

УДК (UDC) 625.1/.5

**ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ КОМПОНОВКА ОСНОВНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ОБОРУДОВАНИЯ САМОХОДНОЙ МАШИНЫ МОБИЛЬНОЙ КАНАТНОЙ
ДОРОГИ СО ШТАНГОВЫМ МЕХАНИЗМОМ УСТАНОВКИ И ФИКСАЦИИ
КОНЦЕВОЙ ОПОРЫ****PRELIMINARY LAYOUT OF THE MAIN TECHNOLOGICAL EQUIPMENT OF
A SELF-PROPELLED MACHINE WITH A ROD MECHANISM FOR INSTALLING
AND FIXING THE END TOWER FOR A MOBILE ROPEWAY**Лагерев А.В., Лагерев И.А.
Lagerev A.V., Lagerev I.A.Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского (Брянск, Россия)
Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University (Bryansk, Russian Federation)

Аннотация. Мобильные канатные дороги для проведения транспортно-переправочных операций, формируемые с помощью соединенных единой канатной системой концевыми транспортными установками на основе самоходных колесных или гусеничных шасси повышенной грузоподъемности и проходимости являются перспективным видом подъемно-транспортной техники, обеспечивающим оперативное развертывание необходимых технологических средств. В статье рассмотрены вопросы предварительной компоновки штангового механизма установки и фиксации в рабочем положении концевой опоры с помощью складывающейся штанги, состоящей из двух шарнирно-сочлененных звеньев, для конструктивного варианта выносного размещения опоры на поворотной платформе. Рассмотрена конструкция и принцип работы штангового механизма. Разработана математическая модель, обеспечивающая требуемый нормативный вертикальный габарит самоходной машины для мобильной канатной дороги с целью ее безопасного самостоятельного перемещения к месту развертывания канатной дороги по автомобильным дорогам общего назначения. Выполнен анализ влияния нормативных габаритных требований, конструктивных размеров несущей рамы шасси и высоты концевой опоры на основные конструктивные размеры шарнирно-сочлененной складывающейся штанги в транспортном положении.

Ключевые слова: мобильная канатная дорога, самоходная машина, компоновка, механизм штанговый.

Дата принятия к публикации: 30.10.2021
Дата публикации: 25.12.2021

Сведения об авторах:

Лагерев Александр Валерьевич – доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе НИИ фундаментальных и прикладных исследований ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет имени академика И.Г.

Abstract. Mobile ropeways for carrying out transport operations, formed with the help of terminal transport units connected by a single cable system on the basis of self-propelled wheeled or tracked chassis of increased carrying capacity and cross-country ability, are a promising type of lifting and transport equipment that ensures the rapid deployment of the necessary technological means. The article discusses the issues of preliminary arrangement of the rod mechanism for installation and fixation in the working position of the end tower using a folding rod consisting of two articulated links for a constructive variant of the outrigger placement of the tower on a rotary platform. The design and principle of operation of the rod mechanism is considered. A mathematical model has been developed that provides the required normative vertical dimension of a self-propelled vehicle for the purpose of its safe independent movement to the deployment site on general-purpose highways. The analysis of the influence of normative dimensional requirements, the structural dimensions of the bearing frame of the chassis and the height of the end tower on the main structural dimensions of the articulated folding rod in the transport position is carried out.

Keywords: mobile ropeway, self-propelled machine, layout, rod mechanism.

Date of acceptance for publication: 30.10.2021
Date of publication: 25.12.2021

Authors' information:

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

Петровского», e-mail: bsu-avl@yandex.ru.

ORCID: 0000-0003-0380-5456

Лагереv Игорь Александрович – доктор технических наук, доцент, проректор по инновационной работе ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», e-mail: lagerev-bgu@yandex.ru.

ORCID: 0000-0002-0921-6831

†
†
†
†
†
†
†
†
†
†

ORCID: 0000-0003-0380-5456

Igor A. Lagerev - Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor, Vice rector for Innovations, Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, e-mail: lagerev-bgu@yandex.ru.

ORCID: 0000-0002-0921-6831

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых-докторов наук №МД-422.2020.8

Acknowledgements

The study was supported by Presidential Grant for Governmental Support to Young Russian Scientists No. №MD-422.2020.8

1. Введение

В настоящее время мобильные канатные дороги для проведения транспортно-переправочных операций, формируемые с помощью соединенных единой канатной системой концевыми транспортными установками на основе самоходных колесных или гусеничных шасси повышенной грузоподъемности и проходимости [1, 2], следует рассматривать как перспективный вид технологического оборудования для быстрого ввода в эксплуатацию при необходимости транспортирования различных грузов на заранее неподготовленных территориях со сложным рельефом и отсутствием необходимой транспортной инфраструктуры [3].

Как следствие, такие мобильные канатные дороги имеют хорошие перспективы для их использования при проведении спасательных и восстановительных работ в процессе ликвидации разрушительных последствий природных и техногенных катастроф [4]. Для территорий, испытавших воздействие катастрофических явлений, характерно критическое разрушение не только жилых и производственных зданий, но и всей наземной транспортной системы (трещины и провалы полотна автомобильных и железных дорог, оползни, завалы и др.). Это обстоятельство резко усложняет использование традиционных транспортных средств, ориентированных на наземное размещение [5, 6]. Канатные дороги лишены указанного недостатка, так как используют принцип надземного перемещения грузов по кратчайшему

пути без ограничения со стороны уцелевшей наземной застройки и образовавшихся завалов. Расположение необходимого технологического оборудования и канатной системы на самоходных установках высокой проходимости и грузоподъемности позволяет им автономно перемещаться к местам катастроф и быстро включаться в работу. Кроме того, повышенная мобильность позволяет при необходимости достаточно быстро менять расположение трассы канатной дороги по мере ликвидации последствий катастрофы.

