

# ВРЕМЕННЫЕ ВЕРТИКАЛЬНЫЕ НАГРУЗКИ: ПРОБЛЕМЫ ГАРМОНИЗАЦИИ СТАНДАРТОВ

Гармонизация российских норм проектирования мостовых сооружений с соответствующими нормами других стран не должна превратиться в простое копирование. Необходима заинтересованность всех стран в выработке единых правил на основе признанных научных концепций.



Применительно к проблемам гармонизации стандартов для временных вертикальных нагрузок от транспортных средств важно согласовать методики установления нормативных нагрузок, а также коэффициентов надежности по нагрузке, динамических коэффициентов и коэффициентов многополосности, последние учитывают различную загруженность полос мостового полотна. Следует помнить, что только благодаря знакомству с этими методиками инженер может критически отнестись к ним, что создает возможности для их усовершенствования.

Чтобы гармонизировать собственные стандарты, нам нужно уяснить, какие нормативы и методики действуют в других странах. Сопоставим действующие нормативные западноевропейские и российские нагрузки при загрузке мостового полотна.

Примем по нормам ENV1991-3/2000 следующие значения элементов нагрузки LM1 (ширина полосы — 3 м):

**при загрузке одной полосы:**

- нагрузка на оси тележки — 300 кН;

- расстояние между осями тележки в продольном направлении — 1,2 м;

- равномерно распределенная нагрузка — 27 кН/м;

**при загрузке двух полос на каждой полосе:**

- средняя нагрузка на оси тележки  $(300 + 200)/2 = 250$  кН;

- средняя равномерно распределенная нагрузка  $(27 + 7,5)/2 = 17,25$  кН/м.

**при загрузке трех полос на каждой полосе:**

- средняя нагрузка на оси тележки  $(300 + 200 + 100)/3 = 200$  кН;

- средняя равномерно распределенная нагрузка  $(27 + 7,5 + 7,5)/3 = 14$  кН/м.

Примем по нормам СНиП 2.05.03-84 следующие составляющие нормативной нагрузки А14:

**при загрузке одной полосы:**

- нагрузка на оси тележки 140 кН;

- равномерно распределенная нагрузка — 14 кН/м;

**при загрузке двух полос на каждой полосе:**

- средняя нагрузка на оси тележки  $140(1 + 1)/2 = 140$  кН;

- средняя равномерно распределенная нагрузка

$14(1 + 0,6)/2 = 14 \times 0,8 = 11,2$  кН/м;

**при загрузке трех полос на каждой полосе:**

- средняя нагрузка на оси тележки  $140(1 + 1 + 1)/3 = 140$  кН;

- равномерно распределенная нагрузка:

$14(1 + 0,6 + 0,6)/3 = 0,73 \times 14 = 10,26$  кН/м.

Используя треугольные линии влияния с вершинами в их начале и середине, можно построить зависимости эквивалентных нагрузок при принятых нормативных нагрузках LM1 и А14, в ситуациях, когда загружаются одна, две и три полосы мостового полотна (рис. 1). На графиках приведены средние значения нагрузок, приходящиеся на одну из полос при разных схемах загрузки.

Анализ полученных данных позволил установить, что эквивалентные нагрузки, приходящиеся на одну полосу при разных схемах загрузки, при нормативной нагрузке LM1 превышают соответствующие эквивалентные нагрузки от А14 при загрузке одной полосы в 2 раза, при загрузке двух — в 1,63 раза, при загрузке трех — в 1,37 раза.

Выполненное сравнение достаточно достоверно, но не позволяет определить, насколько превышения являются неприемлемыми. Это связано с тем, что нагрузки А14 и LM1 являются виртуальными, весьма условными. Они не содержат информации о том, на какие реальные нагрузки проектируются мостовые сооружения.

Так, детали обоснования применения нагрузки А14 не представлены в доступных литературных источниках, поэтому инженеры-проектировщики и преподаватели транспортных вузов не могут критически оценить ее, и соответственно не имеют четких представлений о том, на какую реальную нагрузку проектируются мостовые сооружения. Чтобы показать, что это действительно так, я приведу вначале краткую историю введения нормативных временных нагрузок для автодорожных мостовых сооружений в России, завершившуюся в 1986 году принятием нагрузки АК.

Нормативные вертикальные нагрузки от автотранспортных средств на автомобильных и городских дорогах изменяются во времени с тенденцией постоянного возрастания. На рис. 2, а приведена схема нагрузки типа Н-10 двухосными грузовиками общей массой 10 т, введенная в 1931 году. Она соответствовала нагрузке от перспективных в то время автомобилей ЗИЛ-

130. В составе колонны имелся один утяжеленный двухосный грузовик с общей массой 13 т.

