



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
РОСАВТОДОР

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ
ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ
НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ ОБЩЕГО
ПОЛЬЗОВАНИЯ. ОБЩАЯ ЧАСТЬ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
(РОСАВТОДОР)**

Москва 2019

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Сибирский государственный университет путей сообщения» (СГУПС).

2 ВНЕСЕН Управлением строительства и эксплуатации автомобильных дорог Федерального дорожного агентства.

3 ИЗДАН на основании распоряжения Федерального дорожного агентства от 09.11.2016 № 2322-р.

4 ИМЕЕТ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ ХАРАКТЕР.

5 ВВЕДЕН ВЗАМЕН ОДН 218.0.032–2003.

Содержание

1 Область применения	1
2 Нормативные ссылки	2
3 Термины и определения	2
4 Принципы оценки грузоподъемности методом классификации	5
4.1 Основные понятия грузоподъемности	5
4.2 Способы определения грузоподъемности	12
4.3 Регулирование движения транспортных средств по мостовому сооружению по условию грузоподъемности	15
5 Назначение учитываемых в расчетах нагрузок и их сочетаний, системы расчетных коэффициентов	15
5.1 Постоянные и прочие нагрузки	15
5.2 Пешеходная нагрузка	18
5.3 Временные нагрузки	19
5.4 Сочетание нагрузок	22
6 Прочие рекомендации	23
Приложение А Краткие сведения по нормативным документам проектирования автодорожных мостов	24
Приложение Б Плотность (объемный вес) конструкционных материалов	37
Приложение В Рекомендации по составлению конечно-элементных расчетных моделей для получения линий и поверхностей влияния усилий	39
Приложение Г Рекомендации по учету последовательности монтажа, усилий от осадок опор, регулирования усилий, изменения температуры	48
Приложение Д Рекомендации по определению расчетных длин внецентренно сжатых стержней	49
Приложение Е Соотношение физических величин в системах СГС и СИ, используемых в данном методическом документе	51
Библиография	52

ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ**Методические рекомендации
по определению грузоподъемности эксплуатируемых
мостовых сооружений на автомобильных дорогах
общего пользования. Общая часть****1 Область применения**

1.1 Настоящий отраслевой дорожный методический документ (далее – методический документ) является актом рекомендательного характера в дорожном хозяйстве [1], содержащий методику определения грузоподъемности мостовых сооружений с учетом технического состояния элементов их конструкций.

1.2 Данный методический документ рекомендуется для применения при расчетах грузоподъемности мостовых сооружений, эксплуатируемых на федеральных автомобильных дорогах Российской Федерации. Для мостовых сооружений, расположенных на дорогах иной подчиненности, этот документ может использоваться по решению соответствующих органов управления.

1.3 Положения настоящего методического документа предназначены для проектных и специализированных организаций при выполнении ими работ по диагностике, обследованию, испытаниям и оценке технического состояния мостовых сооружений, а также для мостовых подразделений органов управления автомобильными дорогами при организации и приемке обследовательских работ.

1.4 Определение грузоподъемности мостовых конструкций сложных статических систем, требующих использования специальных методов расчета, осуществляют по отдельно разрабатываемым методикам с соблюдением общих принципов, указанных в данном методическом документе. К таким конструкциям относятся, в частности, висячие и вантовые пролетные строения. По отдельно разрабатываемым методикам следует определять грузоподъемность усиленных на стадии эксплуатации элементов мостовых сооружений, опор по устойчивости против опрокидывания и сдвигу по грунту основания, а также конструкций, выполненных с применением материалов, не рассмотренных в настоящем методическом документе.

1.5 При определении грузоподъемности допускается использование иных от приведенных в данном методическом документе алгоритмов и программных обеспечений. Обоснованность применения таких алгоритмов и программ должна быть подтверждена либо сертификатом их соответствия действующим нормам проектирования мостовых

сооружений, выданным уполномоченным органом, либо предыдущим успешным опытом использования при разработке проектов мостовых сооружений, прошедших государственную техническую экспертизу.

1.6 Настоящий методический документ является общей частью следующих документов:

ОДМ 218.4.026–2016 Методические рекомендации по определению грузоподъемности эксплуатируемых мостовых сооружений на автомобильных дорогах общего пользования. Бетонные и железобетонные конструкции

ОДМ 218.4.027–2016 Методические рекомендации по определению грузоподъемности эксплуатируемых мостовых сооружений на автомобильных дорогах общего пользования. Металлические и сталежелезобетонные конструкции

ОДМ 218.4.028–2016 Методические рекомендации по определению грузоподъемности эксплуатируемых мостовых сооружений на автомобильных дорогах общего пользования. Опорные части, опоры и фундаменты

ОДМ 218.4.029–2016 Методические рекомендации по определению грузоподъемности эксплуатируемых мостовых сооружений на автомобильных дорогах общего пользования. Определение грузоподъемности конструкций деревянных мостов.

2 Нормативные ссылки

В настоящем методическом документе использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 27751–2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения

ГОСТ Р 52289–2004 Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств

ГОСТ Р 52290–2004 Технические средства организации дорожного движения. Знаки дорожные. Общие технические требования

СП 35.13330.2011 Мосты и трубы (актуализированная редакция СНиП 2.05.03–84*)

3 Термины и определения

В настоящем методическом документе применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 временная вертикальная нагрузка: Произвольное транспортное средство (средства), расположенное в пределах ездового полотна мостового сооружения.

3.2 воздействие от нагрузки: Усилия, напряжения, деформации, перемещения в конструкции (элементе конструкции), возникающие от действия внешних нагрузок (постоянных, временных, температурных и пр.).

3.3 грузоподъемность: Характеристика (показатель) технического состояния мостового сооружения, соответствующая максимальному воздействию временной вертикальной нагрузки, при котором не наступает предельное состояние первой группы ни в одной из основных несущих конструкций сооружения.

Примечание – Грузоподъемность сооружения в целом определяется грузоподъемностью наиболее слабой из основных несущих конструкций.

3.4 дефект в мостовом сооружении (дефект): Каждое отдельное несоответствие в мостовом сооружении установленным требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

3.5 допустимый класс нагрузки: Мера экстремально допустимого воздействия временной вертикальной нагрузки определенной структуры, которое не вызывает наступление предельного состояния первой группы в несущих конструкциях при нормальной эксплуатации сооружения.

Примечания

1 Для эталонных нагрузок по схемам АК и НК допустимые классы нагрузки выражаются безразмерными величинами K_{AK} и $K_{НК}$ как отношение величины экстремального воздействия от эталонной нагрузки к воздействию от аналогичной единичной эталонной нагрузки класса $K = 1$.

2 Для нагрузок от колонн автомобилей допустимый класс нагрузки соответствует допустимой массе отдельного автомобиля из состава колонны.

3.6 класс грузоподъемности: Мера грузоподъемности сооружения (конструкции, элемента конструкции), выраженная значением допустимого класса или массы рассматриваемой временной вертикальной нагрузки.

3.7 конструкция: Часть мостового сооружения, состоящая из конструктивно объединенных элементов, выполняющая определенные функции (несущие, ограждающие, защитные и (или) другие).

Примечания

1 В мостовом сооружении конструкции делят на основные, обеспечивающие его главные функциональные свойства, и неосновные (вспомогательные), обеспечивающие, например, защиту и безопасность только в экстремальных ситуациях, удобство содержания в период эксплуатации и другие вспомогательные функциональные свойства.

2 Из множества основных конструкций выделяют несущие конструкции, ключевой функцией которых является восприятие воздействий от постоянных и временных нагрузок.

3.8 контролируемый режим движения: Режим движения, при котором пропуск транспортных средств по сооружению осуществляется по специальному разрешению в сопровождении представителей службы эксплуатации и (или) ГИБДД и, как правило, в одиночном порядке.

3.9 мостовое сооружение: Искусственное сооружение, состоящее из одного или нескольких пролетных строений и опор, предназначенное для пропуска различных видов транспортных средств, водотоков, селей, коммуникаций различного назначения, а также пешеходов и скота, порознь или в различных комбинациях над естественными или искусственными препятствиями.

Примечание – К искусственным препятствиям относятся искусственные водоемы, водные каналы, автомобильные и железные дороги, другие инженерные сооружения, а также территории предприятий, городские территории, через которые проходит автомобильная дорога.

3.10 неконтролируемый режим движения: Режим движения, при котором регулирование пропуска транспортных средств осуществляется техническими средствами организации дорожного движения.

3.11 основная несущая конструкция: Конструкция сооружения, предназначенная для восприятия воздействий от постоянных и временных нагрузок, наступление предельного состояния первой группы (ГОСТ 27751–2014) в которой приводит к утрате работоспособного состояния (жесткости и устойчивости) сооружения в целом.

3.12 опора моста: Несущая конструкция мостового сооружения, поддерживающая пролетные строения и передающая нагрузки от них на основание.

3.13 опорная часть: Несущая конструкция мостового сооружения, передающая нагрузку от пролетного строения на опоры и обеспечивающая угловые и линейные либо только угловые перемещения пролетного строения.

3.14 основание опоры: Массив грунта, в котором размещены строительные конструкции фундамента опоры.

3.15 пролетное строение: Несущая конструкция мостового сооружения, перекрывающая все пространство или часть его между двумя или несколькими опорами, воспринимающая нагрузку от элементов мостового полотна, транспортных средств и пешеходов и передающая ее на опоры или поддерживающие конструкции.

3.16 сталежелезобетонная конструкция: Единая несущая конструкция со стальными и железобетонными элементами, совместно воспринимающими воздействия от нагрузки.

Примечание – Применительно к сталежелезобетонным пролетным строениям автодорожных мостов конструктивным железобетонным элементом

является железобетонная плита проезжей части, объединенная с металлическими несущими элементами главных балок (ферм).

3.17 условная несущая способность: Величина максимального воздействия на элемент от временных проектных нагрузок, определяемая в соответствии с указаниями тех норм проектирования, по которым конструкция была запроектирована.

3.18 ширина проезда: Расстояние в свету между ограждениями безопасности ездового полотна мостового сооружения.

3.19 элемент конструкции: Составная часть сложного технического объекта, рассматриваемая как единое целое, не подлежащая дальнейшему разукрупнению, имеющая самостоятельные характеристики, используемые при расчетах, и выполняющая определенную частную функцию в интересах сложного объекта, который по отношению к элементу представляет собой систему.

Примечание – Элементами могут быть балка, плита, диафрагма, ригель и т. д.

3.20 эталонные автомобильные нагрузки: Временные вертикальные нагрузки заданной структуры.

4 Принципы оценки грузоподъемности методом классификации

4.1 Основные понятия грузоподъемности

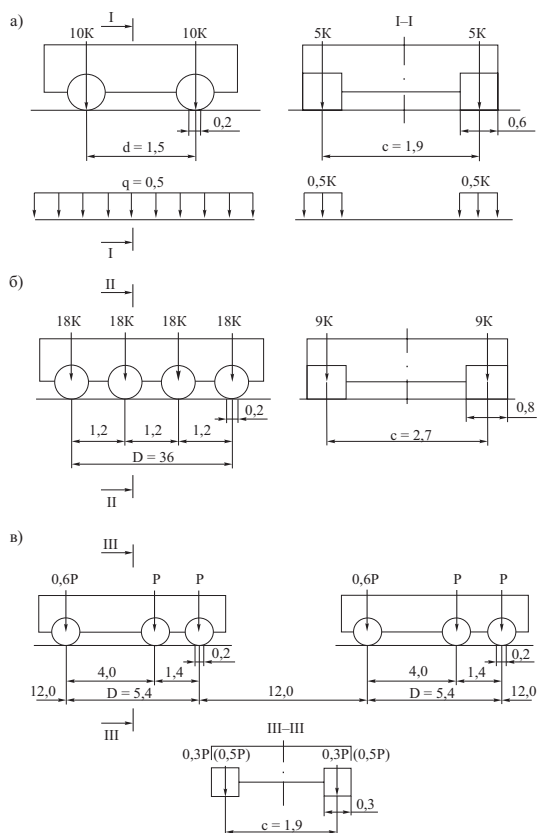
4.1.1 Расчет грузоподъемности как одной из характеристик технического состояния сооружения [2] выполняют для эксплуатируемых и вновь построенных мостов в соответствии с приведенными в настоящем методическом документе правилами определения воздействий от загрузки конструкций постоянной и временными эталонными нагрузками независимо от соответствующих положений действующих норм проектирования. При этом грузоподъемность устанавливают:

- для неконтролируемого режима движения транспортных средств – по допустимому классу эталонной нагрузки АК и допустимой общей массе эталонного трехосного транспортного средства (грузового автомобиля) ЭН₃;
- контролируемого режима движения транспортных средств – по допустимому классу одиночной эталонной нагрузки НК.

Для оценки возможности и условий пропуска по сооружению конкретного обращающегося транспортного средства грузоподъемность может быть найдена и выражена в допустимой общей массе этого транспортного средства.

4.1.2 Грузоподъемность сооружения определяется несущей способностью его основных несущих конструкций (элементов конструкций). Расчет несущей способности элементов мостового сооружения следует производить с учетом их фактических геометрических размеров, прочностных и деформативных свойств материалов (бетона, арматуры, стали, древесины и др.), влияния имеющихся дефектов и повреждений.

4.1.3 Эталонную нагрузку АК принимают в виде равномерно распределенной нагрузки с интенсивностью K , кН/м ($0,1K$, тс/м) и одной двухосной тележки с нагрузкой на ось $10K$, кН ($1K$, тс) для каждой полосы движения (рисунок 1а).



а – нагрузка АК; б – нагрузка НК; в – трехосная нагрузка $ЭН_3$

Рисунок 1 – Схемы эталонных нагрузок

Одиночную эталонную нагрузку НК принимают в виде четырехосного колесного транспортного средства с нагрузкой на ось 18К, кН (1,8К, тс) (рисунок 16).

