Интернет-журнал «Транспортные сооружения» <https://t-s.today>
Russian journal of transport engineering

2019, №3, Том 6 / 2019, No 3, Vol 6 <https://t-s.today/issue-3-2019.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/10SATS319.pdf>

DOI: 10.15862/10SATS319 (<http://dx.doi.org/10.15862/10SATS319>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Саламахин П.М., Решетников И.В. Критическая оценка отечественных и зарубежных временных вертикальных нормативных нагрузок на автодорожные мостовые сооружения, способ устранения выявленных их недостатков // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2019 №3, <https://t-s.today/PDF/10SATS319.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/10SATS319

For citation:

Salamahin P.M., Reshetnikov I.V. (2019). A critical assessment of domestic and foreign temporary vertical regulatory loads on road bridge structures, a way to eliminate their identified shortcomings. *Russian journal of transport engineering*, [online] 3(6). Available at: <https://t-s.today/PDF/10SATS319.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/10SATS319

УДК 624.21/.8

ГРНТИ 67.11.35

Саламахин Павел Михайлович

ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»
Москва, Россия

Управление научно-исследовательскими работами

Ведущий научный сотрудник

Доктор технических наук, профессор, академик Российской Академии транспорта

E-mail: pavel-salamahin@mail.ru

Решетников Илья Владимирович

ООО «Мосинжпроект», Москва, Россия

Главный инженер проектов

Кандидат технических наук

E-mail: remmostproekt@mail.ru

**Критическая оценка отечественных
и зарубежных временных вертикальных нормативных
нагрузок на автодорожные мостовые сооружения,
способ устранения выявленных их недостатков**

Аннотация. В докладе-статье подвергнуты критической оценке временные вертикальные нормативные комбинированные нагрузки на автодорожные мостовые сооружения западноевропейских стран, США и России. Они установлены с постоянными значениями параметров их равномерно распределенных нагрузок и нагрузок на оси тележек вне связи с составом транспортного движения на дорогах и вне связи с длиной и формой линий влияния силовых и деформационных факторов в элементах мостовых сооружений и используются в этих и во многих других странах при проектировании автодорожных мостовых сооружений. Показано, что спроектированные при этом мостовые сооружения с различными пролетами на одной и той же автомобильной дороге имеют различную и неизвестную для проектировщиков и эксплуатационников грузоподъемность, уменьшающуюся при увеличении пролетов более чем в два раза, что недопустимо по эксплуатационным и экономическим соображениям. Автором установлено, что использование нормативных документов других

стран в качестве образца при модернизации отечественных норм недопустимо в связи с экономическими соображениями.

В статье дается оценка грузоподъемности таких мостов как: Крымский мост и Бугринский мост в Новосибирске. Показано, что данные сооружения, в случае соблюдения требований современных нормативных документов РФ, не позволяют осуществить пропуск колонн автомобилей массой более 25–27 т в состоянии затора.

Указаны способы устранения выявленных недостатков этих комбинированных нормативных нагрузок. Представлены результаты расчетов, указывающие на то, что дальнейшее увеличение параметра K нагрузки АК к большим значениям не является действенным способом обеспечения требуемой грузоподъемности мостовых сооружений.

Ключевые слова: автодорожные мостовые сооружения; условные и реальные на них вертикальные временные нагрузки; линии влияния усилий в элементах мостовых сооружений; влияние длины и формы линий влияния усилий на значение эквивалентных нагрузок; недостатки условных нагрузок с постоянными значениями их параметров; способ устранения выявленных недостатков; нормативные документы; эквивалентные нагрузки

Введение

Проанализировав вид нормативных временных вертикальных комбинированных нагрузок, используемых при проектировании автодорожных мостовых сооружений в России, западной Европе, США и во многих других странах, автор этой статьи пришел к выводу, что заказчики проектов и проектировщики автодорожных мостовых сооружений, пользуясь ими без их критической оценки, способствуют нанесению вреда экономике своих стран.

Для доказательства этого учтем, что:

1. По мостовым сооружениям на автомобильных дорогах всего мира движутся бесконечные колонны транспортных средств и одиночные тяжеловесные транспортные средства, создавая в их элементах переменное во времени напряженное состояние.

2. Наибольшее напряженное состояние в элементах мостовых сооружений при их работе на общее действие временной вертикальной нагрузки создается теми участками бесконечных колонн транспортных средств или теми одиночными тяжеловесными транспортными средствами, которые на однозначных длинах линий влияния усилий в них создают наибольшую погонную нагрузку, а наибольшее напряженное состояние в элементах проезжей части мостовых сооружений при их работе на местное действие той же нагрузки создают наиболее нагруженные оси (или тележки) транспортных средства в составе тех же участков бесконечных колонн или тех же тяжеловесных транспортных средств.

