift manipulators. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2018, No.2, pp. 152-162. DOI: [10.22281/2413-9920-2018-04-02-152-169](https://doi.org/10.22281/2413-9920-2018-04-02-152-169) (In Russian)

4. Bychkov I.S. *Otsenka ustoychivosty gruzopodemnogo kрана, oborudovannogo gruntovymi yakoryami* [Evaluation of the stability of a crane equipped with ground anchors]. *Vestnik SibADI*, 2017, No.3, pp. 7-11. DOI: [10.26518/2071-7296-2017-3\(55\)-7-11](https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-3(55)-7-11) (In Russian)

5. Lagerev I.A., Lagerev A.V. *Sovremennaya teoriya manipulatsionnykh sistem mobilnykh mnogotselovykh transportno-tekhnologicheskikh mashin i kompleksov. Konstruktsiya i usloviya ekspluatatsii* [Modern theory of manipulation systems of mobile multi-purpose transport and technological machines and complexes. Design and operating conditions]. Bryansk, Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, 2018. 190 p. ISBN 978-5-9734-0295-2. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1294622> (In Russian)

6. Lagerev I.A. *Modelirovanie rabochikh protsessov manipulyatsionnykh sistem mobilnykh mnogotselovykh transportno-tekhnologicheskikh mashin i kompleksov* [Modeling of work processes in manipulation systems for mobile multi-purpose transport and technological machines and complexes]. Bryansk, RIO BGU, 2016. 371 p. DOI: [10.5281/zenodo.1198980](https://doi.org/10.5281/zenodo.1198980) (In Russian)

7. Goncharov K.A., Ostroukhov I.O. The effectiveness experimental evaluation of the mobile crane`s outriggers with anchor devices using. *Sbornik докладov Vserossiyskoy yauchno-prakticheskoy konferentsii "Sovremennaya nauka: idei, kotorye izmenyat mir"* [Proc. of the conf.: Modern science: ideas that will change the world], 2018, pp. 85-88. (In Russian).

8. Patent RU 2337023, B61B 7/00. Mobilnaya podvesnaya kanatnaya doroga [Mobile ropeway]. Kороткий А.А., Хальфин М.Н., Маслов

10. Лагерев, А.В. Концепция инновационной системы городского транспорта «Канатное метро города Брянска» / А.В. Лагерев, И.А. Лагерев, А.А. Короткий, А.В. Панфилов // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2012. – №3. – С. 12-15.
11. Лагерев, А.В. Оптимизация шага установки промежуточных опорных конструкций вдоль линии канатного метро / А.В. Лагерев, И.А. Лагерев // Вестник Брянского государственного университета. – 2014. – №4. – С. 22-31.
12. Вершинский, А.В. Расчет металлических конструкций подъемно-транспортных машин методом конечных элементов / А.В. Вершинский, И.А. Лагерев, А.Н. Шубин, А.В. Лагерев. – Брянск: РИО БГУ, 2015. – 210 с.
13. Лагерев, А.В. Модернизация крана-манипулятора самоходной энергетической машины АСТ-4-А / А.В. Лагерев, И.А. Лагерев, В.В. Говоров // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2010. – №4. – С. 59-66.
14. Лагерев, И.А. Моделирование напряженно-деформированного состояния крана-манипулятора машины для сварки трубопроводов / И.А. Лагерев // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2011. – №4. – С. 29-36.
15. Лагерев, И.А. Динамическая нагруженность крана-манипулятора машины для сварки трубопроводов при движении с грузом / И.А. Лагерев // Подъемно-транспортное дело. – 2011. – №3. – С. 7-10.
16. Лагерев, И.А. Компьютерное моделирование процесса потери общей устойчивости мобильной машины, оснащенной стреловой манипуляционной системой / И.А. Лагерев, И.О. Остроухов, А.В. Химич // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2019. – №1. – С. 83-94. DOI: <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2019-05-01-83-94>.
17. Мартюченко, И.Г. К вопросу повышения эффективности винтовых анкерных устройств для крепления строительных машин к грунту / И.Г. Мартюченко, А.Ю. Колесников // Научное обозрение. – 2014. – №11. – С. 24-30.
- V.B. Published 27.10.2008. (In Russian)
9. Patent RU 2465423, E04H 3/14. Stadion [Stadium]. Korotkiy A.A., Prihodko V.M., Kustarev G.V. Published 27.10.2012. (In Russian)
10. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Korotkiy A.A., Panfilov A.V. Innovation transport system “Bryansk rope metro”. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2012, No. 3, pp. 12-15. (In Russian)
11. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Cable transport system “Kanatnoe metro” towers distance optimisation. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2014, No.4, pp. 22-31. (In Russian)
12. Vershinckii A.V., Lagerev I.A., Shubin A.N., Lagerev A.V. *Raschet metallicheskih konstruktсий pod'yemno-transportnykh mashin metodom konechnykh elementov* [Calculation of metal constructions of lifting-transport machines by finite element method]. Bryansk, Bryanskiy Gosudarstvennyy Universitet, 2015. 210 p.
13. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Govorov V.V. Crane-manipulator of mobile energy unit AST-4-a modernization, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, No.4, pp. 22-31. (In Russian)
14. Lagerev I.A. Simulation of stress-strain state in crane-manipulator of pipeline welding machine. *Izvestiya vyshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie*, 2011, No.4, pp. 29-36. (In Russian)
15. Lagerev I.A. Trunk pipeline welding machine crane-manipulator dynamics during freight movement. *Pod'emno-transportnoe delo*, 2011, No.3, pp. 7-10. (In Russian)
16. Lagerev I.A., Ostroukhov I.O., Khimich A.V. Computer simulation of the general stability loss of the mobile transport and technological machines equipped with boom lift manipulator. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2019, No.1, pp. 83-94. DOI: 10.22281/2413-9920-2019-05-01-83-94 (In Russian)
17. Martyuchenko I.G., Kolesnikov, A.Yu. On the problem of increasing the effectiveness of screw anchoring devices for temporary fixing of construction machines and other objects to the ground. *Nauchnoe Obozrenie*, 2014, No.11, pp. 24-30. (In Russian)