Эталонная трехосная нагрузка по схеме ЭН₃ представляет колонну эталонных грузовых автомобилей (рисунок 1в), расположенных вдоль моста на расстоянии 12 м друг от друга по ближайшим осям смежных автомобилей.

Масса трехосного эталонного грузового автомобиля в нагрузке ЭН₃, равная $m_3 = 30$ т, определяется суммой осевых нагрузок по формуле

$$m_3 = 2,6P, \quad (1)$$

где P – нагрузка на ось, кН (тс).

4.1.4 При расчете элементов конструкций эталонные нагрузки, в единицах которых определяется грузоподъемность, устанавливают на ездовом полотне в наиболее невыгодное положение для рассчитываемого элемента следующим образом.

1 Нагрузка АК:

- вдоль моста при поверхности (линии) влияния воздействия, имеющей три или более участков разных знаков, тележка устанавливается на участке, дающем для рассматриваемого знака наибольшее значение воздействия; равномерно распределенной нагрузкой (с необходимыми ее перерывами по длине) загружаются все участки того же знака;

- поперек моста рассматривают два случая воздействия нагрузки АК:

- первый, предусматривающий невыгодное размещение на ширине проезжей части (в которую не входят боковые полосы безопасности) числа полос нагрузки, не превышающего числа полос движения по сооружению. При многополосном движении и наличии на проезде разделительной полосы без ограждений безопасности полосы нагрузки могут размещаться в пределах ширины разделительной полосы без ограничений,

- второй, предусматривающий при незагруженных тротуарах невыгодное размещение на всей ширине проезда (включая полосы безопасности) двух полос нагрузки (на однополосных мостах – одной полосы нагрузки).

Оси крайних полос нагрузки АК должны быть расположены не ближе 1,5 м от границы проезжей части – в первом и от границы проезда (бокового или разделительного ограждения безопасности ездового полотна) – во втором случаях.

Расстояния между осями смежных полос нагрузки АК должны быть не менее 3,0 м.

2 Наружку НК устанавливают вдоль направления движения в любое положение на проезжей части вне полос безопасности.

3 Грузовые автомобили в колонне нагрузки ЭН₃ при многозначной поверхности (линии) влияния воздействия, имеющей три или более участков разных знаков, устанавливают вдоль движения (в том числе с разрывами по длине колонны на участках противоположного знака) таким образом, чтобы получить наибольшее значение воздействия рассматриваемого знака.

При соответствующих поверхностях (линиях) влияния, допускающих установку в колонне более двух автомобилей, следует, помимо варианта загрузки максимально возможным их количеством в каждой колонне, рассматривать вариант загрузки колоннами, в каждой из которых будет не более двух автомобилей.

По ширине ездого полотна расстояния между смежными колоннами грузовых автомобилей, а также случаи рассматриваемого воздействия при размещении колонн по ширине проезда принимают как для эталонной нагрузки АК.

4.1.5 Воздействия эталонных нагрузок принимают с коэффициентами полосности, надежности и динамическим коэффициентом.

4.1.6 Воздействие нагрузки АК с нескольких полос движения учитывают с коэффициентами полосности s_p , равными:

- $s_{IT} = 1,0$ для тележки;
- $s_{IV} = 1,0$ для равномерно распределенной части нагрузки с той полосы движения, где нагрузка оказывает наибольшее воздействие на рассчитываемый элемент;
- $s_{IV} = 0,6$ для равномерно распределенной части нагрузки с остальных полос движения.

Коэффициент полосности для нагрузки НК не учитывают.

Коэффициенты полосности $s_{iЭН}$ для различных колонн грузовых автомобилей нагрузки ЭН₃ принимают равными:

- $s_{iЭН} = 1,0$ для всех полос движения при их количестве не более четырех, когда на каждой из них учитывается наличие осей, принадлежащих не более чем двум автомобилям;
- $s_{iЭН} = 1,0$ для тех четырех полос движения (при их количестве более четырех), где нагрузка вызывает наибольшее воздействие на рассчитываемый элемент, и $s_{iЭН} = 0,6$ с остальных учитываемых полос движения, когда на каждой из полос учитывается наличие осей, принадлежащих не более чем двум автомобилям;

- $s_{iЭН} = 1,0$ для той же полосы движения, где нагрузка вызывает наибольшее воздействие на рассчитываемый элемент, и $s_{iЭН} = 0,6$ с остальных учитываемых полос движения, когда на каждой из этих полос учитывается наличие осей, принадлежащих более чем двум автомобилям.

4.1.7 Коэффициенты надежности по нагрузке $\gamma_{\text{н}}$ к временным нагрузкам принимают:

1 К нагрузке АК:

- $\gamma_{\text{гт}} = 1,5$ – для тележки при расчете элементе проезжей части мостов;

- $\gamma_{\text{гт}} = 1,5$ при $\lambda = 0$ и $1,2$ при $\lambda \geq 30$ м – для тележки при расчете прочих несущих элементов мостов; для промежуточных λ величину $\gamma_{\text{гт}}$ принимают по интерполяции;

- $\gamma_{\text{fv}} = 1,2$ – для равномерно распределенной части нагрузки.

Величину λ при назначении коэффициента надежности по нагрузке определяют по линии продольной оси той полосы нагрузки, которая создает наибольшее воздействие для рассматриваемого расчетного случая, и принимают равной длине того участка поверхности влияния по створу продольной оси полосы нагрузки (либо участка линии влияния), загрузку которого способствует максимальному увеличению общей величины воздействия.

2 К нагрузке НК – равным $\gamma_{\text{нк}} = 1$.

3 К нагрузке ЭН₃ – в зависимости от значения λ по тем же правилам, как для тележки эталонной нагрузки АК. Величину λ определяют по линии продольной оси той полосы нагрузки, которая создает наибольшее воздействие для рассматриваемого расчетного случая, и принимают равной суммарной длине загружаемых участков поверхности влияния по створу продольной оси полосы нагрузки (либо линии влияния) соответствующего знака.

4.1.8 Динамические коэффициенты $1 + \mu$:

1 К вертикальному воздействию нагрузки АК динамические коэффициенты $(1 + \mu)_{\text{АК}}$ принимают по таблице 1.

Таблица 1 – Динамические коэффициенты к вертикальной нагрузке АК

Конструкции элементов искусственных сооружений [3]	Динамический коэффициент $(1 + \mu)_{\text{АК}}$
1	2
Элементы стальных и сталежелезобетонных пролетных строений, а также стальных опор: основные элементы главных ферм совмещенных мостов всех систем под автомобильную и железнодорожную (включая поезда метрополитена) нагрузки	$1 + \mu = 1 + \frac{14}{30 + \lambda}$, но не менее 1,1

Окончание таблицы 1

1	2
элементы автодорожных мостов всех систем, кроме главных ферм (балок) и пилонов висячих и вантовых мостов	$1 + \mu = 1 + \frac{15}{37,5 + \lambda}$
элементы главных ферм и пилонов висячих и вантовых мостов	$1 + \mu = 1 + \frac{50}{70 + \lambda}$
Железобетонные балочные пролетные строения, рамные конструкции (в том числе сквозные надарочные строения), а также железобетонные сквозные, тонкостенные и стоечные опоры:	
совмещенных мостов	$1 + \mu = 1 + \frac{10}{20 + \lambda}$, но не менее 1,1
автодорожных мостов	$1 + \mu = 1 + \frac{45 - \lambda}{135}$, но не менее 1,0
Железобетонные и бетонные арки со сплошным надсводным строением, бетонные опоры и грунтовые основания и фундаменты	$1 + \mu = 1,0$
Арки и своды арочных железобетонных пролетных строений со сквозной надарочной конструкцией	$1 + \mu = 1 + \frac{70 - \lambda}{250}$, но не менее 1,0
Деревянные конструкции	$1 + \mu = 1,0$

Примечание – Величину λ при назначении динамического коэффициента определяют по линии продольной оси той полосы нагрузки, которая создает наибольшее воздействие для рассматриваемого расчетного случая, и принимают равной:

- для основных элементов несущих конструкций, а также для продольных и поперечных балок пролетных строений – длине расчетного пролета или длине загрузки участка поверхности влияния по линии продольной оси полосы нагрузки (либо участка линии влияния), если эта длина больше величины пролета;
- для основных элементов несущих конструкций неразрезных систем – сумме длин загружаемых участков поверхности (линии) влияния (вместе с разделяющими их участками);

- при расчете на местную нагрузку (при загрузке той части поверхности (линии) влияния, которая учитывает воздействие местной нагрузки):
 - продольных балок и продольных ребер ортотропных плит – длине их пролета,
 - поперечных балок и поперечных ребер ортотропных плит – суммарной длине продольных балок в примыкающих панелях,
 - подвесок, стоек и других элементов, работающих только на местную нагрузку, – длине загрузки поверхности (линии) влияния,
 - железобетонных плит автодорожного проезда, укладываемых по металлическим балкам без включения в совместную работу, при расчете плит поперек моста – расстоянию между балками, на которые опирается плита,
 - железобетонной плиты проезжей части в составе ребристых железобетонных или сталежелезобетонных пролетных строений – как для основных элементов несущих конструкций при определении усилий в плите по пространственной расчетной схеме, учитывающей совместную работу плиты в составе основных конструкций, либо длине линии влияния, полученной из плоской условной расчетной схемы при определении усилий в плите инженерным методом;
 - при загрузке поверхностей (линий) влияния, учитывающих одновременно основную и местные нагрузки, – раздельно для каждой из этих нагрузок;
 - при загрузке поверхности влияния λ определяют по секущему продольному створу той полосы нагрузки, которая создает наибольшее воздействие.
- 2 К горизонтальному воздействию нагрузки АК (при торможении и к давлению грунта на опоры при нахождении временной нагрузки на призме обрушения) динамический коэффициент принимают равным $(1 + \mu)_{AK} = 1,0$.
- 3 К воздействию нагрузки НК при расчете грузоподъемности пролетных строений, сквозных, тонкостенных и стоечных опор динамический коэффициент назначают равным:

$$(1 + \mu)_{AK} = 1,3 \text{ при } \lambda \leq 1,0 \text{ м;}$$

$$(1 + \mu)_{AK} = 1,1 \text{ при } \lambda \geq 5,0 \text{ м;}$$

для промежуточных значений λ – по интерполяции.

При загрузке поверхности влияния λ определяют по секущему продольному створу полосы нагрузки.

4 К воздействию нагрузки ЭН₃ динамический коэффициент принимают как для эталонной нагрузки АК.

4.1.9 При расчете грузоподъемности элементов мостового сооружения определяют:

- предельно допустимые воздействия (несущую способность) для рассчитываемых элементов $S_{\text{пред}}$, в качестве значения допустимого воздействия могут рассматриваться предельные усилия, напряжения или деформации, соответствующие достижению предельного состояния первой группы;

- расчетные воздействия от постоянной нагрузки $S_{\text{пост}}$, пешеходов на тротуарах $S_{\text{пеш}}$, прочих нагрузок $S_{\text{пр}}$, учитываемых совместно с временной вертикальной нагрузкой от транспортных средств;

- предельно допустимые расчетные воздействия от временной вертикальной нагрузки $S_{\text{врем}}$;

- допустимые классы эталонных нагрузок по схемам АК ($K_{\text{АК}}$) и НК ($K_{\text{НК}}$) с точностью до 0,1 величины, допустимую массу эталонной трехосной нагрузки по схеме ЭН₃ с точностью до 0,1 т.

4.2 Способы определения грузоподъемности

4.2.1 Грузоподъемность конструктивного несущего элемента мостового сооружения определяют расчетом из сопоставления его несущей способности (доли несущей способности) с воздействием от внешних нагрузок.

В зависимости от характера восприятия конструкцией (элементом конструкции) внешних воздействий и полноты необходимой расчетной информации классы по грузоподъемности могут быть получены тремя различными способами.

4.2.2 Первый способ расчета применяют, если несущая способность рассчитываемого элемента конструкции является фиксированной величиной и зависит от его геометрических характеристик, а также прочностных и деформативных свойств материалов, из которых данный элемент изготовлен. Интенсивность временных и постоянных нагрузок, действующих на этот элемент, влияния на его несущую способность не оказывает. К таким конструктивным элементам относятся, в частности, железобетонные балки при расчете на изгиб и упрощенном расчете на поперечную силу, металлические и деревянные балки при расчете на изгиб и поперечную силу, элементы ферм при расчете на продольные усилия и т. д. В этом способе производится сопоставление предельно допустимого воздействия для рассчитываемого элемента от временной нагрузки с аналогичным воздействием от той временной нагрузки $S_{\text{н}}$, в единицах которой рассчитывают класс грузоподъемности, исходя из выполнения следующего условия:

$$S_{\text{н}} \leq S_{\text{врем}}. \quad (2)$$

Допустимую величину воздействия от временной нагрузки находят по формуле

$$S_{\text{врем}} = S_{\text{пред}} - S_{\text{пост}} - S_{\text{пеш}} - S_{\text{пр}}. \quad (3)$$

Необходимость учета в формуле (3) пешеходных и прочих нагрузок определяется конкретным случаем расчета в зависимости от рассчитываемой конструкции и в соответствии с указаниями действующих нормативных документов на проектирование мостовых сооружений.

Допустимый класс нагрузки (допустимую массу нагрузки) K и соответственно класс грузоподъемности элемента определяют по формуле

$$K = \frac{S_{\text{врем}}}{S_{\text{н}}} K_{\text{э}}, \quad (4)$$

где $K_{\text{э}}$ – класс эталонной нагрузки АК, НК, либо масса эталонного трехосного грузового автомобиля по схеме ЭН₃, либо масса транспортного средства из состава произвольной нагрузки, в единицах которой определяется класс грузоподъемности.

4.2.3 Второй способ расчета применяют, если несущая способность рассчитываемого элемента конструкции зависит от интенсивности временных нагрузок или расчет выполняют с учетом нагрузок от торможения.

К конструкциям, несущая способность которых зависит от временных нагрузок, относятся, в частности, сталежелезобетонные пролетные строения при учете пластических деформаций, элементы, работающие на внецентренное сжатие, и т. д.

