

Исследование работы и расчет элементов конструкций ходовой части модульного путепровода

¹*АМАНБАЕВ Сабит Шаяхметович, докторант, amanbayev.sabit@mail.ru,

²СЮНБАЕВ Шинполат Мансуралиевич, к.т.н., доцент, shinbolat_84@mail.ru,

¹НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», Казахстан, Караганда, пр. Н. Назарбаева, 56,

²Ташкентский государственный транспортный университет, Узбекистан, Ташкент, ул. Темирийулчилар, 1,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Целью исследования является изучение работы и расчет элементов конструкции ходовой части модульного путепровода, применяемого во время ремонта подземных городских коммунальных сетей. Путепровод совмещает в себе несущую конструкцию модульного моста и автомобильного шасси, на которое поставлена эта конструкция для его транспортировки. Путепровод предназначен для проезда по нему автотранспорта и применяется для устранения пробок на городских дорогах во время ремонта городских подземных коммунальных сетей, путем установки его над ремонтной траншеей. Изложены результаты косвенного статического метода. По результатам расчетов определены поперечные сечения осей ходовой части путепровода. Получены зависимости изменения внутренних усилий в конструкции путепровода от нагрузки подвижного состава. Исследовано влияние нагрузки от подвижного транспорта на элементы конструкций путепровода.

Ключевые слова: транспортная техника, модульный путепровод, мобильный путепровод, ремонт коммунальных сетей, расчет конструкций мобильного путепровода, дорожная пробка, временный мост.

Введение

Поступательное развитие экономических отношений в РК и улучшение благосостояния граждан способствуют росту количества транспортных средств в городах. Это влечет за собой увеличение транспортных потоков и перегруженность дорожных магистралей городов. Невозможность быстрой модернизации пропускной способности дорог и сопутствующей дорожной инфраструктуры приводит к образованию пробок, заторов и ухудшению работы транспортной инфраструктуры в городе в целом. Наряду с увеличением транспортных потоков, существует проблема подземного ремонта городских коммунальных сетей. Обычно коммунальные сети находятся под проезжими частями городских дорог. Ремонт этих сетей способствует длительному образованию пробок и затрудненному движению транспорта в городе, т.к. транспорт вынужден объезжать дороги с подземным ремонтом на весь срок ремонта.

Для решения проблемы длительных транспортных заторов во время ремонта городских коммунальных сетей предлагается использовать временные перемещаемые мостовые установки

– мобильные путепроводы. Мобильный путепровод представляет собой временную мостовую конструкцию, которая состоит из трех основных модулей: двух наклонных и одного ортогонального (рисунки 1, 2).

Наклонные модули снабжены ходовой частью (колесным шасси). Ортогональный модуль представляет собой пространственную П-образную раму проезжей части путепровода и устанавливается в ремонтную траншею, после чего они скрепляются и устанавливаются подъездные аппарели. В эксплуатационном положении автотранспорт движется по путепроводу и преодолевает ремонтные траншеи (рисунок 2).

После сборки наклонных и ортогонального модуля путепровод транспортируется к месту его эксплуатации, устанавливается над ремонтными траншеями коммунальных сетей для пропуска автотранспорта. После эксплуатации путепровода его конструкция разбирается, «встает на колеса», наклонные модули с ходовой частью стыкуются с собой, на них крепится верхняя часть ортогонального модуля, крепятся открученные нижние стойки этого модуля, поверх закрепляются подь-

