

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Факультет транспортных коммуникаций

Кафедра «Механизация и автоматизация
дорожно-строительного комплекса»

**МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ
ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА**

МАТЕРИАЛЫ

76-й Студенческой научно-технической конференции

Минск
БНТУ
2020

Редакционная коллегия:

Главный редактор: доктор технических наук, профессор А.В. Вавилов;

Технические редакторы: старший преподаватель В.В. Лапенок;
старший преподаватель Е.И. Федорако;

Редакторы:

кандидат технических наук, доцент М.М. Гарост;
кандидат технических наук, доцент А.А. Шавель;
кандидат технических наук, доцент О.Л. Вербицкая;
старший преподаватель А.В. Забавская;

В сборник включены тезисы докладов, представленных на 76-й студенческой научно-технической конференции БНТУ кафедр «Механизация и автоматизация дорожно-строительного комплекса» и «Математические методы в строительстве»

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Дадацкий Анатолий Сергеевич</i> ШРЕДЕРЫ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ТКО.....	4
<i>Игнатович Никита Сергеевич</i> АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КНАТНОГО ТРАНСПОРТА.....	6
<i>Шнаркевич Алексей Адамович</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ КОЗЛОВЫХ КРАНОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В МЕТРОСТРОЕНИИ БЕЛАРУСИ.....	13
<i>Долгович Дарья Игоревна, Яхновец Илья Иванович, Буянов Тимофей Олегович</i> ОПТИМИЗАЦИЯ ФЕРМЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ РЕШЕТКИ	20
<i>Шершинева Екатерина Александровна</i> ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ В ПРОФЕССИИ ИНЖЕНЕРА-СТРОИТЕЛЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ	22
<i>Карнейко Антон Сергеевич</i> РАСЧЁТ ОПТИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ОПОР В МОСТОСТРОЕНИИ.....	26

ШРЕДЕРЫ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ТКО

Дадацкий Анатолий Сергеевич, студент 1-го курса

кафедры «Механизация и автоматизация

дорожно-строительного комплекса»

(Научный руководитель – Вавилов А.В., докт. техн. наук, профессор)

Шредер – это низкооборотный измельчитель, чаще с гидравлической пресс-плитой (подпрессовщиком) для дробления отходов большой толщины и высоким сопротивлением к измельчению: гофрокартон, отходы древесины, деревянные ящики и поддоны, различные виды пластмасс, объемные полимерные емкости, пластиковые трубы, автомобильные шины.

Материал для измельчения подается в загрузочный бункер шредера. Загрузка материала может осуществляться вручную или механически, с помощью наклонного конвейера или погрузчика. Гидравлическая пресс-плита (подпрессовщик) возвратно-поступательным движением прижимает поступающий материал к вращающемуся ротору, с установленными на нем ножами, которые и осуществляют измельчение. Сила давления гидравлической пресс-плиты регулируется автоматически. При предельном давлении на режущий вал шредера пресс-плита автоматически прекращает подачу материала и возвращается в исходное положение.

Процесс измельчения продолжается до тех пор, пока частицы измельчаемого материала не смогут пройти сквозь ячейки фракционного сита, установленного под ротором шредера.

Размер фракции конечного материала зависит от диаметра ячейки фракционного сита. Роторы шредеров изготавливают гладкими и профилированными, с покрытием из износостойких сплавов.

При измельчении твердых, абразивных или легконагревающихся материалов профилированный ротор более равномерно распределяет, появляющееся тепло от трения, по всей площади ротора, что исключает его перегрев или слипание сырья и намотку на ротор.

Широкое применение нашли одновальные, двухвальные и четырехвальные шредеры.

Двухвальный шредер благодаря высокому крутящему моменту позволяет измельчать практически любые отходы.

Четырехвальные шредеры способны измельчать любые виды отходов: ТКО, крупногабаритные отходы (КГО), полимерные отходы разной твёрдости и толщины, бумагу, картон, дерево, отходы кожевенного и текстильного производства, автомобильные покрышки, резинотехнические отходы, асфальт. В четырехвальном шредере два вала основные и два вспомогательные. Вспомогательные валы оснащаются специальными остроугольными режущими дисками и ножами крюкообразной формы.

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАНАТНОГО ТРАНСПОРТА

Игнатович Никита Сергеевич, студент 2-го курса

кафедры «Механизация и автоматизация

дорожно-строительного комплекса»

(Научный руководитель – Шавель А.А., канд. техн. наук, доцент)

В настоящее время ни один из существующих традиционных видов транспорта (железнодорожный и автомобильный, авиация, троллейбус и др.) не удовлетворяет современным требованиям. Внедрение в транспортную систему урбанизированной среды канатных дорог позволяет создать совершенно новый вид социально ориентированного, дешевого при строительстве и эксплуатации транспорта. [1]

К канатным транспортным установкам принято относить различные транспортирующие устройства с канатной тягой. Среди них получили распространение: концевая канатная откатка; подвесные канатные дороги и скреперные установки.

Подвесные канатные дороги (ПКД) – это транспортирующие машины, тяговым и грузонесущим элементом которых является канат, подвешенный на опорах над поверхностью земли.

Подвесные канатные дороги классифицируют по следующим признакам:

по назначению: грузовые и пассажирские;

по характеру движения грузонесущих элементов: кольцевые; маятниковые;

по конструкции: одноканатные; двухканатные.

Пассажирские подвесные канатные дороги (ППКД) — канатные дороги, служащие для перевозки пассажиров в подвижном составе, который перемещается по несущему канату или посредством несущего-тягового каната. По типу движения ППКД разделяются на кольцевые, маятниковые и пульсирующие. Кольцевые дороги обеспечивают движение подвижного состава с постоянной скоростью, в одном направлении — по или против часовой стрелки, с применением фиксированных или отцепляемых зажимов подвижного состава. Маятниковые дороги обеспечивают возвратно-поступательное движение подвижного состава с его остановкой на конечных станциях для посадки/высадки пассажиров. Пульсирующие дороги обеспечивают кольцевое движение подвижного состава с

постоянной скоростью на линии и с замедлением ее на конечных станциях для посадки/высадки пассажиров. При этом используется подвижной состав с фиксированным зажимом. Буксировочные канатные дороги (БКД) — канатные дороги, предназначенные для перемещения пассажиров по грунту или иной поверхности посредством тягового каната. Наземные канатные дороги (НКД, фуникулеры) — канатная дорога, предназначенная для перемещения пассажиров в вагонах по рельсовому пути/эстакаде тяговым канатом. Трассы канатных дорог проектируют, принимая во внимание технико-экономический анализ, который опирается на обоснованность и оптимальность выбора дороги. При строительстве пассажирских канатных дорог немало важным фактором является перспектива развития прилегающей территории в целом.[2]

В Швеции существовала самая длинная в мире 96-километровая дорога, доставлявшая железную руду из Лапландии на берег Ботнического залива. Участок длиной 13,2 километра переделан в самую длинную в мире пассажирскую дорогу.[2]

Осенью 2010 года в Армении состоялось открытие Татевской канатной дороги, самой длинной маятниковой дороги в мире (5,7 км)[4].