В этом способе допустимый класс (допустимую массу) временных нагрузок определяют итерационным расчетом (с последовательными приближениями), исходя из выполнения следующего условия:

$$S_{\text{действ}} \leq S_{\text{пред}}, \quad (5)$$

где $S_{\text{действ}}$ – суммарное воздействие от постоянной, пешеходной, прочих и временной нагрузок, выраженных через искомое значение класса нагрузки.

4.2.4 Третий способ расчета применяют, если фактическую несущую способность конструктивного элемента установить не представляется возможным, но имеются сведения о нормах проектирования и проектных нагрузках для сооружения. В этом случае, как и для первого способа, производится сопоставление предельно допустимого воздействия для рассчитываемого элемента от временной

нагрузки с аналогичным воздействием от той временной нагрузки S_n , в единицах которой определяется класс грузоподъемности, исходя из условия (2). В качестве предельно допустимого воздействия $S_{пред}$ принимают «условную несущую способность», выражаемую величиной максимального воздействия от тех временных проектных нагрузок, на которые конструкция была запроектирована, и определяемую в соответствии с указаниями этих норм проектирования.

Воздействия от постоянных и пешеходных нагрузок в расчете условной несущей способности не учитываются. Однако если в процессе эксплуатации появилась дополнительная сверхпроектная нагрузка (например, от дополнительного слоя покрытия проезжей части), то условная несущая способность должна быть уменьшена на величину воздействия от этой дополнительной нагрузки.

Данный способ может использоваться, если сохранилась проектная ширина ездогового полотна моста. При наличии дефектов, снижающих изначальную несущую способность конструкции, такое снижение должно быть соответствующим образом учтено в величине условной несущей способности.

В случае переустройства сооружения с заменой или усилением несущих конструкций в качестве проектной нагрузки следует рассматривать нагрузку, под которую проектировалось усиление.

Сведения о схемах и параметрах вертикальных нагрузок от транспортных средств, правила их установки, коэффициенты полостности и динамические коэффициенты, принятые в нормах проектирования различных лет, приведены в приложении А.

4.2.5 Несущая способность $S_{пред}$ может быть получена:

- расчетом, произведенным в соответствии с настоящим методическим документом с учетом указаний действующих нормативных документов на проектирование мостовых сооружений, при известных параметрах сечения и материала;

- по расчетным листам проекта, если расчетные предпосылки и характеристики материалов конструкции соответствуют положениям действующих нормативных документов на проектирование мостовых сооружений;

- по результатам определения усилий, напряжений и деформаций от загрузки проектными нагрузками года проектирования;

- итерационным расчетом, если несущая способность зависит от временной нагрузки.

4.2.6 Воздействия в элементах от нагрузок определяют по общим правилам строительной механики.

Как правило, следует применять пространственные расчетные схемы и механизм загрузки поверхностей влияния соответствующих воздействий.

Допускается использовать условно-пространственные расчетные схемы с механизмом загрузки продольных линий влияния и линий влияния распределения поперечного давления.

4.3 Регулирование движения транспортных средств по мостовому сооружению по условию грузоподъемности

4.3.1 Регулирование неконтролируемого режима движения транспортных средств по мостовому сооружению следует производить в том случае, если класс сооружения по грузоподъемности, выраженный в единицах нагрузки АК, менее 11 ($K_{AK} < 11$). Однако если при этом допустимая масса эталонной трехосной нагрузки ЭН₃ для данного сооружения, вычисленная с коэффициентом надежности по нагрузке $\gamma_f = 1,2$, окажется более 27 т, ограничения вводить не следует.

4.3.2 Ограничение допустимой общей массы транспортных средств для неконтролируемого режима движения осуществляется путем установки дорожного знака 3.11 «Ограничение массы» в соответствии с указаниями ГОСТ Р 52289–2004 и ГОСТ Р 52290–2004.

4.3.3 Если грузоподъемность сооружения определена грузоподъемностью конструктивного элемента, полученной расчетом на местную нагрузку (плита проезжей части и пр.), и при этом допускаемая осевая нагрузка менее 11 т, регулирование движения выполняется путем установки дорожного знака 3.12 «Ограничение массы на ось» в соответствии с указаниями ГОСТ Р 52289–2004 и ГОСТ Р 52290–2004.

4.3.4 Возможность и условия пропуска транспортных средств с массой или осевыми нагрузками, превышающими установленную для сооружения грузоподъемность, находят соответствующим расчетом, предусматривающим контролируемый режим движения.

5 Назначение учитываемых в расчетах нагрузок и их сочетаний, системы расчетных коэффициентов

5.1 Постоянные и прочие нагрузки

5.1.1 Постоянные нагрузки принимаются в виде интенсивности на 1 м² поверхности влияния или на 1 пог.м линии влияния.

Расчетное воздействие от постоянных нагрузок в элементе конструкции определяют по формуле

$$S_{\text{пост}} = \Sigma(\gamma_{\text{fi}} g_i \omega_i), \quad (6)$$

где γ_{fi} – коэффициенты надежности к учитываемым постоянным нагрузкам, принимаемые в соответствии с данными таблицы 2;

g_i – интенсивность учитываемых постоянных нагрузок, кПа (тс/м²);

ω_i – объем поверхности влияния воздействия под зоной приложения каждой постоянной нагрузки, м².

Таблица 2 – Коэффициенты надежности к постоянным нагрузкам и воздействиям

Нагрузки и воздействия	Коэффициенты надежности по нагрузке γ_f
Вес конструктивных элементов, другие нагрузки и воздействия, кроме указанных ниже в данной таблице, при числе замеров: 6 и более менее 6	1,05 (0,9)
	1,10 (0,9)
Вес слоев одежды мостового полотна при числе замеров: 6 и более менее 6	1,15 (0,95)
	1,20 (0,95)
Горизонтальное давление грунта при расчете опор и фундаментов: от веса насыпи грунта, лежащего ниже поверхности земли	1,40 (0,70)
	1,30 (0,80)

Примечание – В скобках указаны значения γ_f , которые принимают в случаях, когда это приводит к более невыгодному воздействию на элементы конструкции.

Нагрузку от конструктивных элементов мостового полотна допускается принимать равномерно распределенной по площади мостового полотна, если ее величина на отдельных участках отклоняется от средней величины не более чем на 10 %.

Для балочных пролетных строений нагрузку от собственного веса допускается принимать равномерно распределенной между балками, если ее величина для отдельных конструкций отклоняется от средней величины не более чем на 10 %.

Коэффициент надежности к нагрузке от температурного воздействия при расчете грузоподъемности стальных, железобетонных рамных конструкций, сталежелезобетонных пролетных строений и гибких опор принимают равным 1,2.

5.1.2 Нагрузку от собственного веса элементов конструкции и мостового полотна при отсутствии проектных или иных сведений вычисляют с учетом данных по плотности (объемному весу) материалов (приложение Б).

5.1.3 Нормативное вертикальное давление от веса грунта p_v , кПа (тс/м²), определяют по формуле

$$p_v = \gamma_n h, \quad (7)$$

где γ_n – нормативный удельный вес грунта, кН/м³(тс/м³);

h – высота засыпки, вычисляемая для концевых опор от верха дорожного покрытия до рассматриваемого сечения (приложение Е СП 35.13330.2011), м.

5.1.4 Нормативное горизонтальное (боковое) давление от собственного веса грунта p_n , кПа (тс/м²), примыкающей к опоре насыпи (призмы обрушения), находят по формуле

$$p_n = \gamma_n h \tau_n, \quad (8)$$

где τ_n – коэффициент нормативного бокового давления грунта засыпки опор

$$\tau_n = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_n}{2} \right); \quad (9)$$

φ_n – нормативный угол внутреннего трения грунта, град.

При отсутствии лабораторных исследований допускается принимать удельный вес засыпки $\gamma_n = 17,7$ кН/м³ (1,80 тс/м³), нормативный угол внутреннего трения $\varphi_n = 35^\circ$ (при засыпке песчаным дренирующим грунтом).

Методика определения равнодействующей нормативного горизонтального (бокового) давления от собственного веса насыпного грунта, а также грунта, лежащего ниже естественной поверхности земли, на опоры мостов приведена в приложении Е СП 35.13330.2011.

5.1.5 Усилия от изменения температуры в стальных и железобетонных рамных конструкциях и гибких опорах вычисляют от перемещений Δ , вызванных изменениями температуры и определяемых по формуле,

$$\Delta = \alpha \Delta t \ell_i, \quad (10)$$

где ℓ_i – расстояние от рассматриваемого сечения до точки, которая при изменении температуры остается неподвижной, м;

Δt – амплитуда изменения температуры в течение года (подраздел 6.27 СП 35.13330.2011);

α – коэффициент линейного расширения, $\alpha = 0,00001$ для железобетона, $\alpha = 0,000012$ для стали.

Изменение температуры в сталежелезобетонных конструкциях учитывают согласно подразделу 9.10 СП 35.13330.2011.

При учете в расчетах температурных воздействий используют коэффициенты сочетания нагрузок в соответствии с указаниями подраздела 5.4.

5.2 Пешеходная нагрузка

5.2.1 Расчетное воздействие от пешеходной нагрузки в рассматриваемом элементе определяют по формуле

$$S_{\text{пеш}} = \gamma_f g_{\text{пеш}} \Sigma \omega_{\text{пеш}}, \quad (11)$$

где γ_f – коэффициент надежности к пешеходной нагрузке при совместном учете с временной вертикальной нагрузкой, принимаемый равным 1,2;

$g_{\text{пеш}}$ – интенсивность учитываемой пешеходной нагрузки, принимаемая при учете совместно с эталонной нагрузкой АК и колоннами эталонных грузовых автомобилей ЭН₃ равной 2 кПа;

$\omega_{\text{пеш}}$ – объем поверхности влияния воздействия под зоной действия пешеходной нагрузки, м².

На служебных тротуарных проходах шириной менее 1 м пешеходная нагрузка не учитывается.

5.2.2 При использовании аппарата линий влияния воздействие $S_{\text{пеш}}$ определяют с учетом коэффициентов поперечной установки по формуле

$$S_{\text{пеш}} = \gamma_f g_{\text{пеш}} K_{\text{пу}} \Sigma \omega_{\text{пеш}}, \quad (12)$$

где $\omega_{\text{пеш}}$ – площадь линии влияния воздействия под зоной действия пешеходной нагрузки, м;

$K_{\text{пу}}$ – коэффициент поперечной установки.

5.3 Временные нагрузки

Вертикальные нагрузки

5.3.1 Воздействие от вертикальной временной нагрузки при различных ее положениях на ездовом полотне мостового сооружения определяют процедурой «прокатки» схемы нагрузки по поверхности влияния.

5.3.2 Расчетные воздействия от временных вертикальных нагрузок находят по формулам

$$\begin{cases} S_{н,АК} = (1 + \mu)_{АК} \sum [s_{iT} \gamma_{iT} \sum_k P_{ki} a_{ki} + s_{iv} \gamma_{iv} v_i \omega_i]; \\ S_{н,НК} = \gamma_{НК} (1 + \mu)_{НК} \sum_k P_{ki} a_{ki}; \\ S_{н,Э} = \gamma_{Э} (1 + \mu)_{АК} \sum_i s_{iЭН} (\sum_k P_{ki} a_{ki}), \end{cases} \quad (13)$$

где $S_{н,АК}$, $S_{н,НК}$, $S_{н,Э}$ – воздействия от нагрузок соответственно по схемам АК, НК и эталонной трехосной нагрузки ЭН₃ (или произвольных колесных нагрузок), кН (тс);

$(1 + \mu)_{АК}$, $(1 + \mu)_{НК}$ – динамические коэффициенты соответственно к нагрузкам АК и НК;

γ_{iT} , γ_{iv} , $\gamma_{НК}$ – коэффициенты надежности соответственно к осевой и распределенной частям нагрузки АК и нагрузке НК;

s_{iT} , s_{iv} , $s_{iЭН}$ – коэффициенты полосности соответственно для тележки и равномерно распределенной части нагрузки АК и для эталонной нагрузки ЭН₃;

P_{ki} – давление на k-е колесо временной нагрузки на i-й полосе, кН (тс);

a_{ki} – ордината поверхности влияния воздействия под k-м колесом на i-й полосе;

v_i – интенсивность распределенной временной части нагрузки АК на i-й полосе, кПа (тс/м²);

ω_i – объем поверхности влияния воздействия под зоной приложения распределенной временной нагрузки, м².

Для получения более точных результатов рекомендуется загружать поверхности влияния давлениями от колес временных вертикальных нагрузок, приходящимися на площадь, равную площади отпечатка колеса на поверхности ездового полотна с учетом распределения давления в толще одежды ездового полотна. Тогда в формулах (13) величина a_{ki} будет равна объему поверхности влияния воздействия под зоной отпечатка соответствующего колеса, а величина P_{ki} – интенсивности давления от колеса, распределенной по площади его отпечатка.

5.3.3 Воздействия от временных вертикальных нагрузок при использовании аппарата загрузки линий влияния определяют с учетом коэффициентов поперечной установки по формулам

$$\begin{cases} S_{н,АК} = (1 + \mu)_{АК} \sum_i [K_{п,т} \gamma_{ft} \sum_k P_{ki} a_{ki} + K_{п,в} \gamma_{fv} v_i \omega_i]; \\ S_{н,НК} = K_{п,НК} \gamma_{фнк} (1 + \mu)_{НК} \sum_k P_{ki} a_{ki}; \\ S_{н,Э} = K_{п,Э} \gamma_{ft} (1 + \mu)_{АК} \sum_i \sum_k P_{ki} a_{ki}, \end{cases} \quad (14)$$

где $K_{п,т}$, $K_{п,в}$, $K_{п,НК}$, $K_{п,Э}$ – коэффициенты поперечной установки для нагрузок соответственно по схеме АК (для тележки и распределенной части нагрузки АК), НК и эталонной трехосной нагрузки ЭН₃ (или произвольных колесных нагрузок), $K_{п,т}$, $K_{п,в}$, $K_{п,Э}$ определяют с учетом коэффициентов полосности s_i ;

P_{ki} – давление на k -ю ось временной нагрузки на i -й полосе, кН(тс);

a_{ki} – ордината линии влияния воздействия под k -й осью на i -й полосе;

ω_i – площадь линии влияния воздействия под зоной приложения распределенной временной нагрузки, м.