Увеличение числа и массы автотранспортных средств и разработка их перспективных модификаций в 1938 году вызвали необходимость введения нагрузки Н-13 (рис. 2, б), учитывались двухосные грузовики общей массой 13 т и один утяжеленный — массой 16,9 т. Кроме того, была введена гусеничная нагрузка НГ-60, сохранившаяся до 2008 г.

В 1953 году была введена нагрузка Н-18 (рис. 2, в) рассматривалась колонна, состоящая из двухосных грузовиков общей массой 18 т с одним утяжеленным трехосным грузовиком массой 30 т. Одновременно введена одиночная нагрузка НК-80, действовавшая до 2008 года.

В 1962 году была введена Н-30 (рис. 2, г), учитывающая нагрузку от трехосных грузовиков общей массой 30 т, которые соответствовали разрабатываемым в то время автомобилям КраЗ-257. Одиночные нагрузки НК-80 и НГ-60 были сохранены.

Судя по рассмотренным схемам, приведенным на рис. 2, очевидно, что в качестве нормативных принимались нагрузки от колонн практически реальных автомобилей, более того указывались расстояния между машинами, положение осей и нагрузок, действующих на них. Схемы распределения нагрузки на оси автомобилей принимались с учетом разрабатываемых перспективных марок машин и интенсивного развития автомобильной промышленности СССР, а также увеличении потребности в более тяжеловесных транспортных средствах.

Численное значение любого усилия  $N_{\text{норм}}$  в элементах мостовых сооружений в зависимости от нагрузки, создаваемой колонной автомобилей при загрузении линии влияния соответствующего усилия, строго вычислялось по формуле

$$N_{\text{норм}} = \eta \sum P_i y_i, \quad (1)$$

где  $\eta$  — коэффициент поперечной установки, зависящий от расчетного количества полос движения и вычисляемый с учетом поперечной жесткости мостового сооружения;  $P_i$  — нормативные нагрузки на оси автомобилей, входящих в состав колонны;  $y_i$  — ординаты линии влияния под соответствующими осями автомобилей при критическом их положении.

Расчетное значение того же усилия от той же реальной нагрузки получали с использованием следующей формулы:

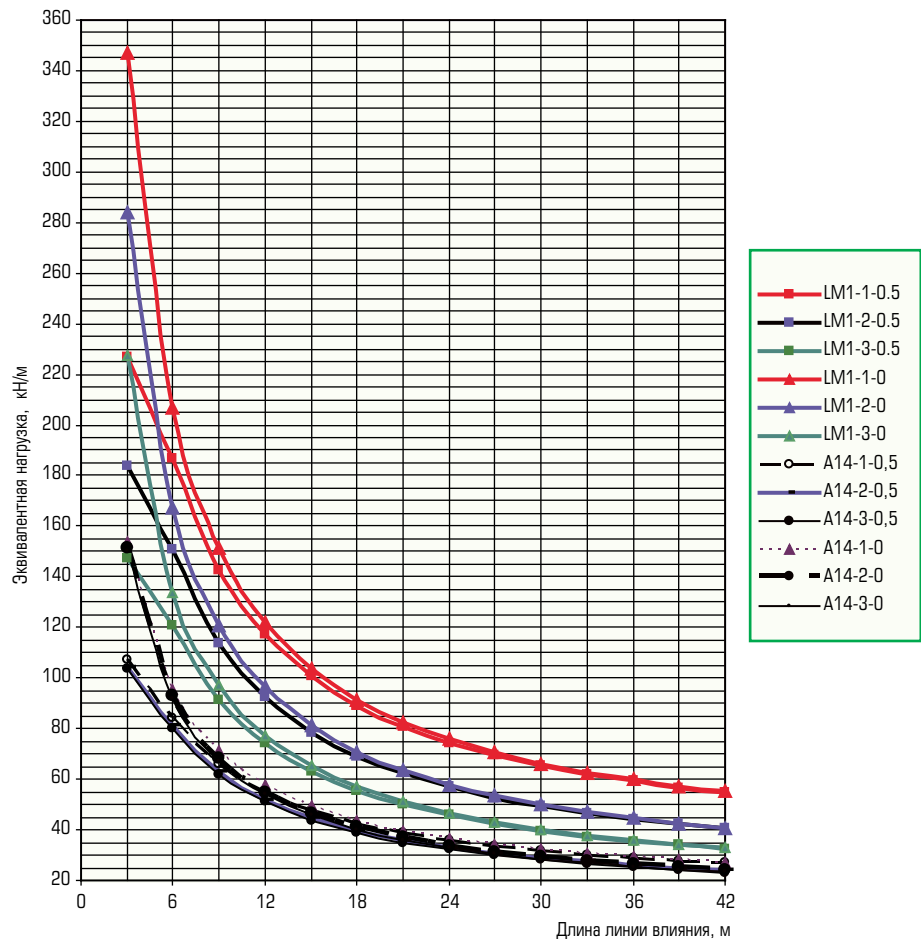


Рис. 1. Зависимость эквивалентных нагрузок от длины линии влияния при принятых нормативных нагрузках LM1 и A14



Рис. 2. Эволюция схем временных нагрузок для автодорожных мостов: а — нормы 1931 года; б — нормы 1938 года; в — нормы 1953 г.; г — нормы 1962 года.

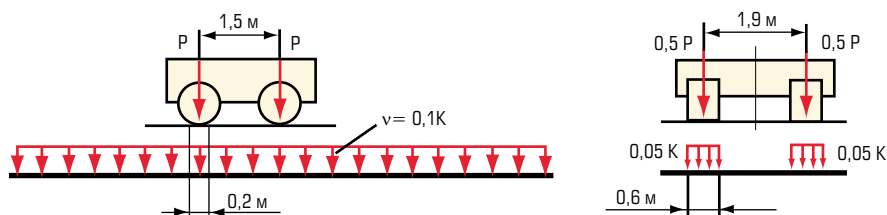


Рис. 3. Схема для определения условной нормативной нагрузки АК, введенная в 1986 году

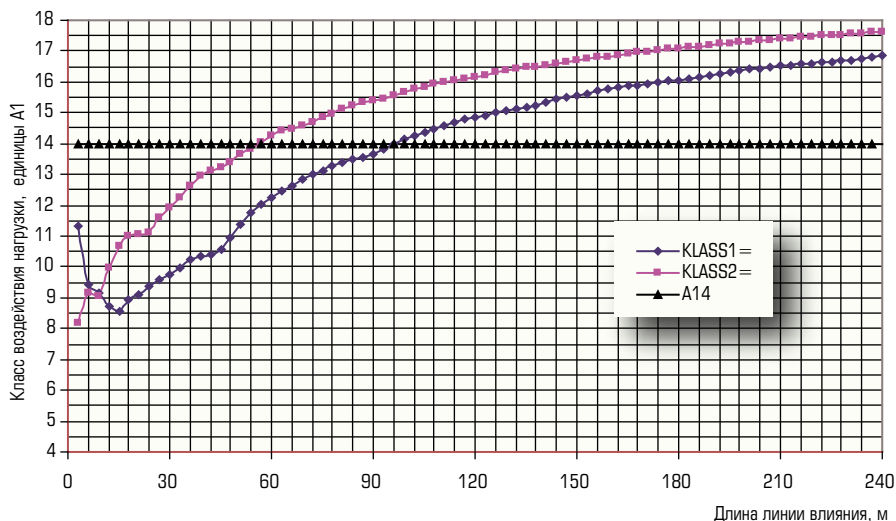


Рис. 4. Классификация воздействия колонны из 10 автопоездов, массой по 44 т с дистанцией 10 м

$$N_{\text{расч}} = \eta(1 + \mu) \gamma_f \sum P_i y_i \quad (2)$$

где  $(1 + \mu)$  — численное значение динамического коэффициента, вычисляемого в зависимости от длины пролета с учетом конструктивной формы сооружения, его материала по имевшимся эмпирическим формулам, полученным на основе обработки экспериментальных данных, учитывающих теоретические положения динамики сооружений;  $\gamma_f$  — коэффициент надежности по нагрузке, принимавшийся для реальной колонны автомобилей, который учитывал возможные перегрузки осей транспортных средств и изменение расстояний между ними в различных реальных ситуациях.

Важным достоинством нормативных нагрузок такого вида являлось то, что разнообразные мостовые сооружения с различными пролетами и все их элементы проектировались на воздействие одной и той же практически реальной установленной нормативной нагрузки. При введении в эксплуатацию мостовые сооружения с разными длинами пролетов имели одинаковую грузоподъемность, обозначавшуюся соответствующими знаками на дорогах при въезде на мост.