На 2011 г. в России эксплуатируется всего 300 канатных дорог (из них пассажирских – 121) и 3 фуникулера. В европейских странах канатные транспортные системы получили большее распространение. В Австрии их более 2500, во Франции – более 4000, в Италии – более 3000, в Швейцарии – более 2000. Для таких крупных городов, как Лондон, Милан, Барселона, Каир, Каракас разработаны проекты подвесных пассажирских канатных дорог. Их цель – снижение нагрузки на пассажирский транспорт в застроенной деловой части города.

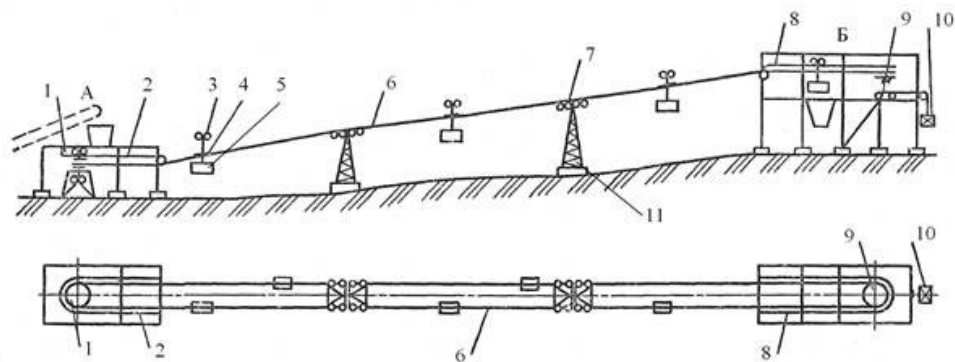
Пассажирские канатные дороги (ППКД) относятся к непрерывным видам транспорта и так же, как автомобильный или железнодорожный транспорт, участвуют в перевозке пассажиров.

Основной особенностью конструкции ПКД является то, что средства для транспортирования людей – вагоны, кресла, кабины – перемещаются на некотором расстоянии от поверхности земли по стальным канатам. В связи с этой особенностью их важнейшим преимуществом является возможность соединять конечные пункты по кратчайшему расстоянию, причем уклон трассы в вертикальной плоскости может достигать 45° и более, когда применение автомобильного и железнодорожного транспорта невозможно. Канатные дороги обладают целым рядом преимуществ перед существующими видами транспорта, а

именно:–минимальное воздействие на окружающую среду, поскольку выброс вредных веществ отсутствуют (на уровне троллейбуса), а по шуму при движении – на уровне электромобиля;– относительные энергозатраты на перемещение (50 км/ч) будут в 5 – 10 раз ниже, чем у современного автомобиля; – для прокладки магистрали требуется не более 0,1 га земли на один километр трассы с инфраструктурой; – не требуется сооружения насыпей, выемок, строительства тоннелей, мощных эстакад, путепроводов и виадуков, нарушающих ландшафт и неустойчивых к воздействию стихийных бедствий (землетрясения, наводнения, оползни и др.); – себестоимость перевозки находится на уровне современных пригородных электропоездов; – стоимость строительства трассы с инфраструктурой дешевле современных железных и автомобильных дорог, при этом ресурсоемкость транспортной системы (потребность в строительных материалах и конструкциях, объем земляных работ, расход черных и цветных металлов и т. п.) будет минимальной; – кабины обеспечат комфорт для пассажира на уровне современного автобуса; – транспортная система обеспечит безопасность движения на уровне авиапассажирских перевозок; – пропускная способность одной трассы до 7 тыс. пас./ч. Таким образом, перечисленные выше аргументы свидетельствуют о том, что канатный транспорт является достаточно перспективным, и может быть основным видом транспорта для перевозки людей например на горнолыжных курортах и туристических комплексах. Кроме того, канатные дороги можно использовать, когда экономически не целесообразно сооружение мостов и тоннелей. В России ведутся разработки новых перспективных видов транспортных систем, таких как канатное метро.

Характерной особенностью одноканатных грузовых подвесных дорог является то, что функции несущего и тягового элемента выполняет несущетяговый канат, замкнутый в кольцо (рисунок 1). Загруженные вагонетки одноканатных грузовых подвесных дорог перемещаются по жесткому рельсовому пути к выходу со станции, где они подключаются к тяговому канату и перемещаются по несущему канату грузовой ветви к разгрузочной станции Б (рисунок 1).

Вагонетки совершают кольцевое движение, но на линии между станциями А и Б они не опираются на гибкий подвесной путь, а подвешены к непрерывно движущемуся несущетяговому канату и перемещаются вместе с ним.



1 – фрикционный привод; 2, 8 – рельсовые пути; 3 – ходовые колеса;
 4 – зажимной аппарат; 5 – вагонетки; 6 – канат; 7 – балансирующие роликовые батареи;
 9 – концевой шкив; 10 – груз натяжного устройства; 11 – опоры

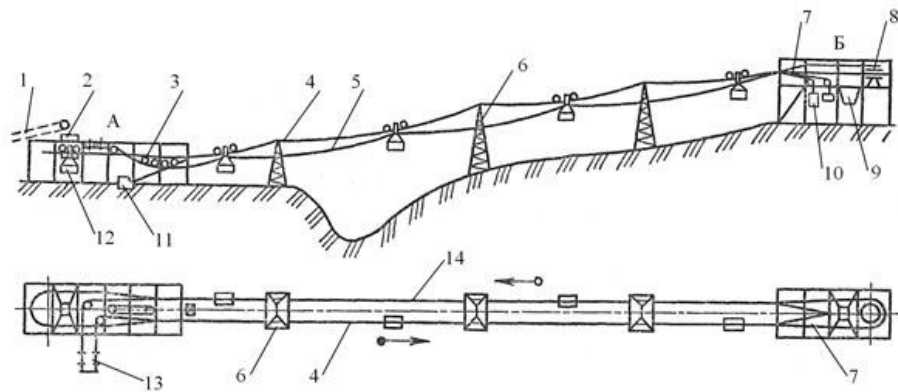
Рисунок 1- Одноканатная подвесная канатная дорога с кольцевым движением

При входе на станцию вагонетки автоматически отключаются от каната и передвигаются по жестким рельсовым путям, опираясь ходовыми колесами, при сходе с рельсового пути вагонетки автоматически сцепляются с канатом зажимным аппаратом. Несущий-тяговый канат приводится в движение фрикционным приводом с канатоведущим шкивом.