Допускается вместо сосредоточенных величин давления на оси использовать величины давления, распределенные по длине отпечатков колес. Соответственно величина a_{ki} в этом случае будет равна площади участка линии влияния воздействия под зоной отпечатка соответствующего колеса.

5.3.4 Коэффициенты надежности, полосности и динамический коэффициент, учитывающие воздействие нагрузки с нескольких полос движения, принимают согласно пунктам 4.1.6 – 4.1.8.

В случае, если расчет производится по условной несущей способности для конструкции, запроектированной по допускаемым напряжениям по нормам до СН 200–62, воздействие от временной вертикальной нагрузки, в единицах которой определяются классы грузоподъемности, следует определять со значением коэффициента надежности по нагрузке $\gamma_f = 1$, но с динамическим коэффициентом и коэффициентом полосности в соответствии с указаниями пунктов 4.1.6 – 4.1.8.

Горизонтальные нагрузки

5.3.5 Воздействие горизонтальной продольной нагрузки от торможения или тягового усилия T , кН (тс), с каждой полосы движения одного направления, где выполняется торможение, определяют

- от распределенной части нагрузки АК

$$T_{АК} = T_1 K; \quad (15)$$

- эталонной трехосной нагрузки ЭН₃ и произвольных колесных транспортных средств

$$T_{\Sigma} = 0,5s_{iЭН} \gamma_{fv} m_{i,Э}, \quad (16)$$

где $m_{i,Э}$ – вес эталонной трехосной нагрузки ЭН₃ и произвольных колесных транспортных средств, расположенных на поверхности (линии) влияния, кН(тс).

Величина T_1 равна:

$$7,8 \leq T_1 = 0,5s_{iv} 0,98\lambda \leq 24,5 \text{ при расчетах в системе СИ};$$

$$0,8 \leq T_1 = 0,5s_{iv} 0,10\lambda \leq 2,5 \text{ при расчетах в системе СГС},$$

где λ принимают согласно пункту 4.1.4.

Величину T_{Σ} принимают в пределах:

- $0,3m_{\Sigma}$ – при $\lambda \leq 25$ м;
- $0,6 m_{\Sigma}$ – при $25 < \lambda \leq 50$ м;
- $0,9 m_{\Sigma}$ – при $\lambda > 50$ м.

При определении усилий от тормозной силы ее прикладывают:

- на расстоянии 1,5 м от верха покрытия проезжей части пролетного строения;
- при наличии балочных пролетных строений – в центре шарниров опорных частей;
- при расчете устоев – в уровне верха покрытия мостового полотна.

При расчетах грузоподъемности опор и фундаментов при опирании на них балочных пролетных строений допускается тормозную силу прикладывать в уровне центров опорных частей.

5.3.6 В запас прочности долю передачи тормозных нагрузок опорными частями на опору можно принимать равной 50 % для резинометаллических опорных частей (РОЧ) и 100 % – для всех опорных частей других типов, как подвижных, так и неподвижных. Однако если при подобном допущении классы элементов опоры оказываются недостаточными, расчет следует выполнить, определяя долю передачи тормозных нагрузок через опорные части согласно подразделу 6.20 СП 35.13330.2011.

5.3.7 Нормативное горизонтальное продольное давление грунта на концевые опоры мостов, а также на промежуточные опоры, расположенные в теле насыпи, от допускаемой временной вертикальной нагрузки, находящейся на призме обрушения, следует определять по приложению М СП 35.13330.2011 с учетом приложения В рекомендаций [4].

5.4 Сочетание нагрузок

5.4.1 При расчете грузоподъемности элементов мостовых сооружений рассматривают следующие сочетания нагрузок:

- основное сочетание

[постоянные] + [вертикальные временные нагрузки];

- дополнительное сочетание № 1

[постоянные] + 0,8[вертикальные временные нагрузки] + 0,7[горизонтальные продольные нагрузки от торможения];

- дополнительное сочетание № 2

[постоянные] + 0,8[вертикальные временные нагрузки] + + 0,7[горизонтальные продольные нагрузки от торможения] + 0,7[горизонтальные продольные нагрузки от изменения температуры];

- дополнительное сочетание № 3

[постоянные] + 0,8[вертикальные временные нагрузки] + 0,7[нагрузки от изменения температуры].

5.4.2 Расчет на основное сочетание нагрузок выполняется во всех случаях. Расчеты на дополнительные сочетания № 1 и № 2 производят в случаях, если они могут стать определяющими для внецентренно сжатых элементов (опор облегченного типа, рамных мостов, мостов с гибкими опорами, фундаментов опор и т. д.). Расчет на дополнительное сочетание № 3 осуществляют в случае, если он может стать определяющим при установлении грузоподъемности составных сечений (например, сталежелезобетонных пролетных строений).

Другие нагрузки и их сочетания, предусмотренные действующими нормами проектирования мостов, рассматривают по необходимости.

5.4.3 При одновременном действии нескольких силовых факторов (например, продольной силы и изгибающего момента для внецентренно сжатых элементов или изгибающего момента и поперечной силы при расчете балочных конструкций в четвертях пролетов при вычислении по приведенным напряжениям и т. д.) невыгодное положение временной нагрузки и соответствующие ему значения силовых факторов, участвующих в расчете, могут быть получены:

- для всех видов конструкций – путем загрузки поверхностей (линий) влияния последовательно каждого из рассматриваемых силовых факторов на максимум (или минимум в зависимости от вида расчета) и получения соответствующих ему значений остальных силовых факторов посредством загрузки поверхностей (линий) влияния этих силовых факторов при одном и том же положении нагрузки;

- элементов металлических и деревянных конструкций – путем загрузения поверхностей (линий) влияния ядровых моментов или фибровых напряжений. Последние могут быть определены по формулам соответствующих разделов настоящего методического документа.

6 Прочие рекомендации

6.1 Общие рекомендации по составлению расчетных схем при моделировании методом конечных элементов даны в приложении В, по учету последовательности (стадийности) монтажа, усилий от осадок опор, регулирования усилий, изменения температуры – в приложении Г, по определению расчетных длин внецентренно сжатых стержней – в приложении Д.

6.2 Справочные сведения по соотношению физических величин в системах СГС и СИ, используемых в данном методическом документе, приведены в приложении Е.

Приложение А

Краткие сведения по нормативным документам проектирования автодорожных мостов

А.1 Нормативные документы проектирования автодорожных мостов

При расчете воздействий в элементах конструкций от временной нагрузки по нормам года проектирования (определение условной несущей способности) следует использовать соответствующие нормативные документы на проектирование автодорожных мостов:

- Строительные нормы и правила. Мосты и трубы (СНиП 2.05.03–84*);
- Строительные нормы и правила. Мосты и трубы (СНиП 2.05.03–84);
- Технические условия проектирования железнодорожных, автодорожных и городских мостов и труб (СН 200–62);
- Нормы подвижных вертикальных нагрузок для расчета искусственных сооружений на автомобильных дорогах (Н 106–53) (даны в виде приложения к нормам проектирования автомобильных дорог НитУ 128–55);
- Правила и указания по проектированию железобетонных, металлических, бетонных и каменных искусственных сооружений на автомобильных дорогах, ГУШОСДОР МВД СССР, 1948 г.;
- Технические условия на проектирование искусственных сооружений на автомобильных дорогах, ГУШОСДОР НКВД, 1943 г.;
- Технические условия на сооружение автомобильных дорог и мостов, ГУШОСДОР НКВД, 1938 г.

Сооружения, построенные по более ранним нормам проектирования, практически выведены из эксплуатации.

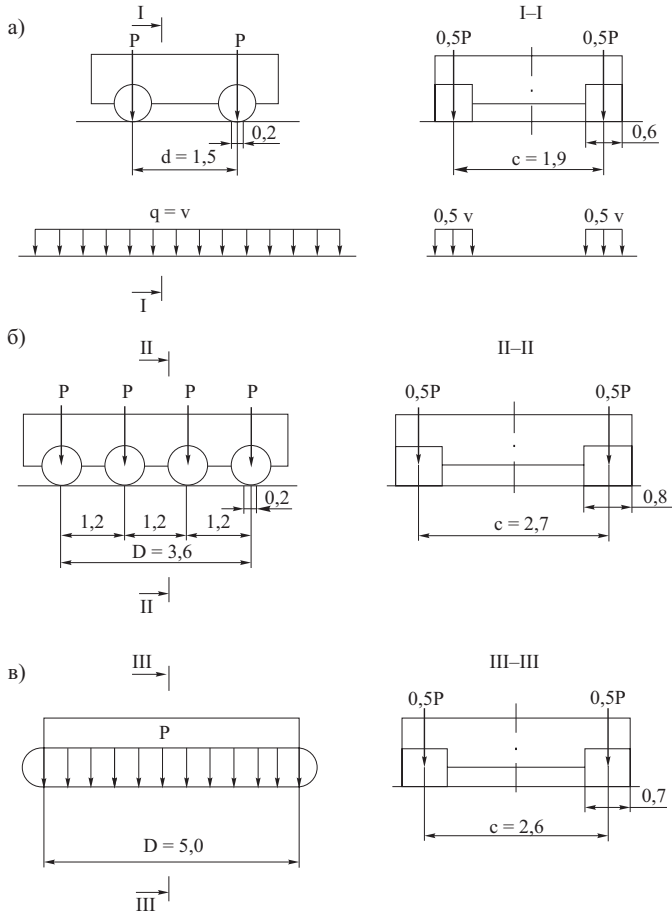
Для расчета деревянных мостов по нормам проектирования 1938–1953 гг. применялась автомобильная нагрузка Н-8. В связи с практическим отсутствием в эксплуатации таких сооружений данная нагрузка в настоящем методическом документе не рассматривается.

Расчеты несущих конструкций на силовые воздействия по нормам проектирования 1938–1953 гг. выполнялись по допускаемым напряжениям. Начиная с норм проектирования СН 200–62 расчеты проводились по предельным состояниям.

А.2 Нагрузки по нормам СНиП 2.05.03–84* и СНиП 2.05.03–84

А.2.1 Нормативные временные подвижные вертикальные нагрузки принимались:

1 От транспортных средств – в виде полос АК (рисунок А.1а), каждая из которых включает одну двухосную тележку с осевой нагрузкой P , равной 9,81К, кН (1К, тс), и равномерно распределенную нагрузку интенсивностью p (на обе колесы) – 0,98К, кН/м (0,10К, тс/м).



а – нагрузка А11; б – нагрузка НК-80; в – нагрузка НГ-60
Рисунок А.1 – Схемы нагрузок

По СНиП 2.05.03–84* значение К принимали равным 11 для всех мостов, кроме деревянных на дорогах V категории и внутрихозяйственных дорогах категорий II-с и III-с, для которых он может быть равным 8.

По СНиП 2.05.03–84 значение K принимали равным 11 для мостов на дорогах I–III категорий и в городах, а также для больших мостов (кроме деревянных) на дорогах IV и V категорий, и равным 8 для малых и средних мостов на дорогах IV и V категорий и на внутрихозяйственных дорогах. Элементы проезжей части мостов, запроектированных под нагрузку А8, проверяли на давление одиночной оси, равное 108 кН (11 тс).

2 От тяжелых одиночных колесных и гусеничных нагрузок:

- для мостов под нагрузку А11 – в виде одиночной колесной нагрузки НК-80 (рисунок А.16) общим весом 785 кН (80 тс) и осевой нагрузкой Р, равной 196 кН (20 тс);

- мостов под нагрузку А8 – в виде одиночной гусеничной нагрузки НГ-60 (рисунок А.1в) общим весом Р = 588 кН (60 тс).

Расчетные комбинации временных подвижных нагрузок: А11 и НК-80; А8 и НГ-60. Нагрузки НК-80 и НГ-60 совместно с автомобильной и пешеходной нагрузками не учитывались.

Динамические коэффициенты, коэффициенты полостности и надежности к временным нагрузкам приведены в разделе А.10 приложения А.

А.2.2 Правила расстановки нагрузки АК:

- при наличии линий (поверхностей) влияния, имеющих три или более участков разных знаков, тележкой загружается участок, дающий для рассматриваемого знака наибольшее значение усилия (перемещения); равномерно распределенной нагрузкой (с необходимыми ее перерывами по длине) загружаются все участки, вызывающие усилие (перемещение) этого знака;

- число полос нагрузки, размещаемой на мосту, не должно превышать установленного числа полос движения;

- расстояния между осями смежных полос нагрузки должны быть не менее 3,0 м;

- при многополосном движении в каждом направлении и отсутствии разделительной полосы на мосту ось крайней левой (внутренней) полосы нагрузки каждого направления не должна быть расположена ближе 1,5 м от осевой линии или линии, разделяющей направления движения.

Следует рассматривать два случая воздействия нагрузки АК:

- первый – предусматривающий невыгодное размещение на проезжей части (в которую не входят полосы безопасности) числа полос нагрузки, не превышающего числа полос движения;

- второй – предусматривающий при незагруженных тротуарах невыгодное размещение на всей ширине ездового полотна моста (в которое входят полосы безопасности) двух полос нагрузки (на однополосных мостах – одной полосы нагрузки).

При этом оси крайних полос нагрузки АК должны быть расположены не ближе 1,5 м от кромки проезжей части – в первом и от ограждения ездового полотна – во втором случаях.

Нагрузки НК-80 и НГ-60 устанавливаются в любое положение по ширине проезжей части моста (без полос безопасности) для достижения наиболее неблагоприятного воздействия.