2. Исследуемая конструкция

На рис. 1 и 2 показан общий вид исследуемой конструкции самоходной машины, укомплектованной расположенным на несущей раме штанговым механизмом установки и фиксации в рабочем положении концевой опоры, которая предназначена для работы в составе мобильной канатной дороги. Она является одним из конструктивных вариантов концевых базовых станций (варианты Ву1-Х/Х и Ву2-Х/Х), предложенных в работе [7].

На рис. 1 и 2 цифровые обозначения соответствуют следующим элементам: 1 - несущая рама; 2 - самоходная концевая станция; 3 - надрамная конструкция; 4, 9, 12, 16, 21 - цилиндрический шарнир; 5 - концевая опора; 6, 10, 14 – проушина; 7, 11, 15, 19, 22 - шарнирный палец; 8 - подъемный гидроцилиндр; 13 - нижняя часть складывающейся штанги; 17 - верхняя часть складывающейся штанги; 18 - профилированная проушина; 20 – шток; 23 - канатный шкив; 24 - несущее

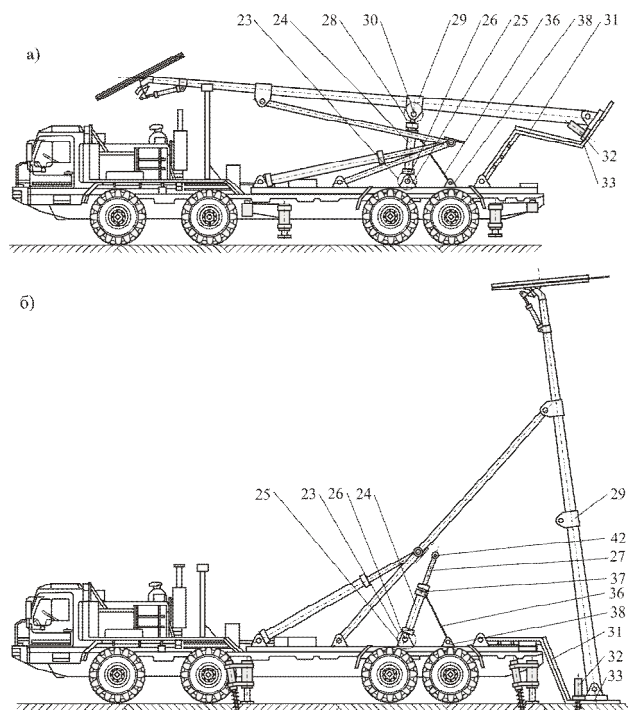


Рис. 1. Общий вид самоходной машины (вид сбоку) с выносным расположением концевой опоры и складывающейся штангой (модификации Ву1-4/Х и Ву2-4/Х): а – транспортное положение концевой опоры; б – рабочее положение концевой опоры

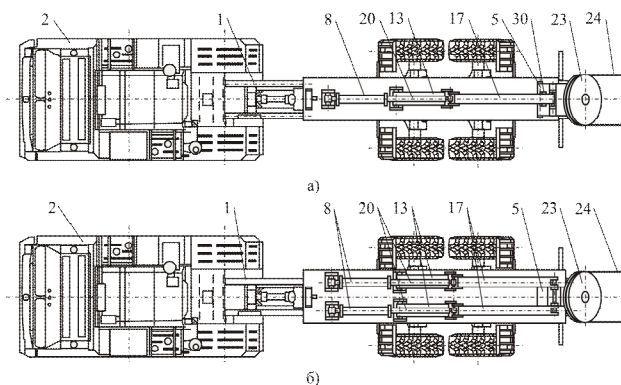


Рис. 2. Общий вид самоходной машины (вид сверху) с выносным расположением концевой опоры и складывающейся штангой в рабочем положении в различных модификациях: а - с одинарной складывающейся штангой и одинарным гидроцилиндром (модификация Ву1-4/Х); б - с двумя складывающимися штангами и сдвоенными параллельно установленными и синхронно работающими гидроцилиндрами одинакового типоразмера (модификация Ву2-4/Х)

тяговый канат; 25 - транспортная стойка; 26 - выносная опора; 27 - анкерное устройство; 28 – кабина; 29 - стопорная пластина; 30 – сквозное окно для размещения складывающейся штанги (рис. 27, а); 31 – поворотная платформа; 32 – анкерное устройство; 33 – опорная пластина; элемент I – механизм поворота канатного шкива.

Механизм установки и фиксации концевой опоры в рабочем положении с помощью складывающейся штанги может выполняться в двух вариантах комплектации (рис. 2):

1) с одинарной складывающейся штангой и одинарным гидроцилиндром;

2) с двумя складывающимися штангами и сдвоенными параллельно установленными и синхронно работающими гидроцилиндрами одинакового типоразмера.

Как показано в [2], основной технической задачей, решаемой при использовании в конструкции самоходной машины для размещения основного технологического оборудования канатной системы мобильной канатной дороги рассматриваемой шарнирно-сочлененной складывающейся штанги, является:

- снижение массо-габаритных характеристик подъемного гидроцилиндра концевой опоры из транспортного положения в рабочее положение за счет уменьшения его необходимой длины и хода штока;

- освобождение подъемного гидроцилиндра от дополнительной функции по удержанию концевой опоры в требуемом рабочем положении в процессе эксплуатации мобильной канатной дороги.

Установка и фиксация концевой опоры с помощью штангового механизма имеет ряд технических достоинств:

- обеспечивается разделение двух основных функций - установки концевой опоры в рабочее положение и фиксации концевой опоры при эксплуатации;

- наблюдается наименьшая величина опорных реакций на несущую конструкцию базового шасси при эксплуатации;

- используется подъемный гидроцилиндр малой длины и диаметра;

- обеспечивается возможность осуществления двухэтапной установки концевой опо-

ры в рабочее положение с помощью вспомогательного подъемного гидроцилиндра [8];

- отсутствует необходимость в использовании дополнительных внешних тормозных устройств против самопрокидывания концевой опоры при ее установке в рабочее положение;

- обеспечивается наибольшая надежность фиксации вследствие минимума риска разрушения в процессе эксплуатации (для этого требуется воздействие высокоэнергетического деструктивного фактора);

- обеспечивается точная фиксация концевой опоры в требуемом рабочем положении при изменении эксплуатационных нагрузок во всем диапазоне возможного изменения их величин.