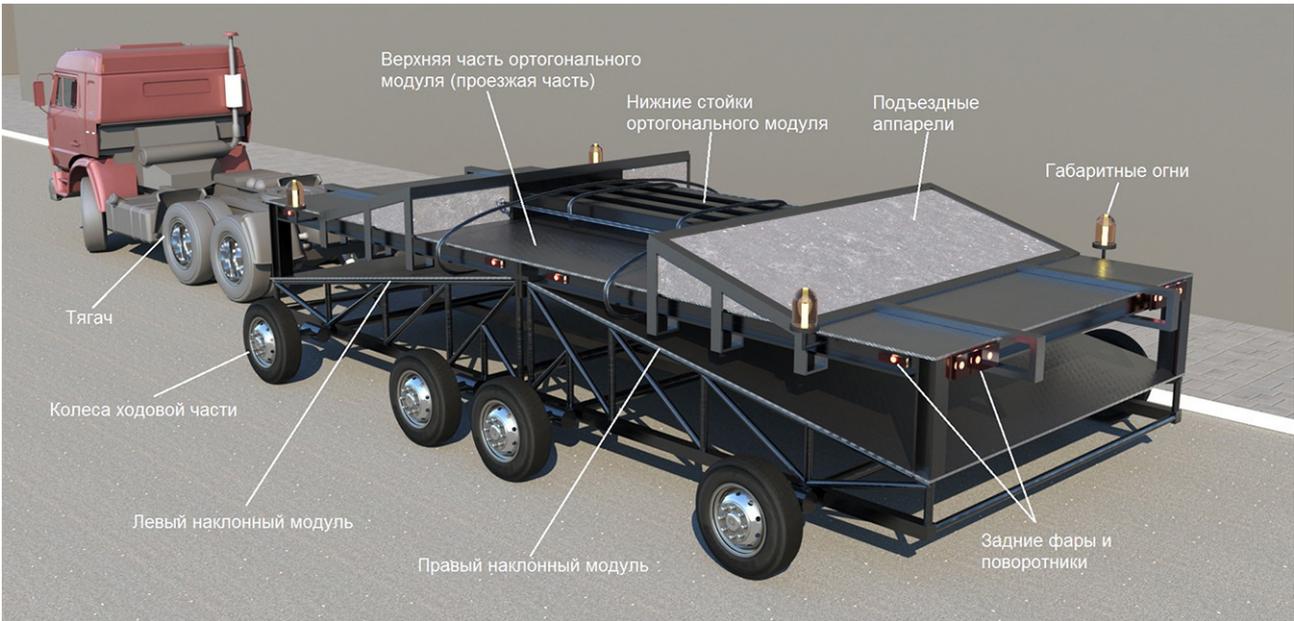


Рисунок 1 – Модульный путепровод в транспортном положении

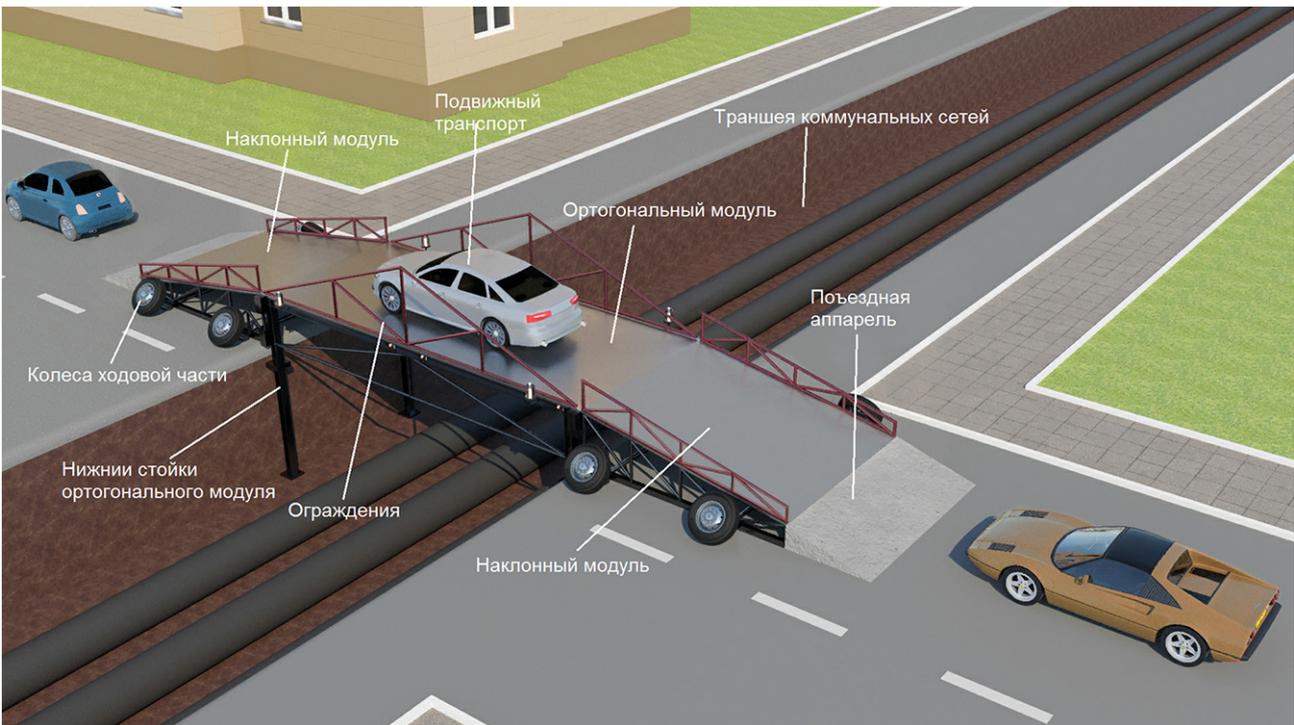


Рисунок 2 – Модульный путепровод в эксплуатационном положении

ездные аппарели и в собранном виде перемещается к месту новой эксплуатации или хранения (рисунок 1). Термин «путепровод» обозначает такие равные определения, как: модульный путепровод, коммунальный путепровод, мобильный путепровод. Перекрываемый пролет траншеи коммунальных сетей может быть больше 8 м, нагрузка от транспорта до 3,5 т.

Близким аналогом конструкции путепровода являются танковые мостуокладчики, гусеничные

перекидные тралы и т.п. [1, 2]. Они не могут применяться в городских условиях из-за дороговизны и непригодности к гражданским условиям. В гражданском строительстве ведутся работы по созданию временных сборно-разборных мостов или путепроводов, без возможности их транспортировки своим ходом [3, 4, 5]. Однако мобильные конструкции там отсутствуют. В связи с этим, разработка конструкции путепроводов и исследование их работы являются актуальной задачей.

Основателем школы разработки мобильных путепроводов является проф. А.С. Кадыров и его ученики: доктора философии (PhD): К.Г. Балабекова и А.А. Ганюков [6, 7]. В представленной работе, под научным консультированием А.А. Ганюкова, идет дальнейшее развитие этой тематики [8].