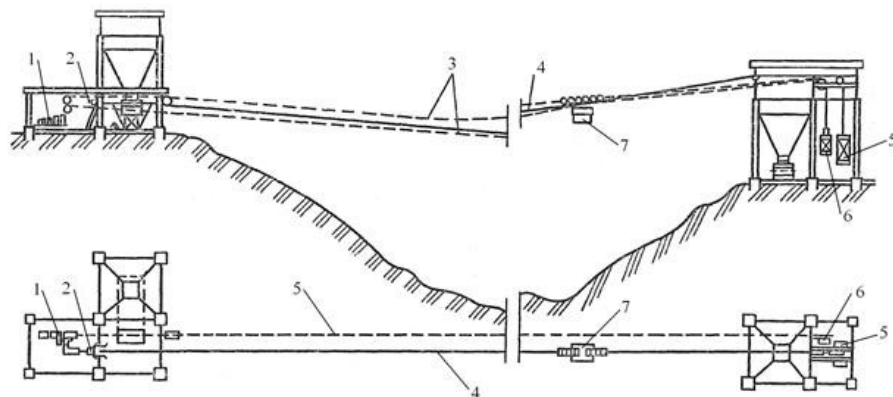
Характерной особенностью двухканатных грузовых подвесных дорог с кольцевым движением является наличие гибких подвесных путей – несущих канатов, по которым совершает кольцевое движение подвижной состав (вагонетки), перемещаемый между станциями тяговым канатом, замкнутым в кольцо (рисунок 2).

На погрузочной станции А вагонетки с помощью выключателя освобождают от тягового каната и загружают из бункера. Здесь вагонетки снова переходят на жесткий рельсовый путь, соединяющий несущие канаты грузовой и холостой ветвей, разгружаются в бункер, обходят оборотный шкив тягового каната, подключаются к нему и по несущему канату холостой ветви возвращаются в пункт А. Концы несущих канатов закреплены на станции А, а на станции Б натянуты грузами.

У однопутной двухканатной подвесной дороги (рис. 3) маятниковое (реверсивное) движение по несущему канату совершает только одна вагонетка, несущий канат прикреплен к якорю и натянут контргрузом. Тяговый канат (как на дорогах с кольцевым движением) отводится на одной из станций к приводу, а на другой натягивается контргрузом.



1 – загрузочный конвейер; 2, 9 – бункер; 3, 7 – рельсовый путь; 4, 14 – несущие канаты;
 5 – тяговый канат; 6 – опоры; 8 – оборотный шкив; 10 – грузы натяжного устройства;
 11 – закрепляющие якоря; 12 – вагонетки; 13 – фрикционный привод
 Рисунок 2 - Двухканатная грузовая подвесная дорога с кольцевым движением



1 – фрикционный привод; 2 – якорь; 3, 5 – тяговый канат; 4 – несущий канат;
 6 – контргруз; 7 – вагонетка

Рисунок 3 - Двухканатная подвесная канатная дорога с маятниковым движением

Наибольшее распространение грузовые подвесные канатные дороги (ГПКД) получили в горных, пересеченных, труднодоступных местностях, где они обеспечивают перевозки по кратчайшему расстоянию и с наименьшими затратами. Грузовые подвесные канатные дороги являются одним из видов промышленного транспорта для перевозки сыпучих полезных ископаемых [1].

К основным факторам, определяющим преимущество ГПКД по сравнению с другими видами транспорта (автомобильным, конвейерным, железнодорожным, пневмоконтейнерным), можно отнести:

- значительное сокращение дальности перевозки, так как трассы прокладываются по кратчайшему пути между конечными пунктами с допустимым уклоном 45° ;

- бесперебойная работа независимо от погодных условий (за исключением очень сильного ветра);
- сравнительно низкий объем единовременных капитальных вложений и эксплуатационных расходов, необходимых для строительства и эксплуатации ГПКД;
- сокращение отводов земельных угодий и предотвращение вырубki крупных массивов леса;
- стимулирование развития высокогорных районов;
- исключение загрязнения окружающей среды;
- снижение шума от работы машин.

В настоящее время ГПКД успешно эксплуатируются во всем мире: как в южных широтах (например, при открытой разработке никеля на о. Новая Каледония), так и на севере, в том числе за Полярным кругом (например, на острове Шпицберген). В Норвегии за Полярным кругом построена канатная дорога «Скорват» длиной 44.5 км для транспортирования пирита. Канатная дорога «Кристенберг Болиден» (Швеция) длиной 96 км служила для транспортирования рудного концентрата. В Чили на высоте 5900 м над уровнем моря с помощью ГПКД перевозят сырую серу. В Индии (штат Бихар) построена восьмисекционная канатная дорога длиной 53.5 км и производительностью 400 т/ч.

Эксплуатационная долговечность ГПКД исчисляется тридцатью годами и более. Следует отметить, что в последнее время ГПКД становятся в определенных условиях достаточно серьезным конкурентом автомобильному транспорту.

Кроме традиционных транспортных канатных систем появились новые нетрадиционные их виды, такие как воздушные канатно-монтажные транспортные системы, а также струнные транспортные системы.

Аэростатные канатно-монтажные транспортные системы предназначены для транспортирования до 7.5 млн. т в год грузов со скоростью до 300 км/ч.

Принцип действия пассажирских подвесных канатных дорог аналогичен принципу действия грузовых подвесных канатных дорог. Принципиальное отличие пассажирских канатных дорог от грузовых состоит в конструкции подвижного состава и повышенных требованиях к безопасности.

По конструкции подвижного состава пассажирские подвесные канатные дороги:

Кресельные (обычно одноканатные кольцевые) – посадка и высадка пассажиров происходит на ходу.

Кабинные канатные используются в качестве транспортных магистралей для преодоления водных преград и горных ущелий.

С учетом требований действующих Правил безопасности скорость движения канатных дорог с неотцепляемыми кабинами с кольцевым пульсирующим движением групп 2–6-местных кабин не должна превышать 4 м/с; посадка и высадка пассажиров на станциях осуществляется при остановленном подвижном составе или на скорости 0,2–0,5 м/с.