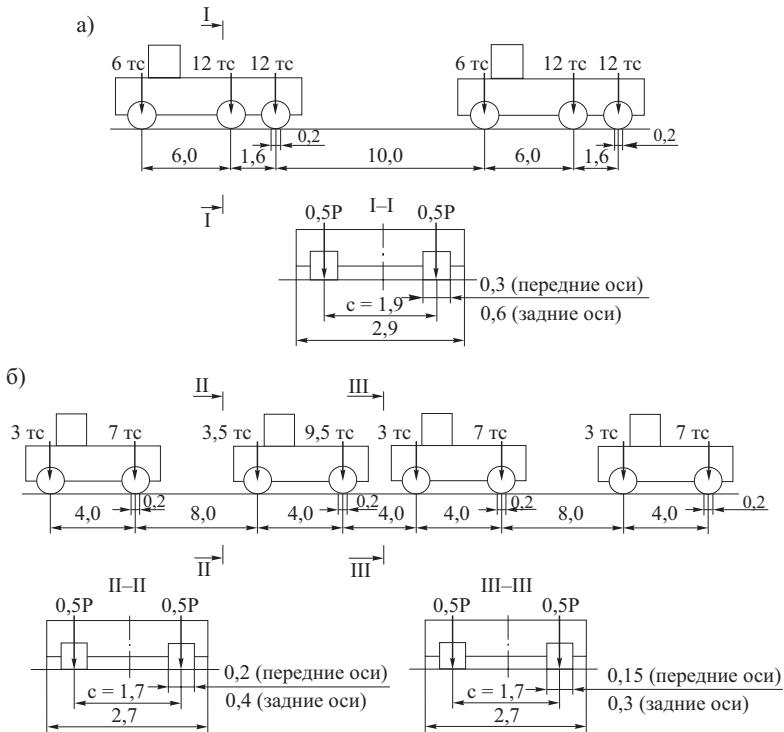
А.3 Нагрузки по нормам СН 200–62

Нормативные временные подвижные вертикальные нагрузки для всех мостов, кроме деревянных, принимались по схемам Н-30 и НК-80, а для деревянных – по схемам Н-10 и НГ-60.

Нормативная автомобильная нагрузка Н-30 представляла собой колонну следующих друг за другом трехосных грузовых автомобилей весом по 30 тс (рисунок А.2а).

Нормативная автомобильная нагрузка Н-10 принималась в виде колонны следующих друг за другом двухосных грузовых автомобилей весом по 10 тс, среди которых имеется один утяжеленный автомобиль весом 13 тс (рисунок А.2б).

Нормативная колесная нагрузка НК-80 (см. рисунок А.1б) и нормативная гусеничная нагрузка НГ-60 (см. рисунок А.1в), каждая из которых состояла из одного транспортного средства.



а – нагрузка Н-30; б – нагрузка Н-10

Рисунок А.2 – Схемы нагрузок

Расчетные комбинации временных подвижных нагрузок: Н-30 и НК-80; Н-10 и НГ-60. Нагрузки НК-80 и НГ-60 совместно с автомобильной и пешеходной нагрузками не учитывались.

Динамические коэффициенты, коэффициенты полосности и надежности к временным нагрузкам приведены в разделе А.10 приложения А.

По ширине проезда допускалось устанавливать любое количество колонн автомобилей, вызывающих наибольшее воздействие в рассчитываемых элементах, при условии, что:

- расстояние между кузовами соседних автомобилей будет не менее 0,1 м;
- габарит автомобиля (кузова) не выступает за пределы ширины проезда.

Колонны автомобилей на ездовом полотне устанавливались в расчетное положение параллельно продольной оси моста и направленными в одну сторону. При этом длина колонны не ограничивалась.

Каждая колонна автомобилей могла быть расположена с разрывами между отдельными автомобилями, если такое размещение вызывало наибольшее воздействие.

Нагрузки НК-80 и НГ-60 по ширине проезда устанавливались в положение, вызывающее наибольшее воздействие в рассчитываемом элементе, но не ближе 0,25 м к краю проезда, считая от края обода или гусеницы транспортного средства.

А.4 Нагрузки по нормам Н 106–53

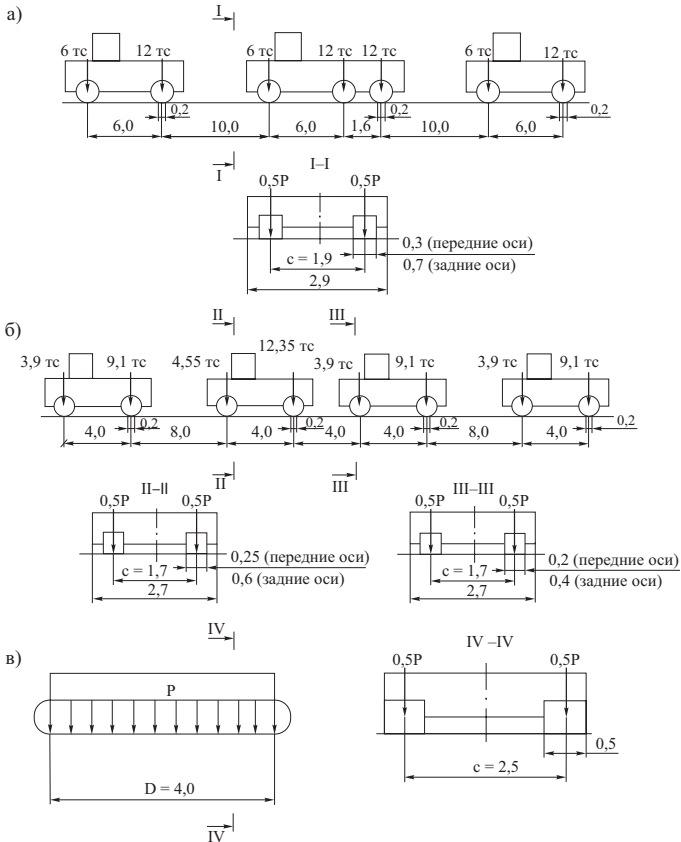
Нормативные временные подвижные вертикальные нагрузки для расчета искусственных сооружений назначались в различных комбинациях в зависимости от категории автомобильной дороги (таблица А.1).

Таблица А.1 – Расчетные комбинации временных подвижных вертикальных нагрузок для капитальных сооружений

Категория дороги	Автомобильная нагрузка (колонны грузовых автомобилей)	Колесная или гусеничная нагрузка
I–II	Н-18	НК-80
III	Н-13	НГ-60
IV	Н-13	НГ-60 или НГ-30
V	Н-10	НГ-60 или НГ-30

Нормативная автомобильная нагрузка Н-18 принималась в виде колонны следующих друг за другом двухосных грузовых автомобилей весом по 18 тс, среди которых имеется один утяжеленный трехосный автомобиль весом 30 тс (рисунок А.3а).

Нормативная автомобильная нагрузка Н-13 представляла собой колонну следующих друг за другом двухосных грузовых автомобилей весом по 13 тс, среди которых имелся один утяжеленный автомобиль весом 16,9 тс (рисунок А.3б).



а – нагрузка Н-18; б – нагрузка Н-13; в – нагрузка НГ-30

Рисунок А.3 – Схемы нагрузок

Нормативная автомобильная нагрузка Н-10 принималась в виде колонны следующих друг за другом двухосных грузовых автомобилей весом по 10 тс, среди которых имелся один утяжеленный автомобиль весом 13 тс (см. рисунок А.2б).

Нормативная колесная нагрузка НК-80 (см. рисунок А.1б) и нормативные гусеничные нагрузки НГ-60 (см. рисунок А.1в) и НГ-30 (общим весом $P = 294$ кН (30 тс), рисунок А.3в) состояли из одного транспортного средства.

Колесная нагрузка НК-80 и гусеничные нагрузки совместно с автомобильной и пешеходной нагрузками не учитывались. При расчете на колесную и гусеничную нагрузки допускаемые напряжения на материалы несущих конструкций повышали на 30 %.

Динамические коэффициенты, коэффициенты полосности к временным нагрузкам приведены в разделе А.10 приложения А.

По ширине проезда допускалось устанавливать любое количество колонн автомобилей, вызывающих наибольшее воздействие в рассчитываемых элементах, при условии, что:

- расстояние между кузовами автомобилей в соседних колоннах не менее 0,1 м;
- габарит автомобиля (кузова) в крайних колоннах не выступает за пределы ширины проезда.

Колонны автомобилей на ездовом полотне устанавливались в расчетное положение параллельно оси сооружения и были направлены в одну сторону. При этом длина колонны не ограничивалась.

Каждая колонна автомобилей могла быть расположена с разрывами между отдельными автомобилями, если такое размещение вызывало наибольшее воздействие.

Колесная нагрузка НК-80 и гусеничные нагрузки по ширине проезда устанавливались в положение, вызывающее наибольшее воздействие в рассчитываемом элементе, но не ближе 0,25 м к краю проезда, считая от края обода или гусеницы.

А.5 Нагрузки по нормам ГУШОСДОРА 1948 г.

Нормативные временные подвижные вертикальные нагрузки для расчета капитальных сооружений назначались в виде колонн автомобилей по схемам Н-13 и Н-10 (см. рисунки А.3б и А.2б) и одиночных гусеничных нагрузок, обозначенных в нормах как Н-60 и Н-30. Параметры гусеничных машин Н-60 и Н-30 аналогичны гусеничной нагрузке НГ-60 (см. рисунок А.1в) и НГ-30 (см. рисунок А.3в).

Расчетные комбинации временных подвижных нагрузок: Н-13 и НГ-60; Н-10 и НГ-60; Н-13 и НГ-30; Н-10 и НГ-30. Конкретное значение устанавливалось заданием на проектирование.

Гусеничные нагрузки совместно с автомобильной и пешеходной нагрузками не учитывались. При расчете на гусеничные нагрузки допускаемые напряжения на материалы несущих конструкций повышали на 30 %.

Динамические коэффициенты, коэффициенты полосности к временным нагрузкам приведены в разделе А.10 приложения А.

По ширине проезда допускалось устанавливать любое количество колонн автомобилей, вызывающих наибольшее воздействие в рассчитываемых элементах, при условии, что:

- расстояние между кузовами автомобилей в соседних колоннах не менее 0,1 м (минимальное расстояние между осями соседних колонн 2,8 м);
- габарит автомобиля (кузова) в крайних колоннах не выступает за пределы ширины проезда.

Колонны автомобилей на ездовом полотне устанавливались в расчетное положение параллельно продольной оси сооружения и были направлены в одну сторону. При этом длина колонны не ограничивалась.

Каждая колонна автомобилей могла быть расположена с разрывами между отдельными автомобилями, если такое размещение вызывало наибольшее воздействие.

Гусеничные нагрузки по ширине проезда устанавливались в положение, вызывающее наибольшее воздействие в рассчитываемом элементе, но не ближе 0,25 м к краю проезда, считая от края гусеницы.

А.6 Нагрузки по нормам ГУШОСДОРА 1943 г.

Нормативные временные подвижные вертикальные нагрузки для расчета капитальных сооружений назначались в виде колонны автомобилей по схеме Н-10 (см. рисунок А.2б) и одиночных гусеничных нагрузок от тракторов Т-60/5 и Т-30/4 (см. соответственно рисунки А.1в и А.3в). Цифровые индексы гусеничных нагрузок соответствуют массе трактора в тоннах (в числителе) и длине гусеничного отпечатка в метрах (в знаменателе). Нагрузка Н-13 норм проектирования была исключена в связи с необходимостью экономии строительных материалов в военное время.

Расчетные комбинации временных подвижных нагрузок: Н-10 и Т-60/5; Н-10 и Т-30/4. Конкретное их значение устанавливалось заданием на проектирование.

Гусеничные нагрузки совместно с автомобильной и пешеходной нагрузками не учитывались.

При расчете на гусеничные нагрузки допускаемые напряжения на материалы несущих конструкций повышали на 30 %.

Динамические коэффициенты, коэффициенты полосности к временным нагрузкам приведены в разделе А.10 приложения А.

По ширине проезда допускалось устанавливать любое количество колонн автомобилей, вызывающих наибольшее воздействие в рассчитываемых элементах, при условии, что:

- расстояние между кузовами автомобилей в соседних колоннах не менее 0,1 м (минимальное расстояние между осями соседних колонн 2,8 м);
- габарит автомобиля (кузова) в крайних колоннах не выступает за пределы ширины проезда.

Колонны автомобилей на ездовом полотне устанавливались в расчетное положение параллельно продольной оси сооружения и были направлены в одну сторону. При этом длина колонны не ограничивалась.

Каждая колонна автомобилей могла быть расположена с разрывами между отдельными автомобилями, если такое размещение вызывало наибольшее воздействие.

Гусеничные нагрузки по ширине проезда устанавливались в положение, вызывающее наибольшее воздействие в рассчитываемом элементе, но не ближе 0,25 м к краю проезда, считая от края гусеницы.

А.7 Нагрузки по нормам ГУШОСДОРА 1938 г.

Нормативные временные подвижные вертикальные нагрузки для расчета искусственных сооружений назначались в различных комбинациях в зависимости от класса (категории) автомобильной дороги (таблица А.2).

Гусеничные нагрузки совместно с автомобильной и пешеходной нагрузками не учитывались. При расчете на гусеничные нагрузки допускаемые напряжения на материалы несущих конструкций повышали на 30 %.

Динамические коэффициенты, коэффициенты полосности к временным нагрузкам приведены в разделе А.10 приложения А.

Таблица А.2 – Расчетные комбинации временных подвижных вертикальных нагрузок для капитальных сооружений

Класс (категория) дороги	Количество полос	Габариты проезда	Автомобильная нагрузка	Тракторная (гусеничная) нагрузка
I	4	Г-14 и Г-16,5	Н-13	Т-60
II	2	Г-7 и Г-9,5; Г-6,5 в горной местности	Н-10	Т-25 (Т-60 – по заданию на проектирование)
III	2	Г-6,5 и Г-8,5	Н-10	Т-25 (Т-60 – по заданию на проектирование)

Нагрузка Н-13 (см. рисунок А.3б) в составе четырех колонн при габарите проезда не менее 14 м располагалась по две колонны на каждой половине ширины проезда в любом положении, но без захода габарита ближайшей к оси проезжей части колонны на соседнюю половину. При меньшем количестве колонн они устанавливались по ширине проезда в любое невыгодное положение.