Целью исследования являются работа и расчет элементов конструкций ходовой части модульного путепровода, применяемого при ремонте городских коммунальных сетей. Для достижения цели исследования необходимо решить следующие задачи:

- разработка конструкции осей ходовой части путепровода;
- определение нагрузок на оси ходовой части путепровода;
- определение внутренних усилий и подбор поперечных сечений элементов конструкции ходовой части путепровода для обеспечения прочности.

Новизна исследования заключается в получении зависимостей при расчете ходовой части конструкции, которая является одновременно мостом и транспортной техникой. Практическая значимость определяется разработкой методики расчета ходовой части путепровода при эксплуатации его в реальных условиях.

Материалы и методы

Материалом для исследований в представленной работе является конструкции осей ходовой части путепровода. Ходовая часть состоит из 4 осей: передней поворотной (рисунок 3, позиция

1), двух средних и задней неповоротной оси (рисунок 3, позиция 2). Передняя поворотная ось обеспечивает «рулежку» путепровода при его транспортировке и оснащена механизмом поворота (рисунок 3, позиция 5). Каждая ось путепровода снабжена механизмом подъема ездых колес вверх, необходимым для посадки наклонных модулей путепровода на землю (рисунок 3, позиция 3).

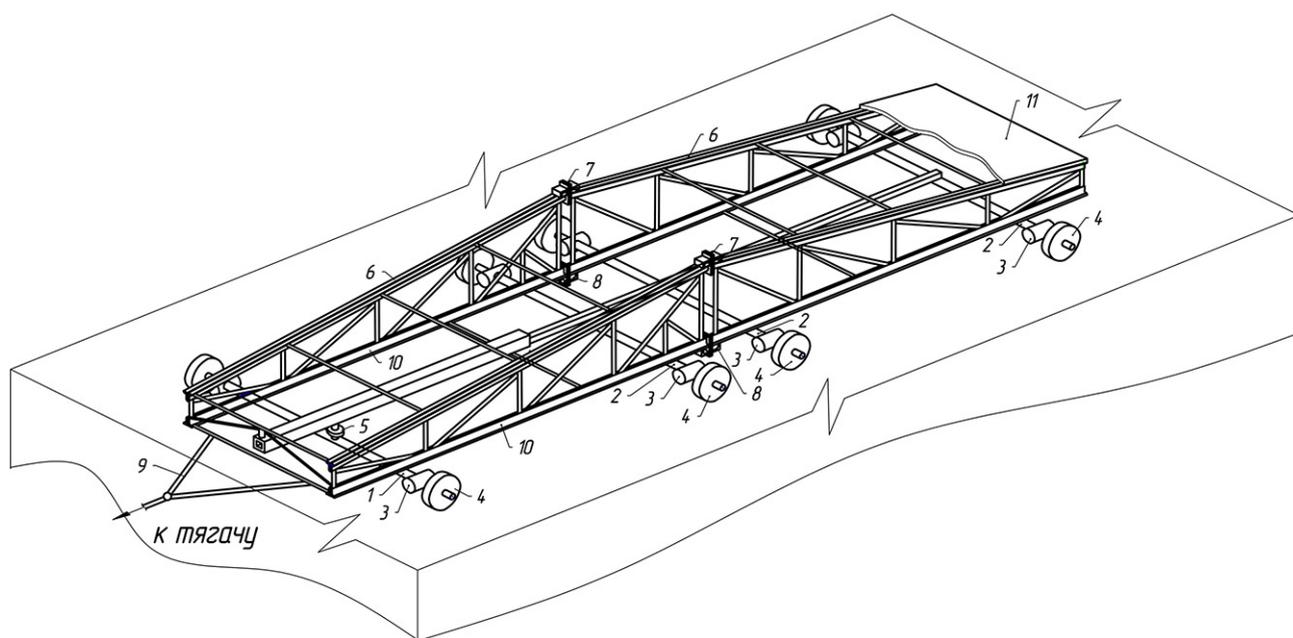
На рисунке 4 представлена компоновочная схема передней поворотной оси путепровода. Рама оси жестко соединена с основанием наклонного модуля (нижний пояс металлических ферм) и дополнительно усиленные тягами жесткости.

На рисунке 5 представлена компоновочная схема неповоротных осей: двух средних и задней оси путепровода. Рамы осей так же жестко соединены с основанием наклонного модуля (нижний пояс металлических ферм) и дополнительно усилены тягами жесткости.

