

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
Институт «Архитектурно-строительный»
Кафедра «Строительное производство и теория сооружений»

РАБОТА (ПРОЕКТ) ПРОВЕРЕНА

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Рецензент, _____
_____ (должность)
Когарин НВ (И.О. Ф.)
30.01 2018г.

Заведующий кафедрой СПТС
Г.А. Пикус (И.О. Ф.)
31.01 2018г.

Функционально-стоимостной анализ
строительной системы «Мост»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ – 08.04.01.20 __. __. ПЗ ВКР

Руководитель проекта:
д.т.н., профессор _____ (должность)
А.Х. Байбурин (И.О. Ф.)
_____ 2018г.

Автор проекта:
студент группы АСИЗ-392
Н.С. Сенченкова (И.О. Ф.)
_____ 2018г.

Нормоконтроль:
_____ (должность)
_____ (И.О. Ф.)
_____ 2018г.

Антиплагиат
Оригинальность - 90 %
_____ (должность)
_____ (И.О. Ф.)
_____ 2018г.

г. Челябинск 2018

Аннотация

Объектом исследования выпускной квалификационной работы является функционально-стоимостной анализ системы.

Целью работы является совершенствование конструктивных технических решений арочного моста, составление прогноза развития мостов по ТРИЗ и ФСА. Исследование является теоретическим.

В результате исследования был произведен ФСА анализ системы, включающий структурный анализ, определение основных функций, выявление нежелательных эффектов, параметрический и стоимостной анализ. В результате морфологического анализа была составлена новая классификация арочных мостов. Был составлен прогноз развития арочных мостов по ТРИЗ и ФСА, даны рекомендации для архитекторов и практики строительства.

Ключевые слова: мост, арочный мост, комбинированная схема моста, функционально-стоимостной анализ, стоимость

Выпускная квалификационная работа – Сенченкова Наталья Сергеевна, 65 стр., 10 табл., 15 иллюстр., 3 формулы.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 Обзор литературы и патентный поиск.....	7
2 Функционально-стоимостной анализ системы.....	18
2.1 Структурный анализ.....	18
2.2 Функциональный анализ.....	34
2.3 Параметрический анализ.....	45
2.4 Стоимостной анализ.....	46
2.5 Предложения по результатам ФСА.....	48
3 Морфологический анализ.....	49
4 Прогноз развития мостов по ТРИЗ и ФСА.....	50
4.1 Закон увеличения степени идеальности системы.....	50
4.2 Закон увеличения степени динамичности.....	53
4.3 Закон перехода на микроуровень.....	54
4.4 Закон перехода в надсистему.....	54
4.5 Закон согласования ритмики частей системы.....	55
4.6 Анализ технических противоречий.....	55
5 Способы возведения моста арочного типа.....	56
6 Рекомендации для архитекторов и практики строительства.....	60
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	61
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	62

				08.04.01-2018-962-ПЗ				
	Фамилия	Подпись	Дата					
Зав.каф.	Пикус			Стадия	Лист	Листов		
Н.контр.	Байбурин			ВКР	5	57		
Руковод.	Байбурин			ЮУрГУ «Строительное производство и теория сооружений»				
Консульт.	Байбурин							
Разраб.	Сенченкова							
				Функционально-стоимостной анализ системы «Мост»				

ВВЕДЕНИЕ

В современном мостостроении широкое применение находят конструкции арочных мостов с гибкими вантовыми подвесками. Популярность этого типа мостов, особенно в условиях городского строительства, объясняется удачным сочетанием их несомненных архитектурных качеств, экономичности, простоты возведения и высокой перекрывающей способности.

С инженерных позиций одним из важнейших достоинств таких мостов является возможность создания усилий предварительного напряжения за счет натяжения вантовых элементов непосредственно в процессе возведения конструкции и без использования различного рода сложных вспомогательных устройств и приспособлений. Это позволяет инженеру на практике реализовывать различные идеи практической оптимизации, подбирая состояние самонапряжения системы таким образом, чтобы находить в определенном смысле наилучшие (оптимальные) инженерные решения. Фактически инженер имеет возможность распоряжаться множеством управляющих параметров, в качестве каковых для данного типа конструкций выступают усилия натяжения гибких подвесок.

Тема выпускной квалификационной работы – функционально-стоимостной анализ системы «Мост».

Актуальность выбранной темы связана с необходимостью повышения работоспособности, эффективности и безопасности технических систем, используемых обществом. При этом стоимость разработки, создания и применения таких систем не должна возрастать.

Цель выпускной квалификационной работы – совершенствование конструктивных технических решений арочного моста и составление прогноза развития арочных мостов.

Задачи:

- выполнить обзор литературы и патентный поиск;
- провести функционально-стоимостной анализ арочного моста;

					АСИЗ-392-08.04.01-2018-962-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

одинаковый размер, указывается их количество, помноженное на размер каждого. Например (вымышленный «мост»), схема моста 5+3х10+4 м значит, что у первого пролётного строения моста расчётный пролёт — 5 метров, три следующих — по 10 метров каждый и пятый — 4 метра.

Рассмотрим основные типы мостов.

1. Балочные мосты. Самым массовым типом являются балочные мосты. Их недостаток – меньшая длина пролетов относительно других типов конструкций. Преимущество – простота и унификация технологии строительства. На стойки мостов с помощью крана или методом надвигки, один за другим монтируются готовые балки пролетов. При этом работы по установке очередного пролета можно выполнять с только что установленного предыдущего. Так, шаг за шагом, выполняется монтаж железобетонных или металлических конструкций. Пролетными конструкциями могут служить железобетонные балки, металлические балки или фермы. От выбора конструкций зависят механизмы и приспособления на строительной площадке, но суть технологии не меняется.

2. Арочные мосты. Арка – древнее изобретение строителей. До эпохи металла как строительного материала, арочные и купольные конструкции из камня применялись при перекрытии больших пролетов без альтернатив. Это наглядно демонстрируют каменные мосты старых городов и остатки акведуков древних цивилизаций по всему миру.

Однако нельзя сказать, что арки полностью ушли в небытие в современном строительстве. Благодаря основному принципу преобразования изгибающих и режущих сил в сжимающие, новые арочные мосты из высокопрочной стали способны перекрывать большие пролеты чем простые балочные конструкции и фермы. Выбор арочного типа моста может быть обусловлен именно необходимостью сооружения большого пролета, например для судоходного канала.

Недостаток этих мостов – сложность технологии строительства. Сбор арки происходит на месте строительства, так как такую конструкцию невозможно перевезти с завода из-за ее большой массы и габаритов. Для сборки арки

					АСИЗ-392-08.04.01-2018-962-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

необходимо строительство временных сооружений – лесов и подмостей. В случае возведения моста через реку, леса нужно устанавливать на понтоны или иначе решать вопрос с основанием.

В результате, мосты арочных конструкций получаются дороже и строятся дольше, чем и обусловлено их редкое применение.

3. Подвесные мосты – еще один путь решения задачи перекрытия больших пролетов. Так, мост Большой Бельт, в Дании, имеет пролет 1624 метра, а мост на остров Русский, на Дальнем Востоке России, имеет пролет 1104 метра, то есть, более километра. Суть конструкции таких мостов – поддержка несущей части дорожного полотна системой тросов. Если точки опоры тросов находятся на вершинах стоек, такой мост называется вантовым. Если подвесные тросы уходят вертикально к висячим супертросам, натянутым между стойками, то мост называют висячим. Пример вантового моста – виадук Мийо. Пример висячего – Золотые ворота в США.

На рисунке 1, сверху, вантовый мост. Снизу, висячий. Оба типа моста являются подвесными.

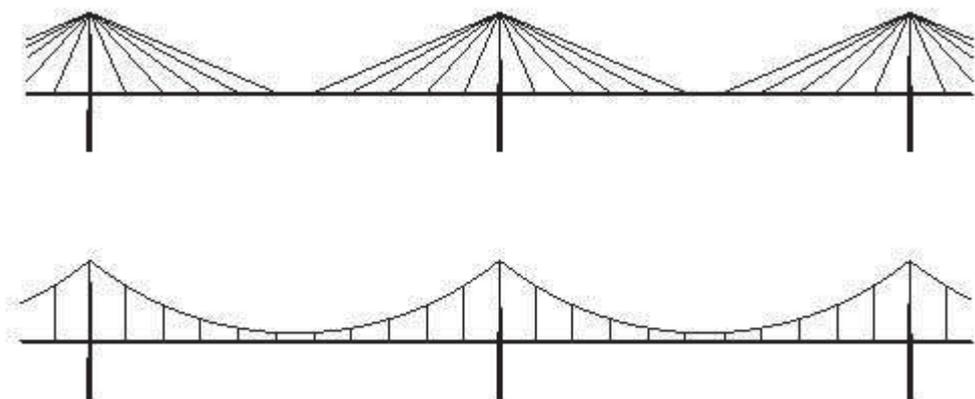


Рисунок 1 – Подвесные мосты

Технология строительства полотна подвесных мостов схожа с балочным. Сначала строятся стойки, затем, одна за другой монтируются секции дорожного полотна (рис. 2). Монтаж следующей секции выполняется с предыдущей. После установки в проектное положение, секция соединяется с предыдущей и подвешивается на тросах. Так как в основном такие мосты возводятся через

					АСИЗ-392-08.04.01-2018-962-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

морские участки, подвоз секций осуществляется баржами а подъемное оборудование находится на готовой части моста.

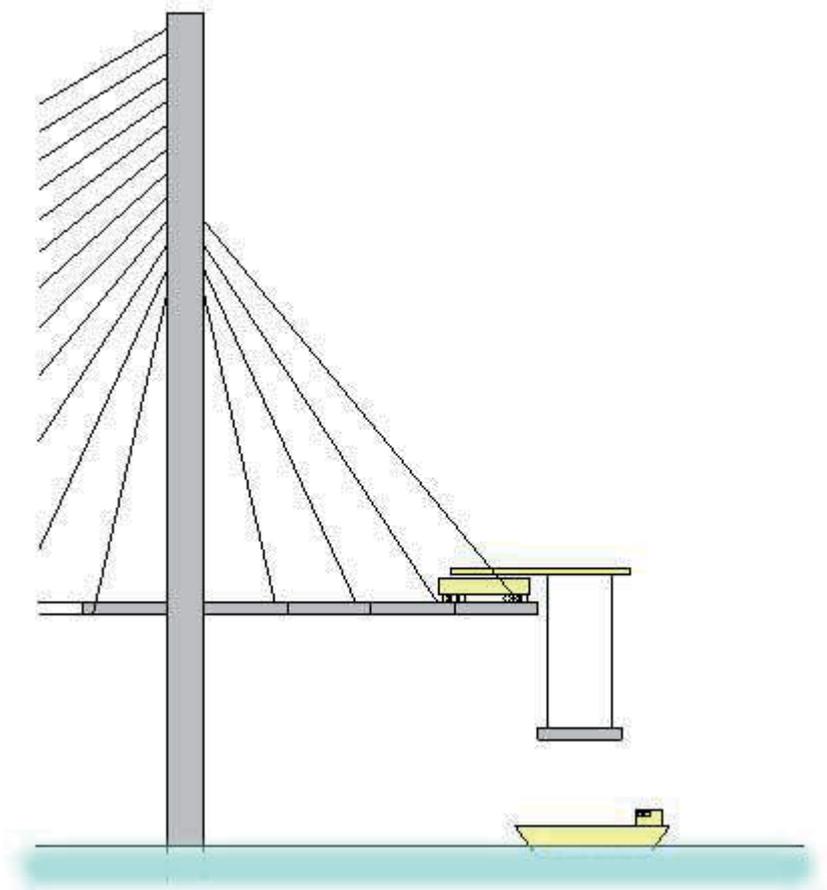


Рисунок 2 – Монтаж конструкций подвесного моста

Так как вся масса конструкций подвесного моста передается на несколько стоек, фундамент должен передавать огромные усилия на грунт. Соответственно, грунтовые условия должны удовлетворять поставленным задачам.