Однако использование штангового механизма имеет и свои технические ограничения:

- фиксированный угол наклона концевой опоры в рабочем положении при использовании складывающейся штанги постоянной длины;

- повышенная сложность компоновки основного технологического оборудования на базовом шасси;

- невозможность использования в качестве средства предварительного натяжения несущего тягового каната.

- высокие требования к выбору длины нижней части складывающейся штанги и точности ее изготовления;

- наименьшая ремонтпригодность конструкции основного технологического оборудования в целом по сравнению с другими конструкциями механизма установки и фиксации концевой опоры [2, 7].

На несущей раме 1 самоходной концевой станции 2 установлена надрамная конструкция 3 для закрепления основного технологического оборудования, необходимого для формирования и функционирования канатной системы мобильной канатной дороги. В концевой части несущей рамы на надрамной конструкции закреплен цилиндрический шарнир 4, обеспечивающий подвижное поворотное соединение надрамной конструкции и поворотной платформы 32 с закрепленной на ней с помощью цилиндрического шарнира концевой опоры 5. Цилиндриче-

ский шарнир 4 образован парой проушин 6, которые неподвижно закреплены при помощи сварного соединения на надрамной конструкции, и парой проушин, неподвижно закрепленных на нижней части концевой опоры. В соосные отверстия этих проушин с подшипниками качения вставлен шарнирный палец 7, обеспечивающий подвижную кинематическую связь между надрамной конструкцией и поворотной платформой. Данная конструкция узла крепления платформы позволяет ей совершать поворотное движение в вертикальной плоскости, совпадающей с продольной осью мобильного шасси. Корпус подъемного гидроцилиндра 8 с помощью цилиндрического шарнира 9 крепится к надрамной конструкции. Цилиндрический шарнир образован парой проушин 10, неподвижно закрепленных на надрамной конструкции, в соосные отверстия которых вставлен шарнирный палец 11 с надетой на него серьгой торцевой крышки подъемного гидроцилиндра. На надрамной конструкции между цилиндрическими шарнирами 4 и 9 закреплен цилиндрический шарнир 12, обеспечивающий подвижное поворотное соединение надрамной конструкции и нижней части складывающейся штанги 13. Этот цилиндрический шарнир образован парой проушин 14 на надрамной конструкции и парой профилированных проушин, неподвижно закрепленных на нижней части складывающейся штанги. В соосные отверстия указанных проушин подшипниками качения вставлен шарнирный палец 15, обеспечивающий подвижную кинематическую связь между надрамной конструкцией и нижней частью складывающейся штанги. Данная конструкция узла крепления нижней частью складывающейся штанги позволяет ей совершать поворотное движение в вертикальной плоскости, совпадающей с продольной осью мобильного шасси. На металлоконструкции концевой опоры закреплен цилиндрический шарнир 16, обеспечивающий подвижное (поворотное) соединение концевой опоры и верхней части складывающейся штанги 17. Этот цилиндрический шарнир образован парой профилированных проушин 18, неподвижно закрепленных на концевой опоре, и

парой проушин, неподвижно закрепленных на верхней части складывающейся штанги. В соосные отверстия указанных проушин с подшипниками качения вставлен шарнирный палец 19, обеспечивающий подвижную кинематическую связь между концевой опорой и верхней частью складывающейся штанги. Данная конструкция узла крепления верхней части складывающейся штанги позволяет ей совершать плоско-параллельное движение в вертикальной плоскости, совпадающей с продольной осью мобильного шасси. Нижняя часть складывающейся штанги, верхняя часть складывающейся штанги и шток 20 подъемного гидроцилиндра соединяются цилиндрическим шарниром 21. Этот цилиндрический шарнир образован парой проушин, неподвижно закрепленных на торце нижней части складывающейся штанги, и парой проушин, неподвижно закрепленных на торце верхней части складывающейся штанги, в соосные отверстия которых вставлен шарнирный палец 22 с надетой на него крепежной втулкой штока подъемного гидроцилиндра. Указанный цилиндрический шарнир позволяет совершать соединяемым элементам взаимное поворотное движение относительно шарнирного пальца при перемещении штока. На оголовке концевой опоры установлен канатный шкив 23, в профилированном пазе которого располагается несущий канат 24, огибающий канатный шкив. К верхней части концевой опоры крепится механизм поворота канатного шкива (элемент I на рис. 1). В подшипники качения, используемые в конструкции перечисленных цилиндрических шарниров, набита консистентная пластичная смазка, аналогичная рекомендуемой для использования в узлах трения мобильных транспортно-технологических машин [9].

К месту назначения самоходная концевая станция выдвигается, имея концевую опору в транспортном положении (рис. 1,а). В транспортном положении концевая опора отклонена на угол γ_{ts1} относительно перпендикуляра $D-D$ к опорной пластине 8 и неподвижно зафиксирована в этом положении с помощью хомута, образующего замковое соединение между концевой опорой и поворотной плат-

