

УДК 624.21

**Овчинников Игорь Георгиевич**  
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический  
университет имени Гагарина Ю.А.»  
Россия, Саратов  
Профессор кафедры «Транспортное строительство»  
E-mail: [bridgeart@mail.ru](mailto:bridgeart@mail.ru)

**Зарудний Андрей Игоревич**  
ООО "Институт "Проектмостореконструкция"  
Россия, Саратов  
Инженер I категории  
E-mail: [diamond@bridge-pmr.ru](mailto:diamond@bridge-pmr.ru)

## **ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТНОГО КОМПЬЮТЕРНОГО АНАЛИЗА МАЛОГО КОМБИНИРОВАННОГО МОСТА НА ДЕЙСТВИЕ СВЕРХНОРМАТИВНОЙ НАГРУЗКИ**

В связи с развитием промышленной отрасли появилась необходимость обеспечить провоз негабаритных сверхнормативных грузов по существующим искусственным сооружениям (мостам, путепроводам и т.д.), расположенным на автомобильных дорогах федерального и регионального значения.

Пропуск сверхнормативной нагрузки (свыше 100 тонн) по искусственным сооружениям возможен только с разрешения специализированной организации.

Для того, чтобы сделать вывод о достаточной грузоподъемности сооружения, вследствие значительного увеличения нагрузки на несущие элементы, необходимо проанализировать работу конструкций путем построения пространственной модели.

В работе представлена последовательность определения грузоподъемности пролетного строения малого комбинированного моста под действием сверхнормативной нагрузки.

В результате расчетов получены сведения о реальной грузоподъемности моста и сделан вывод о возможности пропуска сверхнормативной нагрузки.

**Ключевые слова:** мост, пролетное строение, сверхнормативная нагрузка, грузоподъемность, предельный момент.

**Ovchinnikov Igor Georgievich**  
Federal State Educational Institution of Higher Professional Education  
«Saratov state technical University named after Y. A. Gagarin»  
Russia, Saratov  
Professor of the Department «Transport Construction»  
E-mail: [bridgeart@mail.ru](mailto:bridgeart@mail.ru)

**Zarudny Andrey Igorevich**  
"Institute" Proektmostorekonstruktsiya "  
Russia, Saratov  
Engineer I category  
E-mail: [diamond@bridge-pmr.ru](mailto:diamond@bridge-pmr.ru)

### **Specialty of computer analysis of the small combined bridge on the effect of excess load**

In connection with the development of the industrial sector there is a need to provide transportation of oversized cargo on the existing engineering structures (bridges, overpasses, etc.), located on the roads of federal and regional significance.

Admission excess load (over 100 tons) on engineering structures is possible only with the permission of a specialized organization.

In order to conclude an adequate capacity of building, due to a significant increase in the load bearing elements, it is necessary to analyse the structures by building spatial models.

The paper presents a sequence of determining carrying capacity of small span combined bridge under the influence of excess load.

The result of the calculation obtained information about the actual load capacity of the bridge and the conclusion about the possibility of admission the excess load.

**Keywords:** bridge, span, excess load capacity, ultimate limit moment.

В настоящее время транспортная сеть России включает в себя тысячи километров автомобильных дорог, на которых расположено огромное количество искусственных сооружений (мостов, путепроводов, эстакад и т.д.).

Зачастую для нужд предприятий промышленного, нефтегазового и других комплексов требуется доставка тяжеловесных (сверхнормативных) грузов, которые порой значительно превышают фактическую грузоподъемность искусственных сооружений расположенных на маршруте провоза.

В этих случаях требуется составление специального проекта пропуска сверхнормативной нагрузки, выполненного специализированной организацией. Все это связано с обеспечением грузоподъемности сооружений, через которые проходит маршрут, а также возможностью их безопасного использования в дальнейшем. В необходимых случаях предусматривается проведение специальных мероприятий по усилению искусственных сооружений.

Срок эксплуатации капитальных искусственных сооружений очень велик и может достигать до 100 лет.

В процессе эксплуатации происходит физический и «моральный» износ сооружений. К физическому износу приводят такие факторы как временная подвижная нагрузка и внешняя агрессивная среда, которая вызывает коррозию арматуры, карбонизацию и выщелачивание бетона и т.д. К «моральному» износу можно отнести тот фактор, что требования норм проектирования с течением времени изменяются, возрастает класс подвижных временных нагрузок.

Поэтому при организации пропуска сверхнормативного груза по существующим искусственным сооружениям необходимо проверять грузоподъемность последних на соответствие требуемым нагрузкам.

Вопросы, связанные с рассматриваемой тематикой, также рассматривались ранее в следующих научных трудах [1,2,3,4,5,6,7].

Проведем анализ методики определения грузоподъемности искусственного сооружения на примере малого комбинированного моста реку Кошту, расположенного на Северном шоссе (ПК79) при выезде из Череповца в сторону Химического завода (рис. 1, 2).

Данный мост интересен своей конструкцией и методикой определения его грузоподъемности.

Пролетное строение малого моста представляет собой сборно-монолитное искусственное сооружение, выполненное из круглых сборных железобетонных труб. Русло реки перекрыто трубами в количестве 11 штук, восемь из которых имеют диаметр 1.2 м, а три имеют диаметр 1.42 м при толщине стенок 0.1 и 0.11 м соответственно. Трубы уложены на расстоянии 1.25...1.65 м. Каждая из труб состоит из пяти сборных заводских секций длиной 3...4 м, состыкованных по длине холодным швом в раструб. По своей конструкции мост можно назвать "трубным".

В конструкции малого комбинированного моста имеется монолитная плита, объединяющая трубы по верхней части.

Вопрос о включении при расчете плиты в общую работу конструкции неоднозначен. Объединение монолитной плиты с несущими элементами моста обычно осуществляется с помощью жестких или гибких упоров, которых, однако, на данном сооружении не обнаружено. Поэтому в расчете монолитная плита учтена как часть постоянной нагрузки, приложенной к трубам.