3. В качестве нормативных вертикальных временных нагрузок для проектирования автодорожных мостовых сооружений поэтому логично иметь модели только тех участков бесконечных колонн с достоверными транспортными средствами и модели только тех достоверных тяжеловесных транспортных средств, которые вызывают в элементах мостовых сооружений наибольшее напряженное состояние за весь прогнозируемый срок их службы.

Но уже несколько десятилетий в большинстве стран мира в качестве нормативных вертикальных временных нагрузок на автодорожные мостовые сооружения по соображениям облегчения загрузки линий и поверхностей влияния силовых и деформационных факторов в элементах мостовых сооружений применяют условные нагрузки в виде комбинации (см. рис. 1–3) равномерно распределенной нагрузки с тележками из нескольких осей [1; 2].

Рисунок 1. Продольная схема западноевропейской нормативной комбинированной нагрузки LM1c $Q_{lk} = 300$ кН; $q_{lk} = 9$ кН/м² (EUROCODE 1 EN [3])

Рисунок 2. Продольная схема нормативной комбинированной нагрузки HL93 по нормам США (AASHTO LRFD [4])

Рисунок 3. Продольная схема нормативной комбинированной нагрузки АК по нормам РФ (СП 35.13330.2011). При $K = 14$, установлены $V = 14$ кН/м и двухосная тележка с нагрузками P на оси по 140 кН

Основная часть

Каждый из мостовиков, вправе ожидать, что используемые при проектировании автодорожных мостовых сооружений любые нормативные вертикальные временные нагрузки являются очевидным аналогом каких-то реальных максимально возможных нагрузок на них [5; 6].

Но легко убедиться в том, что приведенные на рис. 1–3 нормативные нагрузки по своему виду:

1. не имеют очевидной связи с реально действующими нагрузками на автодорожные мостовые сооружения, реально в таком виде не существуют, физически они недостоверны, вероятность их реализации в таком виде равна нулю [7];
2. по своему виду и форме они не могут являться моделью реальных каких-либо колонн транспортных средств или отдельных автомобилей;
3. их можно рассматривать и использовать лишь как своеобразные комбинированные эквивалентные нагрузки от каких-то неизвестных реальных нагрузок.

Из строительной механики и работ [8–9] известно, что параметры любых эквивалентных нагрузок от любой реальной нагрузки зависят от длины и формы линий влияния соответствующих силовых факторов в элементах мостовых сооружений.

Так, для комбинированной эквивалентной нагрузки АК параметр K от любой реальной нагрузки строго вычисляется по формуле (1):

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

где $\sum P_i y_i$ – усилие в элементе мостового сооружения от воздействия колонны автомобилей или от одиночного транспортного средства; N_{1p} – усилие в том же элементе от воздействия тележки единичной нагрузки $A1$; N_{1q} – усилие в том же элементе от равномерно распределенной единичной нагрузки $A1$.

Отношение усилий в элементах мостовых сооружений от любой реальной нагрузки к тем же усилиям от единичной нагрузки $A1$, вычисленное по формуле (1), представляет собой класс усилий от соответствующих нагрузок – своеобразную эквивалентную нагрузку.

Рисунок 4. Классы усилий в единицах $A1$ от нормативной колонны $H-30$ и от $A14$ (составлено автором)

На рис. 4 представлены графики усилий в единицах $A1$ для изгибающих моментов в середине пролета балочных пролетных строений (класс усилий по M) и для поперечных сил в приопорных сечениях (класс усилий по Q) от нормативной колонны $H-30$ в диапазоне пролетов от 6 до 234 м.

Классы этих двух усилий от нагрузки $H-30$ в единицах $A1$ возрастают с увеличением пролета от 8 до 14.5. От более тяжелых нагрузок он может достигать для разных силовых факторов значений 22 и более.

Но параметр K в нормативной нагрузке АК принят равным 14 от любых действующих нагрузок. Он используется для вычисления силовых и деформационных факторов любого вида и рекомендуется для загрузки им линий влияния любой длины и формы. Это означает, что эквивалентная нагрузка принята одинаковой для загрузки линий влияния любой формы и длины, что недопустимо при соблюдении фундаментальных положений строительной механики.