Помимо перечисленных, в мостах встречаются и другие статические схемы. Так, например, в деревянных мостах применяют подкосную систему, представляющую собой балку, подпертую подкосами. В металлических и железобетонных мостах встречаются различного рода комбинированные системы, в виде сочетания простейших, например балочной и арочной. Комбинированные системы могут быть разнообразными и часто имеют технико-экономические преимущества по сравнению с простыми статическими системами мостов.

Пролетные строения комбинированных систем могут образовываться двумя основными способами: объединением обычных (простых) систем; введением в состав простой системы дополнительных элементов. Примеры

					АСИЗ-392-08.04.01-2018-962-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

комбинированных систем первого типа: сочетание балки с аркой, балки со сквозной фермой, балки с арочным шпренгелем. Системы второго типа могут образовываться, например, введением в обычную арку затяжки, соединяющей опорные узлы.

Обычно такие системы не имеют преимуществ по сравнению с простыми системами, в том числе и с балочной, по расходу металла. Они более сложны по конструкции, более трудоемким является их монтаж. Тем не менее они находят применение в ряде случаев, так как архитектурно весьма выразительны. Поэтому им отдают предпочтение в городских условиях.

Наиболее распространены комбинированные системы, в которых сочетаются балочная и арочная системы, причем и балки, и арки могут быть как сплошностенчатыми, так и сквозными. В случае езды понизу образуется система, в которой распор арки воспринимается балкой. Тогда по характеру воздействия на опоры система внешне работает как балочная безраспорная. Это позволяет значительно уменьшить стоимость опор, особенно возводимых на недостаточно прочных грунтах, по сравнению с арочной системой. Свойства системы, внешний вид, характер работы арки и балки во многом зависят от соотношения жесткости ее компонентов.

Если выполняется соотношение $EI_a/EI_b > 80 \dots 100$, т.е. жесткость на изгиб арки значительно превышает жесткость балки, то балка в основном работает на восприятие распора арки и называется затяжкой, а система – аркой с затяжкой (рис. 3, а, б). Наличие арки определяет сохранение в такой конструкции особенности распорных арочных систем – S-образного прогиба при несимметричном нагружении временной нагрузкой. Работа арки и ее конструкция мало отличаются от обычных арочных мостов. Однако масса пролетного строения по сравнению с арочным распорным увеличивается из-за дополнительного расхода металла на устройство затяжек. Кроме того, уменьшение распора из-за деформаций затяжки приводит к увеличению изгибающих моментов и утяжелению самих арок. Мала экономия металла и по сравнению с балочными конструкциями.

					АСИЗ-392-08.04.01-2018-962-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

упростить изготовление, особенно в сварном варианте. Наличие балки жесткости облегчает монтаж при надвигке и сборке на отдельных опорах крупными блоками. В такой конструкции арка работает только на сжатие, поэтому ее элементы делают прямолинейными.

При достаточно прочных грунтах в основаниях опор может оказаться выгодным применение балки, усиленной снизу гибкой аркой, передающей распор на опоры (рис. 3, д). В данной конструкции распор не передается на балку жесткости, а моменты меньше, чем в простой балке такого же пролета, что позволяет сделать более экономичным сечение балки. Расход металла на балку можно дополнительно уменьшить, если передавать ее вес на арку через временные монтажные шарниры. Наличие балки жесткости позволяет осуществить внеузловое прикрепление элементов проезжей части. Система обладает благоприятным внешним видом.

Вместе с тем из-за S-образного прогиба арки опорные реакции балки жесткости могут быть знакопеременными, поэтому ее опорные крепления должны воспринимать отрицательные опорные реакции. Следует отметить, что такой прогиб при расположении временной нагрузки на части пролета требует проверки прогибов арочных комбинированных систем. Это ограничивает, но не исключает их использование в железнодорожных мостах.

Комбинация балки жесткости и арки в трехпролетной безраспорной системе с ездой поверху приведена на рис. 3, е, посередине - на рис. 3, ж. Последнее решение может оказаться рациональным в случае недостаточного строительного пролета.

При одинаковых пролетах, высоте моста и нагрузке распор, передаваемый на балку жесткости при езде посередине меньше, чем при езде поверху. Однако конструкция пролетного строения сложнее, обладает уже описанными ранее недостатками решетчатых систем с ездой понизу и посередине.

Распространены комбинированные системы, получаемые усилением неразрезных балок над промежуточными опорами подпругами в виде полуарок (рис. 3, з). На приопорных участках они передают распор на балку. Арки

					АСИЗ-392-08.04.01-2018-962-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

увеличивают высоту конструкции в зоне действия максимальных отрицательных моментов над промежуточными опорами, сокращая объем их кладки.

Одновременно увеличение жесткости в зоне действия отрицательных моментов приводит к некоторому уменьшению положительных моментов в пролетах.

Характер деформации пролетного строения в рассматриваемой системе определяется особенностью деформации арки при ее несимметричном нагружении, из-за чего балка жесткости также имеет S-образный изгиб. В ней действуют изгибающие моменты разных знаков с преобладанием положительного момента вследствие деформаций подвесок и продольных деформаций арки (рис. 9.2, а). Чтобы уменьшить расчетные положительные моменты, можно прикрепить арку к балке жесткости с эксцентриситетом относительно ее оси. Благодаря этому распор будет вызывать в балке жесткости отрицательные моменты, выравнивающие в ней расчетные изгибающие моменты (рис. 9.2, б).

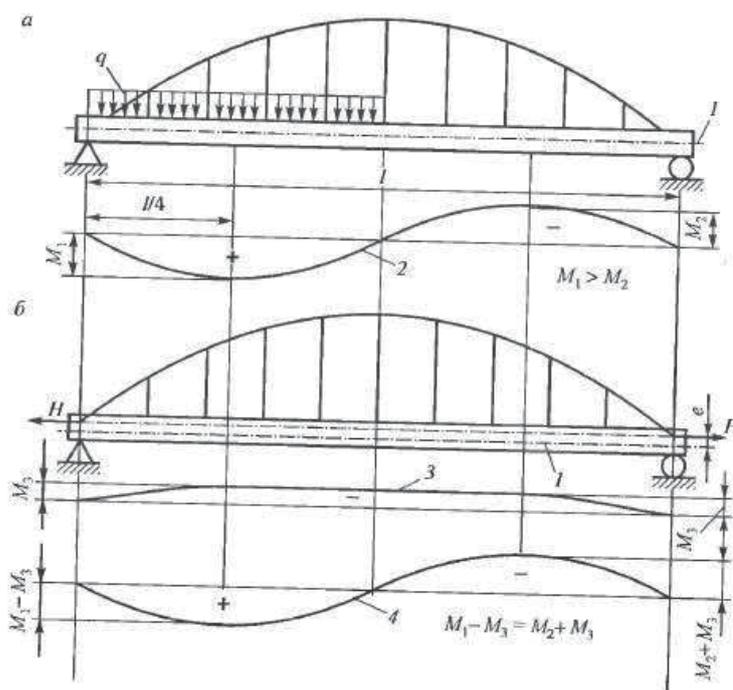


Рисунок 4 – Эпюры изгибающих моментов в балке жесткости при нагружении полупролета арки: 1 – ось балки жесткости; 2 – эпюра изгибающих моментов от нагружения полупролета; 3 – эпюра моментов от эксцентричной передачи на балку распора арки; 4 – суммарная эпюра изгибающих моментов

Особенностью системы является возможность регулирования внутренних усилий с целью оптимизации напряженного состояния и получения

минимального расхода металла. Так, при строительстве в г. Омске моста через реку Иртыш (1978 г.) неразрезные балки надвинули в пролет, затем поддомкратили их на временных опорах. После этого деформированное состояние было зафиксировано с помощью арочных подпруг (рис. 5).

Искусственное создание в конструкции изгибающих моментов обратного знака позволило уменьшить расчетные изгибающие моменты при наиболее невыгодном положении временной нагрузки.

Неразрезные балки можно усилить и при помощи решетчатых ферм с криволинейным нижним поясом (рис. 6, а). Это позволяет облегчить работу балки на действие поперечной силы. Кроме того, использование решетчатых подпруг благоприятно при навесной сборке пролетных строений.

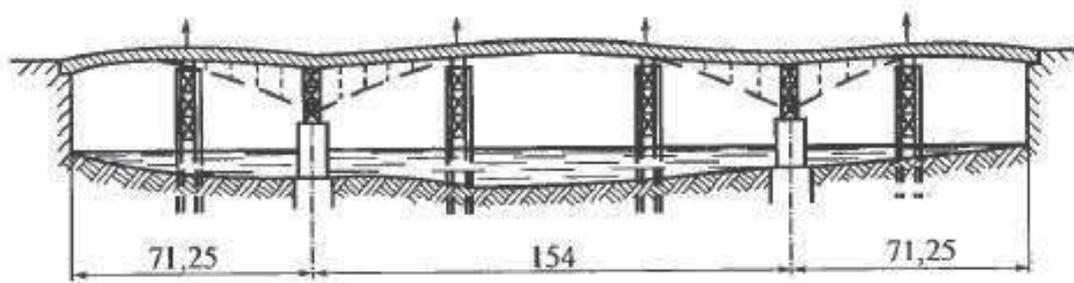


Рисунок 5 – Схема регулирования усилий в пролетном строении моста через реку Иртыш в городе Омске

Комбинированная система, предложенная профессором К.Г. Протасовым, состоит из фермы с треугольной решеткой, нижний пояс которой выполнен в виде жесткой балки. Она способна воспринимать изгибающие моменты от внеузлового прикрепления поперечных балок проезжей части (рис. 6, б). В такой конструкции, как и в арке с жестким нижним поясом, можно выбрать независимо оптимальные размеры как панели треугольной решетки фермы, так и панели проезжей части, не используя дополнительные элементы в виде подвесок, стоек и шпренгелей.

Если в ней применить ферму с полигональным верхним поясом, то получится система (рис. 6, в), внешне похожая на изображенную на рис. 3, г, но имеющая иные статические свойства и характер работы. В такой системе исключается S-образный прогиб от загрузки временной нагрузкой части пролета, характерный для арок, что повышает ее жесткость. Можно добиться изменения высоты фермы

					АСИЗ-392-08.04.01-2018-962-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

по закону изменения изгибающих моментов в балке. Тогда усилия в панелях верхнего пояса по его длине будут почти постоянны.

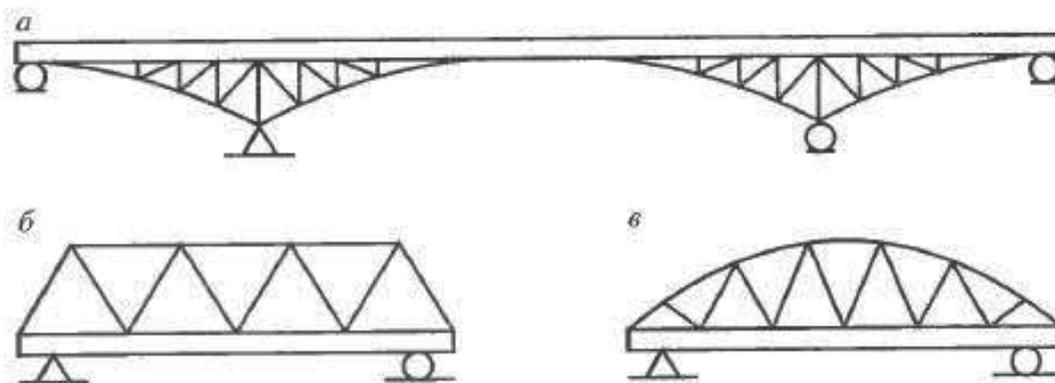


Рисунок 6 – Комбинированные системы на основе сочетания балок и ферм

Очертание оси арки по параболе приводит к относительно небольшим расчетным усилиям в раскосах. Это облегчает конструирование узлов, элементов решетки и верхнего пояса. Если постоянная нагрузка существенно выше временной вертикальной, что характерно для большепролетных автодорожных мостов, большинство раскосов решетки оказываются растянутыми при любом положении временной нагрузки, что позволяет выполнить их гибкими. Недостатком системы является различная длина элементов решетки и наличие переломов верхнего пояса во всех узлах, что затрудняет стандартизацию длин элементов решетки и усложняет конструкцию узлов.