Кабины крепятся к канату с помощью специальных отцепляющихся зажимов, не требующих никакого технического обслуживания. При входе гондолы на станцию ее зажим отцепляется от тягово-несущего каната, и она переходит на станционный подвесной конвейер, при этом скорость кабины уменьшается до 0,3 м/с, ее двери автоматически открываются и пассажиры выходят, затем гондола продолжает свое движение на станционном конвейере на другую сторону станции, пассажиры заходят в кабину, двери автоматически закрываются, гондола разгоняется конвейером до скорости каната, зажим захватывает канат и гондола выходит со станции.[3]

В Беларуси канатный транспорт может быть использован в туристической отрасли, в сельскохозяйственном производстве, для преодоления водных и болотных препятствий.

Литература:

1. Детали машин. Электронный учебный курс для студентов очной и заочной форм обучения. Составитель: к.т.н., доцент кафедры теоретической и прикладной механики Каримов Ильдар.
2. Концепция инновационной системы городского транспорта «КАНАТНОЕ МЕТРО ГОРОДА БРЯНСКА». А.В. Лагереv, И.А. Лагереv, А.А. Короткий, А.В. Панфилов.
3. Афуксеноv Г. А., Лагутина Е. Н. Краткий анализ видов канатных дорог, их достоинства и недостатки // Молодой ученый. — 2017. — №11. — С. 51-54. — URL <https://moluch.ru/archive/145/40539/> (дата обращения: 09.02.2020).
4. Журнал "Горная Промышленность" №2 2004. Источник: <https://mining-media.ru/ru/article/transport/1408-perspektivy-ispolzovaniya-gruzovykh-podvesnykh-kanatnykh-dorog>.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ КОЗЛОВЫХ КРАНОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В МЕТРОСТРОЕНИИ БЕЛАРУСИ

Шнаркевич Алексей Адамович, магистрант

кафедры «Механизация и автоматизация

дорожно-строительного комплекса»

(Научный руководитель – Гарост М.М., канд. техн. наук, доцент)

Козловые краны применяются в городском строительстве для выполнения погрузочно-разгрузочных и транспортных работ, предварительной сборки конструкций и основных монтажных работ при открытом способе строительства метрополитена [1].

При открытом способе строительства метрополитена основными работами, которые выполняются при помощи козловых кранов, являются:

1. Сооружение ограждающих конструкций котлованов методом «стена в грунте»;
2. Анкерное крепление котлованов;
3. Сборка тоннелепроходческого механизированного комплекса (ТПМК);
4. Сооружение станционного комплекса открытым способом;
5. Сооружение перегонных тоннелей открытым способом;
6. Сооружение монтажно-щитовых и вентиляционных камер открытым способом;
7. Сооружение тупиков и оборотных тоннелей конечных станций;
8. Подача железобетонных и чугунных тюбингов (основной элемент строения перегонного тоннеля) на вагонетки в тоннель;
9. Подача бетонных опорных блоков крепления рельсового пути;
10. Подъем, транспортировка и выгрузка вагонеток с горной породой в рудный двор.

При возведении станций Минского метрополитена в основном используются козловые краны КК-К-20-А3-25-5,7/5,8-9-0,125-0,63-0,8 (рисунок 1) производства ОАО «Строймаш», (Республика Беларусь).



Рисунок 1 – Козловые краны КК-К-20 на строительстве 1 участка 3 линии Минского метрополитена

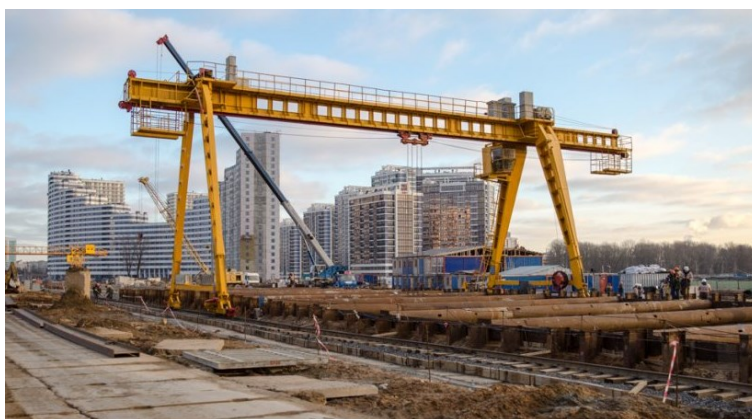


Рисунок 2 – Козловой кран КК-К-20 при строительстве 2 участка 3 линии Минского метрополитена

Металлоконструкцию крана образуют мост, жесткая и гибкая опоры. Стойки опор соединены между собой при помощи стяжек (рисунок 3).



Рисунок 3 – Общее устройство козлового крана КК-К-20

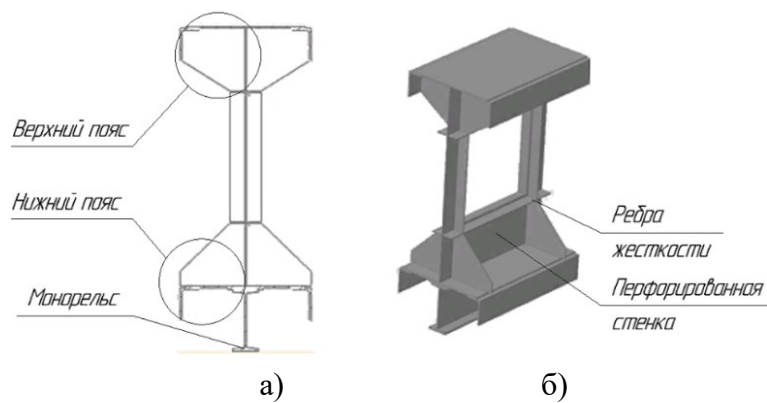
Основные технические характеристики козлового крана КК-К-20 приведены в таблице 1.

Поперечное сечение моста крана КК-К-20 (рисунок 4, а) - одностенчатое, с верхним поясом из двух уголков 160x100x10 мм и листа толщиной 8 мм, с нижним поясом из двух уголков 160x100x10 мм и листа толщиной 10 мм и перфорированной вертикальной стенкой толщиной 6 мм. К нижнему поясу приварен лист толщиной 8 мм и шириной 180 мм. К секциям нижней части моста болтами крепятся секции монорельса грузовой тележки.

Таблица 1 – Технические характеристики козлового крана КК-К-20

Технические характеристики	Значение параметра
Грузоподъемность крана, т, не более	20
Максимальная высота подъема, м, не более	10
Максимальная глубина опускания крюка от уровня головки рельса, м	3
Номинальная скорость, м/с:	
подъема груза:	0,125
передвижения грузовой тележки:	0,63
передвижения крана:	0,8
Преодолеваемый уклон пути, %	0,3
Группа классификации (режима) по ISO 4301/01:	
крана в целом:	A3
механизмов:	M5
Пролет крана (колея), м	25
Рабочий вылет консолей, м, не более	5,7/5,8
База крана (по осям тележек), м	10,343
Тип кранового рельса по ГОСТ 4121	КР-70
Тип электропитания крана:	кабельный
Напряжение, В	380
Масса, т	48,5

Все элементы металлоконструкции крана изготовлены из конструкционной низколегированной стали 09Г2С ГОСТ 19281 [2]. Толщина основных элементов $S = 6$ мм. Механические свойства и химический состав данной стали приведены в таблице 2 [3,4].