Для мостов на дорогах II и III классов (категорий) по ширине проезда устанавливалось любое количество колонн нагрузки Н-10 (см. рисунок А.2б), допускаемое габаритом и вызывающее наибольшее воздействие в рассчитываемых элементах. Во всех случаях должны быть соблюдены следующие условия:

- расстояние между кузовами автомобилей в соседних колоннах не менее 0,1 м (минимальное расстояние между осями соседних колонн 2,8 м);
- габарит автомобиля (кузова) в крайних колоннах не выступает за пределы ширины проезда.

Колонны автомобилей на ездовом полотне устанавливались в расчетное положение параллельно продольной оси сооружения и были направлены в одну сторону. При этом длина колонны не ограничивалась.

Каждая колонна автомобилей могла быть расположена с разрывами между отдельными автомобилями, если такое размещение вызывало наибольшее воздействие.

Гусеничные нагрузки по ширине проезда устанавливались в любое положение, вызывающее наибольшее воздействие в рассчитываемом элементе.

А.8 Параметры нормативных нагрузок

В таблицах А.3 и А.4 приведены основные параметры нормативных автомобильных и гусеничных нагрузок.

Т а б л и ц а А.3 – Основные параметры автомобильных нормативных нагрузок

Наименование параметра	Величина параметра при схеме нагрузки						
	Н-30	Н-18	Н-13	Н-10	Н-18	Н-13	Н-10
		Утяжеленный автомобиль			Нормальный автомобиль		
Вес расчетного автомобиля, тс	30,0	30,0	16,9	13,0	18,0	13,0	10,0
Нагрузки, тс: на заднюю ось	2×12	2×12	12,35	9,5	12,0	9,1	7,0
на переднюю ось	6,0	6,0	4,55	3,5	6,0	3,9	3,0
Ширина кузова, м	2,9	2,9	2,7	2,7	2,9	2,7	2,7
База автомобиля, м	6,6	6,6	4,0	4,0	6,0	4,0	4,0
Расстояние между осями скатов (ширина колен), м	1,9	1,9	1,7	1,7	1,9	1,7	1,7
Ширина отпечатка, м: заднего ската	0,6	0,7	0,6	0,4	0,7	0,4	0,3
переднего ската	0,3	0,3	0,25	0,2	0,3	0,2	0,15
Длина отпечатка ската (вдоль движения), м	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Т а б л и ц а А.4 – Основные параметры гусеничных нормативных нагрузок

Наименование параметра	Величина параметра при схеме нагрузки					
	НГ-60	НГ-30	Т-60/5	Т-30/4	Т-60	Т-25
Полный вес нагрузки, тс	60,0	30,0	60,0	30,0	60,0	25,0
Давление на 1 пог.м гусеницы, тс/м	6,0	3,75	6,0	3,75	4,6	2,5
Число гусениц машины, ед.	2	2	2	2	2	2
Длина отпечатка гусеницы, м	5,0	4,0	5,0	4,0	6,5	5,0
Ширина гусеницы, м	0,7	0,5	0,7	0,5	0,6	0,4
Расстояние между осями гусениц, м	2,6	2,5	2,6	2,5	2,5	2,5

Примечание – Схема одиночной гусеничной нагрузки Т-25 (общим весом Р = 245 кН (25 тс)) соответствует схеме нагрузки НГ-30 (см. рисунок А.3в).

А.9 Временная нагрузка от пешеходов на тротуарах

Интенсивность временной нагрузки от пешеходов на тротуарах при расчетах основных несущих конструкций автодорожных мостов принималась:

- по нормам ГУШОСДОРА 1938 г. и 1943 г. – 400 кгс/м^2 при длине загружаемого участка до 20 м, 300 кгс/м^2 при длине более 30 м, для промежуточных значений – по интерполяции;

- нормам ГУШОСДОРА 1948 г. и Н 106–53 – 300 кгс/м^2 ;

- СН 200–62 – 400 кгс/м^2 ;

- СНиП 2.05.03–84 и СНиП 2.05.03–84* – $\rho = 3,92 - 0,0196\lambda$, кПа ($\rho = 400 - 2\lambda$, кгс/м), но не менее $1,96 \text{ кПа}$ (200 кгс/м), где λ – длина загрузки (сумма длин при загрузке двух участков и более), м.

А.10 Расчетные коэффициенты к временным нагрузкам

В таблицах А.5–А.7 приведены коэффициенты надежности, полосности и динамические коэффициенты по различным нормам проектирования.

Таблица А.5 – Коэффициенты надежности по нагрузке γ_f

Наименование нагрузки	Случай применения	Величина коэффициента надежности
Колонны грузовых автомобилей, одиночные колесные и гусеничные нагрузки по нормам 1938–1953 гг.	При всех расчетах на вертикальные и горизонтальные воздействия	1,0
Колонны грузовых автомобилей по нормам СН 200–62	То же	1,4
НК-80 и гусеничные нагрузки по нормам СН 200–62	- 1 -	1,1
Тележка АК	При расчетах элементов проезжей части	1,5
	При расчетах всех других элементов	1,5 при $\lambda = 0$ 1,2 при $\lambda \geq 30 \text{ м}$
Равномерно распределенная часть нагрузки АК	При всех расчетах на вертикальные и горизонтальные воздействия	1,2
НК-80 и НГ-60 по СНиП 2.05.03–84* и СНиП 2.05.03–84	То же	1,0

Примечание – λ – длина участка линии (поверхности) влияния одного знака; для промежуточных значений λ коэффициенты γ_f принимают по интерполяции.

Таблица А.6 – Коэффициенты полосности для колонн грузовых автомобилей

Количество полос движения	Величина коэффициента полосности в нормах проектирования					
	1938 г.	1943 г.	1948 г.	Н 106–53	СН 200–62 при длине загрузки, м	
					≤25	>25
1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9
3	0,85 ^{*)}	0,85 ^{*)}	0,85 ^{*)}	0,85 ^{*)}	1,0	0,8
4	0,75 ^{**) (для Н-10); 1,0 (для Н-13)}	0,75 ^{**) (для Н-10); 1,0 (для Н-13)}	0,75 ^{**) (для Н-10); 1,0 (для Н-13)}	0,75 ^{**) (для Н-10); 1,0 (для Н-13)}	1,0	0,7
Более 4	-	-	-	-	1,0	0,7

Примечания

1 Значения коэффициента полосности указаны для каждой полосы движения.

2 Длина загрузки ≤25 м фактически обозначает вариант загрузки линии влияния колоннами, в каждой из которых не более двух грузовых автомобилей по схеме Н-30.

3 ^{*)} – Максимальное воздействие от трех колонн с учетом снижения величины коэффициента полосности не должно быть меньшим, чем от двух колонн.

4 ^{**)} – Максимальное воздействие от четырех колонн с учетом снижения величины коэффициента полосности не должно быть меньшим, чем от двух колонн.

Согласно СНиП 2.05.03–84* коэффициент полосности принимали:

- с одной полосы движения, где нагрузка приводит к самым неблагоприятным результатам, равным 1 для тележек и равномерно распределенной части нагрузки;

- остальных полос движения для нагрузки АК равным: 1 – для тележек и 0,6 – для равномерно распределенной части нагрузки.

Динамический коэффициент для всех одиночных гусеничных и колесных нагрузок для всех элементов мостового сооружения устанавливался: по нормам до 1984 г. – $1 + \mu = 1$; по СНиП 2.05.03–84 и СНиП 2.05.03–84* – $1 + \mu = 1,1$.

Таблица А.7 – Динамические коэффициенты для колонн грузовых автомобилей и нагрузки АК

Наименование конструкции	Величина динамического коэффициента в нормах проектирования				СНиП 2.05.03-84*; СНиП 2.05.03-84
	1938 г.	1943 г.	1948 г.	Н 106-53	СН 200-62
Металлические и сталежелезобетонные пролетные строения всех типов кроме элементов главных ферм висячих и вантовых мостов				$1 + \mu = 1 + 15/(37,5 + \lambda)$	
Элементы главных ферм металлических пролетных строений и металлических пилонов висячих и вантовых мостов				$1 + \mu = 1 + 50/(75 + \lambda)$	
Железобетонные балочные пролетные строения, рамные конструкции, сквозные надарочные строения	$1 + \mu = 1,1 + 0,01 \times (15 - \lambda)$, не более 1,2 и не менее 1,1	$1 + \mu = 1,0 + 0,01 \times (45 - \lambda)$, не более 1,4 и не менее 1	$1 + \mu = 1,0 + 0,0075 \times (45 - \lambda)$, не более 1,3 и не менее 1	$1 + \mu = 1,0 + 0,0075 \times (45 - \lambda)$, не более 1,3 и не менее 1	$1 + \mu = 1,0 + 0,0075 \times (45 - \lambda)$, не менее 1
Арки и своды арочных железобетонных пролетных строений со сквозной надарочной конструкцией	$1 + \mu = 1,0 + 0,003 \times (70 - \lambda)$, не более 1,15 и не менее 1	$1 + \mu = 1,0 + 0,005 \times (70 - \lambda)$, не более 1,25 и не менее 1	$1 + \mu = 1,0 + 0,004 \times (70 - \lambda)$, не более 1,2 и не менее 1	$1 + \mu = 1,0 + 0,004 \times (70 - \lambda)$, не более 1,2 и не менее 1	$1 + \mu = 1 + 0,004 \times (70 - \lambda)$, не менее 1
Железобетонные, бетонные и каменные арки со сплошным надеводным строением	$1 + \mu = 1,0 + 0,002 \times (70 - \lambda)$, не более 1,1 и не менее 1			$1 + \mu = 1$	
Деревянные конструкции пролетных строений				$1 + \mu = 1$	
Массивные опоры (бетонные), деревянные опоры, фундаменты и основания				$1 + \mu = 1$	
Элементы металлических опор кроме пилонов висячих и вантовых мостов				$1 + \mu = 1 + 15/(37,5 + \lambda)$	
Элементы металлических пилонов висячих и вантовых мостов				$1 + \mu = 1 + 15/(37,5 + \lambda)$	
Железобетонные, бетонные, тонкостенные и стоечные опоры	$1 + \mu = 1$	$1 + \mu = 1,0 + 0,01 \times (45 - \lambda)$, не более 1,4 и не менее 1	$1 + \mu = 1,0 + 0,0075 \times (45 - \lambda)$, не более 1,3 и не менее 1	$1 + \mu = 1,0 + 0,0075 \times (45 - \lambda)$, не более 1,3 и не менее 1	$1 + \mu = 1,0 + 0,0075 \times (45 - \lambda)$, не менее 1

Приложение Б

Плотность (объемный вес) конструкционных материалов

Б.1 Плотность (объемный вес) бетона и железобетона принимают по таблице Б.1.

Т а б л и ц а Б.1 – Плотность бетона и железобетона

Материал	Плотность бетона и железобетона, кН/м ³ (тс/м ³), для пролетных строений и опор в нормах проектирования		
	1906–1937 гг.	1938–1961 гг.	после 1961 г.
Бетон вибрированный на гравии или щебне из природного камня, железобетон при коэффициенте армирования менее 0,03	21,5 (2,2)	23,5 (2,4)	23,5 (2,4)
Железобетон при коэффициенте армирования более 0,03	23,5 (2,4)	25,5 (2,6)	24,5 (2,5)

Б.2 Среднюю плотность (объемный вес) материалов кладки опор принимают по таблице Б.2.

Т а б л и ц а Б.2 – Средняя плотность материалов кладки опор

Материал кладки опор	Средняя плотность, кН/м ³ (тс/м ³)
Тесаные или грубоколотые камни:	
гранит	26,5 (2,7)
песчаник	23,5 (2,4)
известняк	21,6 (2,2)
Бут и бутобетон:	
на тяжелом известняковом камне	22,6 (2,3)
легком известняковом камне	19,6 (2,0)
песчаниках и кварцитах	21,6 (2,2)
граните и базальте	23,5 (2,4)
Бетон:	
на гравии или щебне из природного камня	21,6 (2,2)
кирпичном щебне	17,6 (1,8)
шлаке доменных печей	15,7 (1,6)
угольным шлаке или пемзе	11,8 (1,2)
коковом шлаке	10,8 (1,1)

Объемный вес грунта засыпки между обратными стенками устоев принимают не менее 17,6 кН/м³ (1,8 тс/м³).

Б.3 Плотность (объемный вес) покрытия ездового полотна и тротуаров (бетона, асфальтобетона и цементобетона) принимают не менее $24,5 \text{ кН/м}^3$ ($2,5 \text{ тс/м}^3$).

Б.4 Плотность (объемный вес) стальных элементов принимают равным $76,98 \text{ кН/м}^3$ ($7,85 \text{ тс/м}^3$).

Б.5 Объемный вес деревянных элементов указан в таблице Б.3.

Т а б л и ц а Б.3 – Объемный вес древесины

Материал древесины	Объемный вес, кН/м^3 (тс/м^3)
Сосна, ель, кедр:	
непропитанные	5,89 (0,6)
пропитанные (в том числе для клееных конструкций)	6,87 (0,7)
Дуб, лиственница:	
непропитанные	7,85 (0,8)
пропитанные (в том числе для клееных конструкций)	8,23 (0,9)
Бакелизированная фанера	10,00 (1,02)

Приложение В

Рекомендации по составлению конечно-элементных расчетных моделей для получения линий и поверхностей влияния усилий

В.1 Общие положения

Численное моделирование элементов мостовых сооружений целесообразно выполнять стержневыми изгибаемыми (балочными) конечными элементами с шестью степенями свободы (в англоязычных программах имеют название Beam). Такие конечные элементы обеспечивают непосредственное получение необходимых силовых компонент – продольной и двух поперечных сил, крутящего и двух изгибающих моментов. Стержневые конечные элементы применяют для моделирования элементов мостовых конструкции (в том числе – переменного сечения), длина которых не менее чем в 5 раз превышает высоту сечения.