В процессе транспортировки путепровода буксировкой на собственном шасси на все его оси действуют различные нагрузки статического и динамического характера. Расчет металлических конструкций шасси может быть выполнен в 2 вариантах:

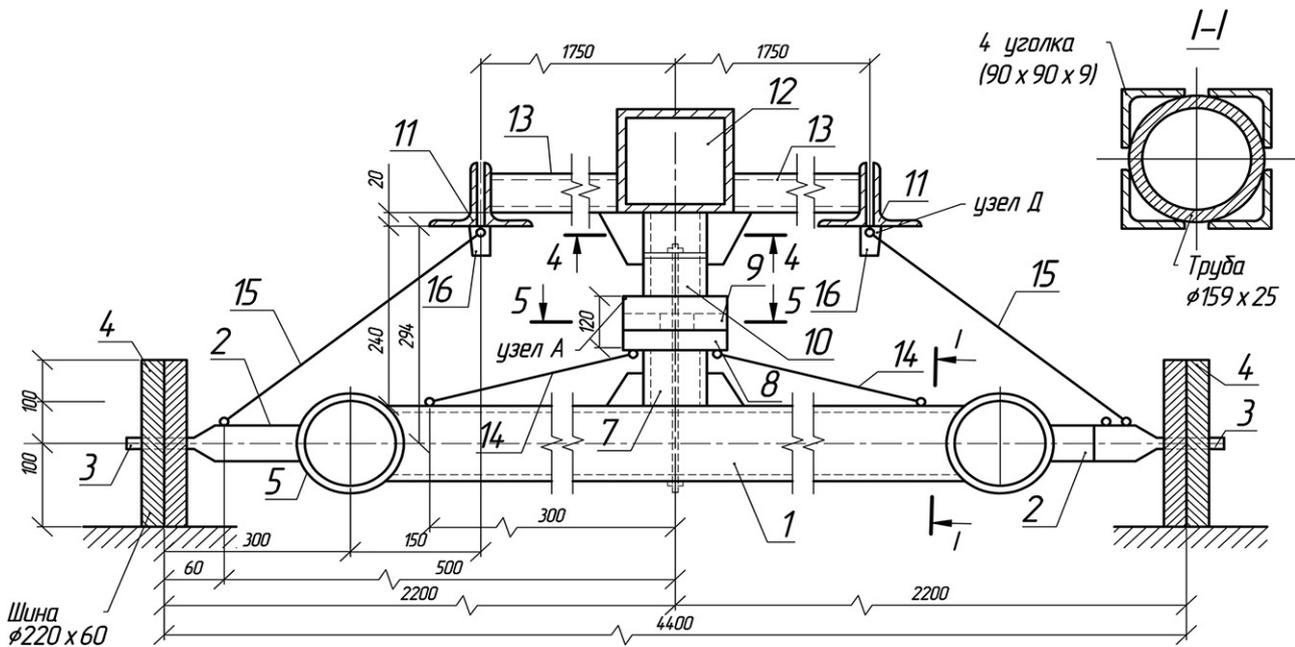
1 – статический расчёт с введением динамических коэффициентов, учитывающих низкочастотные колебания конструкции (косвенный динамический расчёт);

2 – динамический расчёт на основе учета влияния неровностей дорожного полотна на напряжённо-деформированное состояние (НДС)



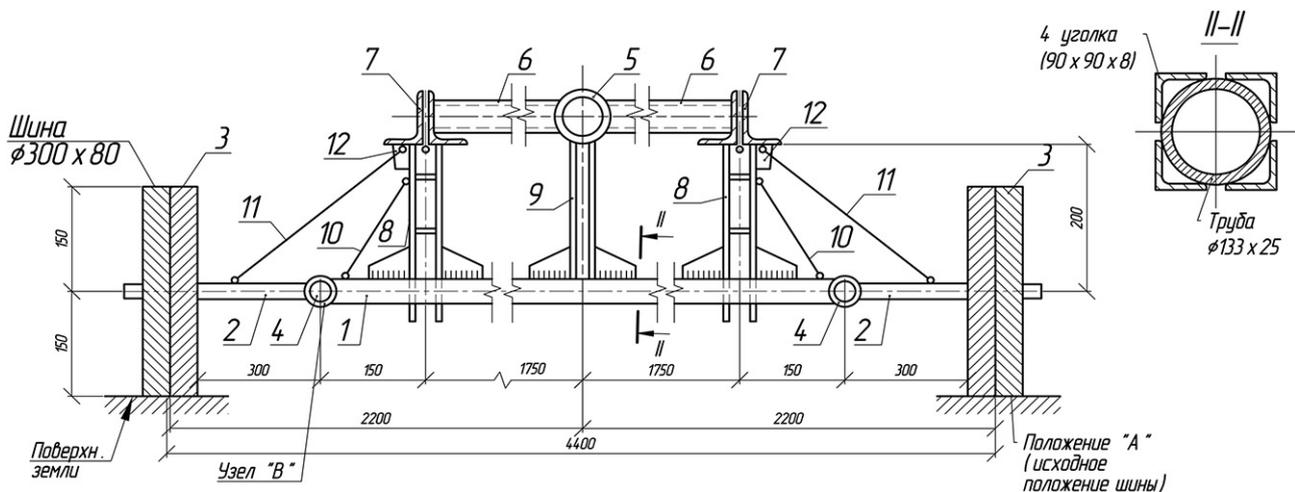
1 – передняя поворотная (рулевая) ось; 2 – средние и задняя неповоротные оси; 3 – поворотные устройства на осях; 4 – ездые шины; 5 – рулевое (поворотное) устройство; 6 – трапециевидные фермы ездой платформы (наклонные модули); 7 – верхние транспортные замки; 8 – нижние транспортные замки; 9 – буксировочное устройство; 10 – нижние пояса ферм; 11 – настил из стального листа толщиной 20 мм