К комбинированным системам второго типа относятся также все современные висячие и вантовые мосты, в состав которых, как правило, входит балка жесткости.

Для целей выпускной классификационной работы был выполнен патентный поиск и последующий анализ патентов по следующим темам: ванты и вантовые мосты, пролетное строение моста и дорожное покрытие моста. Были рассмотрены следующие патенты:

- 1) 2618307 (03.05.2017) Ванта моста;
- 2) 2130524 (20.05.1999) Вантовый мост и способ его монтажа;
- 3) 2406794 (20.12.2010) Оголовок пилона вантового моста;
- 4) 2133791 (27.07.1999) Вантовый мост;

					АСИЗ-392-08.04.01-2018-962-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

- 5) 2578401 (27.03.2016) Вантовый мост;
- 6) 2485243 (20.06.2013) Арочное пролетное строение;
- 7) 2468144 (27.11.2012) Опалубка для формирования вантового узла в железобетонном пролетном строении;
- 8) 2534556 (27.11.2014) Способ демонтажа балочного железобетонного пролетного строения моста с использованием вантовой системы;
- 9) 2414559 (20.03.2011) Пролетное строение моста;
- 10) 60537 (27.01.2007) Дорожное покрытие для проезжей части бетонного моста;
- 11) 2341480 (20.12.2008) Литая асфальтобетонная смесь для устройства покрытия тротуара моста
- 12) 81500 (20.03.2009) Дорожная одежда для мостового сооружения.

Проведя анализ патентов, относящихся к устройству вантовых мостов, можно сделать вывод, что основными их целями являются повышение прочности, надежности и удобства использования данных объектов, а также снижении их стоимости. Существует достаточное количество патентов, относящихся к этой теме, техника и технологии продолжают развиваться, однако у всех представленных моделей существует ряд минусов.

2 Функционально-стоимостной анализ системы

2.1 Структурный анализ

2.1.1 Элементы системы и надсистемы

Элементы системы «мост»:

1. Пролетное строение
2. Опоры
3. Фундамент
4. Арка

					АСИЗ-392-08.04.01-2018-962-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

5. Ванты
6. Дорожная одежда
7. Конструкция тротуара
8. Система водоотвода
9. Фонари
10. Акустический экран, ограждение
11. Система мониторинга

Элементы надсистемы:

1. Автотранспорт
2. Осадки
3. Колебания грунта
4. Ветер
5. Солнце
6. Перепады температуры
7. Агрессивные вещества
8. Обслуживающий персонал
9. Сооружения для въезда и выезда с моста
10. Грунт
11. Грунтовые воды

2.1.2 Ресурсы системы

Ресурсы пространства: использование конструктивных пустот моста для прокладки коммуникаций; размещение рекламных растяжек над дорожной частью; использование свободного пространства под мостом для размещения помещений, например трансформаторной будки.

Ресурсы времени: уборка моста производится во время наименьшего потока автотранспорта, чтобы не создавать помех движению.

Ресурсы элементов системы: пролет моста – конструкция для переноса через препятствие чего-либо.

					АСИЗ-392-08.04.01-2018-962-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

Ресурсы элементов надсистемы: материалы элементов надсистемы, осадки, ветер.

Ресурсы энергии: энергия, создаваемая движением осадков (дождь, снег); энергия солнечного тепла, ветра; энергия движущегося автотранспорта.

Ресурсы информации: система мониторинга (видеонаблюдение, датчики) дает информацию о состоянии дороги, дорожного движения.

2.1.3 Компонентная схема объекта анализа

К автотранспорту относят все движущиеся по мосту объекты (легковые, грузовые автомобили, пассажирские автобусы и т.д.), включая людей и грузы, перевозимые ими.

Среди осадков различают:

- дождь, снег, град,
- пыль,
- гололед на дорожном покрытии.

В систему водоотвода включают следующие элементы:

- водосточные желоба,
- воронки и трубы,
- карнизные водостоки,
- переливы и другие.

Неотъемлемой особенностью при эксплуатации железобетонных мостов является взаимодействие с хлоридными агрессивными средами. Их источник – хлоридосодержащие антигололедные средства, целью применения которых является обеспечение безопасности дорожного движения автотранспорта по скользкой дороге (гололеду). Также к источникам относят морской воздух (приморская зона) и добавки-ускорители твердения и противоморозные добавки (на основе хлорида натрия и кальция).

В систему мониторинга входит видеонаблюдение, датчики состояния дорожного покрытия, оповещающие сигналы и табло.

					АСИЗ-392-08.04.01-2018-962-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

Объект
анализа



Элементы надсистемы



Элементы верхнего иерархического уровня моста

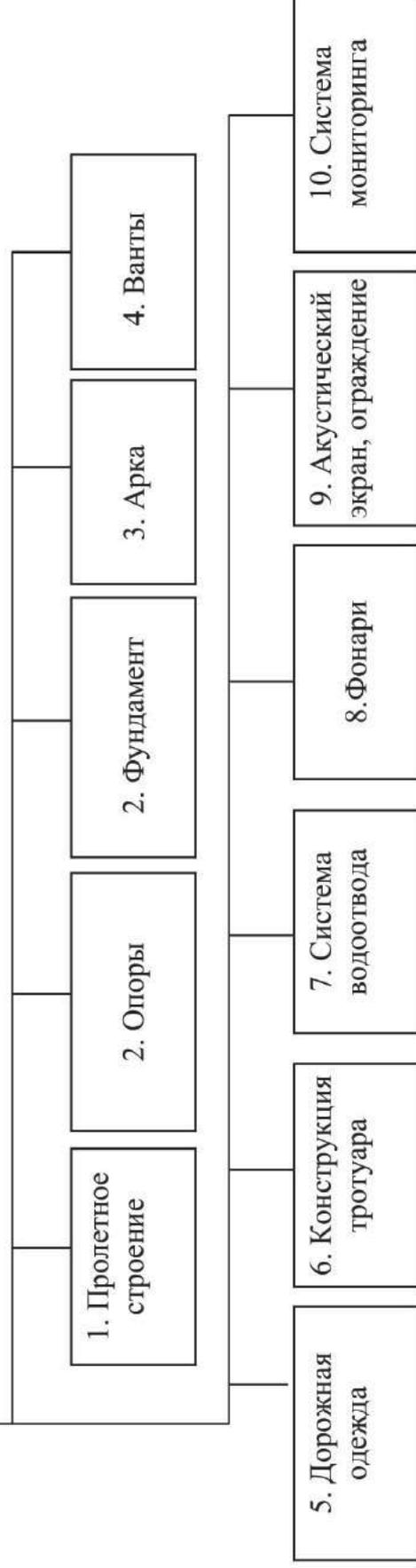


Рисунок 7 – Компонентная модель моста

Изм.	Лист	№ докum.	Подпись	Дата

2.1.4 Описание связей для моста

Описание связей элементов объекта с элементами надсистемы:

- C1 – Пролетное строение создает возможности для движения автотранспорта по мосту
- C2 – НЭ1 – осадка, движение грунтов может быть причиной возникновения дополнительных напряжений в пролетном строении
- C3 – НЭ2 – вероятность возникновения деформаций бетона пролетного строения, вызванного резкими перепадами температуры
- C4 – НЭ3 – колебание грунта может стать причиной образования трещин в опорах
- C5 – НЭ4 – колебания грунта могут негативно воздействовать на фундамент
- C6 – Фундамент передает напряжение от конструкции моста на грунт;
НЭ5 – осадка грунта может стать причиной повреждения/разрушения фундамента
- C7 – НЭ6 – обильные осадки могут стать причиной размыва грунта и вызвать тем самым деформации фундамента
- C8 – Движущийся автотранспорт создает вибрации в конструкции арки;
НЭ7 – вибрации, возникающие от движущегося автотранспорта могут стать причиной образования трещин в конструкции арки
- C9 – НЭ8 – резкие перепады температуры воздуха могут негативно повлиять на железобетонную конструкцию арки
- C10 – Сильный ветер может вызывать движение арки;
НЭ9 – вероятность деформации арки ветром
- C11 – Осадки вызывают гололедную нагрузку на конструкцию арки
- C12 – Солнце нагревает конструкцию арки
- C13 – Осадки вызывают гололедную нагрузку на ванты
- C14 – Сильный ветер может вызвать вибрацию вант
- C15 – НЭ10 – землетрясение может стать причиной повреждения оголовков вант
- C16 – Солнце нагревает конструкцию вант

					АСИЗ-392-08.04.01-2018-962-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

- C17 – Автотранспорт осуществляет движение непосредственно по дорожной одежде;
НЭ11 – движение автотранспорта служит причиной износа дорожной одежды
- C18 – НЭ12 – осадки вызывают гололедную нагрузку на дорожную одежду
- C19 – НЭ13 – сильные сейсмические толчки могут стать причиной возникновения трещин в дорожном полотне
- C20 – НЭ14 – солнечный свет, нагрев дорожную одежду, может вызвать ее деформацию
- C21 – НЭ15 – применение агрессивных веществ может стать причиной точечной коррозии арматуры пролетного строения
- C22 – Агрессивные вещества предотвращают образование гололеда на дорожном полотне;
НЭ16 – агрессивные вещества могут оказывать негативное влияние на составляющие дорожной одежды
- C23 – Обслуживающий персонал следит за состоянием дорожного полотна и осуществляет его уборку
- C24 – НЭ17 – перепады температуры воздуха могут вызвать появление трещин в дорожной одежде
- C25 – НЭ18 – аварии автотранспорта на мосту могут стать причиной повреждения конструкций тротуаров; при возникновении непредвиденных (аварийных) ситуаций на мосту, пассажиры и водители автотранспорта имеют возможность с помощью тротуаров покинуть мост
- C26 – Конструкции тротуаров и дорожная одежда защищают пролетное строение от негативного влияния осадков и солнца
- C27 – НЭ19 – осадки могут намерзать на конструкции тротуаров
- C28 – Агрессивные вещества защищают конструкцию тротуаров от образования гололеда;
НЭ20 - агрессивные вещества могут оказывать негативное влияние на конструкцию тротуаров
- C29 – Обслуживающий персонал осуществляет уборку тротуаров и следит за их состоянием
- C30 – НЭ21 – резкие перепады температуры воздуха могут стать причиной возникновения трещин в конструкции тротуаров

					АСИЗ-392-08.04.01-2018-962-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

- С31 – Система водоотведения отводит воду с моста;
НЭ22 – сильные дожди могут стать причиной переполнения системы водоотвода
- С32 – Обслуживающий персонал следит за состоянием системы водоотведения;
НЭ23 – некачественная работа обслуживающего персонала может вызвать засорение системы водоотвода
- С33 – НЭ24 – ветер может повредить фонари, освещающие мост
- С34 – Ограждение защищает автотранспорт от падения с моста;
НЭ25 – аварии автотранспорта могут стать причиной повреждения акустических экранов или ограждений
- С35 – НЭ26 – ветер может приводить в движение акустические экраны
- С36 – Обслуживающий персонал следит за состоянием ограждения
- С37 – НЭ27 – осадки могут создавать плохую видимость экранов, оповещающих водителей о состоянии дороги
- С38 – Сооружения для въезда и выезда с моста соединяются с пролетным строением; НЭ28 – повреждение сооружений для въезда и выезда с моста могут вызвать повреждение пролетного строения
- С39 – НЭ29 – экраны системы мониторинга могут быть повреждены сильным ветром
- С40 – Система мониторинга позволяет следить за движением автотранспорта по мосту
- С41 – Фонари освещают сооружения для въезда и выезда с моста
- С42 – НЭ30 – Сильный ветер может стать причиной повреждения опор
- С43 – НЭ31 – Осадка грунтов может стать причиной деформации конструкции опор
- С44 – НЭ32 – Перепады температуры могут стать причиной образования трещин в конструкции опор
- С45 – НЭ33 – Грунтовые воды могут вызвать деформации фундамента
- С46 – Солнце нагревает опоры
- С47 – Система мониторинга следит за состоянием сооружений для въезда и выезда с моста