формой 31. Отклонение концевой опоры на угол γ_{ts1} необходимо для того, чтобы габаритная высота самоходной машины удовлетворяла требованиям нормативного высотного габарита приближения по высоте, регламентируемого ГОСТ Р 52748-2007 [10], для безопасного проезда под мостовыми сооружениями и путепроводами при движении по автомобильным дорогам общего пользования. С целью недопущения поломок металлоконструкции концевой опоры вследствие движения по неровной поверхности, в транспортном положении она опирается и закрепляется на транспортной стойке 25. При достижении места назначения самоходная концевая станция ориентируется таким образом, чтобы продольная ось мобильного шасси совпадала с продольной осью канатной дороги. Для обеспечения общей устойчивости в условиях действия значительных горизонтальных опрокидывающих нагрузок от силы натяжения несущего каната и веса транспортируемого груза [11] самоходная концевая станция устанавливается на выносные опоры 26, которые закрепляются на грунте с помощью анкерных устройств 27. В качестве анкерных устройств могут быть использованы известные анкерные конструкции [12]. Затем выполняется подъем концевой опоры из исходного транспортного положения (рис. 1, а) в рабочее положение (рис. 1, б). Перевод концевой опоры в рабочее положение производится подъемным гидроцилиндром и выполняется в два этапа. На первом этапе установки путем выдвигания штока подъемного гидроцилиндра, в который по напорным трубопроводам подается под давлением рабочая жидкость из гидросистемы самоходной машины, концевая опора вместе с неподвижно зафиксированной с ней поворотной платформой поворачиваются относительно цилиндрического шарнира 4 в продольной вертикальной плоскости мобильного шасси. Поворот выполняется до тех пор, пока поворотная платформа своей опорной пластиной 33 полностью не ляжет на поверхность грунта. При необходимости площадка на поверхности грунта под опорную пластину может быть предварительно подготовлена путем ее выравнивания, трамбовки, укрепления. Для

обеспечения хорошего сцепления опорной пластины с грунтом в условиях действия значительных горизонтальных и вертикальных опорных реакций со стороны концевой опоры, опорная пластина закрепляется на поверхности грунта с помощью анкерных устройств 32. Далее выполняется раскрытие замкового соединения между концевой опорой и поворотной платформой. Концевая опора получает возможность дальнейшего поворота в продольной вертикальной плоскости относительно опорной пластины. На втором этапе установки концевой опоры в рабочее положение продолжается выдвигание штока подъемного гидроцилиндра.

В результате концевая опора поворачивается относительно цилиндрического шарнира узла ее крепления в продольной вертикальной плоскости мобильного шасси до тех пор, пока она не займет требуемое рабочее положение когда продольные оси обеих частей складывающейся штанги совместятся. В этот момент перемещение штока прекращается вследствие срабатывания концевого выключателя, установленного на стопорной пластине 29. Срабатывание концевого выключателя приводит отключению объемного гидронасоса гидросистемы самоходной концевой станции и, таким образом, к остановке штока подъемного гидроцилиндра. Во время эксплуатации мобильной канатной дороги выполняется открытие гидрролинии между соседними полостями подъемного гидроцилиндра, что приводит в выравниванию в них давления рабочей жидкости и исключению возникновения дополнительных динамических напряжений при работе мобильной канатной дороги. Всю эксплуатационную нагрузку воспринимает складывающаяся опора, работающая в условиях растяжения и обеспечивающая удержание концевой опоры в требуемом рабочем положении. По завершении работы перевод концевой опоры из рабочего положения в транспортное положение производится в обратном порядке.

3. Постановка задачи

При предварительной компоновке основного технологического оборудования несущей

раме самоходной машины требуется обеспечить его вертикальный габарит, исходя из требований действующего нормативного габарита приближения по высоте, для возможности использования автомобильных дорог общего пользования и безопасного проезда под мостовыми сооружениями и путепроводами при движении машины к месту дислокации. Это требование обеспечивается, если выполняется следующее условие:

$$H_{mc} \leq [H], \quad (1)$$

где H_{mc} - вертикальная координата наиболее высокой точки основного технологического оборудования на базовом шасси в транспортном положении (вертикальный габарит); $[H] = 4$ м - нормативный габарит приближения по высоте с учетом требуемых зазоров, регламентируемый ГОСТ Р 52748-2007 [10].

Результаты предварительного анализа конструкции шарнирно-сочлененной складывающейся штанги, проведенного ранее в [13], свидетельствуют о том, что лимитирующий размер H_{mc} , позволяющий обеспечить условие (1), зависит не только от размеров шасси и концевой опоры, но также от абсолютных значений длин и соотношения длин верхней и нижней части штанги и присоединительных размеров концов штанги к опоре и несущей раме шасси.

4. Кинематическая схема механизма

Кинематическая схема штангового механизма установки и фиксации выносной концевой опоры (рис. 1) в транспортном (исходном) и предельном рабочем (конечном) положениях концевой опоры приведена на рис. 3.

Ориентация продольной оси концевой опоры в вертикальной плоскости характеризуется следующими конструктивными параметрами, исходно задаваемыми перед проведением геометрического и силового расчета компоновки основного технологического оборудования на базовом колесном шасси:

- углом наклона продольной оси концевой опоры к плоскости несущей рамы самоходной машины в транспортном положении γ_{ts} ;

- углом отклонения продольной оси концевой опоры от перпендикуляра к плоскости

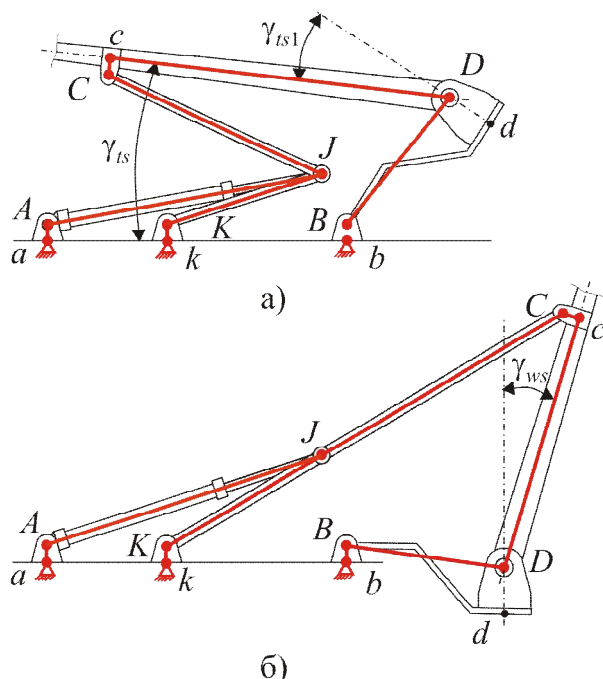


Рис. 3. Кинематическая схема штангового механизма установки и фиксации выносной концевой опоры:
а – транспортное положение;
б – рабочее положение