В качестве недостатка использования таких нормативных нагрузок по результатам работы инженеров в 1962–1986 году, когда вручную загружались линии и поверхности влияния, отмечалась трудность определения критического положения нагрузки на них. В интересах упрощения загрузки линий и поверхностей влияния в январе 1986 г. вместо достаточно реальной Н-30 в качестве нормативной временной нагрузки на автодорожные и городские мосты по аналогии с западноевропейскими нормами, но без их должной критической оценки была введена условная нагрузка, определявшаяся полосами нагрузки АК (рис. 3). Каждая из полос учитывала нагрузку на ось двухосной тележки Р, равную 9,81 К, кН и равномерно распределенную нагрузку интенсивностью  $v$  (на обе колеи), равную 0,98 К, кН/м. Класс воздействия нагрузки на элементы мостовых сооружений К был принят равным 11 для всех мостов и труб, кроме деревянных на дорогах V категории, для которых он мог быть принятым равным 8.

В январе 2008 года в России временная нормативная нагрузка на автодорожные мостовые сооружения со схемой АК была закреплена государ-

ственным стандартом ГОСТ Р 52748-2007. Этим стандартом класс К нормативной нагрузки АК для расчета стальных и железобетонных мостовых сооружений на дорогах всех категорий был установлен равным 14, а для деревянных мостов — 11.

Класс К воздействия нагрузки от любой колонны реальных автомобилей в единицах А1 принятой комбинированной нормативной нагрузки, состоящей из единичной равномерно распределенной нагрузки интенсивностью  $v = 0,98$  кН/м и нагрузки на ось тележки  $P = 9,81$  кН·с, по правилам строительной механики и методике классификации реальной нагрузки по ее воздействию на элементы мостового сооружения определяется путем приравнивания воздействия нормативной условной единичной нагрузки А1 при пропуске нагрузок по соответствующей линии влияния. При этом используется формула

$$K = \frac{\eta \sum P_i y_i}{\eta (N_{1p} + N_{1q})} = \frac{\sum P_i y_i}{(N_{1p} + N_{1q})} \quad (3)$$

где  $N_{1p}$  — усилие в элементе от воздействия тележки единичной нагрузки А1;  $N_{1q}$  — усилие в элементе от равномерно распределенной нагрузки для единичной нагрузки А1.

В ходе разнообразных исследований, выполненных в МАДИ в 2011 году, по заданию Росавтодора, установлено, что численное значение класса воздействия любой реальной нагрузки в единицах А1 существенно зависит от состава колонны автомобилей, распределения нагрузки между осями машин, дистанции между ними, от формы и длины линии влияния. Особенно важно то, что при прочих равных условиях численное значение класса воздействия нагрузки на элементы мостовых сооружений существенно возрастает при увеличении длины линии влияния.

Но класс нагрузки в единицах А1 действующими СНиП 2.05.03-84\* и введенным в действие ГОСТ Р 52748-2007 установлен постоянным для разных длин и форм линий влияния, что превратило эту условную нагрузку в далекую от реальности, не имеющую явной связи с существующими нагрузками. Это и позволило мне назвать ее виртуальной.

К чему привело введение постоянного класса нагрузки вне ее связи с длиной и формой линий влияния, рассмотрим на следующем примере.

На рис. 4 приведены графические зависимости классов воздействия нагрузки от длины линий влияния реальной колонны. График класса воздействия нагрузки А14 горизонтален и одинаков для разных форм и длин линий влияния, то есть одинаков для усилий в разных элементах сооружения, что абсурдно с позиций строительной механики: от одинаковой реальной нагрузки разные элементы мостового сооружения не могут иметь одинаковых усилий и, следовательно, одинакового класса. Нагрузка А14 сформирована по отношению к А1 так, что при загрузке ею линий влияния разных форм и длин класс ее воздействия всегда равен 14.

При рассмотрении реальной колонны транспортных средств класс воздействия на элементы мостовых сооружений зависит от длины и формы линий влияния, что строго соответствует правилам строительной механики. При использовании треугольных линий влияния с вершиной в середине длины, класс воздействия нагрузки (класс 1) в рассмотренном диапазоне длин линий влияния от 3 до 240 м изменяется от 8 до 16,5, а при применении треугольных линий влияния с вершиной в начале длины, класс воздействия (класс 2) изменяется в том же диапазоне длин линий влияния от 9,5 до 17,5. С возрастанием длин линий влияния классы воздействия этой нагрузки на элементы мостовых сооружений интенсивно возрастают и при длине линий влияния более 40 м значительно превышают установленный в стандарте класс воздействия 14. При меньших, чем 40 м, длинах линий влияния класс воздействия рассмотренной реальной колонны транспортных средств существенно меньше, предусмотренного стандартом. Место пересечения графиков классов усилий от реальной и виртуальной нагрузок сдвигается влево при возрастании класса реальной нагрузки.