Поверх монолитной плиты, объединяющей трубы, засыпан доменный шлак, по которому уложена цементобетонная плита, по которой устраивается дорожная одежда. Цементобетонная плита и доменный шлак под ней выполняют роль распределительной "подушки", через которую действие постоянной и временной нагрузки передается на несущие элементы конструкции (на трубы), тем самым распределяя нагрузки по большей площади, вследствие чего уменьшается их влияние на трубы.

Грузоподъемность моста устанавливается для определения возможности разового пропуска по нему сверхнормативной тяжеловесной, крупногабаритной нагрузки в виде автопоезда полной массой 710.55 т (рис. 3), при контролируемом режиме движения.

Площадки распределения временной нагрузки от сверхнормативного груза с местами их перекрытия в продольном и поперечном направлениях представлены на рис. 4, 5.

Расчёт грузоподъемности мостового сооружения производится на основе пространственной модели, образованной из пластинчатых конечных элементов, с помощью программного комплекса программы Civil 2015 компании MIDAS Information Technology Co., Ltd, реализующего задачу анализа пространственных систем на базе метода конечных элементов.

Расчёт системы труб производился как плитной системы с кольцевыми отверстиями, расположенной на упругом основании. Несущая способность водопропускных труб по изгибающему моменту определялась для прямоугольного сечения железобетонной оболочки (класс бетона В22.5, рабочая арматура АШ  $\phi=8$ мм) для труб диаметром 1.2 м и 1.42 м расчётной шириной 1 м. Армирование и характеристики материалов железобетонных труб приняты по результатам измерений прочности бетона при обследовании и по аналогу ТП 3.820-7 «Трубы безнапорные круглые» вып. 2 (рис. 6, 7).

Несущие элементы малого моста (системы труб) уложены на существующий почвенный слой. Поэтому опирание железобетонных труб моделируется упругоподатливыми связями, с жесткостными характеристиками грунта основания, которые моделируют податливость основания.

Трехмерная модель трубной части пролетного строения (рис. 8) построена из плитных элементов, для которых результатом расчета являются, в том числе, изгибающие моменты (рис. 9), которые являются одним из определяющих факторов при определении грузоподъемности. Характеристики расчетной модели представлены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики расчетной модели

Общее количество узловых соединений в модели	22239
Количество плитных элементов (тип PLATE)	17112

GOLDHOFER 20 X 1.5 n1H18	GOLDHOFER 20 x 1.5 lines	TOTAL
Kon14ecTBo n1H18 (12 Konec)	Amount Axle Lines	20
Macca rpy3a	Cargo Weight	596.0 ton
Macca Tpeilnepa	Trailer Weight	114.55 ton
Macca Tnpa4a	Truck Weight	0.0 ton
BCEIO	TOTAL	710.55 ton
Harpy3Ka Ha n1H110 (12 Konec)	Load per line (12 wheels)	23.685 x 1.5 ton
OGL ee Kon14ecTBo Konec	Total wheel quantity	240
Harpy3Ka Ha Konec	Load per wheel	2.961 ton

Транспортная схема №4

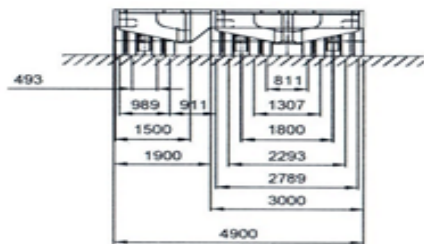
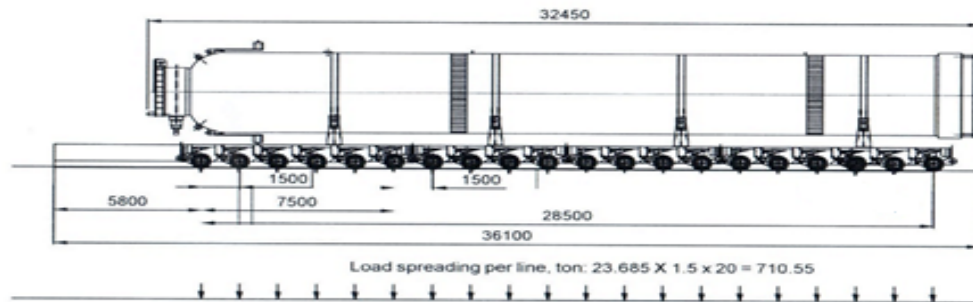
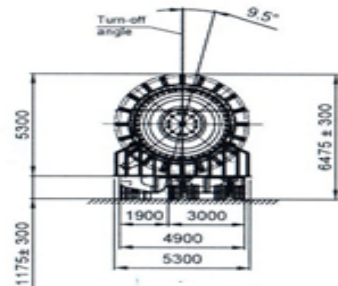
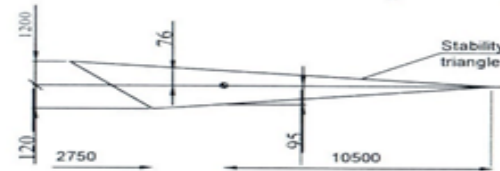