несущей поверхности поворотной платформы γ_{ts1} ;

- углом отклонения продольной оси концевой опоры от перпендикуляра к плоскости несущей поверхности платформы γ_{ts1} ;

- углом наклона продольной оси концевой опоры к перпендикуляру к поверхности грунта в предельном рабочем положении γ_{ws} (для штанговых механизмов предельное рабочее положение соответствует единственному рабочему положению, т.е. $\gamma_w = \pi/2 + \gamma_{ws}$);

- расстояниями между характерными точками i и j кинематической схемы l_{ij} ;

- углом относительного расположения шарниров B и D и расстояния между ними:

$$l_{BD} = [(l_{Bn} + l_{dm} - l_{mn} \cos \varphi_t)^2 + (l_{Dd} - l_{mn} \sin \varphi_t)^2]^{0,5};$$

- углом относительного расположения центра тяжести платформы $c.g_{pl}$ и шарнира B и расстояния между ними:

$$\gamma_{pl} = -\arctg \left\{ (0,5G_{mn} + G_{km} + G_{an})(h_{lb} + h_{of} + l_{Bb}) \times [0,5l_{Bn}G_{Bn} + (l_{Bn} - 0,5l_{mn} \cos \varphi_t)G_{mn} + \right.$$

$$\left. + (l_{Bn} - l_{mn} \cos \varphi_t + l_{dm})G_{km} + (l_{Bn} - l_{mn} \cos \varphi_t + l_{mo})G_{an} \right\}^{-1};$$

$$l_{pl} = (G_{Bn} + G_{mn} + G_{km} + G_{an})^{-1} \times \left\{ (0,5G_{mn} + G_{km} + G_{an})^2 (h_{lb} + h_{of} + l_{Bb})^2 + [0,5l_{Bn}G_{Bn} + (l_{Bn} - 0,5l_{mn} \cos \varphi_t)G_{mn} + (l_{Bn} - l_{mn} \cos \varphi_t + l_{dm})G_{km} + (l_{Bn} - l_{mn} \cos \varphi_t + l_{mo})G_{an}]^2 \right\}^{0,5},$$

где $l_{mn} = (h_{lb} + h_{of} + l_{Bb}) / \sin \varphi_t$; φ_t - угол изгиба платформы; h_{lb} - высота рабочей плоскости несущей рамы шасси; h_{of} - высота надрамной конструкции; G_{Bn} , G_{mn} - вес участков Bn и mn платформы; G_{km} - общий вес участка km платформы и узла крепления концевой опоры; G_{an} - вес анкерных устройств, расположенных на платформе; l_{mo} - расстояние от точки m до места расположения анкерных устройств на участке km платформы.

При задании размера l_{cD} необходимо исключить возможность контактирования корпуса приводного гидроцилиндра с надрамной конструкцией, что обеспечивается при выполнении следующего условия:

$$l_{cD} \geq l_{cD}^{\min} = \max \left\{ \begin{array}{l} (h_{lb} + h_{of} + l_{Aa} - l_{Dd}) / \cos \gamma_{ws} \\ (h_{lb} + h_{of} + l_{Aa} - l_{Dd}) / \cos \gamma_{ts1} \end{array} \right.$$

При задании длин сопрягаемых частей складывающейся штанги l_{cJ} и l_{JK} необходимо исключить возможность их контактирования как с металлоконструкцией концевой опоры, так и надрамной конструкции, для чего в транспортном положении должно выполняться условие

$$\gamma_{CED,ts} > [\gamma_{CED}]_{\min},$$

где $[\gamma_{CED}]_{\min}$ - угол, минимально допустимый по условию расположения сопрягаемых частей складывающейся штанги в пространстве под концевой опорой.

5. Математическая модель

Расчетная схема для разработки математической модели, характеризующей компоновку основного технологического оборудования

на несущей раме самоходной машины, укомплектованной штанговым механизмом установки и фиксации в рабочем положении концевой опоры, приведена на рис. 4.

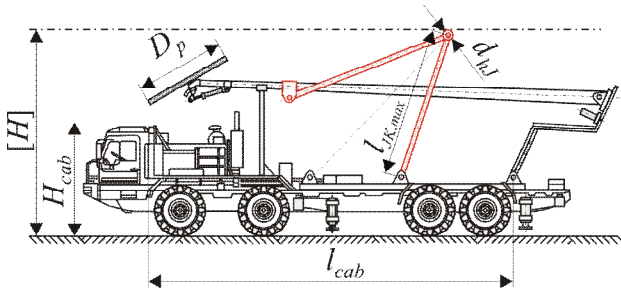


Рис. 4. Расчетная схема предварительной компоновки основного технологического оборудования при установке выносной концевой опоры с помощью складывающейся штанги в транспортном положении (максимальное возвышение шарнира складывающейся опоры)

$$\begin{cases} (x_J - l_{ak})^2 + ([H] - h_{lb} - h_{of} - d_{hj}/2 - l_{Kk})^2 - l_{JK,max}^2 = 0 \\ (x_J - x_{C,ts})^2 + ([H] - h_{lb} - h_{of} - d_{hj}/2 - y_{C,ts})^2 - (L_{sh} - l_{JK,max})^2 = 0 \end{cases} \quad (2)$$

где d_{hj} - габаритный размер шарнирного узла соединения сопрягаемых частей штанги; x_C , y_C - координаты центра шарнира C узла присоединения верхней сопрягаемой части складывающейся штанги в транспортном

По аналогии с математической моделью компоновки основного технологического оборудования при концевом креплении концевой опоры на несущей раме самоходной машины, разработанной в [13], вертикальный габарит рассматриваемого штангового механизма в транспортном положении H_{mc} может также определяться возвышением шарнирного узла соединения сопрягаемых частей штанги (рис. 4). Такая ситуация возможна, если длина нижней части штанги l_{JK} превышает максимально допустимую величину $l_{JK,max}$. Значение $l_{JK,max}$ совместно со значением координаты x_J центра J шарнирного узла соединения сопрягаемых частей штанги находится решением системы двух нелинейных уравнений вида

положении (рис. 3, а); L_{sh} - длина складывающейся штанги в разложенном состоянии.