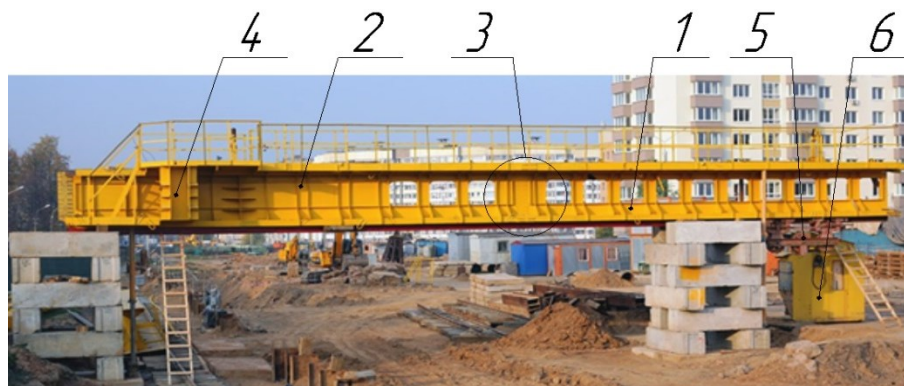


а) – сечение моста; б) – 3D - модель моста
Рисунок 4 – Поперечное сечение балки моста

Таблица 2 – Механические свойства и химический состав стали 09Г2С при $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Сортамент		σ _B , МПа	σ _T , МПа	δ _p , %	КСУ, кДж/м ²			
Лист, ГОСТ 5520-79		430-490	265-345	21	590-640			
Трубы, ГОСТ 10705-80		490	343	20	-			
С	Si	Mn	Ni	S	P	N	Cu	As
до 0,12	0,5 – 0,8	1,3 – 1,7	до 0,3	до 0,04	до 0,035	до 0,008	до 0,3	до 0,08

На рисунке 5 показана сборка секций моста козлового крана.



1 – средняя секция; 2 – левая секция; 3 – стыковочный узел секций;
4 – узел крепления гибкой опоры;
5 – грузовая тележка; 6 – крановая кабина

Рисунок 5 – Сборка моста на месте установки козлового крана

Проведя анализ выпускаемых ведущими зарубежными фирмами конструкций козловых кранов [5-9] можно сделать следующие выводы:

- для изготовления большинства металлоконструкций используют марки стали 09Г2, 09Г2С, 10ХСНД, 15 ХСНД и т.д.;

- металлоконструкции мостов в большинстве случаев выполняют в виде коробчатых прямоугольных балок, труб и ферм, что увеличивает металлоемкость конструкций. Наиболее целесообразно использовать конструкции из гнутых профилей и профилей овоидного сечения, что снижает концентрацию напряжений и металлоемкость конструкции;

- опоры козловых кранов выполняют в виде труб, коробчатых балок, конструкций в виде ферм из прокатного профиля (уголок, швеллер, трубы);

- многие краны г/п 10 тонн и более снабжаются механизмами подъема груза в виде тележки. Они имеют две лебедки: грузовую - на подъем груза и тяговую - на передвижение тележки. Эти механизмы требуют наличия направляющих роликов и обводных блоков, что значительно увеличивает общую металлоемкость крана.

Спроектированное нами сечение главной балки козлового крана более совершенной конструкции представлено на рисунке 6.

Поперечное сечение – одностенчатое, с верхним поясом, состоящим из верхнего корытного профиля и двух гнутых профилей, сваренных между собой. Нижний пояс представляет собой нижний корытный профиль, сверху на который привариваются два Г-образных гнутых профиля, усиленных снизу подпорными листами. Верхний и нижний пояса соединены между собой при помощи вертикальной перфорированной стенки, укрепленной вертикальными гнутыми профилями.

К нижнему поясу моста электродуговой сваркой и электрозаклепками привариваются секции монорельса – двутавр №30 Б2 ГОСТ 19281 [2].

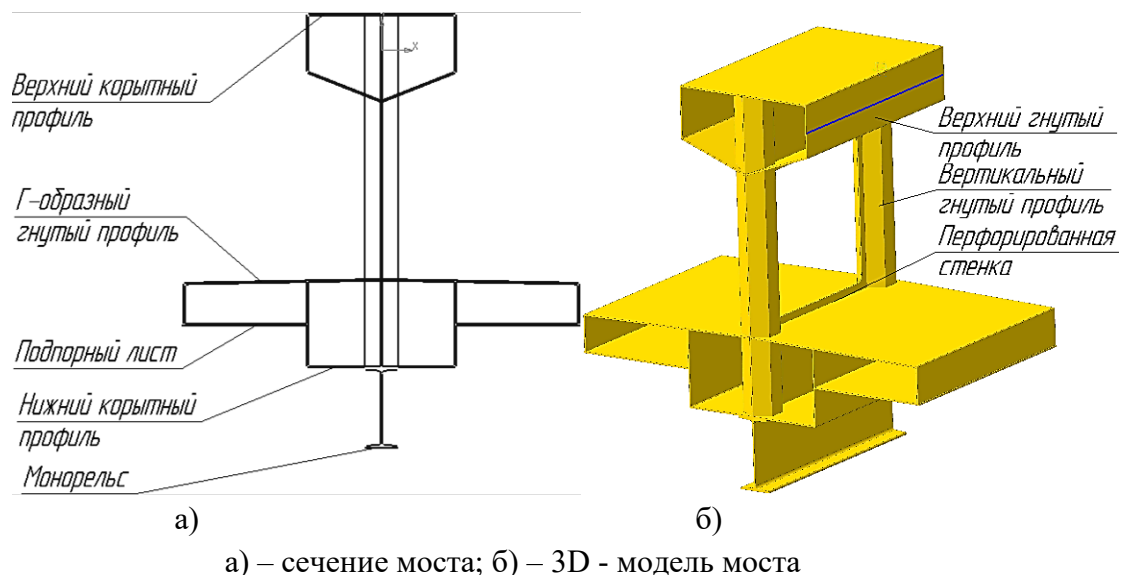


Рисунок 6 – Новое спроектированное сечение главной балки козлового крана

Снижения массы металлоконструкции козлового крана можно достичь за счет применения высокопрочных сталей. Предлагается использовать для изготовления металлоконструкции крана низколегированную сталь Weldox 700E, SSAB (Швеция), механические свойства которого приведены в таблице 3.