Экономическая и научная вредность этого устанавливается при решении обратной задачи строительной механики- определения нормативной грузоподъемности пролетных строений, строго спроектированных на воздействия нормативных нагрузок, представленных на рис. 1, 2 и 3. При этом в рамках этого краткого доклада ограничимся определением нормативной грузоподъемности пролетных строений только по условию прочности на воздействие изгибающего момента в середине пролета разрезного пролетного строения во всем возможном диапазоне их пролетов. Её определим в массе автомобилей нормативной колонны по схеме Н-30 (см. рис. 5).

Рисунок 5. Модель вертикальной временной нормативной нагрузки в виде колонны Н-30, введенной в СССР в 1962 году

На рис. 6 приведены результаты решения этой задачи в виде графиков нормативной грузоподъемности пролетных строений, строго спроектированных на воздействие нормативных нагрузок, представленных на рис. 1, 2 и 3.

Рисунок 6. Нормативная грузоподъемность пролетных строений, строго спроектированных на нормативные нагрузки LM1 (при $\alpha = 1$), NL93, A14, H-30 (в массе автомобилей в колонне по схеме Н-30), полученная при решении обратных задач с использованием треугольной линии влияния с вершиной в их середине (составлено автором)

При их рассмотрении прежде всего заметим, что пролетные строения, спроектированные на отмененную реальную колонну Н-30 во всем рассмотренном диапазоне пролетов, имеют одинаковую грузоподъемность в массе автомобиля, равную 30 т.

Затем заметим, что при использовании комбинированных нагрузок LM1, NL 93 и A14 с их постоянными значениями параметров равномерно распределенных нагрузок и нагрузок на оси тележек при загрузении линий влияния любой формы и длины:

1. Мостовые сооружения с различными пролетами проектируются на различные по величине и неизвестные проектировщикам и эксплуатационникам реальные временные вертикальные нагрузки, уменьшающиеся с увеличением пролета в рассмотренном диапазоне

пролетов в два с половиной раза, что недопустимо по эксплуатационным и экономическим соображениям.

2. Как не имеющие очевидной связи с реальными нагрузками, комбинированные нагрузки с фиксированными параметрами их равномерно распределенных нагрузок и тележек при проектировании экономически целесообразных автодорожных мостовых сооружений непригодны для адекватных расчетов всех видов по обеим группам предельных состояний: прочности, жесткости, устойчивости, выносливости и трещиностойкости.

3. Западноевропейская нормативная нагрузка на автодорожные мостовые сооружения LM1 по виду и величине не должна приниматься по экономическим соображениям в качестве приемлемого образца при гармонизации российских норм с международными.

Уделим далее больше внимания выделенному рис. 7 из рис. 6. Его рассмотрение позволяет сделать следующие важные выводы для российских мостовиков и российских заказчиков проектов автодорожных мостовых сооружений:

1. Пролетные строения автодорожных мостовых сооружений, строго спроектированные на нормативную нагрузку A14, имеют уменьшающуюся с увеличением пролетов нормативную грузоподъемность пролетных строений от 49 т при пролете 24 м до 25 т при пролете 380 м, что недопустимо по эксплуатационным и экономическим соображениям, вызывает экономические риски в области малых пролетов (перерасход материалов) а в области больших пролетов (опасность разрушения пролетных строений при пропуске по ним перспективных транспортных средств в состоянии их затора) и свидетельствует об их неравнонадежности при пропуске по ним какой-либо конкретной колонны транспортных средств с известной массой, входящих в неё автомобилей.

2. Пролетные строения автодорожных мостовых сооружений, строго спроектированные на нормативную нагрузку A14, по условию их прочности на воздействие изгибающего момента в середине их пролета способны обеспечить безопасный пропуск колонн транспортных средств с массой 40 т только в диапазоне пролетов от 6 до 42 м (см. на рис. 7 возможный диапазон пролетов с обеспечением грузоподъемности транспортных средств с массой 40 т).

Рисунок 7. Нормативная грузоподъемность пролетных строений, строго спроектированных на нормативные нагрузки A14 и N-30 (в массе автомобилей в колонне по схеме Н-30), полученная при решении обратных задач с использованием треугольной линии влияния с вершиной в середине (составлено автором)

3. Судоходный пролет Крымского моста длиной 227 м через Керченский пролив является только по внешнему виду арочным, но по статической схеме является разрезным балочным пролетным строением, так как имеет только вертикальные опорные реакции на опорах. Если он был строго спроектирован на нормативную нагрузку A14, то не сможет обеспечить безопасный пропуск колонн автомобилей массой более 27 т в состоянии затора.

4. Судоходный пролет Бугринского моста в Новосибирске длиной 380 м тоже является только по внешнему виду арочным, но по статической схеме является разрезным балочным пролетным строением, так как имеет только вертикальные опорные реакции на опорах. Если он был строго спроектирован на нормативную нагрузку A14, то не сможет обеспечить безопасный пропуск колонн автомобилей массой более 25 т в состоянии затора.