					АСИЗ-392-08.04.01-2018-962-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

С48 – Фонари освещают мост движущемуся по нему автотранспорту

С49 – Солнце нагревает фонари

Описание связей элементов объекта между собой:

Св1 – Пролетное строение опирается на опоры; НЭв3 – деформация конструкции опор может вызвать потерю устойчивости пролетного строения

Св2 – Арка стягивает пролетное строение

Св3 – Ванты подвешивают пролет к арке

Св4 – Дорожная одежда защищает пролетное строение от внешнего воздействия; НЭв2 – разрушение дорожной одежды может стать причиной повреждения пролетного строения

Св5 – Конструкция тротуара защищает пролетное строение от внешнего воздействия

Св6 – Ванты крепятся к конструкции арки; НЭв1 дефекты и повреждения вант могут привести к потере устойчивости арки

Св7 – Система водоотвода препятствует скоплению воды на дорожной одежде; НЭв4 – поломка/засор системы водоотвода может стать причиной скопления воды на дорожном полотне

Св8 – Система водоотвода препятствует скоплению воды на тротуарах; НЭв5 – поломка/засор системы водоотвода может стать причиной скопления воды на тротуарах

Св9 – Фонари освещают дорожную одежду

Св10 – Фонари освещают конструкцию тротуаров

Св11 – Акустический экран и ограждения крепятся к пролетному строению

Св12 – Экраны и камеры системы мониторинга крепятся к конструкции арки

Св13 – Система мониторинга позволяет следить за состоянием дорожной одежды

Св14 – Система мониторинга позволяет следить за состоянием тротуаров

Св15 – Фонари крепятся к пролетному строению

Св16 – Фонари крепятся к конструкции арки

Св17 – Опоры опираются на фундамент; НЭв6 – повреждение конструкций фундамента может стать причиной деформации опор

Св18 – Конструкции системы водоотведения крепятся к пролетному строению

					АСИЗ-392-08.04.01-2018-962-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

Таблица 1

Матрица взаимосвязей элементов моста с элементами надсистемы

Элементы моста	Элементы надсистемы											Грунтовые воды
	Автотранспорт	Осадки	Колебания грунта	Ветер	Солнце	Грунт	Сооружения для въезда и выезда с моста	Агрессивные вещества	Обслуживающий персонал	Перепады температуры		
1. Пролетное строение	C1	C26				C2 НЭ1	C38 НЭ28	C21 НЭ15		C3 НЭ2		
2. Опоры			C4 НЭ3	C42 НЭ30	C46	C43 НЭ31				C44 НЭ32		
3. Фундамент		C7 НЭ6	C5 НЭ4			C6 НЭ5						C45 НЭ33
4. Арка	C8 НЭ7	C11		C10 НЭ9	C12					C9 НЭ8		
5. Ванты		C13	C15 НЭ10	C14	C16							
6. Дорожная одежда	C17 НЭ11	C18 НЭ12	C19 НЭ13		C20 НЭ14			C22 НЭ16	C23	C24 НЭ17		
7. Конструкция тротуаров	C25 НЭ18	C27 НЭ19			C26			C28 НЭ20	C29	C30 НЭ21		
8. Система водоотведения		C31 НЭ22							C32 НЭ23			
9. Фонари	C48			C33 НЭ24	C49		C41					
10. Акустический экран, ограждение	C34 НЭ25			C35 НЭ26					C36			
11. Система мониторинга	C40	C37 НЭ27		C39 НЭ29			C47					

АСИЗ-392-08.04.01-2018-962-ПЗ

Изм. / Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Таблица 2

Матрица взаимосвязей элементов моста между собой

Элементы моста	Элементы моста										
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.
1. Пролетное строение	Св1 НЭВ3				Св3			Св18		Св11	
2. Опоры		Св17 НЭВ6									
3. Фундамент											
4. Арка	Св2										
5. Ванты				Св6 НЭВ1							
6. Дорожная одежда	Св4 НЭВ2										
7. Конструкция тротуаров	Св5						Св8 НЭВ5	Св10			
8. Система водоотведения						Св7 НЭВ4					
9. Фонари	Св15			Св16		Св9					
10. Акустический экран, ограждение											
11. Система мониторинга				Св12		Св13	Св14				

АСИЗ-392-08.04.01-2018-962-ПЗ

27

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

Изм.

2.1.5 Описание связей (табл. 3)

Таблица 3

Описание взаимосвязей элементов моста с элементами надсистемы

Код связи	Наименование связи	Вещественная	Полевая	Тип поля	Положительное действие	Отрицательное действие	НЭ	Примечание
C1	Пролетное строение – автотранспорт	-	+	Гравитационное	а. движется по п.с.	-	-	
C2	Пролетное строение – грунт	-	+	Гравитационное	-	Осадка п. вызывает напряжения в п.с.	НЭ1	
C3	Пролетное строение – перепады температуры	+	+	Тепловое	-	Деформация п.с. из за п.т.	НЭ2	
C4	Опоры – колебания грунта	-	+	Механическое	-	Трещины в о. от к.г.	НЭ3	
C5	Фундамент – колебания грунта	-	+	Механическое	-	Разрушение ф. из за к.г.	НЭ4	
C6	Фундамент – грунт	+	+	Гравитационное	Ф. передает нагрузки на г.	Осадка г. разрушает ф.	НЭ5	
C7	Фундамент – осадки	+	-	-	-	О. размывная грунт, смещает ф.	НЭ6	
C8	Арка – автотранспорт	-	+	Механическое	-	А. вызывает вибрации арки	НЭ7	
C9	Арка – перепады температуры	-	+	Тепловое	-	П.т. негативно влияют на арку	НЭ8	
C10	Арка - ветер	+	+	Механическое	-	В. деформирует арку	НЭ9	
C11	Арка – осадки	+	-	-	-	О. вызывают гололедную нагрузку на арке	-	
C12	Арка - солнце	+	+	Тепловое	-	С. нагревает арку	-	

АСИЗ-392-08.04.01-2018-962-ПЗ

Продолжение табл. 3

С13	Ванты – осадки	+	-	-	-	О. вызывают гололедную нагрузку на в.	-	НЭ10
С14	Ванты – ветер	+	+	Механическое	-	В. вызывает вибрацию вант	-	НЭ11
С15	Ванты – колебания грунта	-	+	Механическое	-	К.г. повреждает оголовки в.	НЭ10	НЭ10
С16	Ванты – солнце	+	+	Тепловое	-	С. нагревает в.	-	НЭ11
С17	Дорожная одежда – автотранспорт	+	+	Гравитационное	А. движется по д.о.	А. изнашивает д.о.	НЭ11	НЭ11
С18	Дорожная одежда – осадки	+	-	-	-	О. вызывают гололедную нагрузку на д.о.	НЭ12	НЭ12
С19	Дорожная одежда – колебания грунта	-	+	Механическое	-	К.г. может стать причиной трещин на д.о.	НЭ13	НЭ13
С20	Дорожная одежда – солнце	+	+	Тепловое	-	С. деформирует д.о.	НЭ14	НЭ14
С21	Пролетное строение – агрессивные вещества	+	+	Химическое	-	А.в. вызывают коррозию п.с	НЭ15	НЭ15
С22	Дорожная одежда – агрессивные вещества	+	+	Химическое	А.в. защищают д.о. от гололеда	А.в. разрушают д.о.	НЭ16	НЭ16
С23	Дорожная одежда – персонал	-	+	Информационное	П. осуществляет уборку д.о.	-	-	НЭ17
С24	Дорожная одежда – перепады температуры	-	+	Тепловое	-	П.с. вызывают трещины в д.о.	НЭ17	НЭ17
С25	Трогуар – автотранспорт	-	+	Механическое	Пассажиры а. могут покинуть мост по т.	Аварии а. повреждают т.	НЭ18	НЭ18
С26	Трогуар – солнце	-	+	Тепловое	т. защищает п.с. от действия с.	-	-	НЭ18

Продолжение табл. 3

С27	Трогуар – осадки	+	+	+	Гравитационное	-	О. вызывают гололедную нагрузку на т.	НЭ19
С28	Трогуар – агрессивные вещества	+	+	+	Химическое	А.в. защищают т. от гололеда	А.в. разрушают т.	НЭ20
С29	Трогуар – персонал	-	-	+	Информационное	П. осуществляет уборку т.	-	-
С30	Трогуар – перепады температуры	-	-	+	Тепловое	-	П.т. вызывают трещины в т.	НЭ21
С31	Водоотвод – осадки	+	+	+	Гравитационное	В. отводит о.	О. могут переполнить в.	НЭ22
С32	Водоотвод – персонал	-	-	+	Информационное	П. следит за в.	Ошибки п. приводят к сбоям работы в.	НЭ23
С33	Фонари – ветер	+	+	+	Механическое	-	В. повреждает ф.	НЭ24
С34	Ограждение – автотранспорт	-	-	+	Механическое	О. предотвращает падение а.	Аварии а. повреждают о.	НЭ25
С35	Ограждение – ветер	+	+	+	Механическое	-	В. приводит в движение о.	НЭ26
С36	Ограждение – персонал	-	-	+	Информационное	П. следит за о.	-	-
С37	Мониторинг – осадки	-	-	+	Информационное	-	О. ухудшают работу м.	НЭ27
С38	Мониторинг – сооруж. для въезда и выезда с моста	-	-	+	Информационное	-	Состояние э. не соответствует состоянию моста	НЭ28
С39	Мониторинг – ветер	-	-	+	Механическое	-	В. повреждает экраны м.	НЭ29
С40	Мониторинг – автотранспорт	-	-	+	Информационное	М. позволяет следить за а.	-	-
С41	Фонари – сооруж. для въезда и выезда с моста	-	-	+	Электрическое	-	-	-

Окончание табл. 3

С42	Ветер – опоры	+	+	+	Механическое	-	В. повреждает о.	НЭ30
С43	Грунт – опоры	+	+	+	Гравитационное	-	Осадка г. повреждает о.	НЭ31
С44	Перепады температуры – опоры	-	+	+	Тепловое	-	П.т. могут стать причиной трещин о.	НЭ32
С45	Грунтовые воды - фундамент	+	+	+	Механическое	-	Г.в. деформируют ф.	НЭ33
С46	Солнце - опоры	+	+	+	Тепловое	-	С. нагревает о.	-
С47	Мониторинг - сооруж. для въезда и выезда с моста	-	+	+	Информационное	М. следит за состоянием с д/в	-	-
С48	Фонари - автотранспорт	-	+	+	Электрическое	Ф. освещают движение а.	-	-
С49	Солнце - фонари	+	+	+	Тепловое	-	С. нагревает ф.	-

2.1.6 Анализ связей

Отрицательные связи взаимодействия моста с элементами надсистемы (нежелательные эффекты):

НЭ1 – осадка, движение грунтов может быть причиной возникновения дополнительных напряжений в пролетном строении;

НЭ2 – вероятность возникновения деформаций бетона пролетного строения, вызванного резкими перепадами температуры;

НЭ3 – колебание грунта может стать причиной образования трещин в опорах;

НЭ4 – колебания грунта могут негативно воздействовать на фундамент;

НЭ5 – осадка грунта может стать причиной повреждения/разрушения фундамента;

НЭ6 – обильные осадки могут стать причиной размыва грунта и вызвать тем самым деформации фундамента;

НЭ7 – вибрации, возникающие от движущегося автотранспорта могут стать причиной образования трещин в конструкции арки;

НЭ8 – резкие перепады температуры воздуха могут негативно повлиять на железобетонную конструкцию арки;

НЭ9 – вероятность деформации арки ветром;

НЭ10 – землетрясение может стать причиной повреждения оголовков вант

НЭ11 – движение автотранспорта служит причиной износа дорожной одежды;

НЭ12 – осадки вызывают гололедную нагрузку на дорожную одежду;

НЭ13 – сильные сейсмические толчки могут стать причиной возникновения трещин в дорожном полотне;

НЭ14 – солнечный свет, нагрев дорожную одежду, может вызвать ее деформацию;

НЭ15 – применение агрессивных веществ может стать причиной точечной коррозии арматуры пролетного строения;

					АСИЗ-392-08.04.01-2018-962-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

НЭ16 – агрессивные вещества могут оказывать негативное влияние на составляющие дорожной одежды;

НЭ17 – перепады температуры воздуха могут вызвать появление трещин в дорожной одежде;

НЭ18 – аварии автотранспорта на мосту могут стать причиной повреждения конструкций тротуаров;

НЭ19 – осадки могут намерзать на конструкции тротуаров;

НЭ20 - агрессивные вещества могут оказывать негативное влияние на конструкцию тротуаров;

НЭ21 – резкие перепады температуры воздуха могут стать причиной возникновения трещин в конструкции тротуаров;

НЭ22 – сильные дожди могут стать причиной переполнения системы водоотвода;

НЭ23 – некачественная работа обслуживающего персонала может вызвать засорение системы водоотвода;

НЭ24 – ветер может повредить фонари, освещающие мост;

НЭ25 – аварии автотранспорта могут стать причиной повреждения акустических экранов или ограждений;

НЭ26 – ветер может приводить в движение акустические экраны;

НЭ27 – осадки могут создавать плохую видимость экранов, оповещающих водителей о состоянии дороги;

НЭ28 – повреждение сооружений для въезда и выезда с моста могут вызвать повреждение пролетного строения;

НЭ29 – экраны системы мониторинга могут быть повреждены сильным ветром;

НЭ30 – Сильный ветер может стать причиной повреждения опор;

НЭ31 – Осадка грунтов может стать причиной деформации конструкции опор;

НЭ32 – Перепады температуры могут стать причиной образования;

НЭ33 – Грунтовые воды могут вызвать деформации фундамента.