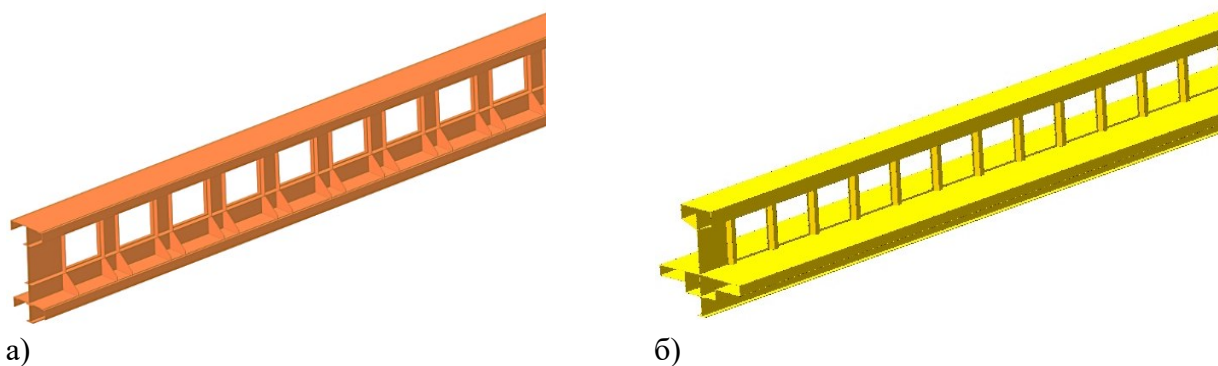
Сегодня износостойкий листовой прокат Weldox используется для производства конструкций, которые берут на себя несущие функции, а значит должны быть максимально прочными. Из данного проката изготавливаются ковши роторных экскаваторов, погрузочные ковшы, подъемные краны, прицепы [10].

Таблица 3 – Механические свойства высокопрочной стали Weldox 700E [11]

Марка стали, фирма-изготовитель (страна)	Толщина листа, мм	Предел текучести (min)	Предел прочности	Относительное удлинение, %	Ударная вязкость (KCV), Дж/см ² , при температуре испытания		Технические условия
					-40 °C	-60 °C	
Weldox 700E SSAB (Швеция)	5-20	700	780-930	14	27	-	ТУ4835022-04637473-2010

Применение данной стали взамен стали 09Г2С даст возможность уменьшить габаритные размеры сечения главной балки.

При помощи САПР КОМПАС 3D были построены 3D модели средней секции главной балки козлового крана длиной 11 метров (рисунок 7), вычислены их массо-центровые характеристики и площадь поперечного сечения балки.



а) – конструкции ОАО «Строймаш»; б) – новой конструкции
Рисунок 7 – 3D-модели средней секции главной балки

Результаты расчетов массо-центровых характеристик моделей представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты расчетов массо-центровых характеристик моделей

Массо-центровые характеристики модели средней балки моста:	Конструкции ОАО «Строймаш» (г. Минск)	Новой конструкции
Заданные параметры:		
Материал	Сталь 09Г2С, ГОСТ 19281-89	Сталь Weldom 700E
Плотность материала, ρ , кг/см ³	0.007850	0.007840
Расчетные параметры:		
Масса m , кг	3963,17	3471,81
Площадь S , см ²	944140,36	1697265,27
Объем V , см ³	442269,74	533218,22

Литература:

1. Степанов М.А., Степанов С.Н. Обоснование выбора сечений коробчатых стрел стреловых самоходных кранов // Механизация строительства, 2008, №3, с. 46 – 47.
2. ГОСТ 19281-89 Прокат из стали повышенной прочности. Общие технические условия.
3. Алахверди А.А. О применении в конструкциях уникальных сооружений проката современного производства // Промышленное и гражданское строительство, 2009, №9, с. 28 - 29.
4. Лист холоднокатаный – ГОСТ и общие сведения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ut-market.ru/>. – Дата доступа: 23.04.2020.
5. Виды козловых кранов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cranez.ru/>. –Дата доступа: 23.04.2020.
6. КОЗЛОВОЙ КРАН КК 25 Т [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vmtexnik.ru/>. –Дата доступа: 23.04.2020.
7. Однобалочный козловой кран (с коробчатой пролетной балкой и решетчатыми стойками) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://shheavycrane.ru/>. – Дата доступа: 23.04.2020.
8. VIRA INDUSTRIAL ENGINEERING - Проекты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kran.spb.ru/>. – Дата доступа: 23.04.2020.
9. Стрелюхин М.И., Южаков Р.В. Опыт проектирования козлового крана ООО «Вертикаль», г. Саратов, Россия // Проблемы и инновации в области механизации и технологий в строительных и дорожных отраслях, 2015, №1, с. 86-89.
10. Конструкционная сталь weldox [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://b-steel.kz/>. – Дата доступа: 23.04.2020.
11. Гехт А.Х. О применении высокопрочных сталей для краностроения // Строительные и дорожные машины, 2014, №4, с. 23 - 26.

ОПТИМИЗАЦИЯ ФЕРМЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ РЕШЕТКИ

*Долгович Дарья Игоревна, студент 2-го курса
кафедры «Строительные конструкции»*

*Яхновец Илья Иванович, студент 2-го курса
кафедры «Строительные конструкции»*

*Буянов Тимофей Олегович, студент 2-го курса
кафедры «Мосты и тоннели»*

(Научный руководитель – Вербицкая О.Л., доц., к.т.н.)

Рассматривается задача оптимизации плоской статически неопределимой стержневой системы (фермы). В качестве целевой функции принята масса фермы.

$$G(\vec{A}) = \min_{\vec{A}} G(\vec{A}), \quad \vec{A} \in R_n \quad (1)$$

где \vec{A} – вектор параметров оптимизации, в качестве которых приняты площади поперечных сечений элементов фермы.

$$\vec{A} = (A_1, A_2, \dots, A_n)^T, \quad (2)$$

где n – число элементов в ферме.

Приняты конструктивные ограничения для площади поперечных сечений элементов фермы

$$A_i \geq A_{lim}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

где A_{lim} – конструктивно минимально допустимая площадь поперечного сечения элемента фермы.

Кроме того, ставятся ограничения по прочности

$$\sigma_{adm} - |\sigma_i| \geq 0, \quad (4)$$

где σ_{adm} – допускаемое напряжение в элементе фермы в зависимости от его расположения и вида сопротивления.