Размеры $x_{C,ts}$, $y_{C,ts}$ и L_{sh} , необходимые для определения $l_{JK,max}$, вычисляются с помощью следующих зависимостей:

$$\begin{aligned} x_{C,ts} &= l_{ab} + l_{BD} \sin(\gamma_{ts} + \gamma_{ts1} - \gamma_{BD}) - l_{cD} \cos \gamma_{ts} - l_{Cc} \sin \gamma_{ts}; \\ y_{C,ts} &= l_{Bb} + l_{BD} \cos(\gamma_{ts} + \gamma_{ts1} - \gamma_{BD}) + l_{cD} \sin \gamma_{ts} - l_{Cc} \cos \gamma_{ts}; \\ L_{sh} &= l_{JK} + l_{CJ} = [(l_{ab} - l_{ak} + l_{BD} \cos \gamma_{BD} + l_{cD} \sin \gamma_{ws} - l_{Cc} \cos \gamma_{ws})^2 + \\ &\quad + (l_{Bb} - l_{Kk} + l_{BD} \sin \gamma_{BD} + l_{cD} \cos \gamma_{ws} + l_{Cc} \sin \gamma_{ws})^2]^{0,5}. \end{aligned}$$

В качестве примера на рис. 5 приведены графики изменения максимально допустимой длины нижней части складывающейся штанги $l_{JK,max}$ и относительной длины $l_{JK,max}/L_{sh}$ в зависимости от расстояния l_{cD} между шарнирами D и C и угла наклона концевой опоры длиной 10 м в рабочем положении γ_{ws} . С увеличением угла γ_{ws} , т.е. увеличением отклонения концевой опоры в сторону трассы канатной дороги, наблюдается практически линейный рост максимально

допустимой длины нижней части складывающейся штанги $l_{JK,max}$, что обусловлено необходимостью увеличения длины складывающейся штанги в разложенном состоянии, соответствующем рабочему положению концевой опоры. Однако относительная длина $l_{JK,max}/L_{sh}$ изменяется незначительно: интервал разброса $\Delta(l_{JK,max}/L_{sh}) < 0,03$.

Длина нижней части складывающейся штанги l_{JK} лимитируется минимально допустимым значением размера $l_{JK,min}$

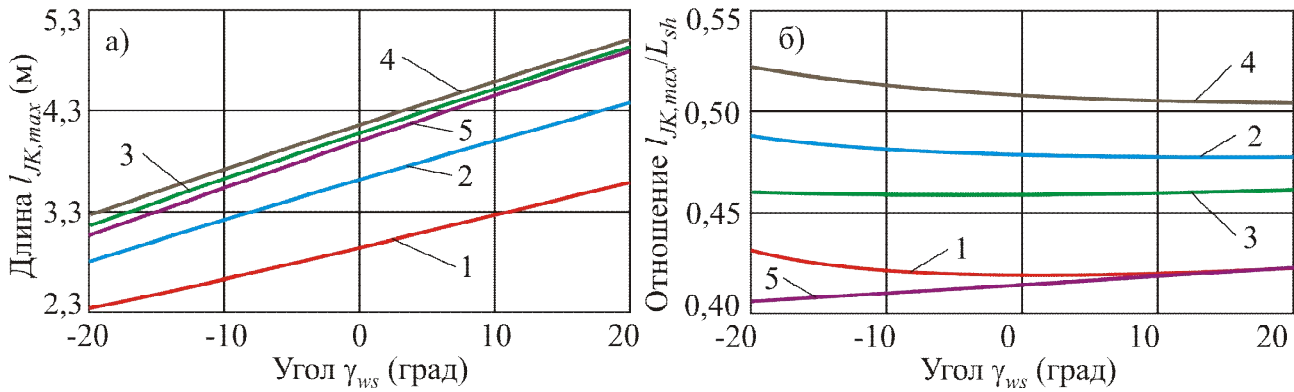


Рис. 5. Влияние расстояния l_{cD} между шарнирами C и D и угла наклона концевой опоры в рабочем положении γ_{ws} на максимально допустимую длину нижней части складывающейся штанги (модификация ВУХ-4/10): а - $l_{JK,max}$; б - $l_{JK,max} / L_{sh}$ (1 - $l_{cD} = 5$ м; 2 - $l_{cD} = 6$ м; 3 - $l_{cD} = 7$ м; 4 - $l_{cD} = 8$ м; 5 - $l_{cD} = 9$ м)

$$l_{JK} > l_{JK,min}$$

которое определяется зависимостью:

$$l_{JK,min} = \frac{1}{2} \left\{ L_{sh} - [(l_{ab} - l_{ak} + l_{BD} \sin(\gamma_{ts} + \gamma_{ts1} - \gamma_{BD}) - l_{cD} \cos \gamma_{ts} - l_{Cc} \sin \gamma_{ts})^2 + (l_{Bb} - l_{Kk} + l_{BD} \cos(\gamma_{ts} + \gamma_{ts1} - \gamma_{BD}) + l_{cD} \sin \gamma_{ts} - l_{Cc} \cos \gamma_{ts})^2] \right\}$$

Как и в ранее исследованной в работе [13] конструкции самоходной машины со штанговым механизмом и вариантом концевой установки концевой опоры на несущей раме, максимально допустимая длина нижней части штанги $l_{JK,max}$ и координаты x_J

центра J шарнирного узла соединения сопрягаемых частей штанги, удовлетворяющие условию (1), не зависят от длины концевой опоры H_t . Об этом свидетельствует анализ системы уравнений (2).