Рис. 3. Схема автопоезда

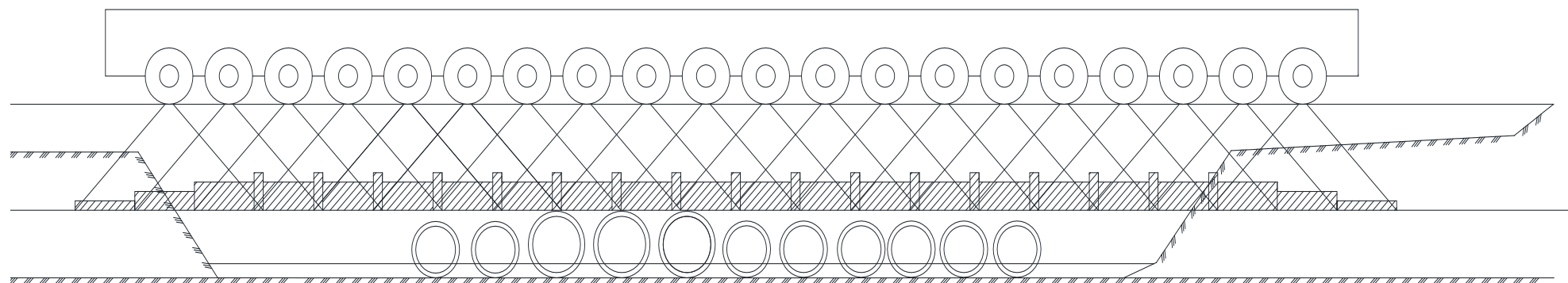


Рис. 4. Продольная схема установки нагрузки

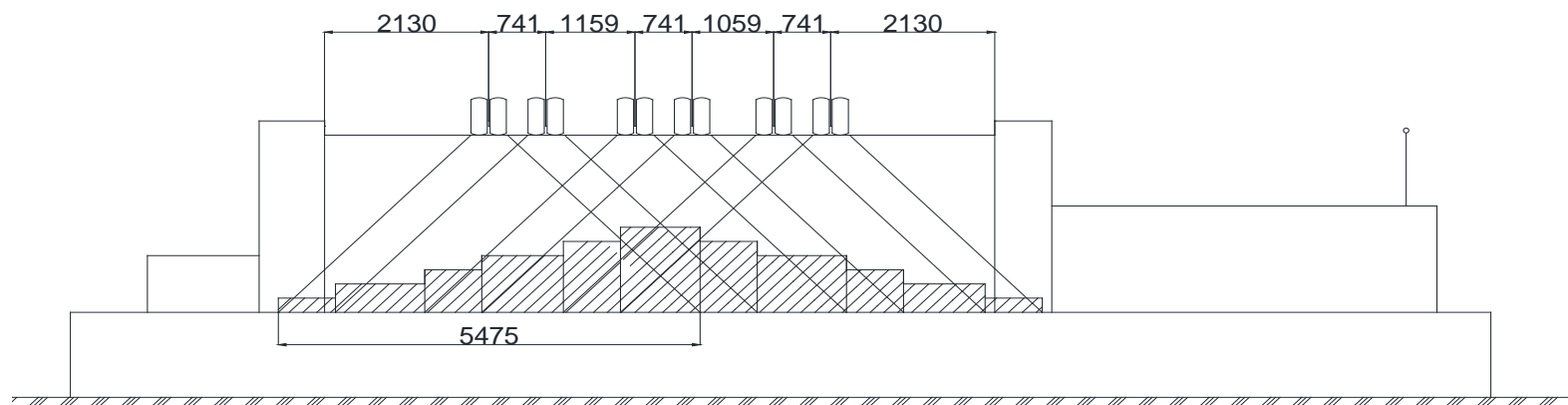


Рис. 5. Поперечная схема установки нагрузки

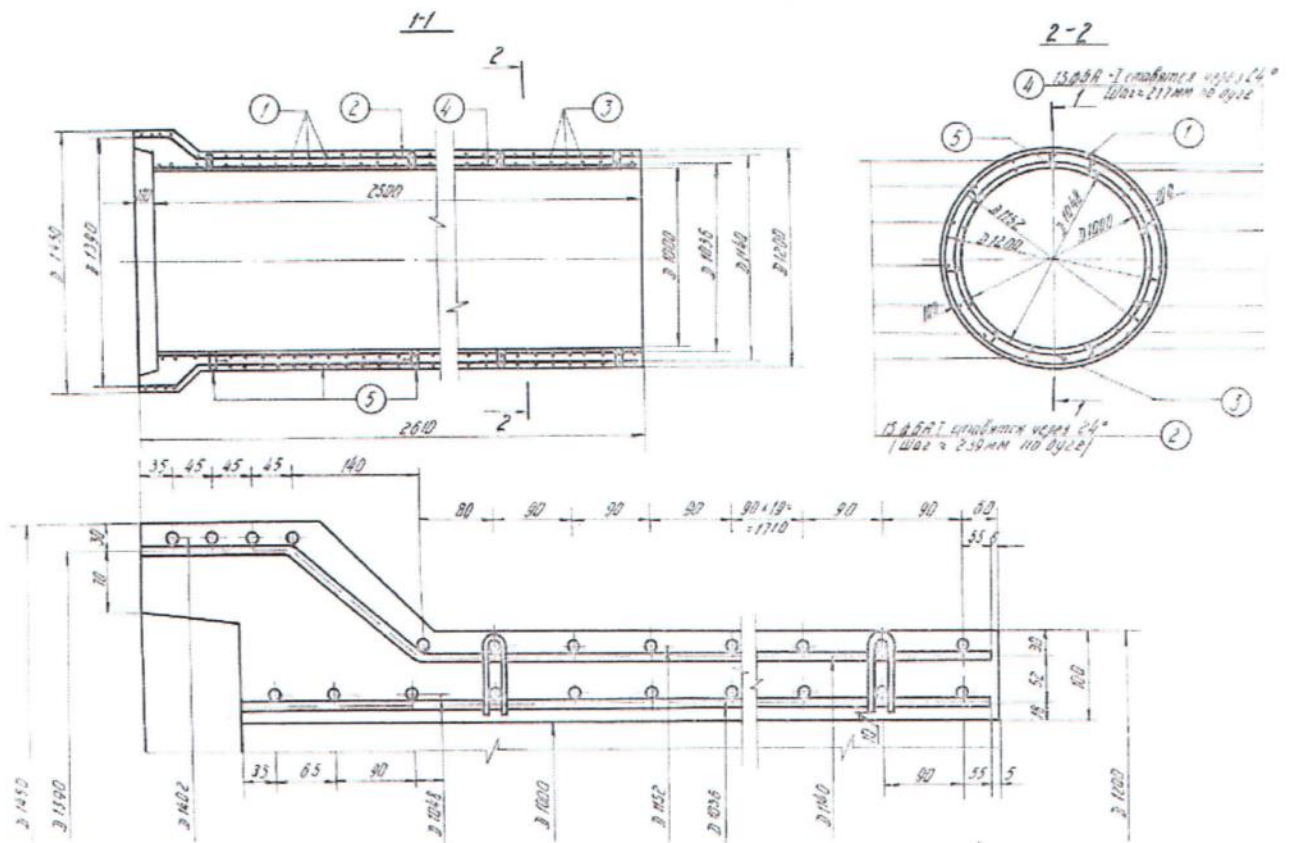


Рис. 6. Армирование трубы диаметром 1.2 м.