Для расчетов элементов мостов, работающих на местные нагрузки (железобетонная и ортотропная плиты проезжей части), для расчетов на местную устойчивость, а также в других случаях, когда неприменимы стержневые элементы, необходимо использовать плитные (плоскостные) конечные элементы, имеющие, как правило, пять степеней свободы и допускающие изгиб как в плоскости, так и из плоскости. В англоязычных программах такие конечные элементы имеют названия Plate или Shell. Эти элементы позволяют получать погонные усилия (три продольные силы вдоль осей координат и два момента вокруг осей в плоскости элемента), распределенные на длину конечного элемента. Поскольку длины сторон плитных конечных элементов далеко не всегда равны 1 м, то фактическую длину распределения усилий следует учитывать при определении, например, несущего момента при расчете железобетонной плиты проезжей части.

Возможна также комбинация в одной конечно-элементной схеме стержневых и плитных элементов при учете особенностей их стыковки с разным числом степеней свободы.

Использование объемных конечных элементов (в англоязычных программах такие конечные элементы имеют название Solid) для расчета грузоподъемности не целесообразно только в том случае, если применение стержневых и плитных конечных элементов не позволяет напрямую получить требуемые значения (например, поверхности влияния напряжений в продольных и поперечных ребрах жесткости ортотропных плит) или получение таких значений затруднительно.

В.2 Расчетные модели балочных разрезных пролетных строений

В.2.1 Моделирование пролетного строения балочным ростверком

Расчетная схема железобетонных балочных пролетных строений, объединенных по плите проезжей части, представляет собой систему перекрестных балок (балочную клетку или балочный ростверк), как правило, имеющих жесткость двух типов. Элементы первого типа жесткости предназначены для моделирования главных балок пролетного строения и имеют соответствующие характеристики жесткости. Элементы второго типа жесткости являются в расчетной схеме поперечными балками и предназначены для объединения главных балок в пространственную схему. Для назначения жесткости поперечных балок, как правило, применяют прямоугольное поперечное сечение высотой, равной толщине плиты, и шириной, равной расстоянию между узлами сетки на главных балках.

Армирование балок при назначении жесткости элементов допускается не учитывать.

В продольном направлении главные балки необходимо разбивать не менее чем на 10 конечных элементов. Как правило, степень разбивки определяется подбором, если результаты расчета при более крупной и более мелкой сетке отличаются незначительно, то дальнейшее дробление на конечные элементы не целесообразно.

В поперечном направлении достаточно располагать узлы конечно-элементной сетки только на главных балках. Разделение поперечных балок на большее количество конечных элементов не имеет смысла.

Узлы сетки балочных пролетных строений, жесткость которых незначительно меняется по длине пролета, достаточно размещать на уровне центров тяжести конечных элементов. При существенном изменении высоты сечения (например, для рамно-консольных мостов) может потребоваться введение дополнительных узлов для закрепления балок, которые должны быть связаны с узлами на геометрической оси элементов двухузловыми упругими связями (пружинами). Жесткость таких связей по вертикали может быть бесконечно большой, а в горизонтальных направлениях соответствовать подвижности опорных частей.

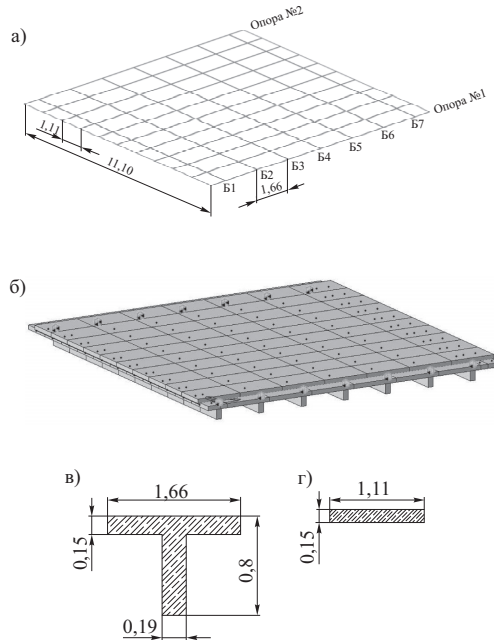
Узлы модели следует располагать:

- в точках, где должны быть получены результаты расчета;
- в местах:
 - приложения нагрузок,
 - изменения жесткости,
 - изменения свойств материала;
- на границах конструкции.

Закрепление модели необходимо выполнять согласно фактической работе опорных частей. При установке РОЧ от перемещений вдоль моста достаточно закрепить один узел, а от перемещений поперек моста – по одному

узелу на концах средней (или ближайшей к оси пролетного строения) главной балки. Перемещения по вертикали закрепляются во всех узлах на опорах, все углы поворота могут быть свободны.

Пример расчетной модели пролетного строения по типовому проекту 56Д показан на рисунке В.1, на котором на опоре № 1 запрещены все перемещения, кроме поворота вокруг оси, перпендикулярной оси пролетного строения; на опоре № 2 запрещены все перемещения, кроме линейного вдоль оси пролетного строения и поворота вокруг оси, перпендикулярной оси пролетного строения.



а, б – схемы в геометрических осях с закреплениями и «в теле»;

в, г – сечение элементов главных и поперечных балок
(глобальная ось координат X направлена поперек пролета,
глобальная ось координат Y – вдоль пролета)

Рисунок В.1 – Расчетная модель пролетного строения
по типовому проекту 56Д

В приведенных конструкциях для приложения постоянных нагрузок целесообразно рассматривать две расчетные схемы: собственный вес и вес стыков омоноличивания прикладывают в расчетной схеме одной балки; остальные нагрузки – в пространственной расчетной схеме балочного ростверка. Однако если различие в результатах не велико, то допускается все нагрузки прикладывать только в пространственной расчетной схеме.

В.2.2 Моделирование пролетных строений и опор плитными (пластинчатыми) конечными элементами

Плитные (пластинчатые) конечные элементы целесообразно использовать для определения грузоподъемности мостов, расположенных в кривых, элементов мостов, работающих на местную нагрузку, плитных элементов фундаментов, а также балок по фибровым напряжениям и в некоторых других случаях.

Для моделирования можно применять четырехузловые плитные (пластинчатые) конечные элементы, допускающие приложение нагрузок перпендикулярно плоскости элемента. Сетка таких элементов должна быть более мелкой в тех местах, где ожидаются наибольшие напряжения или требуются детальные результаты расчета.

Сгущение сетки используется в следующих областях:

- геометрической неоднородности или близости к отверстиям;
- где прикладываемые нагрузки наиболее существенны, например точечные нагрузки относительно большой величины или в зонах опирания;
- где жесткость или свойства материалов меняются;
- с границами неправильной формы;
- где ожидается концентрация напряжений;
- где требуются более детальные результаты внутренних сил или напряжений в элементах.

Формы и размеры элементов следует по возможности унифицировать. Стремиться соблюдать соотношение размеров сторон 1:1 и по возможности – не меньше 1:4. Различие в размерах соседних элементов не должно превышать значение 1:2. Для изменения размеров элементов лучше использовать логарифмические зависимости. Для переходной жесткости допускается соотношение размеров менее 1:10.

Следует стремиться соблюдать углы около 90° для четырехугольных и около 60° для треугольных элементов. В любом случае внутренние углы элементов не должны выходить за пределы интервала от 45° до 135° для четырехугольных и от 30° до 150° для треугольных элементов.

При моделировании опирания пролетного строения на опору во избежание получения неверной концентрации напряжений целесообразно узел закрепления пролетного строения соединять с соседними узлами двухузловыми упругими связями с характеристиками жестких вставок.

При стыковании в узле стержневого и плитного элементов, имеющих разное количество степеней свободы (например, при моделировании опирания тела опоры на ростверк фундамента, когда тело опоры моделируется стержневыми элементами, а ростверк – плитными), следует принимать меры для компенсации такого несоответствия. В качестве подобных мер может служить также применение двухузловых упругих связей (пружин) с характеристиками жестких вставок или введение дополнительных стержневых балочных элементов с бесконечной изгибной жесткостью для связи узла контакта тела опоры и ростверка с узлами соседних плитных элементов.

В.3 Моделирование косых мостов

В.3.1 Общие положения

Алгоритм моделирования косых мостов представляет собой последовательность построения поверхностей влияния для пролетных строений балочных разрезных пролетных строений.

Для расчета предпочтительны стержневые двухузловые изгибаемые конечные элементы с шестью степенями свободы в узле. Конструкция моделируется балочным ростверком (см. подраздел В.2.1) – системой продольных и поперечных перекрестных стержней. Число продольных стержней равно числу балок в пролетном строении. Число стержней, моделирующих работу конструкции в поперечном направлении, равно числу участков разбиения конструкции вдоль пролета. Продольные стержни имеют характеристики балок, а поперечные стержни – плиты. Дополнительные поперечные стержни назначаются в створах, в которых необходимо получить поверхности влияния силовых факторов.

Система координат прямоугольная, начало координатных осей совпадает с начальным (опорным) узлом первой балки в пролетном строении. Ось Y направлена вдоль оси первой балки в пролетном строении, ось X – вправо.

В зависимости от косины моста α могут быть использованы три варианта алгоритма:

- «А» при $-10^\circ < \alpha < 10^\circ$;
- «Б» при $\alpha \leq -10^\circ, \alpha \geq 10^\circ$;
- «В» при $\alpha > \arctg(L_p/B)$,

где L_p – длина расчетного пролета, м;

B – расстояние между крайними балками в пролетном строении, м.

Алгоритм «А»

Формирование модели рекомендуется выполнять в следующей последовательности:

1 Создают стержневые конечные элементы, моделирующие работу главных балок пролетного строения (далее – элементы типа «Б»). Геометрические характеристики стержней и модуль упругости принимают в соответствии с их фактическими значениями.

2 В начале стержня, соответствующего началу каждой балки пролетного строения, устанавливают шарнирно-неподвижные опоры, в конце – шарнирно-подвижные. Для стержней, моделирующих плитные, плитно-ребристые (сводчатые) балки, дополнительно запрещают углы поворота относительно их продольных осей. Это связано с тем, что балки этого типа устанавливаются на два ребра, а не на одно, т. е. предполагается, что угол закручивания опорных сечений равен нулю.

3 Создают стержневые конечные элементы, моделирующие работу плиты проезжей части (далее – элементы типа «П»). Эти стержни объединяют балки в поперечном направлении. Узлы объединения со стержнями главных балок образуются в местах пересечения с поперечными стержнями. Шаги получившейся сетки вдоль пролетного строения должны быть не более $L_p/10$.

4 Разбивают пополам те конечные элементы типа «П», которые соединяют смежные балки (элементы типа «Б»). Это осуществляют путем добавления в середину каждого поперечного элемента типа «П» дополнительного узла.

5 Сечение элементов типа «П» принимают прямоугольным. Ширину сечения (длину плиты вдоль пролетного строения) назначают равной полусумме расстояний до смежных поперечных створов. Высота сечения соответствует толщине плиты балки h_r .

6 Случай, когда объединение балок в пролетном строении между собой отсутствует, моделируют разделением поперечных элементов типа «П» зазором шириной не более 2 см.

7 Преобразуют модели в косую путем изменения ординат всех узлов

$$Y_i = Y_i + X_i \operatorname{tg} \alpha.$$

8 Добавляют стержневые конечные элементы, моделирующие диафрагмы пролетного строения (при необходимости). Места расстановки и характеристики стержней принимают в соответствии с фактическими данными.

Алгоритм «Б»

Формирование модели рекомендуется выполнять в следующей последовательности:

1 Создают стержневые конечные элементы, моделирующие работу главных балок пролетного строения (элементы типа «Б»). Элементы создают в положении, которое соответствует положению балок в пролетном строении, с учетом угла косины α . Добавляют закрепления (см. алгоритм «А» пункт 2).

2 Создают стержневые конечные элементы типа «П». На этом шаге поперечные стержни создают только для начального и конечного участков (участки № 1 и № 2 на рисунке В.2). Продольная ось этих стержней направлена перпендикулярно осям балок. Узлы объединения со стержнями балок образуются в местах их пересечений. Шаг получившейся сетки вдоль пролетного строения не регулярный, равен $b \operatorname{tg} \alpha$, где b – расстояние между осями соседних балок пролетного строения.

3 Создают стержневые конечные элементы типа «П» для прямого участка (см. участок № 3 на рисунке В.2).

4 Разбивают элементы типа «П» пополам. При необходимости моделируют отсутствие объединения между балками (см. алгоритм «А»).

5 При необходимости добавляют конечные элементы, моделирующие диафрагмы (см. алгоритм «А», пункт 2).

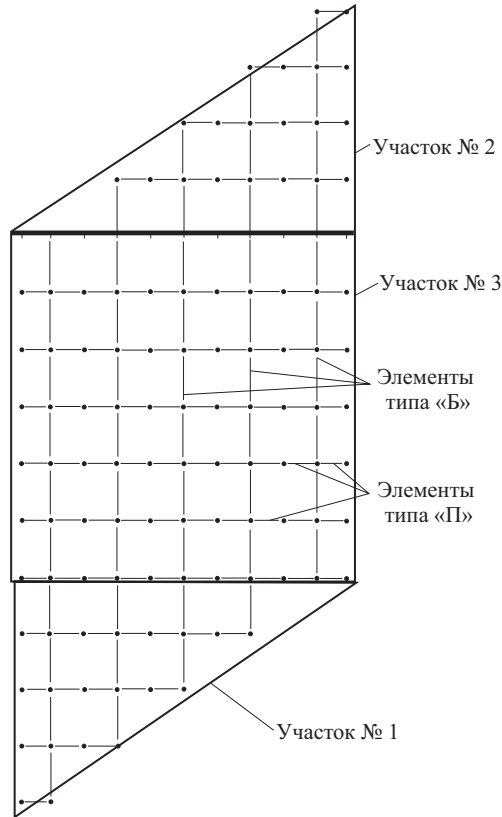


Рисунок В.2 – Схема к формированию расчетной модели косого пролетного строения по алгоритму «Б»

Алгоритм «В»

Этот алгоритм рекомендуется для пролетных строений с большой косиной. Он отличается от алгоритма «Б» отсутствием прямого участка (см. участок № 3 на рисунке В.2). Начальная косина принимается $\alpha' = \arctg(L_p/B)$. Модель в конце формирования дополнительно скашивают за счет изменения ординат всех узлов. Окончательный угол косины равен α .