Для расчета взяты статически определимые и статически неопределимые фермы с различными типами решеток. Статический расчет фермы выполняется методом конечных элементов [1]. В качестве конечного элемента использован

прямолинейный элемент постоянного поперечного сечения с двумя узлами, расположенными по его концам.

Оптимизация фермы выполняется методом сокращения ресурсов прочности.

Расчет фермы выполнялся по программе *Fantom*, составленной на кафедре сопротивления материалов. Подготовлены данные к расчету фермы.

Целью расчета является оптимизировать выбранную для примера ферму по затратам материала. Эффективность фермы оценивается нагрузкой к затраченному количеству материала на ее изготовление. Приведено сравнение эффективности ферм с различными видами решеток.

В результате проведенной научно-исследовательской работы установлено:

1. Получены расчетные формулы для растянутых и сжатых стержней кольцевого сечения.

2. Предложен метод оптимизации фермы с использованием сокращения ресурсов прочности.

3. Составлен алгоритм оптимизации фермы методом сокращения ресурсов прочности. Составлена программа *Fantom* для оптимизационного расчета фермы.

4. Выполнена оптимизация восемнадцати ферм с различными типами решеток. Эффективность фермы оценивалась долей нагрузки, приходящейся на один килограмм массы фермы. В результате исследования получены оптимальные решения для ферм с различными видами решеток.

5. На эффективность фермы оказывает влияние количеством нулевых элементов, содержащихся в ней.

Литература:

1. Вербицкая О.Л. Моделирование сплошной изотропной прямоугольной плиты шарнирно-стержневой системой//Актуальные проблемы расчета зданий, конструкций и их частей: теория и практика. Материалы межд. н.-т. конф. – Минск, 2002. – С.56–64.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ В ПРОФЕССИИ ИНЖЕНЕРА-СТРОИТЕЛЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

*Шершнева Екатерина Александровна, студент 1-го курса
кафедры «Автомобильные дороги»
(Научный руководитель – Забавская А.В., старший преподаватель)*

Я учусь на инженера-строителя автомобильных дорог. Моя будущая профессия будет связана с проектированием, строительством и ремонтом автомобильных дорог. Инженер-строитель создает дорожные сооружения, мосты и дорожные покрытия. Инженер-строитель мне видится специалистом, который готов постоянно развиваться и познавать новое в своей профессиональной деятельности. Как говорил М. Горький: «Всегда учиться, всё – знать! Чем больше узнаешь, тем сильнее станешь!»

Формирование математического аппарата является важной составляющей в подготовке инженера-строителя. Математика – чрезвычайно мощный и гибкий инструмент при изучении специальных и общетехнических дисциплин дорожного профиля. Например, в ВУЗе первые занятия по математике посвящены изучению матриц, которые играют немаловажную роль в инженерной деятельности. Так, метод конечных элементов и система двухмерного и трехмерного проектирования и черчения основаны на матричных вычислениях; метод наименьших квадратов данных съемки на местности, размещенных в программе AutoCAD и Civil 3D также использует матричное исчисление.

В настоящее время немаловажную роль одним из важнейших навыков для инженера любого профиля, в том числе специалиста-дорожника, является умение решать и применять дифференциальные уравнения, которые изучаются в курсе математики. Математические знания, полученные при изучении «Обыкновенных дифференциальных уравнений» широко используются при построении моделей реальных ситуаций и решении практико-ориентированных задач в содержании специальных дисциплин дорожного профиля. Так, дифференциальные уравнения применяются в таких дисциплинах, как «Сопротивление материалов» (дифференциальное уравнение движения массы и балки, дифференциальные уравнения равновесия изгибаемой цилиндрической оболочки при осесимметричном нагружении), «Теоретическая механика» (дифференциальные

уравнения движения точки) и др. Приведем Пример 1 применения дифференциальных уравнений в специальной дисциплине «Производственные предприятия дорожного хозяйства»

Пример 1. Если исследуемый процесс $y = f(x)$ протекает так, что его скорость относительно независимой переменной x пропорциональна текущему значению самого процесса y , то он может быть описан уравнением

$$\frac{dy}{dx} = ky, \quad y = Ce^{kx}.$$

Если коэффициент пропорциональности $k > 0$, то с возрастанием x процесс y нарастает. Если $k < 0$, то с возрастанием x процесс y убывает. Процесс перемешивания автодорожных смесей осуществляется на базе общей теории перемешивания, основным параметром которой является концентрация C одного из компонентов смеси или поверхность раздела S между перемешиваемыми веществами. Закон развития процесса перемешивания состоит в том, что изменение основного параметра в единицу времени пропорционально величине самого параметра. В дифференциальной форме запишется

$$\frac{dc}{dt} = -mC$$

здесь t – время перемешивания; m – коэффициент, характеризующий интенсивность протекания процесса в данных условиях. Интегрирование с учетом начальных и конечных условий приводит к закономерностям:

$$C = C_0(1 - e^{-mt}),$$

где C_0 – концентрация вещества при абсолютно однородном распределении его (начальная концентрация равна нулю) [1].

На занятиях математикой нами рассматривалась следующая задача.

Задача 1.

Найти зависимость растворившегося вещества x от времени, если количество вещества, дающего насыщенный раствор, равно P .

Решение.

Пусть скорость растворения твердого тела в жидкости пропорциональна количеству этого вещества, еще могущего раствориться в жидкости до насыщения последней. Тогда дифференциальное уравнение растворения твердого тела имеет вид

$$\frac{dx}{dt} = k(P - x)$$

где k – коэффициент пропорциональности.

Разделяя переменные и интегрируя, получим

$$\frac{dx}{P - x} = kdt, \quad x = P + Ce^{-kt}.$$

При $t = 0$, т.е. в начальный момент времени $x = 0$. Отсюда $C = -P$, и окончательно получим

$$x = P(1 - e^{-kt}).$$

Широкое применение дифференциальные уравнения получили в описании переноса примесей в атмосфере по Г.И. Марчуку, которое рассматривается при изучении дисциплины «Дорожная климатология». Соответствующее уравнение имеет вид

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + u \frac{\partial \varphi}{\partial x} + v \frac{\partial \varphi}{\partial y} + \omega \frac{\partial \varphi}{\partial z} = 0,$$

где $\varphi(x, y, z, t)$ – интенсивность мигрирующей в атмосфере аэрозольной субстанции; x, y, z – пространственные координаты; t – время; u, v, ω – коэффициенты переноса [2].

Кроме того, дифференциальные уравнения применяются при решении задач, связанных с: выделением тепла в результате трения шин транспортных средств о дорожные одежды; оптимизацией управления производственным процессом при организации дорожного строительства.