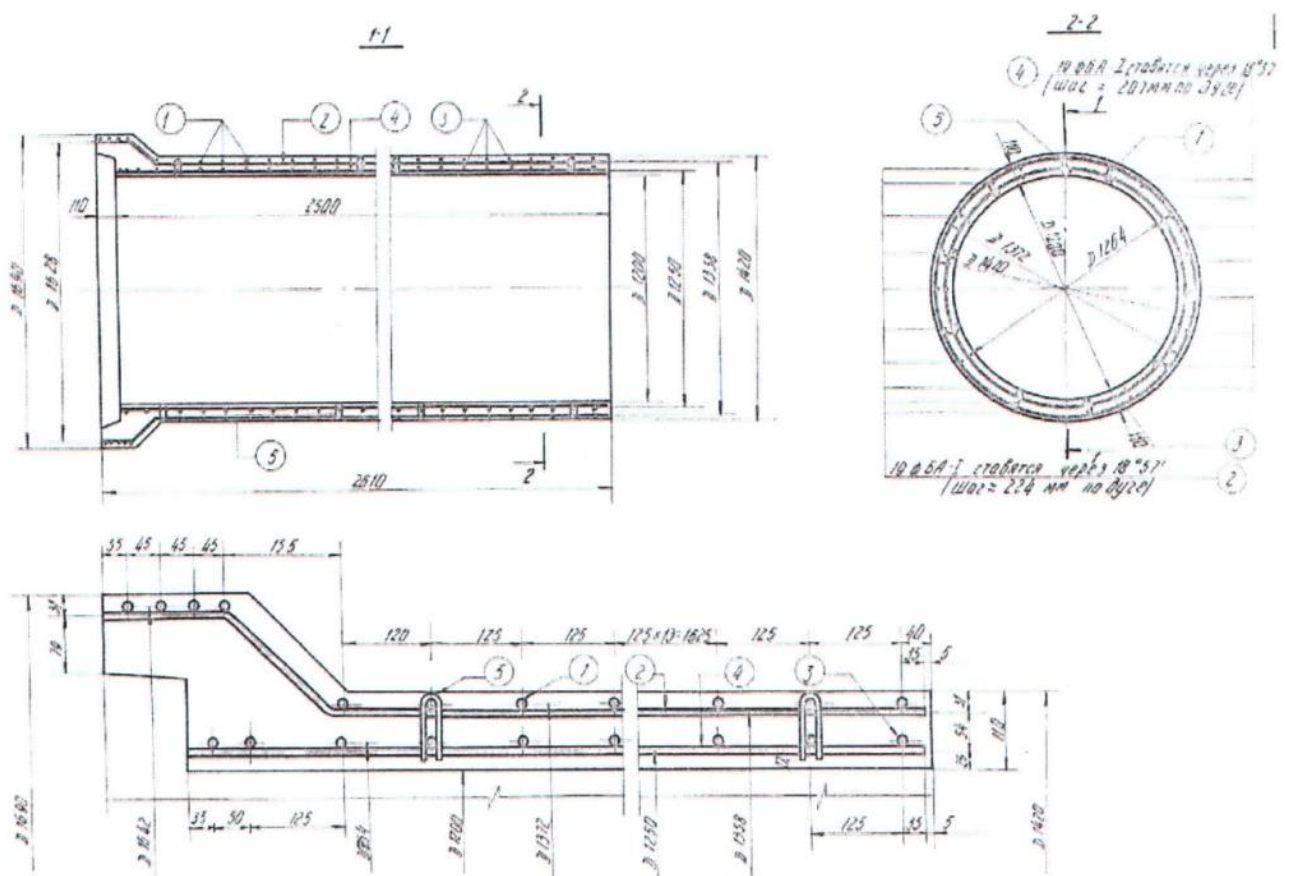


Рис. 7. Армирование трубы диаметром 1.42 м.



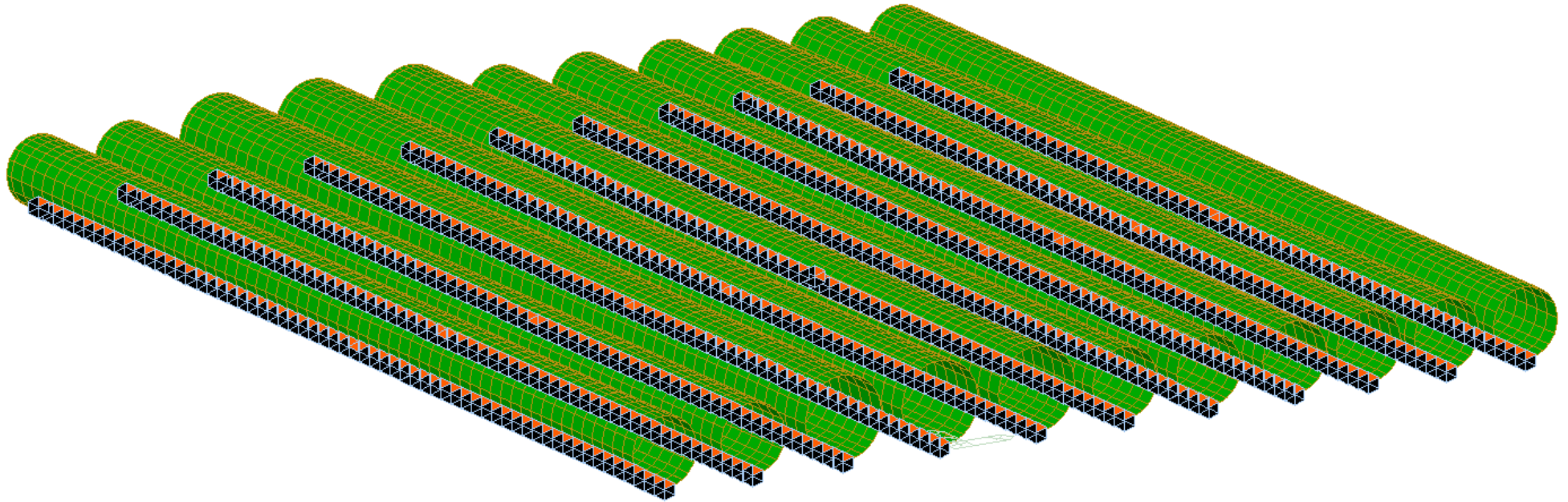


Рис. 8. Модель трубной части пролетного строения малого комбинированного моста.