					АСИЗ-392-08.04.01-2018-962-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

Из указанных нежелательных эффектов (отрицательных связей) к дорожной одежде относится б, к пролетному строению, конструкции тротуаров, фундаменту и конструкции тротуаров – по 4, к арке – 3.

Большинство НЭ связаны с негативными воздействиями надсистемы (окружающей среды) на дорожную одежду.

Многих нежелательных эффектов можно избежать, используя более прочный вариант дорожной одежды.

Отрицательные связи взаимодействия элементов моста между собой (нежелательные эффекты внутренние):

НЭв1 дефекты и повреждения вант могут привести к потере устойчивости

НЭв2 – разрушение дорожной одежды может стать причиной повреждения пролетного строения;

НЭв3 – деформация фундаментов может вызвать потерю устойчивости пролетного строения;

НЭв4 – поломка/засор системы водоотвода может стать причиной скопления воды на дорожном полотне;

НЭв5 – поломка/засор системы водоотвода может стать причиной скопления воды на тротуарах;

НЭв6 – повреждение конструкций фундамента может стать причиной деформации опор.

Ненужные связи: нет.

2.1.7 Результирующая матрица взаимосвязей

Матрица не стоилась: все отрицательные, ненужные связи отмечены в табл. 2 и 3 как НЭ1, НЭ2, НЭ3 и т.д.

2.2 Функциональный анализ

2.2.1 Формулирование главной полезной функции (ГПФ) объекта

					АСИЗ-392-08.04.01-2018-962-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

Формулировка ГПФ с использованием алгоритма формулирования функции (табл. 4, рис. 8).

Таблица 4

Этапы формулирования ГПФ

№ шага (по рис.)	Текущая формулировка функции
1	Автотранспорт, осадки, колебания грунта, ветер, солнце, перепады температуры, агрессивные вещества, обслуживающий персонал, сооружения для въезда и выезда с моста, грунт, грунтовые воды
2	Автотранспорт, осадки, ветер
3	Перемещать автотранспорт через препятствия
4	Да
5	Пролетное строение
6	Для перемещения автотранспорта (включая пассажиров и грузы) через препятствия (дорогу, овраг, ущелье, водоем и пр.). Для разгрузки других участков дорог, избегания затруднений движения автотранспорта
7	Автотранспорт, осадки, солнце, перепады температуры, агрессивные вещества, сооружения для въезда и выезда с моста, грунт, грунтовые воды. Перемещать автотранспорт через препятствия
8	Пролетное строение
9	Да
11	Окончательная формулировка ГПФ: перемещать автотранспорт через препятствия

При формулировке ГПФ учитывались следующие соображения. ГПФ в формулировке «обеспечить проезд автотранспорта через препятствия» не соответствует одному из правил формулирования функции, принятому в ФСА: исходя из определения функции, она проявляется только в действии (взаимодействии). Поэтому в формулировке должна быть глагольная часть, отражающая это действие по изменению параметров объекта функции. Указанное правило указывает на недопустимость использовать в формулировках функций глаголов, не отражающих действие по изменению параметров.

Поэтому ГПФ моста – перемещать автотранспорт через препятствия. Для непрерывного выполнения данной функции требуются конструкции моста обладающие необходимой степенью качества, прочности, надежности.

Пролетные строения состоят из несущих конструкций: балок, ферм, диафрагм (поперечных балок) и собственно плиты проезжей части. Статическая схема пролётных строений может быть арочной, балочной, рамной, вантовой или комбинированной; она определяет тип моста по конструкции.

2.2.2 Внешние функции моста

Главная полезная функция:

1. ГПФ – перемещать автотранспорт через препятствия

Дополнительные внешние функции:

2. Нести (воспринимать и передавать) нагрузки и деформации от собственного веса, автотранспорта (включая перевозимый груз и пассажиров), осадков, ветра, температуры, осадок основания моста.

3. Размещать на себе конструкции (системы мониторинга, рекламные вывески, фонари) и инженерные устройства (коммуникации).

4. Создавать доступ к элементам конструкции для осмотра, уборки, обслуживания и ремонта (ремонтпригодность).

5. Не вредить природе (экологичность).

6. Не вредить человеку (безопасность).

7. Сохранять элементы, структуру во времени до срока технического обслуживания и ремонта (безотказность).

8. Сохранять элементы, структуру во времени до окончания срока эксплуатации (долговечность).

9. Вызывать эстетические эмоции людей, иметь художественную выразительность (эстетичность).

10. Быть приспособленным к повторным, типовым решениям (стандартизация, унификация).

					АСИЗ-392-08.04.01-2018-962-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

2.2.3 Функциональный анализ объекта (табл. 5)

Таблица 5

Функциональная модель объекта

Компонент – носитель функции (НФ)	Функция $F = Д + ОФ + ОМВН$	Ранг	Ресурс	НЭ
Мост	F01. Перемещать автотранспорт через препятствия	Г, ГПФ	A(H)	НЭ1...НЭ33
	F02. Нести (воспринимать и передавать) нагрузки и деформации от осадков, ветра, температуры, осадок основания моста	Д	A	НЭ 2, 4, 5, 6, 8, 9, 12, 17, 19, 21, 22, 24, 26, 27, 29, 30, 32, 33
	F03 ... F010 (см. п. 2)	Д	A	см.п.2.4
	F011. Создавать площадку для воздействия солнечной радиации, накопления осадков	Н	A	НЭ 6, 12, 14, 19, 22, 27
	F012. Нарушать естественный рельеф (насыпи, водоотводные каналы)	Вр	И	-
	F013. Создавать препятствия для транспортирования высоких негабаритных грузов	Вр	И	-
1. Пролетное строение	F1.1. Перемещать автотранспорт со всеми его грузами и пассажирами	О	A(H)	-
	F1.2. Размещать на себе дорожную одежду и конструкции тротуаров	В	A	НЭв2
	F1.3. Опирается на конструкции опор (устоев)	В	A	НЭв3
	F1.4. Подвешиваться аркой	В	A	-
	F1.5. Подвешиваться к арке вантами	В	A	-
	F1.6. Держать фонари	В	A	-
	F1.7. Держать акустические экраны и ограждения	В	A	-
	F1.8. Держать конструкции системы водоотведения	В	A	-
2. Опоры (устой)	F2.1. Держать пролетное строение и арку	В	A	НЭв3
	F2.2. Воспринимать нагрузку от конструкций моста и автотранспорта и передавать на арку и фундамент	О	A	НЭв6
3. Фундамент	F3.1. Держать опоры	В	A	НЭв6
	F3.2. Опирается на грунт	В	A	-
	F3.3. Воспринимать нагрузки от конструкций моста и автотранспорта и передавать их на грунт	О	A	-
4. Арка	F4.1. Стягиваться пролетным строением	В	A	-
	F4.2. Держать ванты	В	A	НЭв1
	F4.3. Держать экраны и камеры системы мониторинга	В	A	-
	F4.4. Держать фонари	В	A	-
	F4.5. Создавать гололедную нагрузку	Вр	И	-
	F4.6. Приходить в движение от сильного ветра	Вр	И	-

	F4.7. Нести нагрузку от собственного веса, конструкций моста, действия внешней среды	О	А	-
5. Ванты	F5.1. Подвешивать пролетное строение	В	А	-
	F5.2. Крепится к арке	В	А	НЭВ1
	F5.3. Создавать гололедную нагрузку	Вр	И	-
	F5.4. Нести нагрузку от собственного веса, конструкций моста, действия внешней среды	О	А	-
6. Дорожная одежда	F6.1. Опирается на пролетное строение	В	А	НЭВ2
	F6.2. Защищать пролетное строение от воздействия солнца, осадков	В	А(Н)	-
	F6.3. Создавать гололедную нагрузку	Вр	И	-
	F6.4. Освещаться фонарями	В	А	-
	F6.5. Скапливать осадки, грязь, мусор	Вр	И	НЭВ4
	F6.6. Перемещать автотранспорт по пролетному строению	О	А	-
	F6.7. Нести нагрузку от собственного веса, конструкций моста, действия внешней среды	В	А	-
7. Конструкция тротуара	F7.1. Крепится к пролетному строению	В	А	-
	F7.2. Защищать пролетное строение от воздействия солнца, осадков	В	А(Н)	-
	F7.3. Перемещать обслуживающий персонал по мосту	О	А	-
	F7.4. Скапливать осадки, грязь, мусор	Вр	И	НЭВ5
	F7.5. Освещаться фонарями	В	А	-
8. Система водоотвода	F8.1. Удалять осадки с моста	О	А(Н)	-
	F8.2. Крепится к пролетному строению	В	А	-
	F8.3. Направлять осадки к стокам	В	А	-
	F8.4. Засоряться грязью и мусором	Вр	И	НЭВ4, 5
9. Фонари	F9.1. Освещать мост движущемуся автотранспорту	О	А(Н)	-
	F9.2. Крепится к арке, пролетному строению	В	А	-
	F9.3. Приходить в движение от сильного ветра	Вр	И	-
10. Акустический экран, ограждение	F10.1. Защищать автотранспорт от падения	О	А	-
	F10.2. Крепится к пролетному строению	В	А	-
	F10.3. Защищать от шума близлежащие постройки	В	А	-
11. Система мониторинга	F11.1. Следить за исправной работой конструкций моста	В	А(Н)	-
	F11.2. Крепится к арке	В	А	-
	F11.3. Оповещать водителей автотранспорта о состоянии дороги	О	А	-

Примечания:

Ранг выполнения внешних функций: Г – главная, Д – дополнительная, Вр – вредная, Н – нейтральная. Ранг выполнения внутренних

функций: О – основная, В – вспомогательная, Вр – вредная, Н – нейтральная. Ресурс функции (уровень ее выполнения): А – адекватный, Н – недостаточный, И – избыточный. Обозначения: F – функция, Д – действие, OF – объект функции, OMBH – обстоятельства места, времени, направленности и т.д.

2. ГПФ(Г) – полезная функция, выполняемая всей системой. Основные функции – полезные функции, объекты которых совпадает с объектом ГПФ (выделены курсивом). Вспомогательные функции – полезные функции, объектами которых являются носители основных функций. Вредные функции – функции, ухудшающие выполнение ГПФ, основных или вспомогательных функций. Нейтральные функции – функции, объекты которых выполняют вспомогательную функцию и не влияющие на уровень выполнения основных и вспомогательных функций.

3. НЭ – нежелательный эффект внешний, связанный с надсистемой; НЭв – нежелательный эффект внутренний.