Рисунок 3 – Схема механизмов модульного путепровода



1 – основной участок поворотной оси длиной ($l = 3,8$ м) (составное сечение – см. сечение I-I); 2 – поворачиваемый участок оси с колесом; 3 – концевой участок поворотной оси; 4 – ездовые колеса; 5 – механизм поворота колес; 6 – поворотный шкворень длиной; 7 – вертикальный стержень; 8 – стопорная шайба; 9 – стопорная шайба («мама»); 10 – вертикальный стержень; 11 – уголки нижнего пояса ферм наклонного модуля; 12 – продольная балка шасси; 13 – поперечная балка шасси; 14 – тяги усиления оси поворота руля; 15 – съемные тросы для поворота колес; 16 – механическая лебедка

Рисунок 4 – Конструкция передней поворотной оси



1 – основной участок неповоротной оси ($l = 3,8$ м) (составное сечение); 2 – поворачиваемый участок оси; 3 – ездовые колеса; 4 – механизм поворота колес; 5 – участок продольной несущей балки шасси; 6 – поперечная балки шасси; 7 – уголки нижнего пояса ферм наклонного модуля; 8, 9 – стойки для удержания неповоротных осей; 10 – тяги усиления оси; 11 – съемные тросы для поворота колес; 12 – механическая лебедка

Рисунок 5 – Конструкция неповоротных средних и задних осей

конструкции шасси через частоту возмущающей силы на точечные массы частей сооружения (прямой динамический расчёт).

В предлагаемой статье рассматривается 1-й вариант; 2-й вариант будет представлен в последующих публикациях. Статический расчёт по динамическим коэффициентам необходим для

определения усилий, возникающих в конструкции осей, и подбора их поперечных сечений для обеспечения необходимой (достаточной) изгибной жесткости от возникающих значительных изгибающих моментов. Эти результаты достигаются проверенными методами сопротивления материалов и строительной механики.

В качестве статических нагрузок выступают собственный вес металлических конструкций ходовой части, вес конструкции наклонно-ориентированных платформ со стальными настилами, конструкции ортогонально ориентированной платформы с нижними стойками и подъездными аппаратами. Собственный вес вышеперечисленных частей, транспортируемого путепровода составляет: $G_{ос}^н = 33,5$ т – нормативная нагрузка. Определим расчетную нагрузку:

$$G_{ос}^р = G_{ос}^н \cdot n_p = 33,5 \cdot 1,15 = 38,4 \text{ т}, \quad (1)$$

где n_p – коэффициент надёжности по нагрузке.

Определим величину g нагрузки на 1 м^2 . Для этого определим общую грузовую площадь на оси от площади конструкции путепровода в транспортном положении:

$$S = l \cdot h = 8,15 \cdot 3,5 = 28,52 \text{ м}, \quad (2)$$

где l и h – длина и ширина проезжей части путепровода в транспортном положении (рисунок 3). Тогда

$$g = \frac{G_{ос}^р}{S} = \frac{38,4}{28,52} = 1,35 \text{ т/м}^2. \quad (3)$$

Определим погонные нагрузки на переднюю и задние оси шасси q_1 и q_2 . На переднюю поворотную ось шасси

$$q_1 = g \cdot B_1 = 1,35 \cdot 2,25 = 3,04 \text{ т/м}, \quad (4)$$

где $B_1 = 1 + 2,5 / 2 = 2,25$ м – грузовая полоса. Статическая погонная нагрузка в этом случае показана на рисунке 6,а, как для однопролетной балки.

Равномерно распределенную нагрузку переведём к сосредоточенной, приложенной в середине пролета (рисунок 5,б). Коэффициент « k » из [9, табл. 13 с. 147].

$$F_1 = q_1 \cdot l = 3,04 \cdot 4,4 = 13,4 \text{ т}, \quad (5)$$

На остальные оси шасси аналогично (рисунок

7).

Итак, мы определили статические нагрузки, действующие на оси ходовой части, с учетом коэффициента надежности, которые моделируются на ездовых осях в виде равномерно распределенной нагрузки и сосредоточенных сил.

Результаты

Рассмотрим результаты статического расчета несущих конструкций шасси с учетом динамических коэффициентов, которые позволят нам учесть динамические эффекты (низкочастотные колебания) конструкции путепровода при его транспортировке и эксплуатации.

Подберем поперечное сечение передней поворотной оси. Согласно компоновочной схеме (рисунок 4, позиция 1) предварительно сконструировано основное поперечное сечение поворотной оси (длина 3,68 м, рисунок 8,а). Такой выбор составного сечения обоснован тем, что оно хорошо справляется с изгибающими моментами.

Силовой расчёт выполняем согласно расчетной схеме поворотной оси, представляющей собой однопролетную статически определимую балку (рисунки 6 и 7). Для такой балки определим максимальный изгибающий момент по известной формуле сопротивления материалов [10]:

$$M_{\max} = \frac{F_1 l}{4} = \frac{0,134 \cdot 4,4}{4} = 0,1474 \text{ МНм}, \quad (6)$$

где $F_1 = 13,4 \text{ т} = 0,134 \text{ МН}$.