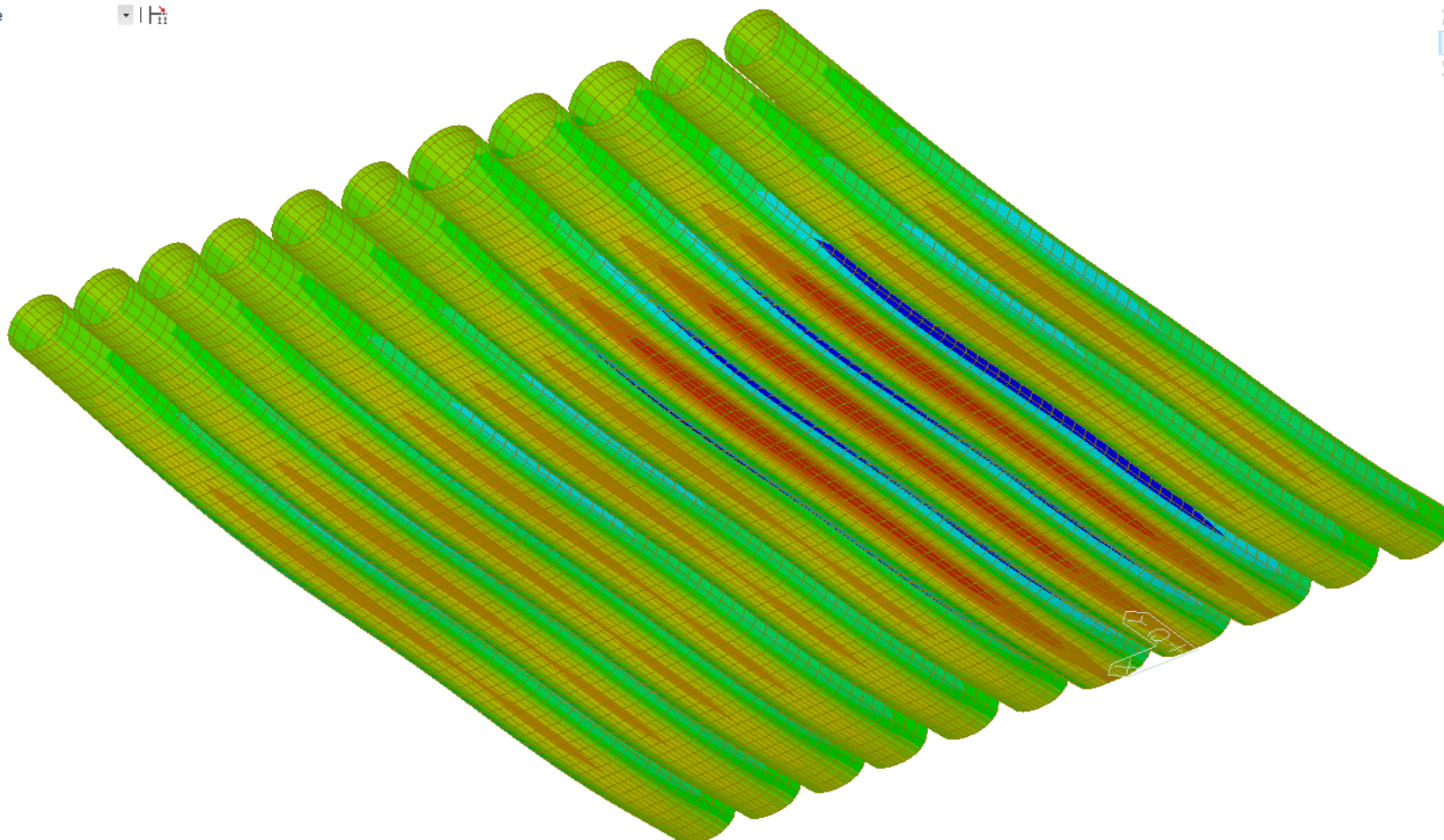
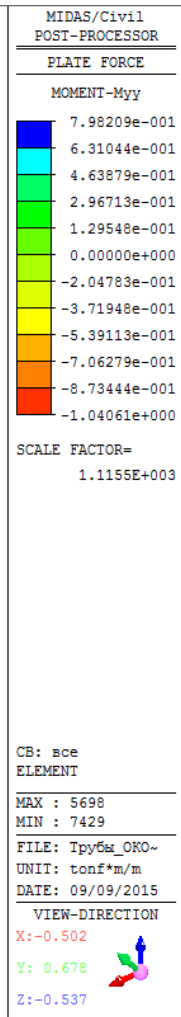
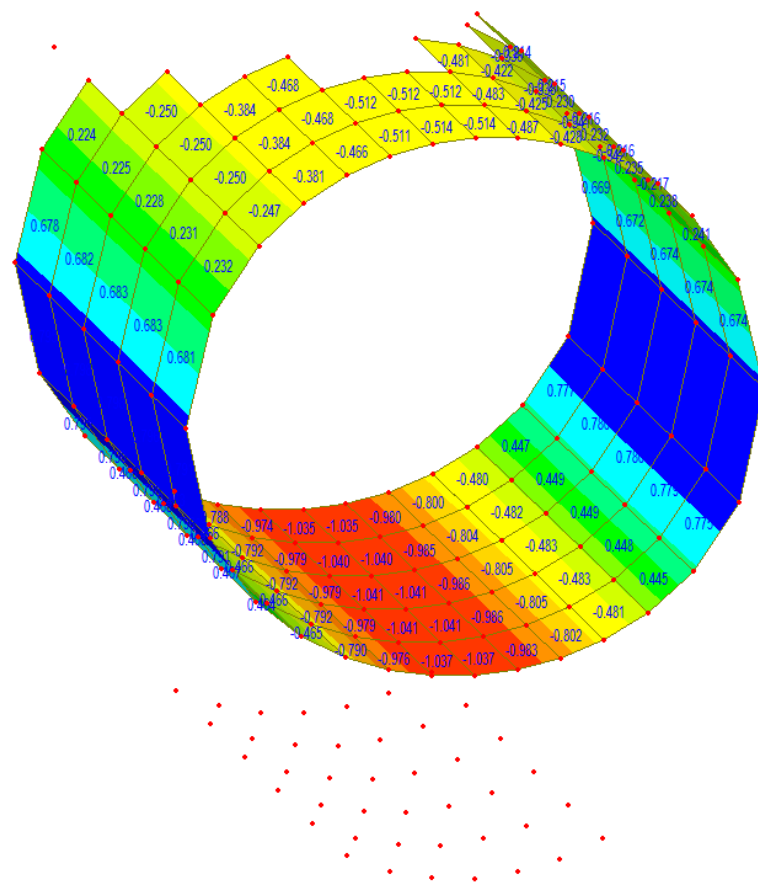