Нейтральные внешние функции:

11. Создавать площадку для воздействия солнечной радиации.

Вредные внешние функции:

12. Нарушать естественный рельеф (насыпи, водоотводные каналы).

13. Создавать препятствия для транспортирования высоких негабаритных грузов.

2.2.4 Анализ функциональной модели (ФМ) объекта

1. Вредные функции моста и его элементов:

Мост: F012. Нарушать естественный рельеф (насыпи, водоотводные каналы); F013. Создавать препятствия для транспортирования высоких негабаритных грузов.

Арка: F4.5. Создавать гололедную нагрузку.

Ванты: F5.3. Приходить в движение от сильного ветра; F5.4. Создавать гололедную нагрузку.

					АСИЗ-392-08.04.01-2018-962-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

Дорожная одежда: F6.3. Создавать гололедную нагрузку; F6.5. Скапливать осадки, грязь, мусор.

Конструкция тротуара: F7.4. Скапливать осадки, грязь, мусор; F7.6. Скапливать осадки, грязь, мусор.

Система водоотвода: F8.4. Засоряться грязью и мусором.

Фонари: F9.3. Приходить в движение от сильного ветра.

2. Функции с недостаточным ресурсом:

Мост: F01. Перемещать автотранспорт через препятствия (при недостатке полос движения).

Пролетное строение: F1.1. Перемещать автотранспорт со всеми его грузами и пассажирами (при недостатке полос движения).

Дорожная одежда: F6.2. Защищать пролетное строение от воздействия солнца, осадков (при некачественном исполнении).

Конструкция тротуара: F7.2. Защищать пролетное строение от воздействия солнца, осадков (при некачественном исполнении).

Система водоотвода: F8.1. Удалять осадки с моста (при некачественном исполнении).

Фонари: F9.1. Освещать мост движущемуся автотранспорту (при некачественном исполнении).

Система мониторинга: F11.1. Следить за исправной работой конструкций моста (при некачественном исполнении).

3. Функции с избыточным ресурсом – все вредные функции.

4. Некоторые особенности функций:

Нейтральная функция моста F011 «Создавать площадку для воздействия солнечной радиации, накопления осадков» может стать полезной, в том случае, если разместить на конструкции моста солнечные батареи, устройства для накопления влаги. Энергию солнца можно использовать для освещения движения автотранспорта по мосту с помощью фонарей, работающих на солнечных батареях. Накопленную воду можно использовать при уборке моста или поливки близлежащих газонов.

					АСИЗ-392-08.04.01-2018-962-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

5. Задачи по результатам функционального анализа:

1) Устранить или ослабить вредные функции моста: F012. Нарушать естественный рельеф (насыпи, водоотводные канавы); F013. Создавать препятствия для транспортирования высоких негабаритных грузов.

2) Устранить или ослабить вредную функцию арки: F4.5. Создавать гололедную нагрузку.

3) Устранить или ослабить вредные функции вант: F5.3. Приходить в движение от сильного ветра; F5.4. Создавать гололедную нагрузку.

4) Устранить или ослабить вредные функции дорожной одежды: F6.3. Создавать гололедную нагрузку; F6.5. Скапливать осадки, грязь, мусор.

5) Устранить или ослабить вредные функции конструкций тротуара: F7.4. Скапливать осадки, грязь, мусор.

6) Устранить или ослабить вредную функцию системы водоотвода: F8.4. Засоряться грязью и мусором.

7) Устранить или ослабить вредную функцию фонарей: F9.3. Приходить в движение от сильного ветра.

Первую задачу по устранению вредной функции F012. можно решить установкой защитных конструкций, устройством фундаментов выше уровня грунтовых вод (если это возможно). Ослабить действие вредной функции F013. можно путем установки предупреждающих знаков о высоте моста.

Устранение вредных функций F4.5. и F5.4. предполагается посредством установки датчиков измерения гололедных нагрузок, периодическим смывом наледи с конструкций.

Устранение вредной функции F5.3. возможно с использованием более надежного способа крепления вант.

Четвертая задача по устранению вредной функции F6.3. решается применением обработки дорожного полотна противогололедными средствами.

Ослабить действие вредных функций F6.5. и F7.4. возможно проведением более тщательных уборок моста.

Шестая задача может быть решена при устройстве водоотводов внутри

					АСИЗ-392-08.04.01-2018-962-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

конструкции пролетного строения и повышением надежности конструкции водоотводов, установкой решеток и фильтров.

Седьмая задача решается путем переноса фонарей с пролетного строения на конструкцию вант.

2.2.5 Матрица «функции–элементы» и анализ значимости функций

Для соотнесения значимости функций и затрат на их выполнение необходимо определить значимость функций (табл. 6).

Таблица 6

Матрица парных сравнений и определения значимости функций (элементов)

Элементы моста	Элементы моста											$\Sigma+$	V_i %	P_i
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.			
1. Пролетное строение	0	±	±	+	+	+	+	+	+	+	+	9	16,4	1
2. Опоры	±	0	±	+	+	+	+	+	+	+	+	9	16,4	2
3. Фундамент	±	±	0	+	+	+	+	+	+	+	+	9	16,4	3
4. Арка	-	-	-	0	±	+	+	+	+	+	+	6,5	11,8	4
5. Ванты	-	-	-	±	0	+	+	+	+	+	+	6,5	11,8	5
6. Дорожная одежда	-	-	-	-	-	0	+	±	+	+	+	4,5	8,2	6
7. Тротуар	-	-	-	-	-	-	0	±	±	±	±	2	3,6	9
8. Водоотвод	-	-	-	-	-	±	±	0	+	+	+	4	7,3	7
9. Фонари	-	-	-	-	-	-	±	-	0	±	±	1,5	2,7	10
10. Ограждение	-	-	-	-	-	-	±	-	±	0	+	2	3,6	8
11. Мониторинг	-	-	-	-	-	-	±	-	±	-	0	1	1,8	11
$\Sigma-$	9	9	9	6,5	6,5	4,5	2	4	1,5	2	1	55	100	

Используем расчетно-экспертный метод определения значимости функций (элементов) моста – метод парных сравнений.

Каждый элемент сравнивается с другим попарно, результаты отмечают так: если элемент важнее другого, ставят (+), если нет (–), если элементы равнозначны (\pm).

Затем подсчитывают количество (+) и (–), а за (\pm) ставят полбалла, результат дает значимость функции в баллах. Для проверки считают и минусы (табл. 6).

Значимость элемента определяют по формуле

$$V_i = (k_i / \sum k_i) 100\% \quad (1)$$

По значимости элемента определяют его приоритет (место) P_i .

Таким образом, главными элементами (функциями) моста являются пролетное строение, опоры, фундамент, арка и ванты.

Используем также метод определения значимости функций по количеству основных и вспомогательных функций и по их значимости, назначаемой в баллах экспертным методом.

Значимость в баллах: основная (О) – 9 баллов; вспомогательная (В) – 3 балла; вредная (Вр) – 0 баллов. Правила счета: ранги функций О, В(2), Вр; их значимость $v = 9 + 2 \cdot 3 + 0 = 15$ баллов. Относительная значимость вычисляется в процентах по формуле:

$$V_i = (v_i / \sum v_i) 100\% \quad (2)$$

Результаты анализа и расчетов приведены в табл. 7.

Как видим результаты анализа значимости по табл. 6 и табл. 7 отличаются. Для дальнейшего анализа используем результаты первого метода (табл. 6), на мой взгляд, более объективного.

					АСИЗ-392-08.04.01-2018-962-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

2.3 Параметрический анализ (табл. 8)

Таблица 8

Требования к параметрам элементов моста

Элемент	Параметр	Значение параметра
1. Пролетное строение	1.1. Величина пролета	30 м
	1.2. Ширина проезжей части	7,5 м
	1.3. Несущая способность	5,0 т/м ²
	1.4. Прогиб	60 мм
	1.5. Высота	4 м
2. Опоры	2.1. Высота	12 м
	2.2. Ширина	9 м
	2.3. Несущая способность	300 т
	2.4. Отклонение от вертикали	20 мм
3. Фундамент	3.1. Длина свай (глубина заложения)	20 м
	3.2. Диаметр свай	0,8 м
	3.3. Несущая способность	300 т
	3.4. Отклонение от осей свай	2 см
	3.5. Осадка предельная	3 см
4. Арка	4.1. Высота	24 м
	4.2. Радиус кривизны	48 м
	4.3. Сечение	1,0 × 0,8 м
	4.4. Несущая способность	600 т
5. Ванты	5.1. Длина	3...24 м
	5.2. Диаметр	60 мм
	5.3. Несущая способность	60 т
6. Дорожная одежда	6.1. Толщина общая	120 мм
	6.2. Разрезка на швы	4,50 × 3,75 м
	6.3. Ровность на длине 2 м	3 мм
	6.4. Прочность (бетон класса В30)	22 МПа
	6.5. Модуль упругости	32500 МПа
	6.6. Уклон	0,02
7. Конструкция тротуара	7.1. Ширина	1,0 м
	7.2. Толщина	60 мм
	7.3. Уклон	0,02
	7.4. Прочность (бетон класса В20)	15 МПа
	7.5. Модуль упругости	27000 МПа
8. Система водоотведения	8.1. Длина водостоков общая	600 м
	8.2. Диаметр	150 мм
	8.3. Производительность	3000 л/мин
	8.4. Количество смотровых колодцев	4 шт.
9. Фонари	9.1. Высота стойки	6 м
	9.2. Мощность	500 Вт
	9.3. Радиус освещения	6 м
	9.4. Количество	60 шт.
	9.5. Освещенность	200 люкс
10. Акустический экран, ограждение	10.1. Высота ограждения	1,5 м

АСИЗ-392-08.04.01-2018-962-ПЗ

Лист

45

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

	10.2. Шумоподавление	40 дБ
	10.4. Прочность ударная	3 т/м ²
11. Система мониторинга	11.1. Прочность (скорость ветра)	50 м/с
	11.2. Видимость экранов водителями	200 м
	11.3. Количество информации	скорость, погода, пробки

2.4 Стоимостной анализ

2.4.1 Выбор документов для обоснования стоимостного анализа

Для обоснования стоимостного анализа используем ЕНиР сборник Е4 «Монтаж сборных и устройство монолитных железобетонных конструкций», Е5 «Монтаж металлических конструкций», Е9 «Сооружение систем теплоснабжения, водоснабжения, газоснабжения и канализации», Е17 «Строительство автомобильных дорог», Е23 «Электромонтажные работы», Е28 «Монтаж подъемно-транспортного оборудования» и Е32 «Монтаж контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации».

