

2.5. Нагрузки и воздействия, устанавливаемые при проектировании мостовых сооружений и труб

Нагрузки и воздействия, принимаемые при расчете мостов, подразделяют на постоянные и временные. К *основным постоянным* нагрузкам относят собственный вес пролетных строений и опор, силы предварительного натяжения, давление от веса грунта на устои.

К *основным временным* относят нагрузки от проходящих по мосту транспортных средств и пешеходов: вертикальные подвижные нагрузки, горизонтальные поперечные нагрузки от центробежной силы и боковых ударов подвижной нагрузки, горизонтальные продольные нагрузки от торможения подвижной нагрузки, давление грунта от подвижного состава.

Кроме основных видов нагрузки, на мосты могут оказывать действие *прочие нагрузки*: ветровые, ледовые, от навала судов, строительные, сейсмические, от воздействия температуры среды и морозного пучения грунтов.

При расчете мостов нагрузки учитывают в различных возможных их сочетаниях. Основными сочетаниями считают одновременное действие постоянной нагрузки, временной подвижной вертикальной нагрузки, давления грунта, вызванного временной нагрузкой, центробежной силы. Дополнительными называют сочетания, при которых одновременно с одной или несколькими нагрузками основных сочетаний действует также одна или несколько остальных видов нагрузок, кроме сейсмических и строительных. Особыми называют сочетания, включающие сейсмические или строительные нагрузки, совместно с другими нагрузками.

Нормативные временные вертикальные нагрузки от подвижного состава на автомобильных дорогах изменяются во времени с тенденцией постоянного их возрастания. Их изменение в России за период с 1931 по 1962 г. приведено на рис. 2.3. В начале в качестве нагрузки принимались колонны автомобилей с устанавливаемыми в колонне расстояниями между автомобилями и указанием положения осей автомобилей и нагрузок на них в тс.

На рис. 2.3, *а* приведена нагрузка типа Н-10 с двухосными грузовиками общей массой 10 т, введенная в 1931 г. В ее составе имелся один утяжеленный двухосный грузовик с общей массой 13 т.

В 1938 г. возникла необходимость введения нагрузки Н-13 (рис. 2.3, *б*) из двухосных грузовиков общей массой 13 т с одним утяжеленным грузовиком массой 16,9 т. Кроме того, была введена гусеничная нагрузка НГ-60, сохранившаяся до настоящего времени. В 1953 г. была введена нагрузка Н-18 (рис. 2.3, *в*) из двухосных грузовиков с общей массой 18 т и с одним утяжеленным трехосным грузовиком массой 30 т. Одновременно была введена оди-

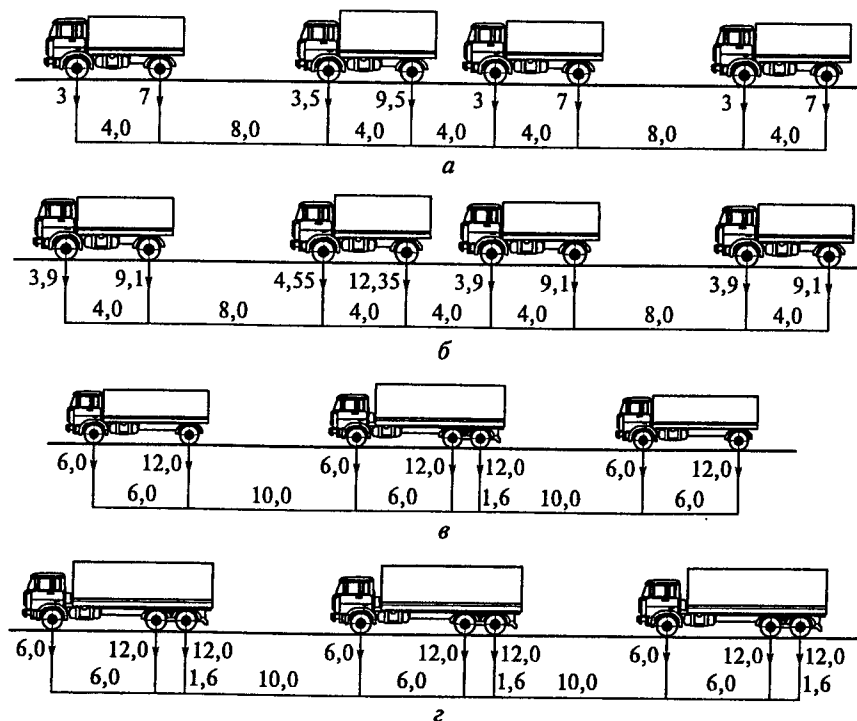


Рис. 2.3. Эволюция схем временных нагрузок для автодорожных и городских мостов:

а — нормы 1931 г.; *б* — нормы 1938 г.; *в* — нормы 1953 г.; *г* — нормы 1962 г.

ночная нагрузка НК-80, действующая до настоящего времени. В 1962 г. была введена автомобильная нагрузка Н-30 (рис. 2.3, *г*) с трехосными грузовиками общей массой 30 т с сохранением одиночных колесной нагрузки НК-80 и гусеничной НГ-60, действующих по настоящее время.

С января 1986 г. с введением в действие СНиП 2.05.03-84 «Мосты и трубы» установлены новые нагрузки на автодорожные мосты. В соответствии с этими нормами нагрузка от автомобильных средств в настоящее время по предложению А.И. Васильева принимается в виде полос нагрузки АК (рис. 2.4, *а*), каждая из которых включает одну двухосную тележку с нагрузкой на ось P , равной 9,81 К, кН, и равномерно распределенную нагрузку интенсивностью v (на обе колеи), равной 0,98 К, кН/м. Усилие от колеса тележки распределяется по площадке со сторонами 0,2 м вдоль движения и 0,6 м поперек движения тележки. Каждая полоса равномерно распределенной нагрузки имеет интенсивность $0,5v$ и в поперечном направлении распределяется на ширине 0,6 м.

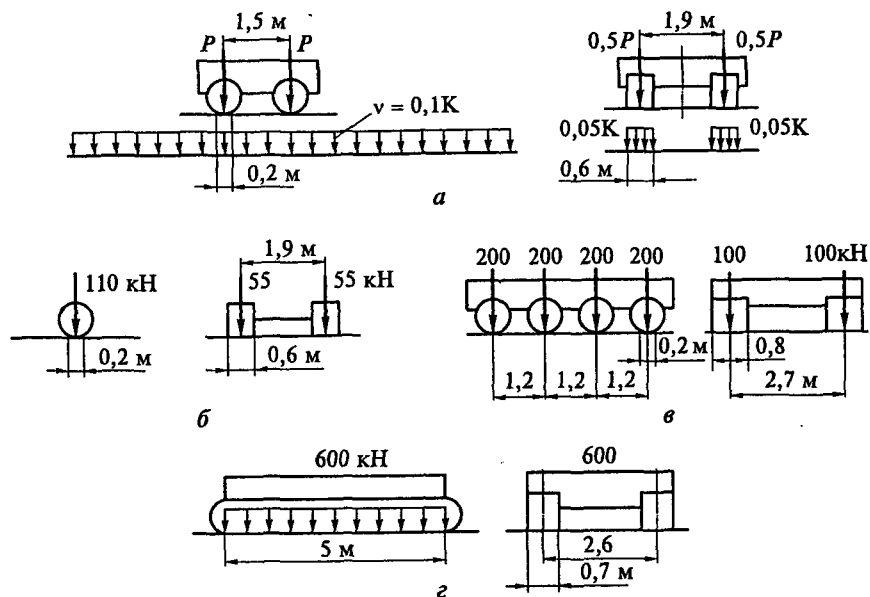


Рис. 2.4. Современные схемы временных нагрузок для расчета автодорожных и городских мостов:

а — автомобильная нагрузка АК; б — одиночная ось для проверки элементов проезжей части; в — НК-80; г — НГ-60

Класс нагрузки принимают равным А11 для всех мостов и труб, кроме деревянных на дорогах V категории, для которых он может быть принят равным А8. Элементы проезжей части мостов, проектируемые под нагрузку А8, проверяют на усилие от одиночной оси, равное 110 кН (см. рис. 2.3, б).