В.3.2 Вычисление силовых факторов в выбранных створах

После определения перемещений вычисляют усилия в выбранных створах для каждого нагружения (узла). Результаты вычислений образуют поверхность влияния.

При расчете на поперечную силу возможны два варианта назначения створа:

- положение створа $Y = 0$. При этом вычисляется опорная реакции в начале балки;
- положение створа $Y > 0$. При этом вычисляется поперечная сила в начале стержня балки, следующего за выбранным створом. В соответствии с правилами строительной механики в том створе, где действует единичная сила, на поверхности формируется скачок соответствующей величины.

При расчете на поперечную силу конструкций с косиной $\alpha \geq 10^\circ$ рекомендуется принимать значение створа $Y = 0$.

В.4 Особенности определения усилий от временной нагрузки при расчетах методом конечных элементов

В.4.1 Усилие в рассчитываемом элементе от заданной временной нагрузки определяется ее положением на ездовом полотне мостового сооружения. Невыгоднейшее положение, создающее максимальное усилие, зависит от конфигурации поверхности влияния.

Процедура размещения нагрузки на поверхности влияния основывается на основном правиле – при наличии экстремумов на загружаемой части поверхности нагрузка устанавливается своими осями в экстремумы поверхности влияния. Начинается алгоритм с того, что первое транспортное средство размещается своей первой осью в первый экстремум линии влияния. При таком его положении устанавливается второе транспортное средство. При этом если имеются экстремумы, то второе транспортное средство размещается в экстремумы также первой своей осью. При отсутствии других экстремумов – на минимально установленной дистанции к первому транспортному средству и т. д. Когда вариантов больше не остается, первое транспортное средство перемещается так, что размещается второй своей осью в первый экстремум, и процедура продолжается. После исчерпания всех вариантов выбирается тот, при котором создается максимальное усилие. В результате применения данного алгоритма количество положений транспортных средств, в которых необходимо выполнять расчет усилий, резко сокращается по сравнению с алгоритмом последовательного перебора всех возможных вариантов при стандартной прокатке.

Таким образом, осуществляется установка транспортных средств во всех назначенных продольных створах по ширине ездового полотна моста от крайнего левого возможного положения до крайнего правого с заданным шагом. На основании данных по створам выполняется поиск положений колонн, которые суммарно создают максимальное усилие. Для этого строится «виртуальная линия влияния» поперечного давления, которая описывает усилие, создаваемое колоннами транспортных средств в зависимости от их размещения поперек оси проезжей части – горизонтальная координата описывает положение колонны поперек моста, вертикальная – значение усилия, создаваемого этой колонной.

Строится «виртуальное транспортное средство», которое имеет продольную осевую схему, соответствующую поперечной осевой схеме расставляемой нагрузки. Такая нагрузка размещается на «виртуальной линии влияния» с дистанцией, соответствующей заданному интервалу между колоннами, а количество таких транспортных средств не должно превышать количество колонн.

Результатом работы алгоритма является схема расположения транспортных средств на ездовом полотне моста, при котором создается максимальное воздействие и определяется значение усилия. Схема размещения транспортного средства включает перечень колонн (их положение) и перечень (положение) транспортных средств в каждой колонне.

В.4.2 В автоматизированном режиме определения грузоподъемности по второму способу (см. пункт 4.2.3) допускаемые классы нагрузок АК, НК и допускаемую массу эталонной трехосной нагрузки ЭН₃ вычисляют итерационным путем (последовательными приближениями), подбирая искомые величины К и Р из серии прямых расчетов.

Рекомендуемый порядок итерационного расчета:

1 Временную нагрузку располагают на линии (поверхности) влияния изгибающего момента или продольной силы так, чтобы величина соответствующего усилия в рассматриваемом сечении являлась наибольшей.

2 Начальную величину класса нагрузки К (для нагрузок АК и НК) или величину нагрузки на ось Р эталонных грузовых автомобилей принимают равной 1.

3 Определяют величины усилий от внешних воздействий (например, момента и продольной силы) при заданных значениях К и Р.

4 Выполняют проверку прочности сечения согласно указаниям, приведенным в соответствующих пунктах настоящего методического документа.

5 Если хотя бы одно из проверяемых условий нарушено, расчет закончен и в качестве допускаемого класса К нагрузок АК или НК или допускаемой массы эталонных грузовых автомобилей m_3 принимают соответствующую величину предыдущего шага расчета.

6 Если ни одно из проверяемых условий не нарушено, величину класса К или нагрузки на ось Р эталонных грузовых автомобилей увеличивают на величину соответственно $0,1K$ или $0,1$ тс и расчет повторяют с шага 3 расчета.

Начальные величины класса К и нагрузки на ось Р эталонных грузовых автомобилей, величины приращения класса или нагрузки на ось выбирают исходя из желаемой скорости расчета.

Приложение Г

Рекомендации по учету последовательности монтажа, усилий от осадок опор, регулирования усилий, изменения температуры

Для статически неопределимых конструкций, сталежелезобетонных пролетных строений, при усилении эксплуатируемых пролетных строений накладной железобетонной плитой следует учитывать последовательность (стадийность) монтажа и регулирования усилий в соответствии с проектной и исполнительной документацией. Перераспределение усилий в конструкциях от осадок опор и изменения температуры при необходимости также должны быть учтены. Влияние перечисленных факторов либо включают соответствующим образом в значение предельной несущей способности рассчитываемого элемента, либо относят к прочим воздействиям и вычисляют с использованием численных методов или применяя известные приемы строительной механики (например, метод сил).

Приложение Д

Рекомендации по определению расчетных длин внецентренно сжатых стержней

В общем случае расчетные длины стержней ℓ_0 , учитываемые в расчетной схеме сооружения, определяют с учетом условий закрепления их концов по формуле

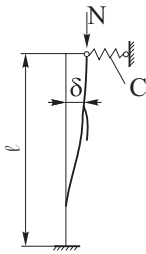
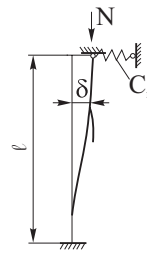
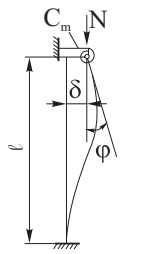
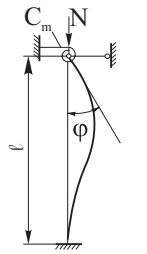
$$\ell_0 = \mu h, \quad (\text{Д.1})$$

где μ – коэффициент свободной длины стержня;

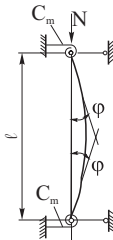
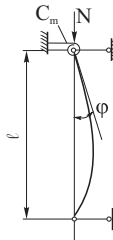
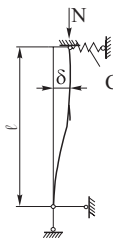
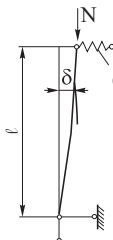
h – геометрическая длина стержня (расстояние между точками закрепления) в расчетной схеме, м.

Коэффициенты свободной длины стержней определяют по формулам таблицы Д.1.

Таблица Д.1 – Коэффициенты свободной длины стержней с упруго-податливыми связями

А	Б	В	Г
Верхний конец – упругая горизонтальная связь, угол поворота разрешен. Нижний конец – защемление	Верхний конец – упругая горизонтальная связь, угол поворота запрещен. Нижний конец – защемление	Верхний конец – упругая горизонтальная связь, угол поворота разрешен с упругой связью. Нижний конец – защемление	Верхний конец – жесткая горизонтальная связь, угол поворота разрешен с упругой связью. Нижний конец – защемление
			
$\mu = \sqrt{\frac{n_1 + 18}{2n_1 + 4,5}}$ $2,0 \geq \mu \geq 0,7$	$\mu = \sqrt{\frac{n + 4,8}{2n + 4,8}}$ $1,0 \geq \mu \geq 0,5$	$\mu = \sqrt{\frac{n + 4}{n + 1}}$ $2,0 \geq \mu \geq 1,0$	$\mu = 0,5 \sqrt{\frac{n + 4,8}{n + 2,4}}$ $0,7 \geq \mu \geq 0,5$

Окончание таблицы Д.1

Д	Е	Ж	З
Оба конца – жесткая горизонтальная связь, угол поворота разрешен с упругой связью  $\mu = \frac{n + 4,8}{2n + 4,8}$ $1,0 \geq \mu \geq 0,5$	Верхний конец – упругая горизонтальная связь, угол поворота разрешен с упругой связью. Нижний конец – шарнир несмещаемый  $\mu = \sqrt{\frac{n + 4,8}{2n + 4,8}}$ $1,0 \geq \mu \geq 0,7$	Верхний конец – упругая горизонтальная связь, угол поворота запрещен. Нижний конец – шарнир несмещаемый  $\mu = \pi \sqrt{\frac{1,3}{n_1 + 3}}$ $2,0 \geq \mu \geq 1,0$	Верхний конец – упругая горизонтальная связь, угол поворота разрешен. Нижний конец – шарнир несмещаемый  $\mu = \frac{\pi}{\sqrt{n}}$ При $n_1 > \pi \mu = 1$

Примечание – μ – коэффициент свободной длины стержня; n – характеристика жесткости углового защемления, определяемая по формуле (Д.2); n_1 – характеристика жесткости линейного защемления, вычисляемая по формуле (Д.3); C_m – коэффициент жесткости упругого углового защемления, равный значению реактивного момента, возникающего в опорном сечении при повороте его на угол, равный 1 рад; C_n – коэффициент жесткости упругого линейного защемления, равный значению реактивной силы, возникающей в опорном сечении при смещении его на 1 м.

Характеристика жесткости углового защемления находится по формуле

$$n = C_m h / EI, \quad (\text{Д.2})$$

характеристика жесткости линейного защемления – по формуле

$$n_1 = C_n h^3 / EI, \quad (\text{Д.3})$$

где EI – жесткость стержня.

Величины C_n и C_m , которые являются перемещениями узлов расчетной схемы от единичной силы, могут быть определены как методом сил, так и численно с использованием метода конечных элементов непосредственным нагружением расчетной схемы соответствующей единичной силой.

Приложение Е

Соотношение физических величин в системах СГС и СИ, используемых в данном методическом документе

Таблица Е.1 – Соотношение физических величин в системах СГС и СИ

Наименование величины	Единица измерения в системах				Соотношение единиц измерения
	СГС		СИ		
	Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение	
Сила, нагрузка, вес	килограмм-сила тонна-сила	кгс тс	ньютон	Н	1 кгс ~ 10 Н 1 тс ~ 10 кН
Распределенная линейная нагрузка	килограмм-сила на метр тонна-сила на метр	кгс/м тс/м	ньютон на метр	Н/м	1 кгс/м ~ 10 Н/м 1 тс/м ~ 10 кН/м
Распределенная поверхностная нагрузка	килограмм-сила на квадратный метр тонна-сила на квадратный метр	кгс/м ² тс/м ²	паскаль	Па	1 кгс/м ² ~ 10 Па 1 тс/м ² ~ 10 Па
Давление, напряжение (механическое)	килограмм-сила на квадратный сантиметр килограмм-сила на квадратный миллиметр	кгс/см ² кгс/мм ²	паскаль	Па	1 кгс/см ² ~ 0,1 МПа 1 кгс/мм ² ~ 10 МПа
Нормативные и расчетные сопротивления, модуль упругости, модуль сдвига	килограмм-сила на квадратный сантиметр	кгс/см ²	паскаль	Па	1 кгс/см ² ~ 0,1 МПа
Момент силы, момент пары сил	килограмм-сила-метр	кгс·м	ньютон-метр	Н·м	1 кгс·м ~ 10 Н·м

Библиография

- [1] ОДМ 218.1.001–2010 Рекомендации по разработке и применению документов технического регулирования в сфере дорожного хозяйства
- [2] ОДМ 218.3.014–2011 Методика оценки технического состояния мостовых сооружений на автомобильных дорогах
- [3] ОДМ 218.2.012–2011 Классификация конструктивных элементов искусственных дорожных сооружений
- [4] ОДМ 218.4.028–2016 Методические рекомендации по определению грузоподъемности эксплуатируемых мостовых сооружений на автомобильных дорогах общего пользования. Опорные части, опоры и фундаменты

ОКС

Ключевые слова: мостовое сооружение, класс по грузоподъемности, определение грузоподъемности

Руководитель организации-разработчика
СТУПС

Проректор по научной работе _____ С.А. Бокарев

Редактор *В.М. Сафронова*
Корректор *О.П. Вьюнова*
Компьютерная верстка *Т.В. Серегина*
Компьютерная графика *Т.Б. Рябинкина*

Подписано в печать 13.06.2019 г. Формат бумаги 60х84 1/16.
Уч.-изд.л. 3,6. Печ.л. 4,0. Тираж 300.

Адрес ФГБУ «ИНФОРМАВТОДОР»:
129085, г. Москва, Звёздный бульвар, д. 21, стр. 1
Тел.: +7 (495) 747-91-00, 747-91-05
E-mail: sif@infad.ru
Сайт: информавтодор.рф