2.4.2 Результаты стоимостного анализа (табл. 9)

Таблица 9

Результаты стоимостного анализа функций (элементов), на 100 кв. м

Элементы кровли	Трудоемкость		Затраты		Обоснование
	чел-ч	%	руб.	%	
1. Пролетное строение	62,65	19,9	49-18	18,6	ЕНиР Е4
2. Опоры	57,31	18,2	46-92	17,8	ЕНиР Е4
3. Фундамент	35,56	11,3	28-33	10,7	ЕНиР Е4
4. Арка	57,44	18,2	51-01	19,3	ЕНиР Е5
5. Ванты	53,25	16,9	42-02	15,9	ЕНиР Е28
6. Дорожная одежда	11,54	3,7	9-16	3,5	ЕНиР Е17
7. Тротуар	9,33	3,0	6-62	2,5	ЕНиР Е17
8. Водоотвод	4,56	1,4	3-34	1,3	ЕНиР Е9
9. Фонари	7,93	2,5	6-45	2,4	ЕНиР Е23
10. Ограждение	15,24	4,8	10-56	4,0	ЕНиР Е17
11. Мониторинг	0,35	0,1	0-26	0,1	ЕНиР Е32
Σ	315,16	100	263-85	100	–

2.4.3 Матрица «значимость функций – стоимость функций» (табл. 10)

Таблица 10

Матрица «значимость функций – стоимость функций»

Характеристики функций и затрат элементов моста	Элементы моста										
	Пролетное строение	Опоры	Фундамент	Арка	Ванты	Дорожная одежда	Тротуар	Водоотвод	Фонари	Ограждение	Мониторинг
Значимость функций, %	16,4	16,4	16,4	11,8	11,8	8,2	3,6	7,3	2,7	3,6	1,8
Приоритет функции	1	2	3	4	5	6	9	7	10	8	11
Трудоемкость, %	19,9	18,2	11,3	18,2	16,9	3,7	3,0	1,4	2,5	4,8	0,1
Затраты, %	18,6	17,8	10,7	19,3	15,9	3,5	2,5	1,3	2,4	4,0	0,1
Приоритет затрат	2	3	5	1	4	7	8	10	9	6	11
Превышение затрат	2,2	1,4	-	7,5	4,1	-	-	-	-	0,4	-
Кол-во НЭВ (НЭ)	2(4)	1(4)	1(4)	1(3)	1(1)	2(6)	1(4)	2(2)	1(1)	2(2)	2(2)

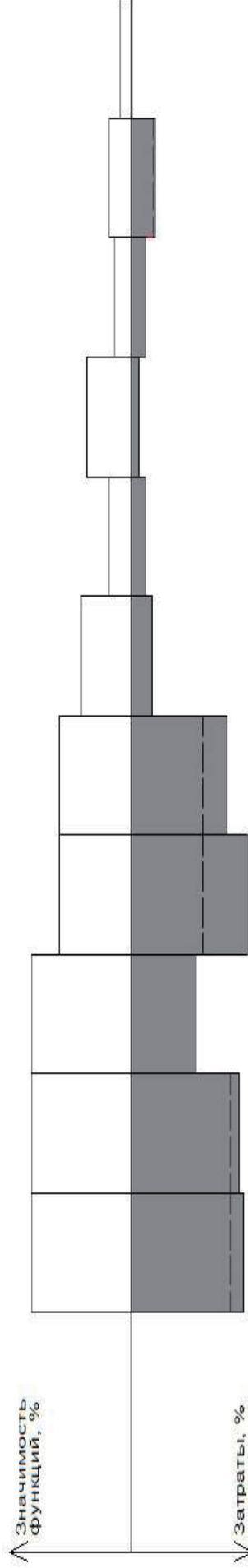


Рисунок 9 – Диаграмма соотношения функций и затрат

2.5 Предложения по результатам ФСА

1. Объединение конструкции опор и фундамента. Создание цельной конструкции позволит исключить внутренний нежелательный эффект НЭв6: повреждение конструкций фундамента может стать причиной деформации опор. Кроме этого, при устройстве колонн свай исключается ростверк, что приводит к снижению затрат на материал.

2. Объединение конструкций тротуара, дорожной одежды и системы водоотведения с пролетным строением. Водоотвод, находясь внутри пролетного строения, будет защищен от деформации швов, что значительно снижает вероятность протечек. Также снижается риск засоров и механических повреждений системы водоотведения. Таким образом, исключаются внутренние нежелательные эффекты НЭв4/НЭв5: поломка/засор системы водоотвода может стать причиной скопления воды на дорожном полотне/тротуарах. Кроме этого, пролетные строения, изготовленные на заводе сразу с дорожным покрытием и тротуаром, обладают большим качеством, и исключается влияние погодных условий, однако увеличивается вес и транспортные расходы. Выход – пустотелое пролетное строение, через которое можно пропустить коммуникации или натянуть внутри канаты преднапряжения. Плюс – облегчается контроль натяжения и состояния канатов.

3. Перенос фонарей с пролетного строения и объединение их с конструкцией арки. Такое решение позволит снизить ветровые нагрузки на фонари, исключить гололедную нагрузку, возникающую на стойках, и незначительно облегчит пролетное строение. Также, установленные на арке фонари придадут ей более выразительный вид.

4. Объединение ограждений с пролетным строением. Уменьшится степень влияния ветровых нагрузок на ограждения в связи с отсутствием креплений. Такое решение позволит повысить жесткость конструкции. Кроме того, оно повлечет за собой увеличение момента инерции и напряжения изгиба. Результатом такого решения служит экономия материала.

					АСИЗ-392-08.04.01-2018-962-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

3 Морфологический анализ (табл. 10)

Таблица 10

Морфологический анализ арочного моста

Элемент Признак	Пролетное строение	Опоры (устои)	Фундамент	Арка	Подвески (опоры)
1. Форма/вид	1 прямая балка; 2 со строительным подъемом; 3 пологая арка; 4 прямая; 5 с поворотом; 6 спиральная.	1 прямоугольные; 2 таврового типа; 3 цилиндрические; 4 с обратными стенками; 5 пустотелые.	1 призматические сваи; 2 цилиндрические; 3 пирамидальные; 4 трапециевидные; 5 ромбовидные; 6 с уширенной пятой.	1 полукруг (циркулярная); 2 пологая; 3 крутая; 4 готическая; 5 плоская; 6 пространственная.	1 нить (канат); 2 жесткий подвес.
2. Форма сечения	1 сплошного сечения; 2 коробчатого сечения; 3 ферма (решетка); 4 из нитей (канатов).	1 сплошного; 2 коробчатого; 3 прямоугольного; 4 круглого; 5 овального.	1 квадратного; 2 квадратного с круглой полостью; 3 круглого пустотелого; 4 прямоугольного; 5 таврового; 6 двутаврового.	1 сплошного сечения; 2 коробчатого сечения; 3 арка-ферма.	1 сплошного сечения; 2 коробчатого сечения; 3 ферма (решетка).
3. Количество	1 одно строение; 2 два; 3 несколько.	-	-	1 одна арка; 2 две арки; 3 несколько.	-
4. Положение	1 вдоль пролета; 2 поперек; 3 с поворотами; 4 наклонное.	1 в воде (под водой); 2 на земле (на берегу); 3 на дороге; 4 под наклоном.	1 мелкого заложения; 2 глубокого заложения.	1 над мостом; 2 под мостом; 3 сбоку; 4 поперек; 5 на берегу; 6 через пролет.	1 вертикальное; 2 наклонное; 3 горизонтальное.
5. Материал	1 сталь; 2 бетон; 3 камень; 4 железобетон; 5 дерево; 6 пластик; 7 композиты (углепластик).	1 сталь; 2 бетон; 3 камень; 4 железобетон; 5 дерево; 6 пластик; 7 композиты (углепластик).	1 сталь; 2 бетон; 3 камень; 4 железобетон; 5 дерево; 6 пластик; 7 композиты (углепластик).	1 сталь; 2 бетон; 3 камень; 4 железобетон; 5 дерево; 6 пластик; 7 композиты (углепластик).	1 сталь; 2 железобетон; 3 дерево; 4 пластик; 5 композиты (углепластик).

Произведенный морфологический анализ позволяет составить новую классификацию арочных мостов, которая создает возможности для поиска новых эффективных решений в области мостостроения.

Морфоформула для арочного моста, рассматриваемого в данной работе, выглядит следующим образом:

- пролетное строение: 1.1 – 2.1 – 3.1 – 4.1 – 5.4;
- опоры: 1.1 – 2.3 – 4.3 – 5.4;
- фундамент: 1.1 – 2.1 – 4.1 – 5.1;
- арка: 1.1 – 2.3 – 3.1 – 4.6 – 5.1;
- подвески: 1.1 – 2.1 – 4.1 – 5.1.

4 Прогноз развития мостов по ТРИЗ и ФСА

4.1 Закон увеличения степени идеальности системы

Степень идеальности системы представляется выражением:

$$U = \frac{\sum \Phi_{\text{п}}}{\sum \Phi_{\text{з}}} \rightarrow \infty, \quad (3)$$

где $\sum \Phi_{\text{п}}$ – сумма полезных функций системы;

$\sum \Phi_{\text{з}}$ – затраты на создание системы и ее вредные функции (функции расплаты, нежелательные эффекты)

Идеальность системы «мост» можно повысить путем совмещения основной функции (переносить автотранспорт через препятствия) и некоторых дополнительных:

- мост-аттракцион (фонтан, горка, колесо обозрения, подводный аттракцион, аквапарк, аквариум/океанариум). Примером такого решения является мост «фонтан радуги» в Сеуле (рис. 10).

					АСИЗ-392-08.04.01-2018-962-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50



Рисунок 10 – Мост «фонтан радуги»

- гражданское здание-помещение (ресторан, ЗАГС, гостиница, диспетчерская движения по реке/дороге, магазин). Примером может служить мост-ресторан Айола в австрийском городе Граце (рис. 11).



Рисунок 11 – Мост ресторан Айола

- сооружение для города (теле- или радиобашня, пожарный резервуар);
- мост для автотранспорта и пешеходов, для автотранспорта и железнодорожного транспорта, для автотранспорта и животных, для водного транспорта и пешеходов. Одним из самых ярких примеров таких мостов является Магдебургский водный мост в Германии (рис. 12).

						АСИЗ-392-08.04.01-2018-962-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			51



Рисунок 14 – Мост Сэмюэла Беккета

4.2 Закон увеличения степени динамичности

В процессе развития технической системы происходит повышение ее динамичности и управляемости. Для системы «мост» возможны следующие пути повышения ее динамичности:

- разводные мосты, новый способ разведения – подтягивание пролетного строения к арке на вантах (ванты можно натягивать, формировать строительный подъем, изменять аэродинамическую форму в зависимости от ветровой нагрузки, изменять напряженное состояние самого пролетного строения);
- поворотные мосты;
- подъемные мосты;
- монтаж методом поворота;
- натяжение вант (подвесок) в процессе эксплуатации;

					АСИЗ-392-08.04.01-2018-962-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

- натяжение арматурных канатов в теле моста для компенсации потерь предварительного натяжения при эксплуатации.

4.3 Закон перехода на микроуровень

Развитие рабочих органов идет сначала на макро-, а затем на микроуровне. Для системы «мост» реализация этого закона возможна следующими путями:

- использование пустотных конструкций вместо сплошных;
- использование в качестве фундамента вместо свай закрепление грунтов инъекционным методом, с помощью бактерий СаО.

4.4 Закон перехода в надсистему

Исчерпав возможности развития, техническая система включается в надсистему в качестве одной из ее частей; при этом дальнейшее развитие идет на уровне надсистемы.

При переходе в надсистему исходная система сохраняется как часть в структуре системы более высокого ранга.

Для моста в качестве надсистемы выступают город и автострада.

Закон перехода в надсистему в данном случае можно реализовать следующими способами:

- использование энергии солнца, ветра, осадков, движущегося автотранспорта, течения воды для обеспечения энергоэффективной работы моста. Излишки такой энергии можно направлять в городскую сеть;

- использование моста в качестве информационного ресурса для города и автострады (информационные, рекламные растяжки, бегущая строка);

- конструкции моста (пролетное строение, устои) можно использовать для размещения на/в них различных городских служб (посты ГИБДД, МСЧ, скорой помощи) и гражданских помещений (кафе, мотели, магазины).

					АСИЗ-392-08.04.01-2018-962-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

- также возможно размещение пристаней (причалов), используемых как для туристических катеров, так и для оказания срочной помощи.

4.5 Закон согласования ритмики частей системы

Необходимым условием принципиальной жизнеспособности технической системы является согласование (или сознательное рассогласование) частоты колебаний или периодичности работы всех частей системы. Применение данного закона к системе «мост» можно осуществить путем использования шок-трансммиттеров – устройств, дополнительно защищающих конструкции моста от негативного сейсмического воздействия (рис. 15).



Рисунок 15 – Шок-трансммиттер

4.6 Анализ технических противоречий

1. Увеличение длины пролета повышает его функциональность, но при этом возрастает расход материала. По таблице выбора приемов устранения технических противоречий находим следующие приемы: 7. «Матрешка», 13. «Наоборот», 14. Сфероидальность, 15. Динамичность.