Момент инерции для выбранного составного поперечного сечения (рисунок 8) рассчитан и равен $J_x = 6894 \text{ см}^4$. Тогда момент сопротивления изгибу W_x сечения по определению:

$$W_x = \frac{J_x}{a_0 + v_0} = \frac{6894}{6,3 + 2,55} = 779 \text{ см}^3, \quad (7)$$

где a_0 и v_0 – параметры, определяющие расстояние до главных осей сечения.

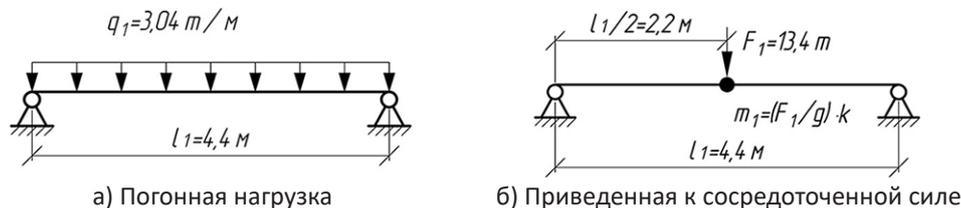


Рисунок 6 – Расчетная схема передней поворотной оси

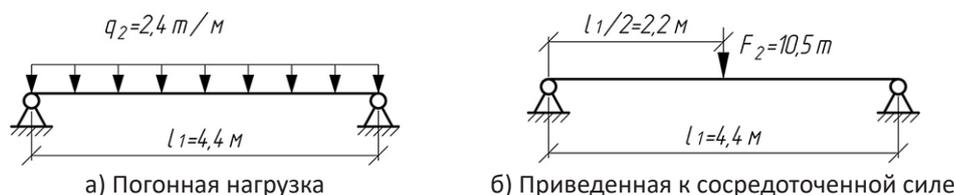


Рисунок 7 – Расчетная схема на средние и задние оси

В качестве материала выбираем сталь С245 (марка ВСтпс6-1), для которой имеем значение расчётного сопротивления по пределу текучести [2, с. 418]: $R=240$ МПа. Требуемый момент сопротивления W_{mp} вычисляется по формуле с учетом динамики:

$$W_{mp} \geq \frac{M_{\max}}{R} k_d, \quad (8)$$

где $k_d=1,2$ – динамический коэффициент, учитывающий колебания конструкции.

По формуле (8) имеем:

$$W_{mp} \geq \frac{0,1474}{240} \cdot 1,2 = 737 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 = 737 \text{ см}^3. \quad (9)$$

Для сечения рисунка 8 мы получили фактический момент инерции (7) – $W_x=779 \text{ см}^3$. Тогда получаем условие:

$$W_x = 779 \text{ см}^3 > W_x^{mp} = 737 \text{ см}^3, \quad (10)$$

что отвечает условию прочности передней поворотной оси: полученный момент сопротивления больше требуемого.

Поперечное сечение передней поворотной оси выполняется переменным, т.е. меняющимся на концевых участках оси (рисунок 4, поз. 1, поз. 2). По эпюре моментов для участков длиной 0,3 м на обоих концах осей принимаем

$$W_x^{\text{доп}} = \frac{1}{5} W_x^{mp} = \frac{1}{5} 737 = 147 \text{ см}^3. \quad (11)$$

Принимаем для этого участка (рисунок 4, поз. 2) трубу диаметром $\text{Ø}108 \times 16$ (рисунок 9).

Для неповоротных осей, согласно компоновочной схеме (рисунок 5, позиция 1), подобрано основное поперечное сечение (длина 3,8 м) (рисунок 8, б). Проверка момента сопротивления W_{mp} для неповоротных задних осей осуществляется аналогично по формулам (6)-(11) (рисунок 9).

Выводы

По результатам проведенных исследований в статье, получены следующие выводы:

- разработаны и спроектированы конструкции осей ходовой части путепровода;
- определены нагрузки на оси ходовой части