На каждой полосе нагрузки АК устанавливают только одну тележку в самое неблагоприятное положение по длине загрузки независимо от числа участков загрузки. Равномерно распределенную нагрузку устанавливают на всех участках линий влияния одного знака. Число полос нагрузки, размещаемых на проезжей части, не должно превышать установленного числа полос движения. Расстояние между осями смежных полос нагрузки должно быть не менее 3 м.

Предусматриваются два случая загрузки нагрузкой АК. В первом из них на проезжей части невыгодно размещаются все предусмотренные проектом полосы движения и загружаются тротуары пешеходной нагрузкой. Во втором случае на ездовом полотне невыгодно размещаются только две полосы движения, а на однополосных мостах — только одна полоса. При этом тротуары пешеходной нагрузкой не загружаются.

Оси крайних полос нагрузки АК при этом должны быть расположены не ближе 1,5 м от кромки проезжей части в первом случае и от ограждения ездового полотна во втором случае.

При расчете конструкций мостов на действие нескольких полос нагрузки АК самую неблагоприятно расположенную из них принимают с коэффициентом $S_1 = 1$. С остальных полос нагрузки принимают с коэффициентами $S_1 = 1$ для тележек и $S_1 = 0,6$ для равномерно распределенной нагрузки. Коэффициент S_1 учитывает уменьшение вероятности одновременного полного загрузки всех полос.

Кроме автомобильной нагрузки, по мостам пропускают особо тяжелые одиночные грузы: трейлеры, тягачи, тракторы и специальные виды техники. Поэтому конструкции проверяют на пропуск одиночных колесных и гусеничных нагрузок. Мосты, рассчитываемые на нагрузку А11, проверяют на действие одного тяжелого трейлера НК-80 (рис. 2.4, в) весом 800 кН, а мосты под нагрузку А8 — на действие одной гусеничной нагрузки НГ-60 весом 600 кН (рис. 2.4, г). В поперечном направлении нагрузку НК-80 или НГ-60 располагают на проезжей части (в узком смысле) в любом наиболее неблагоприятном положении, но край колеса или гусеницы не должен выступать за ее пределы.

Городские мосты, имеющие пути метрополитена или трамвая на специально выделенном полотне, проверяют на действие нормативных нагрузок от поездов метро или трамвая (см. п. 2.12 СНиП 2.05.03-84*). Мосты, расположенные на дорогах промышленных предприятий, проверяют на специальные автомобильные нагрузки, соответствующие реально обращающимся грузовым автомобилям (см. п. 2.13 СНиП 2.05.03-84*).

Вертикальную нагрузку на тротуары и пешеходные мосты принимают в виде толпы людей. При расчете мостов, имеющих тротуары, ее учитывают вместе с нагрузкой АК. При пропуске одиночных нагрузок НК-80 и НГ-60 тротуары не загружают.

Нормативную нагрузку от толпы людей на пешеходных мостах принимают вертикальной и равномерно распределенной по всей поверхности прохода с интенсивностью $P = 3,92$ кПа. Для тротуаров эту нагрузку принимают по формуле, кПа,

$$P = 3,92 - 0,0196\lambda \geq 1,96,$$

где λ — длина загрузки линии влияния, м.

Тротуары городских мостов, кроме того, проверяют на сосредоточенную силу 19,6 кН с площадкой распределения 15×10 см, а для остальных мостов — на вертикальную силу 3,4 кН.

Нормативное давление грунта от подвижного состава при расчете труб учитывают в соответствии с п. 2.17 СНиП 2.05.03-84*.

При расположении сооружений на горизонтальных кривых радиусом 600 м и менее учитывают горизонтальную поперечную

нагрузку, возникающую от центробежных сил, вызванных движением временной нагрузки по кривой. Значение центробежной силы зависит от радиуса горизонтальной кривой, класса временной вертикальной нагрузки, числа полос движения и длины загрузки. Центробежную силу от нагрузки АК принимают в виде горизонтальной равномерно распределенной нагрузки v_h , приложенной на высоте 1,5 м над поверхностью проезжей части моста и направленной в сторону выпуклости кривой. При многополосном движении горизонтальную нагрузку учитывают с коэффициентом S_1 , при этом со всех полос движения, кроме одной, загружаемых нагрузкой АК, принимают с коэффициентом $S_1 = 0,6$.