Рис. 9. Пространственная модель пролетного строения при загрузении его расчетными постоянными и временными нагрузками. Эпюра распределения изгибающего момента

Base

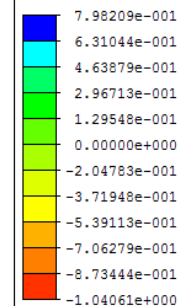
||



MIDAS/Civil  
POST-PROCESSOR

PLATE FORCE

MOMENT-Myy



SCALE FACTOR=  
9.0736E+001

CB: scc  
ELEMENT

MAX : 1826  
MIN : 1769

FILE: Трубы\_ОКО-  
UNIT: tonf\*m/m  
DATE: 09/09/2015

VIEW-DIRECTION

X: -0.250

Y: -0.933

Z: 0.259



Рис. 10. Мозаика распределения изгибающего момента на максимально нагруженном участке трубы диаметром 1.42 м от действия расчетных постоянной и временной нагрузок (максимальное усилие – 1.04 тм).

Результатом расчета являются расчетные моменты в наиболее нагруженных элементах конструкции моста, которые приведены в таблице 2.

Сравнивая полученные расчетные значения изгибающих моментов с предельными (взятыми с ТП 3.820-7 «Трубы безнапорные круглые» вып. 2) можно сделать вывод о достаточной или недостаточной грузоподъемности данного моста.

Таблица 2

№	Вид нагрузки	Максимальный расчетный изгибающий момент в трубе диаметром 1.2 м, т*м	Максимальный расчетный изгибающий момент в трубе диаметром 1.42 м, т*м
1	Постоянная нагрузка	0.885	0.569
2	Временная нагрузка	0.434	0.294
3	Суммарная нагрузка	1.041	0.678
Максимальный изгибающий момент по типовому проекту, т*м		1.3	1.7
Запас, %		19.92	60.12

Анализируя полученные данные, видно, что процент запаса равный 19.92% по изгибающему моменту позволяет говорить о достаточном запасе грузоподъемности моста при пропуске данной сверхнормативной нагрузки.

Цементобетонную плиту, входящую в конструкцию малого комбинированного моста, также необходимо проверить на её соответствие данной нагрузке.

Цементобетонная плита подобно железобетонным трубам опирается на упругое основание в виде слоя доменного шлака, поэтому граничные условия закрепления плиты при расчете приняты по выше описанной методике.

Ввиду небольшой высоты слоя распределяющего нагрузку на цементобетонную плиту (толщина дорожной одежды равна 30 см), для упрощения расчета нагрузку от сверхнормативного груза приложим к плите в виде точечной силы под каждую пару колес автопоезда (рис. 12).

Трехмерная модель цементобетонной плиты построена из плитных элементов, для которых результатом расчета являются, в том числе, напряжения в бетоне при растяжении (рис. 13), которые являются одним из определяющих факторов при определении грузоподъемности. Характеристики расчетной модели представлены в таблице 3.

Таблица 3. Характеристики расчетной модели

Общее количество узловых соединений в модели	7020
Количество плитных элементов (тип PLATE)	3364

Расчетная модель цементобетонной плиты представляет собой пластину на упругом основании (рис. 11). Толщина принята по результатам обследования и равна 0.5 м. Материал плиты – бетон класса В30. Грузоподъемность плиты проверялась по величине эквивалентных напряжений, возникающих в ней от сверхнормативной нагрузки. Максимальные растягивающие допускаемые напряжения в плите приняты согласно СП 35.13330 “Актуализированная редакция СНиП 02.05.03-84\* “Мосты и трубы” [8] и составляют  $11.21 \text{ кг/см}^2$ .

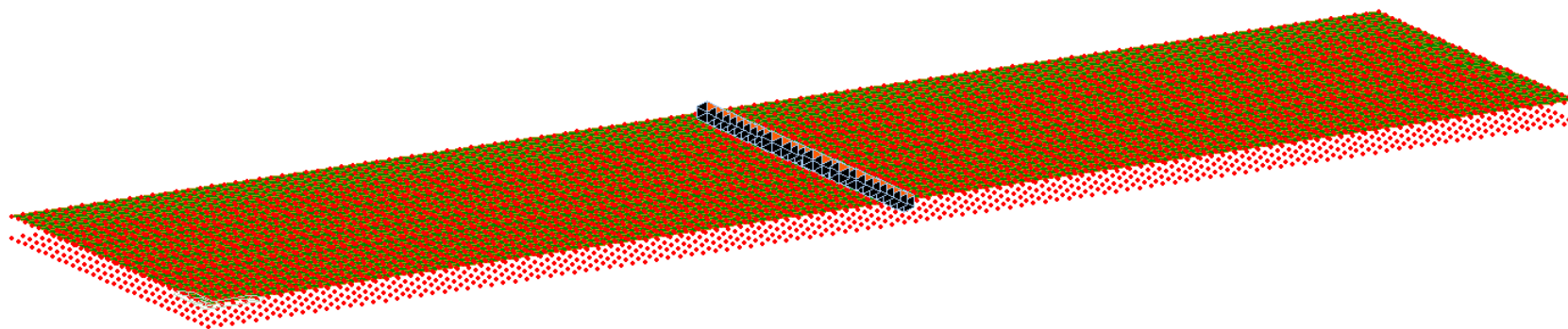


Рис. 11. Модель цементобетонной плиты малого комбинированного моста.