Очевидно, максимально возможная длина концевой опоры $H_{t,max}$, которую можно разместить на самоходной машине, определяется, исходя из учета двух граничных ситуаций [7]:

- 1) максимального возвышения оголовка концевой опоры (рис. 6, а);
- 2) максимального возвышения поворотной платформы (рис. 6, б).

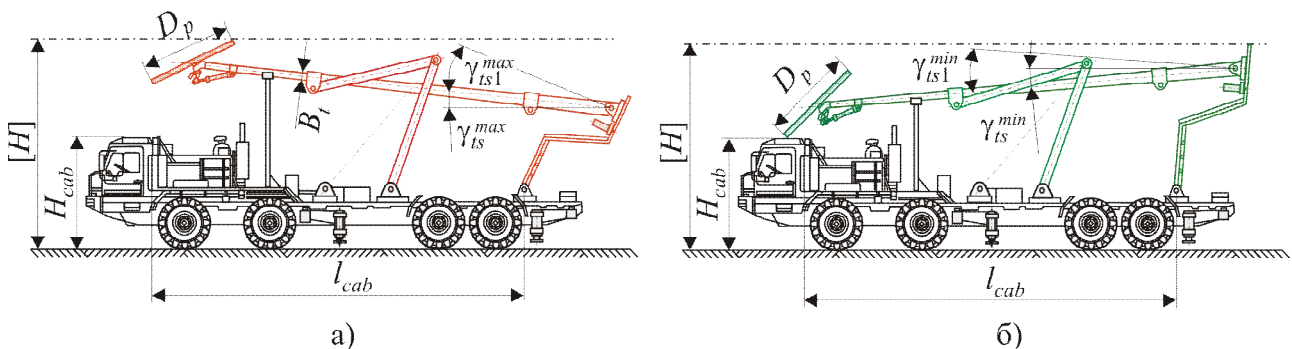


Рис. 6. Расчетная схема для определения максимально возможной длины концевой опоры, которую можно разместить на несущей раме самоходной машины: а - максимальное возвышение оголовка концевой опоры; б - максимальное возвышение поворотной платформы

Обе указанные ситуации максимального возвышения основного технологического оборудования в транспортном положении

рассмотрен в [7]. Максимально возможная длина концевой опоры $H_{t,max}$ в обоих случа-

ях может быть достигнута при рациональном сочетании двух углов ее наклона - γ_{ts}^{\min} и γ_{ts1}^{\min} (или γ_{ts}^{\max} и γ_{ts1}^{\max}). Таким образом, каждой расчетной ситуации соответствует свое значение максимально возможной длины концевой опоры и окончательно она определяется на основе следующего условия:

$$H_{t,\max} = \min \{ (H_{t,\max})_I; (H_{t,\max})_{II} \},$$

где $(H_{t,\max})_I$ - максимально возможная длина концевой опоры в ситуации максимального возвышения ее оголовка; $(H_{t,\max})_{II}$ - максимально возможная длина концевой опоры в ситуации максимального возвышения поворотной платформы.

Максимально возможная длина концевой опоры в ситуации максимального возвышения ее оголовка определяется с помощью соотношения

$$(H_{t,\max})_I = \frac{1}{\sin \gamma_{ts}^{\max}} \{ [H] - h_{lb} - h_{of} - l_{Bb} - l_{BD} \cos(\gamma_{ts}^{\max} + \gamma_{ts1}^{\max} - \gamma_{BD}) - 0,5D_p \sin(\gamma_{pt} - \gamma_{ts}^{\max}) \},$$

где D_p - диаметр канатного шкива; γ_{pt} - угол наклона канатного шкива к продольной оси концевой опоры в транспортном положении.

Максимально возможная длина концевой опоры в ситуации максимального возвышения поворотной платформы лимитируется условием необходимости согласования расположения нижней точки канатного шкива и высотного расположения (высотного габарита) кабины водителя самоходной машины. Поэтому она определяется с помощью соотношения

$$(H_{t,\max})_{II} = \frac{1}{\sin \gamma_{ts}^{\min}} [H_{\min} - h_{lb} - h_{of} - l_{Bb} - l_{BD} \cos(\gamma_{ts}^{\min} + \gamma_{ts1}^{\min} - \gamma_{BD}) + 0,5D_p \sin(\gamma_{pt} - \gamma_{ts}^{\min})],$$

где H_{\min} - минимальное высотное положение нижней точки канатного шкива по условиям требуемого обзора водителя самоходной машины.

6. Заключение

Анализ представленной в данной статье математической модели предварительной компоновки основного технологического оборудования на несущей раме колесной самоходной машине для мобильных канатных дорог, оснащенной штанговым механизмом установки и фиксации в рабочем положении выносной концевой опоры доказывает возможность разработки такой компоновки оборудования в транспортном положении, которая бы позволяла автономное перемещение машины по автомобильным дорогам общего назначения до места дислокации с учетом нормативных требований в части высотных приближений к объектам дорожной инфраструктуры, причем при этом концевая опора имеет практически значимую длину.

Максимально возможная длина концевой опоры не зависит от конструктивных размеров верхней и нижней частей складывающейся штанги и ее присоединительных размеров, а лимитируется, главным образом, продольной длиной самоходного шасси. Таким образом, использование шасси с большим количеством осей позволяет устанавливать на них более высокие концевые опоры при использовании шарнирно-сочлененных штанг одинаковых размеров.