5. Если Крымский и Бугринский мосты были спроектированы на иные нормативные нагрузки, то это должно быть известно мостовой инженерной общественности и должно стать дополнительным аргументом для изменения действующего в России стандарта на нормативные нагрузки для автодорожных мостовых сооружений.

6. Следует иметь ввиду также, что балочные пролетные строения любого автодорожного моста с пролетами более 42 м, строго спроектированные на нормативную нагрузку A14, не могут обеспечивать безопасный пропуск колонн автомобилей массой более 40 т в состоянии затора.

Рисунок 8. Нормативная грузоподъемность пролетных строений, строго спроектированных на нормативные нагрузки A14, A16, A18, A20 и H-30 (в массе автомобилей в колонне по схеме H-30), полученная при решении обратных задач с использованием треугольной линии влияния с вершиной в середине (составлено автором)

Далее рассмотрим графики, приведенные на рис. 8. Они свидетельствуют о том, что предполагаемое дальнейшее увеличение параметра К от 14 к большим значениям несколько улучшит ситуацию с грузоподъемностью автодорожных мостов в области больших их пролетов, но создаст неприемлемую по экономическим соображениям ситуацию с необоснованной дополнительной перегрузкой малых пролетов.

Выводы и предложения

Главным и неприемлемым недостатком комбинированных нагрузок LM1, NL93 и A14 по экономическим и научным соображениям является установление в них постоянных значений равномерно распределенных их нагрузок и усилий на их тележки.

Исключение выявленного главного недостатка действующих в РФ нормативной нагрузки на автодорожные мостовые сооружения типа АК, принятой в 80 годы прошлого века по соображениям удобства ручного загрузки ими линий и поверхностей влияния силовых факторов в элементах мостовых сооружений, в современных условиях возможно обеспечить с использованием:

1. Создаваемых моделей групп типовых нормативных колонн из транспортных средств различной массы для автомобильных дорог различного функционального назначения, разрабатываемых в соответствии с концепцией, предложенной в МАДИ(ГТУ) и опубликованной в работах [10].

2. Использованием имеющихся в МАДИ(ГТУ) программ загрузки произвольными колоннами транспортных средств произвольных линий влияния силовых и деформационных факторов в элементах мостовых сооружений.

3. Использование моделей по п. 1 и программы по п. 2 позволит обеспечить проектирование экономически целесообразных конструктивных решений автодорожных мостовых сооружений с любыми реальными пролетами, любой конструктивной формы из любых конструкционных материалов с одинаковой надежностью и грузоподъемностью, предусмотренной типом нормативной нагрузки.

4. Конкретный состав моделей нормативных неоднородных колонн из реальных транспортных средств и конкретный вид моделей нормативных одиночных автомобилей и тяжеловесных транспортных средств, сформированный с учетом перспективы реального состава транспортных средств во всех округах Российской Федерации для автомобильных дорог различного функционального назначения в соответствии с разработанной в МАДИ концепцией [10], будет разработан и представлен для публичного обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kirkcaldie, D.K. Review of Australian standard AS5100 Bridge design with a view to adoption – Volume 1 / D.K. Kirkcaldie, J.H. Wood – New Zealand: NZ Transport Agency. – 2008. – 132 с.
2. Qaqish S. Multiplication bending moment factor for AASHTO live Loads adopted in Jordan / S. Qaqish – USA: MOJ Civil Engineering. – 2018. – №4 (2). – С. 104–107.
3. O'Connor, C. Bridge loads. An international perspective / C. O'Connor, P.A. Shaw – Australia: Spon Press. – 350 с.
4. Nowak, A.S. The development of live load for long span bridges / A.S. Nowak, M. Lutomirska, F.I. Sheikh Ibrahim – USA: Bridge Structures. – №6. – С. 73–79.
5. Er. Jagat Kumar Shrestha Live loads for rural bridges / Er. Jagat Kumar Shrestha – Nepal: Journal of the Institute of Engineering. – №7. – С. 1–5.
6. Taplin, G. A new vehicle loading standard for road bridges in New Zealand. Report 539 / G. Taplin, M. Deery, T. van Geldermalsen, J. Gilbert, R. Grace – New Zealand: AECOM. – 2013. – 259 с.
7. Рупасова, И.В. Нагрузки, принимаемые при проектировании железнодорожных мостов / И.В. Рупасова, В.В. Кондратов – Санкт-Петербург: Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2012. – №4. – С. 117–124.
8. Саламахин, П.М. Недостатки действующих нормативных вертикальных временных нагрузок на автодорожные мостовые сооружения / П.М. Саламахин – М.: Транспортное строительство. – 2012. – № 11. – С. 28–32.
9. Саламахин, П.М., Мамутов, Р.М. К вопросу о необходимости замены нормативных вертикальных нагрузок для проектирования автодорожных мостов. / П.М. Саламахин, Р.М. Мамутов – М.: Транспортное строительство. – 2015. – № 9, – С. 17–22.
10. Саламахин, П.М. Концепция формирования нормативных и расчетных вертикальных временных нагрузок на автодорожные и городские мостовые сооружения Российской Федерации / П.М. Саламахин – М.: Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2015. – № 3 (42). – С. 69–73.