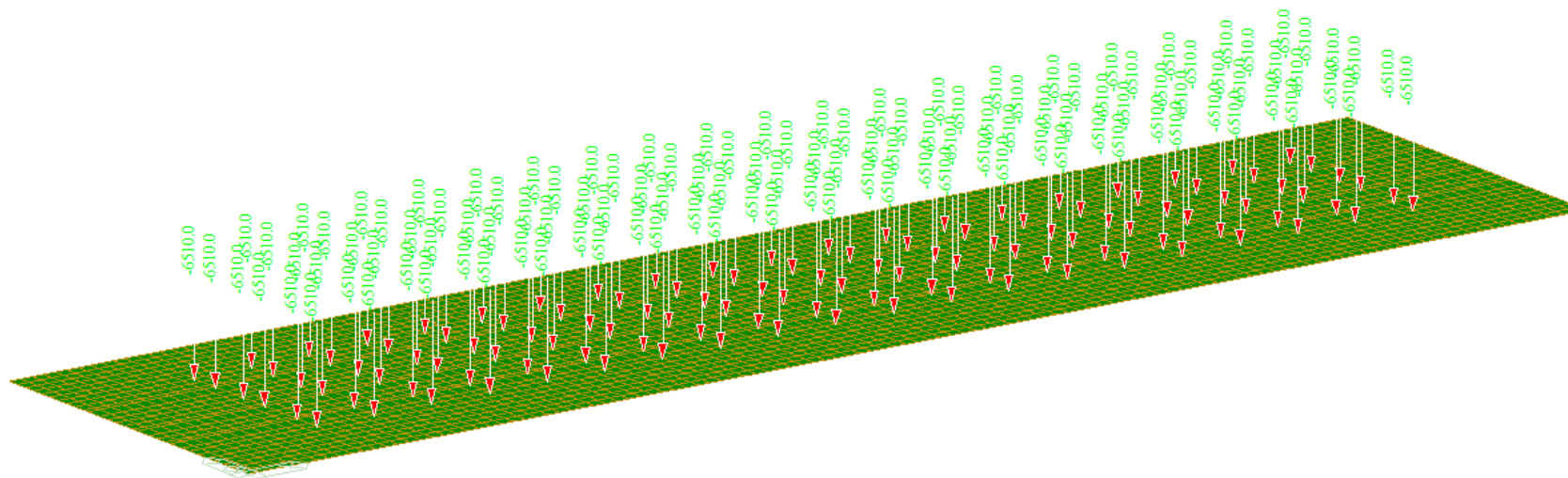
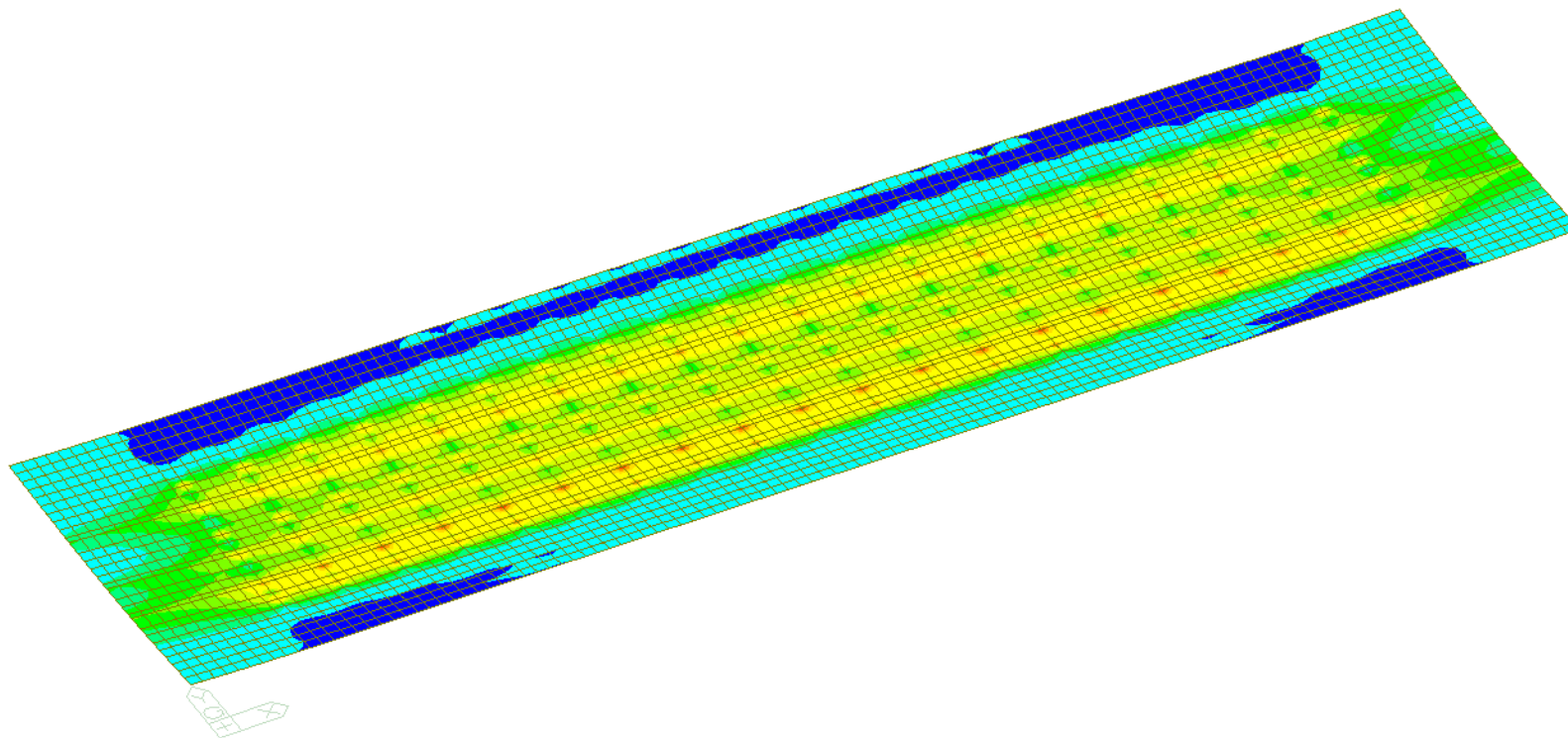