Список литературы

1. Короткий А.А., Лагереv А.В., Месхи В.Ч., Лагереv И.А., Панфилов А.В., Таричко В.И. Транспортно-логистические технологии и машины для цифровой урбанизированной среды. Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2019. 268 с. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1311913>
2. Лагереv А.В., Лагереv И.А., Таричко

References

1. Korotkiy A.A., Lagerev A.V., Meskhi V.Ch., Lagerev I.A., Panfilov A.V., Tarichko V.I. *Transportno-logisticheskie tekhnologii i mashiny dlya tsifrovoy urbanizirovannoy sredy* [Transport and logistics technologies and machines for the digital urban environment]. Rostov-on-Don, Don State Technical Univer-

В.И. Варианты компоновки основного технологического оборудования на базовых шасси мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов и их сравнительный анализ // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2021. № 3. С. 236-250. DOI: 10.22281/2413-9920-2021-07-03-236-250

3. Степченко Т.А., Бабич О.В. Результаты научных исследований Брянского государственного университета в сфере мобильных транспортно-перегрузочных канатных систем и комплексов // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2021. № 1. С. 9-29. DOI: 10.22281/2413-9920-2021-07-01-09-29

4. Tarichko V.I. General principles of creating mobile cable cars based on self-propelled wheeled chassis / 1st International Marmara scientific research and innovation Congress. Istanbul, 2021. P. 20.

5. Лагереv А.В., Лагереv И.А., Короткий А.А., Панфилов А.В. Концепция инновационной системы городского транспорта «Канатное метро города Брянска» // Вестник Брянского государственного технического университета. 2012. №3. С. 12-15. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1302025>

6. Степченко Т.А., Бабич О.В. Результаты научных исследований Брянского государственного университета в 2019 году в сфере транспортно-логистических технологий и машин для урбанизированной среды // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2020. № 1. С. 120-135. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-01-120-135

7. Лагереv А.В., Лагереv И.А., Таричко В.И. Конструкции и основы проектирования мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов. Брянск: РИСО БГУ, 2020. 207 с.

8. Пат. 206299 Рос. Федерация: МПК⁷ В61В 7/00, В61В 7/06, В66С 23/16. Самоходная концевая станция мобильной канатной дороги / Лагереv А.В., Лагереv И.А., Таричко В.И.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г.

sity, 2019. 268 p.

DOI: <http://doi.org/10.5281/zenodo.3551132> (In Russian)

2. Lagerev I.A., Lagerev A.V., Tarichko V.I. Variants of the layout of the main technological equipment on the base chassis of mobile transport and reloading rope complexes and their comparative analysis. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2021, No.3, pp. 236-250. DOI: 10.22281/2413-9920-2021-07-03-236-250 (In Russian)

3. Stepchenko T.A., Babich O.V. Results of scientific research of Bryansk State University in the sphere of mobile transportation and handling rope systems and ropeways. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2021, No.1, pp. 9-29. DOI: 10.22281/2413-9920-2021-07-01-09-29. (In Russian)

4. Tarichko V.I. General principles of creating mobile cable cars based on self-propelled wheeled chassis. In: Proc. 1st International Marmara scientific research and innovation Congress. Istanbul, 2021, p. 20.

5. 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. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1302025> (In Russian)

6. Stepchenko T.A., Babich O.V. The results of scientific research of the Bryansk State University in 2019 in the field of transport and logistics technologies and machines for the urban environment. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2020, No.1, pp. 120-135. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-01-120-135. (In Russian)

7. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Tarichko V.I. *Konstruktsii i osnovy proektirovaniya mobilnykh transportno-peregruzochnykh kanatnykh kompleksov* [Structures and design fundamentals of mobile transporting and overloading rope facilities]. Bryansk, RISO BGU, 2020. 207 p. (In Russian)

8.45. Patent RU 206299, В61В 7/00, В61В 7/06, В66С 23/16. *Samokhodnaya kontsevaya*

Петровского». № 2021112278, заявл. 27.04.21; опубл. 03.09.21. Бюл. № 25.

9. Ивашков И.И. Монтаж, эксплуатация и ремонт подъемно-транспортных машин. М.: Машиностроение, 1981. 335 с.

10. ГОСТ Р 52748-2007. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения и габариты приближения. Введ. 2008-01-01. М.: Стандартинформ, 2008. 16 с.

11. Лагереv А.В., Таричко В.И., Солдатченков С.П. Обеспечение общей устойчивости базовых колесных станций мобильных канатных дорог // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2019. №2. С. 210-220. DOI: <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2019-05-02-210-220>

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

13. Лагереv А.В., Таричко В.И., Лагереv И.А. Обеспечение вертикального габарита самоходной машины со штанговым механизмом установки и фиксации концевой опоры для мобильной канатной дороги // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2021. №2. С. 141-152. DOI: 10.22281/2413-9920-2021-07-02-141-152

stantsiya mobilnoy kanatnoy dorogi [Self-propelled terminal station of the mobile ropeway]. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Tarichko V.I. Declared 27.04.2021. Published 03.09.2021. (In Russian)

9. Ivashkov I.I. *Montazh, ekspluatatsiya i remont podemno-transportnykh mashin* [Installation, operation and repair of lifting-transport machines]. Moscow, Mashinostroenie, 1981. 335 p. (In Russian)

10. GOST R 52748-2007 Automobile roads of the general using. Standard loads, loading systems and clearance approaches. Moscow, Standartinform, 2008. 16 p. (In Russian)

11. Lagerev A.V., Tarichko V.I., Soldatchenkov S.P. General stability of a base vehicle of a mobile ropeway. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2019, No.2, pp. 210-220. DOI: <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2019-05-02-209-220> (In Russian)

12. 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)

13. Lagerev A.V., Tarichko V.I., Lagerev I.A. Providing the vertical dimension of a self-propelled machine with a rod mechanism for installing and fixing the end tower for a mobile ropeway. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2021, No.2, pp. 141-152. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-07-02-141-152 (In Russian)