Величину v_h для мостов при радиусе кривых 250 м и менее принимают по формуле $v_h = \frac{P}{\lambda} K$, а свыше 250 м (до 600 м) — по

формуле $v_h = \frac{M}{r\lambda} K$, где P — сила, равная 4,4 кН; M — момент, равный 1 079 кН; r — радиус кривой, м.

Во всех случаях величина v_h должна быть не менее $(12,7/r)K$, кН/м, и более 0,49К, кН/м.

Горизонтальные поперечные воздействия временной нагрузки возникают при отклонении автомобилей от прямолинейного направления в плане. Нормативную горизонтальную поперечную нагрузку от возникающих ударов принимают в виде равномерно распределенной нагрузки, равной 0,39К, кН/м, или сосредоточенной силы, равной 5,9К, кН, приложенных в уровне верха покрытия проезжей части, где К — класс нагрузки АК.

Расчет элементов ограждения проезжей части производят на нагрузки, приведенные в п 2.19 СНиП 2.05.03-84*.

Горизонтальную распределенную нагрузку на сооружение, возникающую при торможении подвижной нагрузки и действующую вдоль его оси, принимают только от равномерно распределенной части вертикальной нагрузки АК в соответствии с п. 2.20 СНиП 2.05.03-84*.

Указания о назначении нормативных значений прочих временных нагрузок и воздействий (ветровых, ледовых, от навала судов, температурных, сейсмических) приведены в пп. 2.24 — 2.31 СНиП 2.05.03-84*.

Все рассмотренные нормативные временные вертикальные нагрузки, являясь подвижными, воздействуют на мост динамически и вызывают в нем усилия и деформации большие, чем при статическом воздействии.

Особенности работы пролетных строений мостов при действии подвижных нагрузок с определенными массами определяются влиянием четырех основных факторов:

- 1) скорости движения транспортного средства;
- 2) жесткости рессор кузова транспортного средства;
- 3) неровности на поверхности ездового полотна и дефектов в колесах подвижной нагрузки;
- 4) величины пролета.

Скорость движения транспортных средств влияет на работу пролетного строения даже при отсутствии любых дефектов на проезжей части и в самой нагрузке, так как при ее изменении возникают инерционные силы, увеличивающие прогибы пролетного строения.

Но при этом отношение наибольшего динамического прогиба к статическому прогибу, называемое динамическим коэффициентом, при реальных скоростях движения подвижных нагрузок оказывается незначительным.

Второй фактор оказывает более существенное влияние. При движении автомобиля происходят колебания его кузова, что приводит к изменению нагрузки на ось с периодом, равным периоду колебаний кузова, зависящим от жесткости его рессор. Динамическое воздействие возрастает при приближении периода колебаний кузова к периоду колебаний пролетного строения и может иметь резонансный характер при их совпадении.

Третий фактор — ударные воздействия, возникающие из-за дефектов ездового полотна или в самой подвижной нагрузке. Дефекты в ездовом полотне вызывают непериодическое воздействие, дефекты на колесах транспортных средств могут вызывать ритмичный характер воздействия, что приводит к возникновению колебаний резонансного характера.

Учет динамического воздействия подвижных нагрузок в мостах производится путем увеличения статических нагрузок на величину динамических коэффициентов, получаемых на основе анализа массовых динамических испытаний эксплуатируемых мостов. Динамический коэффициент уменьшается при увеличении пролета. Формулы для динамических коэффициентов к нагрузкам от подвижного состава автомобильных и городских дорог приведены в п. 2.22 СНиП 2.05.03-84*.

2.6. Общие сведения о методах расчета мостовых сооружений и труб

Группы предельных состояний. Необходимость выполнения расчетов у инженера-мостовика возникает при решении следующих задач:

- при определении необходимых размеров элементов создаваемой конструкции для пропуска заданной нагрузки — задача проектирования конструкции;