В настоящее время важную роль в развитии теории дифференциальных уравнений играет применение современных электронных вычислительных машин. Исследование дифференциальных уравнений часто облегчает возможность провести вычислительный эксперимент для выявления тех или иных свойств их решений, которые потом могут быть теоретически обоснованы и послужат фундаментом для дальнейших теоретических исследований. При построении математической модели можно изучать явление в целом, предсказать его развитие, совершать количественные оценки изменений, происходящих в нем с течением времени.

Таким образом, изучение дифференциальных уравнений в курсе математики является неотъемлемой составляющей в формировании базовых понятий при освоении общетехнических и специальных дисциплин при подготовке инженеров-строителей автомобильных дорог.

Литература:

1. Миронов, А.А. Автомобильные дороги и охрана окружающей среды / под ред. В.М.Могилевича. – Томск : Изд-во Том. Ун-та, 1986. – 280 с.
2. Производственные предприятия дорожной отрасли / Я.Н. Ковалев и др.] – Минск: АртДизайн, 2009 – Ч. 1: Теоретический курс. 2009. – 239 с.

РАСЧЁТ ОПТИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ОПОР В МОСТОСТРОЕНИИ

Карнейко Антон Сергеевич, студент 2-го курса

кафедры «Мосты и тоннели»

(Научный руководитель – Федорако Е.И., старший преподаватель)

Республика Беларусь находится в географическом центре Европы, и площадь водной поверхности занимает примерно 2,23 процента. По нашей территории проходят русла многих рек, что может создавать определённые трудности для построения развитой инфраструктуры и устойчивого роста экономики. Именно эту проблему призваны решить мосты, ведь инфраструктура в XXI веке является одним из важнейших факторов успеха на мировой арене.

Но строительство мостов сопряжено с решением огромного числа инженерных, математических и многих других задач. Именно одну из типовых задач мы и решим сегодня.

Представим, что нам необходимо построить мост, состоящий из нескольких одинаковых пролётов, поставленных на опоры. Для строительства данного сооружения нам необходима смета, которая должна быть минимальна, не в ущерб прочности, конечно же. Нам нужно решить, какой длины должен быть пролёт или какое количество опор нам потребуется, чтобы стоимость строительства моста была наименьшей.

Для решения данной задачи у нас есть следующие данные: длина моста – L ; стоимость установки одной опоры – p_1 ; количество опор – n ; площадь поперечного сечения пролёта – S ; длина пролёта – l ; стоимость одного кубического метра пролёта моста – p_2 (Рис. 1).

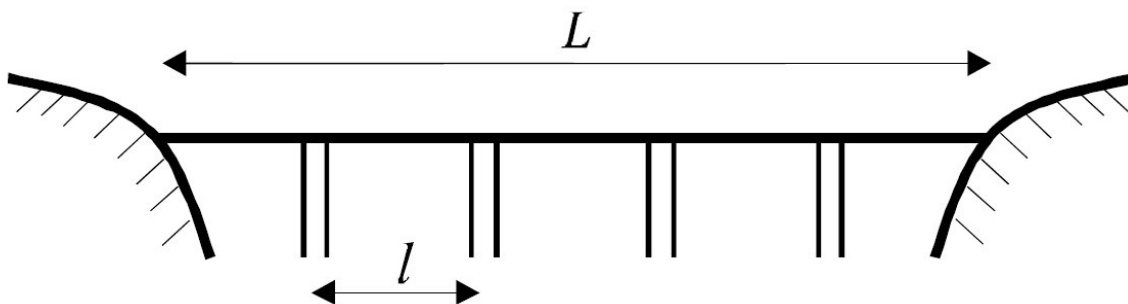


Рисунок 1 – Модель моста

Стоимость строительства моста состоит из стоимости пролётов и стоимости опор. Стоимость всех установленных опор равняется $p_{опор} = p_1 \cdot n$. Чем длиннее у нас будет пролёт l , тем больше должна быть его площадь поперечного сечения S . Зависимость $S(l)$ является достаточно сложной, но в приближении мы можем считать данную зависимость пропорциональной, т.е. $S = a \cdot l$. Таким образом, суммарная стоимость всех пролётов равна $p_{пролетов} = p_2 \cdot S \cdot L = p_2 \cdot a \cdot l \cdot L$. Если мы выразим длину пролёта через количество опор, то получим $l = \frac{L}{n+1}$. Тогда общая стоимость моста, записанная в виде зависимости от количества опор, примет вид:

$$p_{моста}(n) = p_{опор} + p_{пролетов} = p_1 \cdot n + p_2 \cdot \frac{a \cdot L^2}{n+1} \quad (1)$$

Осталось выбрать значение для натурального числа n так, чтобы величина $p_{моста}$ была наименьшей. Если мы возьмём число n достаточно большим, то второе слагаемое формулы (1) будет очень мало, зато первое слагаемое – велико, т.е. установить большое количество опор будет непомерно дорого. Если же мы примем число n слишком маленьким или равным нулю (построим мост вообще без опор, в один пролёт), то у нашего пролёта будет очень большая площадь поперечного сечения, а, следовательно, и цена. Получается, что количество опор должно быть оптимальным. Для удобства запишем формулу (1) в виде

$$p_{моста}(n) = p_1 \cdot (n+1) + p_2 \cdot \frac{a \cdot L^2}{n+1} - p_1 \quad (2)$$

Первые два слагаемых зависят от переменной $(n+1)$, а последнее слагаемое является постоянной. Применяв неравенство между средним геометрическим и средним арифметическим к первым двум слагаемым, получим

$$p_1 \cdot (n+1) + p_2 \cdot \frac{a \cdot L^2}{n+1} \geq 2\sqrt{p_1 \cdot p_2 \cdot a \cdot L^2} \quad (3)$$

Получается, что минимальная стоимость строительства моста будет $2\sqrt{p_1 \cdot p_2 \cdot a \cdot L^2}$ и будет достигнута при $n = \frac{a \cdot p_2}{p_1} - 1$.

Данная задача была решена в общем виде, т.к. при строительстве мостов учитывается множество переменных: скорость течения реки; интенсивность движения по мосту; стоимость материалов и их вид; состояния дна реки; ширина реки и многое другое. К примеру: ширина реки Днепр, протекающей по территории

Беларуси, варьируется от 60 метров до 1,5 километра! В данную формулу мы можем подставить данные, подходящие к конкретному мосту в конкретном месте.

Литература:

1. Актершев С.П. Задачи на максимум и минимум. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 192с.
2. Pogoda.by [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pogoda.by/315/gid.php?ind=3>
– Дата доступа: 10.06.2020.