Рис. 12. Схема приложения нагрузки к цементобетонной плите.

Base



MIDAS/Civil  
POST-PROCESSOR

---

PLN STS/PLI STRS

---

SIG-YY TOP

3.25804e-001
0.00000e+000
-1.32398e+000
-2.14887e+000
-2.97377e+000
-3.79866e+000
-4.62355e+000
-5.44845e+000
-6.27334e+000
-7.09823e+000
-7.92313e+000
-8.74802e+000

SCALE FACTOR=  
1.0215E+003

---

CB: sce  
Avg Nodal

---

MAX : 2916  
MIN : 984

---

FILE: Плита\_ОКО-  
UNIT: kgf/cm<sup>2</sup>  
DATE: 09/10/2015

---

VIEW-DIRECTION

X: -0.359  
Y: -0.689  
Z: 0.629

Рис. 13. Пространственная модель плиты при загрузении её расчетными постоянной и временной нагрузками (максимальное напряжение при растяжении – 8.75 кг/см<sup>2</sup>).

Результатом расчета являются расчетные максимальные напряжения в наиболее нагруженных элементах конструкции моста, которые приведены в таблице 4.

Таблица 4

№	Вид нагрузки	Максимальное напряжение, кг/см <sup>2</sup>
1	Постоянная нагрузка	1.17
2	Временная нагрузка	7.71
3	Суммарная нагрузка	8.75
Допускаемое напряжение, кг/см <sup>2</sup>		11.21
Запас, %		21.96

Видно, что процент запаса, равный 21.96% по напряжениям в бетоне при растяжении позволяет говорить о достаточной грузоподъемности моста при данной сверхнормативной нагрузке.

На основании выполненных расчетов основных несущих элементов конструкции малого комбинированного моста через реку Кошту на Северном шоссе в городе Череповце Вологодской области определена возможность разового пропуска по сооружению тяжеловесной, крупногабаритной нагрузки в виде автопоезда полной массой 710.55 т.

Определение грузоподъемности искусственного сооружения при пропуске по нему тяжеловесной временной вертикальной подвижной нагрузки определенного вида (например, автомобиля или равномерно распределенной нагрузки с тележкой), является необходимым условием для обеспечения безопасности эксплуатации сооружения.

### Список литературы

1. “Старые мостовые нормы и технические указания по проектированию и строительству мостовых сооружений”. И.Г. Овчинников, И.И. Овчинников. Учебное пособие. Саратов: СГТУ, 2004. 88 с.
2. “Нормы проектирования мостовых сооружений. История развития”. П.П. Ефимов, А.А. Пискунов, И.И. Овчинников. Учеб. пособие. – Казань: КазГАСА, 2004. 84 с.
3. “Транспортные сооружения (автомобильные дороги, мосты, тоннели, водопропускные трубы)” И.И. Овчинников, Р.Б. Гарибов. Учебное пособие. М.: Полиграф-К. 2007. 88 с.
4. “Накопление повреждений в стержневых и пластинчатых армированных конструкциях, взаимодействующих с агрессивными средами”. Г.А. Наумова. Монография. – Волгор. гос. архит.-строит. ун-т. Волгоград: Изд – во ВолгГАСУ. 2007 г. 272 с.



5. “Конечно-элементное моделирование напряженно-деформированного состояния и поврежденности трубчатых элементов конструкций, подвергающихся высокотемпературной водородной коррозии”. С.А. Бубнов, А.А. Бубнов. Монография. М.: Горячая линия - Телеком, 2014. 156 с.

6. “Определение грузоподъемности мостовых сооружений на автомобильных дорогах. Общие положения по определению грузоподъемности мостовых сооружений”. А.Н. Маринин, Ш.Н. Валиев, Г.Н. Овчинникова, С.В. Жаденова. Методические указания по курсу «Диагностика и реконструкция мостов и тоннелей». СФ МГАДТУ. Саратов: Изд-во «Кубик», 2011. 12 с.

7. “Определение грузоподъемности мостовых сооружений на автомобильных дорогах. Определение грузоподъемности железобетонных пролетных строений”. А.Н. Маринин, Ш.Н. Валиев, Г.Н. Овчинникова, С.В. Жаденова. Методические указания по курсу «Диагностика и реконструкция мостов и тоннелей». СФ МГАДТУ. Саратов: Изд-во «Кубик», 2011. 20 с.

8. СП 35.13330.2011 «СНиП 2.05.03-84\* «Мосты и трубы». Актуализированная редакция». Москва: ОАО «ЦПП», 2011. 341 с.

9. ВСН 32-89 «Инструкция по определению грузоподъемности железобетонных балочных пролетных строений эксплуатируемых автодорожных мостов». Москва: ОАО «ЦПП», 2000. 167 с.

10. ОДН 218. 0. 032-2003 «Временное руководство по определению грузоподъемности мостовых сооружений на автомобильных дорогах». Москва: ОАО «ЦПП», 2003. 120 с.

11. Типовой проект ТП 3.820-7 «Трубы безнапорные круглые» вып. 2. Москва, 1975. 84 с.