Salamahin Pavel Mihajlovich

Moscow automobile and road construction state technical university (MADI), Moscow, Russia
E-mail: pavel-salamahin@mail.ru

Reshetnikov Ilya Vladimirovich

Ltd «Mosinzhprom», Moscow, Russia
E-mail: remmostproekt@mail.ru

A critical assessment of domestic and foreign temporary vertical regulatory loads on road bridge structures, a way to eliminate their identified shortcomings

Abstract. The article critically assessed temporary vertical standard combined loads on road bridges in Western European countries, the USA and Russia. They are set with constant values of the parameters of their uniformly distributed loads and loads on the axles of trucks without regard to the composition of road traffic and out of communication with the length and shape of the lines of influence of force and deformation factors in the elements of bridge structures and are used in these and in many other countries in road bridge structures engineering and design.

It is shown that the bridges constructed with different spans on the same road are designed to have different and unknown for designers, engineers and facility managers load capacity, which decreases when the length of the spans increases more than twice, but that is unacceptable for operational and economic reasons. The author found that the use of regulatory documents of other countries as a model for the modernization of domestic standards is unacceptable due to economic considerations.

The article assesses the carrying capacity of such bridges as: the Crimean bridge and the Bugrinsky bridge in Novosibirsk. It is shown that these structures, in case of compliance with the requirements of modern regulatory documents of the Russian Federation, do not allow for the passage of columns of vehicles weighing more than 25–27 tons in a state of congestion.

The ways of eliminating the identified deficiencies of these combined regulatory loads are indicated. The results of calculations are presented, indicating that a further increase in the parameter K of the AK load to large values is not an effective way of ensuring the required carrying capacity of bridge structures.

Keywords: road bridges; equivalent and real vertical temporary loads on them; influence lines in the elements of bridge structures; influence of length and shape of influence lines on the value of equivalent loads; shortcomings of equivalent loads with constant values of their parameters; method of eliminating the identified deficiencies; codes; equivalent loads

REFERENCES

1. Kirkcaldie D.K., Wood J.H. (2008). *Review of Australian standard AS5100 Bridge design with a view to adoption. Volume 1*. New Zealand: NZ Transport Agency, p. 132.
2. Qaqish S. (2018). *Multiplication bending moment factor for AASHTO live Loads adopted in Jordan*. USA: MOJ Civil Engineering, 4(2), pp. 104–107.
3. O'Connor C., Shaw P.A. (n.d.). *Bridge loads. An international perspective*. Australia: Spon Press, p. 350.
4. Nowak A.S., Lutomirska M., Sheikh Ibrahim F.I. (n.d.). *The development of live load for long span bridges*. USA: Bridge Structures, 6, pp. 73–79.
5. Er. Jagat Kumar Shrestha (n.d.). Live loads for rural bridges. *Journal of the Institute of Engineering*, 7, pp. 1–5.
6. Taplin G., Deery M., T. van Geldermalsen, Gilbert J., Grace R. (2013). *A new vehicle loading standard for road bridges in New Zealand. Report 539*. New Zealand: AECOM, p. 259.
7. Rupasova I.V., Kondratov V.V. (2012). Loads accepted in the design of railway bridges. *News of St. Petersburg University of Railways*, 4, pp. 117–124 (in Russian).
8. Salamakhin P.M. (2012). Disadvantages of the current regulatory vertical temporary loads on road bridge structures. *Transport construction*, 11, pp. 28–32 (in Russian).
9. Salamakhin P.M., Mamutov R.M. (2015). To the question of the need to replace the normative vertical loads for the design of road bridges. *Transport construction*, 9, pp. 17–22 (in Russian).
10. Salamakhin P.M. (2015). The concept of the formation of normative and estimated vertical temporary loads on road and city bridge structures of the Russian Federation. *Bulletin of the Moscow Automobile and Highway State Technical University*, 3(42), pp. 69–73 (in Russian).