Решения:

- увеличение высоты пролетного строения;
- совмещение пролетного строения и акустических экранов;

					АСИЗ-392-08.04.01-2018-962-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

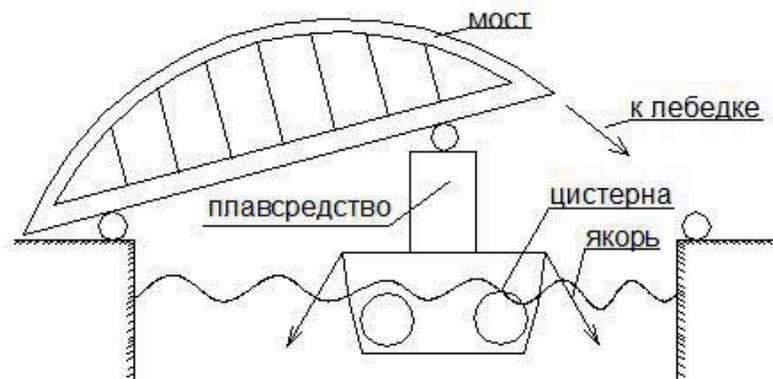
вантами.



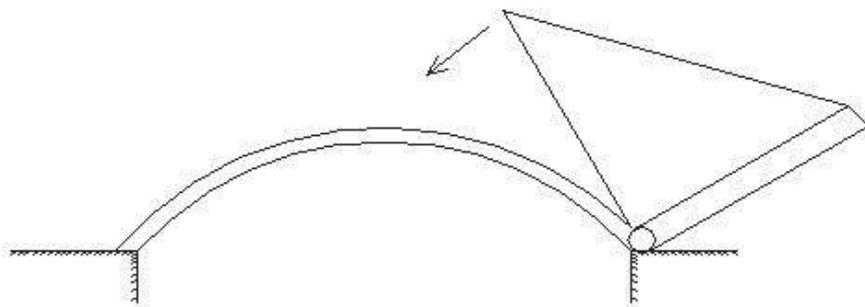
Способ натяжения вант разведением двух арок:

Этап 1 – сближенные арки;

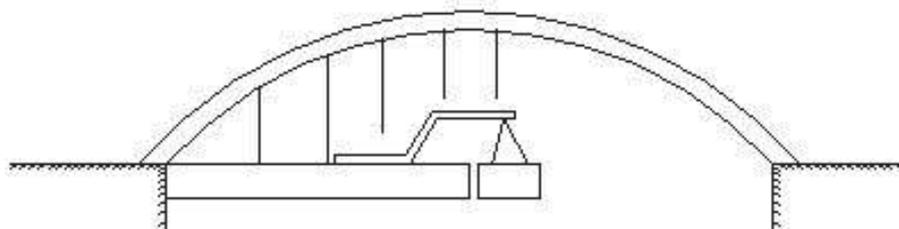
Этап 2 – разведенные арки.



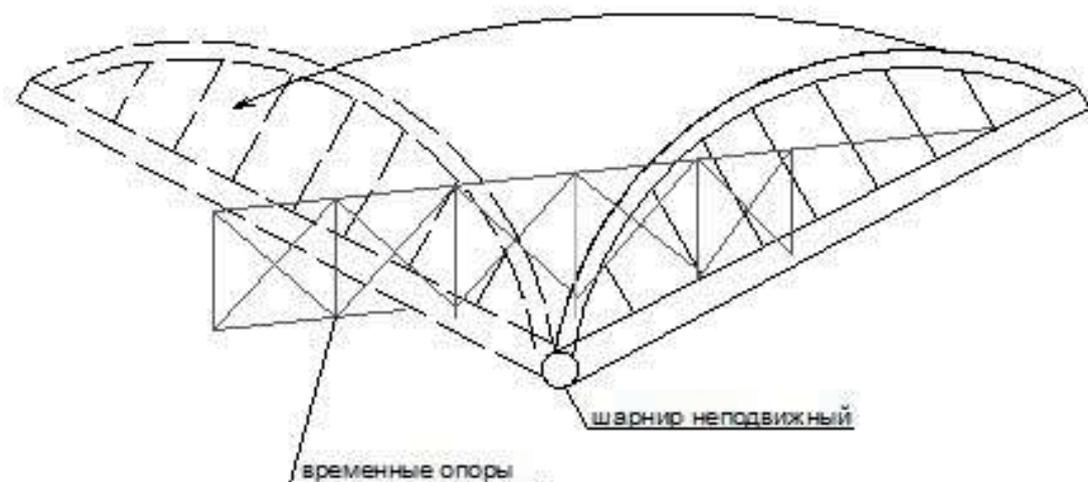
Надвижка с промежуточной опорой в виде плавсредства. Плавное опускание на вторую опору путем осадки плавсредства набором заборной воды в балластные цистерны.



Монтаж полупролета методом падающей стрелы.



Монтаж аналогично вантовому мосту (наращиванием с подвесом).



Строительство моста в стороне с последующим поворотом – надвижкой по временным опорам.

Если мост монтируется через реку, то второй конец моста погружаем на баржу и лебедками поворачиваем мост на угол 90° .

Такой способ применяют для безопасности процесса под мостом (ж/д транспорт).

6 Рекомендации для архитекторов и практики строительства

1. Устраивать систему водоотведения внутри пролетного строения, устанавливать фильтры;
2. Размещать фонари на конструкции арки или подвесок вместо установки стоек;
3. Изготавливать пролетное строение с конструктивными пустотами сразу с тротуарами и дорожной одеждой на нем;
4. Пролетное строение и ограждения делать монолитными;
5. Находить более эффективные конструктивные решения, используя разные сочетания типов элементов моста;
6. Повышать уровень динамизации работы системы;
7. Использовать энергию солнца, ветра, осадков, течения воды и движущегося автотранспорта с целью экономии энергии.

					АСИЗ-392-08.04.01-2018-962-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был произведен функционально стоимостной анализ системы «арочный мост». В результате данного анализа были выявлены нежелательные эффекты, связанные с взаимодействием элементов системы с элементами надсистемы, а также между самими элементами. Были разработаны методы удаления, либо ослабления действия нежелательных эффектов.

В ходе функционального анализа системы была определена главная ее функция – перемещать автотранспорт через препятствия. Также были выявлены основные функции элементов системы, дополнительные, нейтральные и вредные функции системы. Результатом произведенного стоимостного анализа стало сопоставление значимости элементов моста с их стоимостью.

Был произведен морфологический анализ системы, результатом его стала новая классификация арочных мостов. Также составлен прогноз развития мостов по ТРИЗ и ФСА. В ходе него рассмотрены законы развития технических систем по отношению к мостам, составлены несколько технических противоречий, предложены способы их решения.

В итоге, задачи работы выполнены, поставленная цель достигнута.

					<i>АСИЗ-392-08.04.01-2018-962-ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		61

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85*
2. СП 159.1325800.2014. Свод правил. Сталежелезобетонные пролетные строения автодорожных мостов. Правила расчета
3. СП 46.13330.2012 Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 3.06.04-91
4. СП 35.13330.2011 Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84
5. СП 79.13330.2012 Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний. Актуализированная редакция СНиП 3.06.07-86
6. СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*
7. ГОСТ Р 50597-93 Автомобильные дороги и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения
8. ГОСТ 20444-85 (1994) Шум. Транспортные потоки. Методы измерения шумовой характеристики
9. ГОСТ 21924.3-84 (с изм 1 1988) Плиты железобетонные для покрытий городских дорог. Арматурные и монтажно-стыковые изделия. Конструкция и размеры
10. ГОСТ 30401-95 Мосты автодорожные. Габариты приближения конструкций и оборудования
11. ГОСТ 33178-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Классификация мостов
12. ГОСТ Р 52766-2007. Дороги автомобильные общего пользования. Элементы обустройства. Общие требования

					АСИЗ-392-08.04.01-2018-962-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

13. Единые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы. Сборник Е4. Монтаж сборных и устройство монолитных железобетонных конструкций. Выпуск 3. Мосты и трубы

14. Единые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы. Сборник Е5. Монтаж металлических конструкций. Выпуск 3. Мосты и трубы

15. Единые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы. Сборник Е28. Монтаж подъемно-транспортного оборудования. Выпуск 3. Подвесные канатные дороги

16. Единые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы. Сборник Е17. Строительство автомобильных дорог

17. Единые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы. Сборник Е9. Сооружение систем теплоснабжения, водоснабжения, газоснабжения и канализации. Выпуск 2. Наружные сети и сооружения

18. Единые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы. Сборник Е32. Монтаж контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации

19. Единые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы. Сборник Е23. Электромонтажные работы. Выпуск 1. Электрическое освещение и проводки сильного тока

20. Единые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы. Сборник Е23. Электромонтажные работы. Выпуск 4. Кабельные линии электропередачи

21. СТО НОССТРОЙ 2.29.106-2013. Мостовые сооружения сборно-монолитных железобетонных пролетных строений мостов

22. Дмитриев, С. А. Методология инновационного проектирования: учеб. пособие / С. А. Дмитриев, О. А. Краев, В. А. Федоров; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2014. – 162 с.

					АСИЗ-392-08.04.01-2018-962-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

23. Бахтин С.А., Овчинников И.Г., Инамов Р.Р. Висячие и вантовые мосты. Проектирование, расчёт, особенности конструирования: Учеб. пособие.– Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 1999.–124 с.

24. Проектирование металлических мостов: Учебник / Под ред. А.А. Петропавловского. – М.: Транспорт, 1982 – 320 с.

25. Мосты и сооружения на дорогах: Учеб. для вузов: В 2-х ч. / Под ред. П.М. Саламахина. – М.: Транспорт, 1991

26. Гибшман М.Е., Попов В.И. Проектирование транспортных сооружений. – М.: Транспорт, 1988.–447 с.

27. Колоколов Н.М., Вейнблат Б.М. Строительство мостов: Учебник.– М.: Транспорт, 1984. – 504с.

28. Прохоров Ю.Ф., Лихолетов В.В. Основы функционально-стоимостного анализа систем: учеб. пособие – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2001. – 122 с.

29. Альтшуллер, Г.С. Творчество как точная наука / Г.С. Альтшуллер. – М.: Сов.радио, 1979. – 184 с.

30. Поиск новых идей: от озарения к технологии (теория и практика решения изобретательских задач) / Альтшуллер Г.С., Злотин Б.Л., Зусман А.В., Филатов В.И. – Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1989. – 381 с.

31. Мисаков В.С. Функционально-стоимостной анализ в строительстве. – М.: Финансы и статистика, 1986. – 144 с.

32. Справочник по функционально-стоимостному анализу / Под ред. М.Г. Карпунина, Б.И. Майданчика. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 431 с.

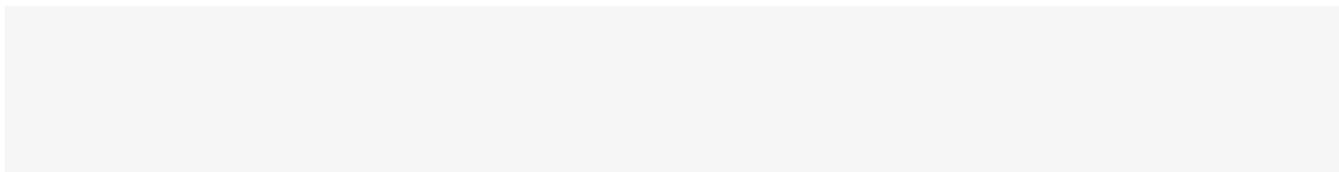
33. Шухов В.Г. (1853–1939). Искусство конструкции / Пер. с нем. – М.: Мир, 1995. – 192 с.

34. Байбурин, А.Х. Применение приемов ТРИЗ и ФСА в организационно-технологических решениях: учебное пособие для магистров / А.Х. Байбурин. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. – 144 с.

35. Байбурин А.Х., Кочарин Н.В. Функционально-стоимостной анализ строительных систем. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2016. – 83 с.

					АСИЗ-392-08.04.01-2018-962-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

36. Vadims Goremikins, Dmitrijs Serdjuks, Karina Buka-Vaivade, Leonids Pakrastins, Nikolai Vatin (Eds.). Prediction of behaviour of prestressed suspension bridge with timber deck panels. Institute of Structural Engineering and Reconstruction, Riga Technical University



					АСИЗ-392-08.04.01-2018-962-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65