К чему привело то, что все мостовые сооружения и их элементы проектируются на постоянный виртуальный класс усилий, в то время как класс нагрузки от любой реальной колонны транспортных средств существенно зависит от длины и формы линий влияния усилий? После того как мы рассмотрели приведенные выше и многочисленные другие примеры, можно сделать следующие выводы:

- на участке левее пересечения графиков классов реальной и виртуальной нагрузок, где класс воздействия виртуальной нагрузки больше, мостовые сооружения проектируются на избыточную нагрузку, а на остальной ее участке — на недостаточные нагрузки, что опасно для пролетных строений с большими пролетами;

- проектирование пролетных строений с различными длинами пролетов производится на разные и неизвестные проектировщикам и эксплуатационникам реальные нагрузки;

- проектирование элементов одного и того же мостового сооружения с принятой длиной пролета выполняется на различные и неизвестные проектировщикам и эксплуатационникам реальные нагрузки, что особенно опасно для элементов вантовых мостов, линии влияния усилий в которых имеют существенно различные формы и длину;

- пролетные строения с разными пролетами и их элементы в итоге имеют различные и неизвестные проектировщикам и эксплуатационникам степени обеспеченности несущей способности при воздействии реально проходящих транспортных средств; возникает вопрос: какие знаки грузоподъемности ставить перед новыми мостами на одной и той же дороге? Ведь на одной и той же дороге построенные новые мосты с использованием постоянной виртуальной нагрузки АК имеют различную грузоподъемность, начиная с 1986 года;

- использование постоянных значений классов виртуальной нагрузки при проектировании мостовых сооружений с разными пролетами создает ситуации экономических рисков, которые никто не исследовал.

К вышеприведенным следует добавить и следующие недостатки, имеющиеся в актуализированном СНИП 2.05.03–84\* и стандарте ГОСТ Р 52748–2007:

1. Класс нагрузки АК принят одинаковым для мостов на дорогах различных категорий и назначений, что экономически нецелесообразно. Так, например, мосты на дорогах, предназначенных только для легковых автомобилей, неразумно проектировать на А14.

2. В актуализированном СНИП 2.05.03–84\* Динамический коэффициент к нагрузке А14 принят различным для элементов виртуальной нагрузки и независимым от длины пролетных строений. Это противо-

речит динамике сооружений, а также физике явлений, так как элементы виртуальной нагрузки физически не существуют, поэтому невозможно и бессмысленно выделять их роль при динамическом воздействии на мостовое сооружение.

3. Коэффициенты надежности по нагрузке в актуализированном СНИП 2.05.03–84\* установлены различными для тележки и равномерно распределенной нагрузки, что также неприемлемо.

4. Виртуальная нагрузка А14, как не имеющая четкой связи с реальными нагрузками, непригодна для адекватных расчетов при загрузке поверхностей влияния усилий в мостовых сооружениях.

5. Тяжелая одиночная колесная нагрузка в виде НК-14, которая практически равнозначна НК100 по традиционному в России обозначению нагрузок, весьма избыточна по местному ее действию на элементы проезжей части мостовых сооружений. Нет, и не может быть транспортных средств с нагрузкой на оси 25 т, размещенных с шагом 1,2 м.

## Выводы и предложение

1. Выявленные в МАДИ при выполнении Госконтракта Росавтодора УД 47/245 недостатки, содержащиеся в актуализированном СНИП 2.05.03–84\* и стандарте ГОСТ Р 52748–2007, неприемлемы с учетом того, что мосты в легко определяемом диапазоне малых пролетов проектируются на избыточные нагрузки, а в остальном диапазоне больших пролетов — на недостаточные нагрузки.

2. Наличие выявленных недостатков недопустимо, поскольку это приводит к снижению качества образования будущих инженеров, кроме того, могут последовать не только значительные экономические потери, но и при определенных условиях (например, при образовании транспортных заторов на мостах) аварии и гибель людей.

3. Разработанные в МАДИ способы устранения отмеченных недостатков предлагается изложить в различных журналах для широкого обсуждения научной и инженерной общественностью РФ.

**П.М. Саламакин, д. т. н.,  
профессор кафедры  
«Мосты и транспортные тоннели»  
МАДИ, академик РАТ**