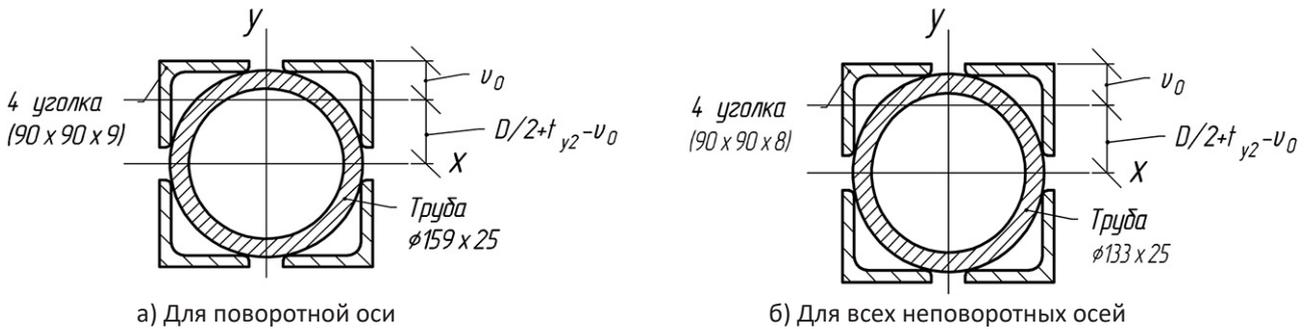


Рисунок 8 – Основные поперечные сечения осей ходовой части

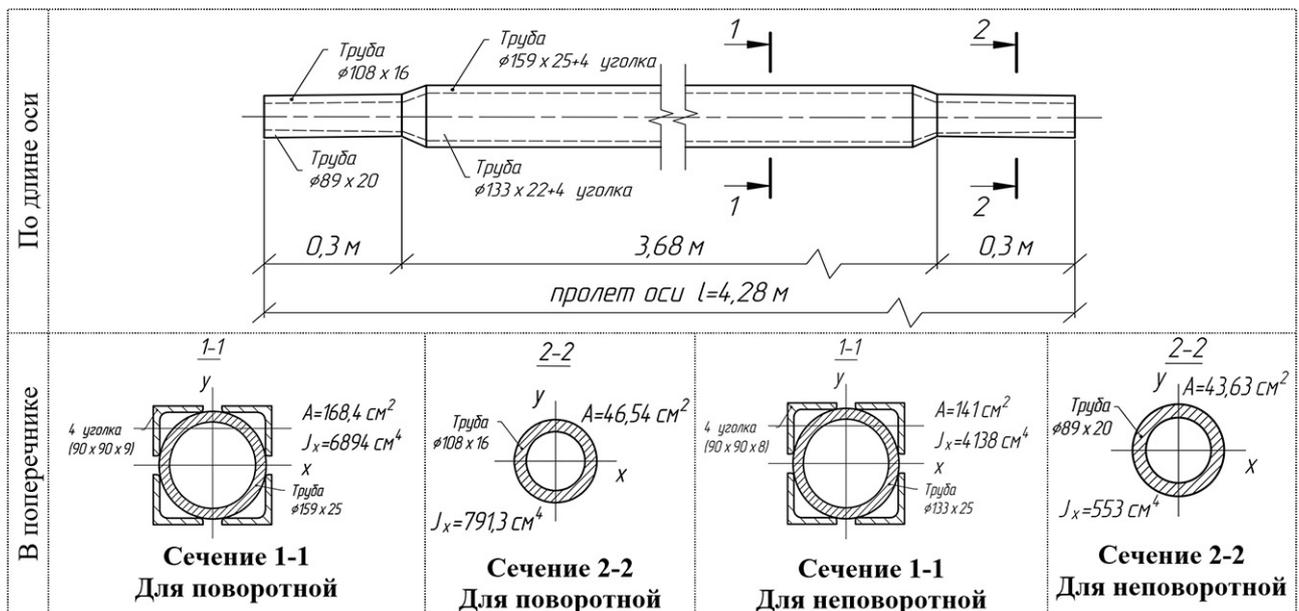


Рисунок 9 – Изменение поперечного сечения передней поворотной оси

путепровода и определены расчетные схемы всех осей;

- произведен силовой расчет конструкций ходовой части путепровода, определены в них внутренние усилия и произведен подбор поперечных сечений элементов с учетом динамического коэффициента.

Предлагаемый подход расчета путепровода с его прикладными результатами позволяет унифицировать методику статического и динамического расчета подобных сооружений при иных разнообразных конструктивных и инженерных решениях и условиях их транспортировки и эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Танковый мостоукладчик МТУ-2020. www.transmash-omsk.ru. 22.05.22.
2. Мосты ТММ-3 и ТММ-6. www.techreserve.tiu.ru. 22.05.22.
3. Кручинкин А.В. Сборно-разборные временные мосты. – М.: Транспорт, 2015. – 192 с.
4. Проценко Д.В., Пахомов Д.Н. Сборно-разборный универсальный мост. Патент РФ № 2578231, кл. E01D 15/133 от 17.12.2014.
5. Файко Ю.И. Путепровод. Патент РФ № 67104, кл. E01D 12/00 от 21.06.2016г.
6. Kadyrov A., Balabekova K., Ganyukov A., Akhmediyev S. The constructive solution and calculation of elements of the unified module of the mobile bridge overcrossing // Transport problems. – Katowice (Poland): Silesian University of Technology, 2017. – Vol. 12, Is. 3. – pp. 59-69.
7. Ganyukov A., Kadyrov A., Balabekova K., Kurmasheva B. Tests and calculations of structural elements of temporary bridges // Roads and Bridges – Drogi i Mosty. – Warsaw (Poland): Road and Bridge Research Institute, 2018. – Vol. 17, No. 3. – pp. 215-226.
8. Ганюков А.А., Кадыров А.С., Аманбаев С.Ш. Разработка способов монтажа модульного путепровода // Труды университета. – Караганда: КарТУ, 2022, № 2 (87). – С. 217-223.
9. Клейн Г.К. Руководство к практическим занятиям по курсу строительной механики. – М.: Наука, 2012. – 320 с.
10. Любошиц М.И., Ицкович Г.М. Справочник по сопротивлению материалов. – Минск: Вышэйша школа, 2013. – 464 с.

Модульдік жол өтпесінің жүріс бөлігі конструкцияларының элементтерінің жұмысын зерттеу және есептеу

¹***АМАНБАЕВ Сәбит Шаяхметұлы**, докторант, amanbayev.sabit@mail.ru,

²**СУЮНБАЕВ Шинполат Мансуралиевич**, т.ғ.к., доцент, shinbolat_84@mail.ru,

¹«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Қазақстан, Қарағанды, Н. Назарбаев даңғылы, 56,

²Ташкент мемлекеттік көлік университеті, Өзбекстан, Ташкент, Темірүлшылар көшесі, 1,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Зерттеудің мақсаты – жұмысты зерттеу және жерасты қалалық коммуналдық желілерін жөндеу кезінде қолданылатын модульдік өткелдің жүріс бөлігінің құрылымдық элементтерін есептеу. Жол өтпесі модульдік көпірдің тірек құрылымын және оны тасымалдау үшін осы құрылым орнатылған автомобиль шассийін біріктіреді. Жол өтпесі ол арқылы автокөліктің өтуіне арналған және қалалық жерасты коммуналдық желілерін жөндеу кезінде, оны жөндеу траншеясының үстіне орнату арқылы қалалық жолдардағы кептелістерді жою үшін қолданылады. Жанама статикалық әдістің нәтижелері көрсетілген. Есептеу нәтижелері бойынша жол өтпесінің жүріс бөлігінің осьтерінің көлденең қималары анықталды. Жол өтпесінің конструкцияларындағы ішкі күштердің өзгеруінің жылжымалы құрамның жүктемесіне тәуелділігі алынды. Жылжымалы көліктен түсетін жүктеменің жол өтпесі конструкцияларының элементтеріне әсері зерттелді.

Кілт сөздер: көлік техникасы, модульдік жол өтпесі, жылжымалы жол өтпесі, коммуналдық желілерді жөндеу, жылжымалы жол өтпесінің конструкцияларын есептеу, жол тығыны, уақытша көпір.

Research of the Operation and Calculation of Construction Elements of the Undercarriage of the Modular Overpass

¹***AMANBAYEV Sabit**, doctoral student, amanbayev.sabit@mail.ru,

²**SUYUNBAYEV Shinpolat**, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor, shinbolat_84@mail.ru,

¹NPJSC «Abylqas Saginov Karaganda Technical University», Kazakhstan, Karaganda, N. Nazarbayev Avenue, 56,

²Tashkent State Transport University, Uzbekistan, Tashkent, Temiryulchilar Street, 1,

*corresponding author.

Abstract. The purpose of the research is to study the operation, and calculate the construction elements of the undercarriage of a modular overpass used during the repair of underground urban utility networks. The overpass combines the bearing structure of the modular bridge and the automobile chassis, on which this structure is installed for its transportation. The overpass is designed for the passage of vehicles along it and used to eliminate traffic jams on city roads during the repair of city underground communal networks by installing it above the repair trench. The results of the

indirect static method are presented. Based on the results of calculations, cross-sections of the axes of the undercarriage of the overpass are determined. The dependencies of change of internal forces in structures of the overpass on loading of rolling stock are obtained. The effect of loading from mobile vehicles on the structures of the overpass was investigated.

Keywords: *transport equipment, modular overpass, mobile overpass, repair of communal networks, calculation of structures of mobile overpass, road traffic jam, temporary bridge.*

REFERENCES

1. Tankovyy mostoukladchik MTU-2020. www.transmash-omsk.ru. 22.05.22.
2. Mocht TMM-3 i TMM-6. www.techrezerve.tiu.ru. 22.05.22.
3. Kruchinkin A.V. *Sborno-razbornye vremennye mosty*. – Moscow: Transport, 2015. – 192 p.
4. Prochenko D.V., Pahomov D.N. *Sborno-razbornyj universal'nyj most*. Patent RF no. 2578231, kl. E01D 15/133 ot 17.12.2014.
5. Fajko Yu.I. *Puteprovod*. Patent RF no. 67104, kl. E01D 12/00 ot 21.06.2016g.
6. Kadyrov A., Balabekova K., Ganyukov A., Akhmediyev S. The constructive solution and calculation of elements of the unified module of the mobile bridge overcrossing // *Transport problems*. – Katowice (Poland): Silesian University of Technology, 2017. – Vol. 12, Is. 3. – pp. 59-69.
7. Ganyukov A., Kadyrov A., Balabekova K., Kurmasheva B. Tests and calculations of structural elements of temporary bridges // *Roads and Bridges – Drogi i Mosty*. – Warsaw (Poland): Road and Bridge Research Institute, 2018. – Vol. 17, no. 3. – pp. 215-226.
8. Ganyukov A.A., Kadyrov A.S., Amanbaev S.Sh. *Razrabotka sposobov montazha modul'nogo puteprovoda* // *Trudy universiteta*. – Karaganda: KarTU, 2022, no. 2 (87). – pp. 217-223.
9. Klejn G.K. *Rukovodstvo k prakticheskim zanyatiyam po kursu stroitel'noj mekhaniki*. – Moscow: Nauka, 2012. – 320 p.
10. Lyuboshic M.I., Ickovich G.M. *Spravochnik po soprotivleniyu materialov*. – Minsk: Vyshejscha shkola, 2013. – 464 p.