

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.21.042:625.745-029:33

П. М. САЛАМАХИН*

* Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Ленинградский пр., 64, Москва, Россия, 125319, тел. +00 8 915 213 08 96, эл. почта pavel-salamahin@mail.ru

К ВОПРОСУ ЭКОНОМИИ МАТЕРИАЛЬНЫХ И ДЕНЕЖНЫХ РЕСУРСОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ ВСЕГО МИРА

В статье приведена критика действующих в странах западной Европы, в США, Канаде, РФ, Украине, Белоруссии и Казахстане нормативных временных вертикальных нагрузок для проектирования автодорожных мостовых сооружений и обоснована необходимость их замены соображениями экономии материальных и денежных ресурсов.

Ключевые слова: мостовые сооружения; нормативные загрузки; схемы нагружения; линии влияния; вертикальные нагрузки

Введение

Проанализировав вид действующих временных нормативных вертикальных нагрузок на автодорожные мостовые сооружения России, Украины, Белоруссии, Казахстана и значительной части зарубежного западного мира, легко прийти к выводу, что проектировщики автодорожных мостов и руководители дорожных хозяйств этих государств, пользуясь ими без их критической оценки, способствуют нанесению вреда экономике своих стран.

Чтобы доказать это, заметим вначале, что по автомобильным дорогам и автодорожным мостовым сооружениям всего современного мира при высокой на них интенсивности движения транспортных средств движутся бесконечные сложные по составу колонны автомобилей или автопоездов, а при низкой интенсивности – движутся разнообразные одиночные виды автомобилей или техники. Все они создают переменное во времени напряженное состояние в элементах мостовых сооружений и в одежде автомобильных дорог.

При этом при высокой интенсивности движения наибольшее напряженное состояние в элементах мостовых сооружений создается тем легко определяемым участком проходящей колонны с известным или прогнозируемым составом транспортных средств, который создает на них наибольшую погонную нагрузку, а дорож-

ная одежда получает наибольшее воздействие от наиболее нагруженной тележки или оси транспортного средства того же участка колонны. Такие участки колонн транспортных средств логично принимать в качестве моделей нормативных вертикальных временных нагрузок для проектирования мостовых сооружений и дорожных одежд на автомобильных дорогах с высокой интенсивностью движения.

При низкой интенсивности движения на дорогах наибольшее напряженное состояние в элементах мостовых сооружений создается теми легко определяемыми проходящими или прогнозируемыми одиночными автомобилями, которые создают на них наибольшую погонную нагрузку, а дорожная одежда получает наибольшее воздействие от наиболее нагруженной тележки или оси того же автомобиля.

Такие одиночные автомобили логично принимать в качестве модели нормативного автомобиля для проектирования мостовых сооружений и дорожных одежд на автомобильных дорогах с низкой интенсивностью движения.

Но уже многие десятилетия в большинстве стран мира при проектировании автодорожных мостовых сооружений в качестве нормативной вертикальной нагрузки от автотранспортных средств вместо реальных или условных колонн транспортных средств или одиночно проходящих автомобилей по соображениям облегчения

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

нагрузки линий и поверхностей влияния силовых и деформационных факторов в элементах мостовых сооружений применяют условные нагрузки в виде комбинации равномерно распределенной нагрузки с несколькими сосредоточенными грузами.

На рис. 1, 2 и 3 по нормам западной Европы [1], США [2] и РФ [3] приведены их продольные схемы на первой полосе движения.



Рис. 1. Продольная схема нормативной западноевропейской нагрузки LM1 (EUROCODE 1 EN 1991-2:2003: The European standards for structures, 2003)

Западноевропейской нагрузкой LM1 для 1-ой полосы движения установлены: $Q_{ik} = 300$ кН; $q_{ik} = 9$ кН/м².

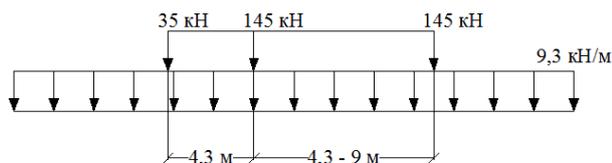


Рис. 2. Продольная схема нормативной нагрузки HL93 по нормам США (22TCN-272-05 и AASHTO – 1998)

Нагрузкой HL93 США для первой полосы установлены равномерно распределенная нагрузка 9,3 кН/м и три осевых нагрузки: 35, 145 и 145 кН.

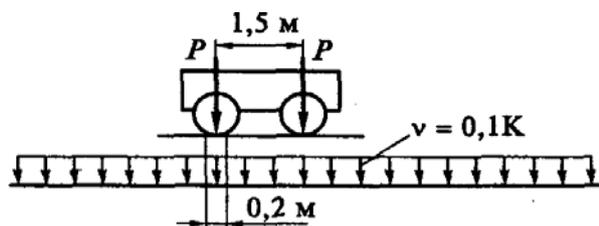


Рис. 3. Продольная схема нормативной нагрузки АК по нормам РФ (ГОСТ Р 52748-2007)

Нагрузкой АК РФ при $K=14$, установлены равномерно распределенная нагрузка 14 кН/м и двухосная тележка с нагрузками на оси по 140 кН.

При их сравнении легко устанавливается общая для них особенность: они состоят из комбинации равномерно распределенных нагрузок с тележками из двух или трех осей.

При этом численное значение интенсивности равномерно распределенной нагрузки и нагрузок на оси тележек установлены постоянными.

Основная часть

Каждый из мостовиков, кто владеет элементарными знаниями из строительной механики и обеспокоен необходимостью создания мостовых сооружений, надежно противодействующих реально возможным транспортным средствам при минимальных затратах конструкционных материалов, вправе предполагать, что предложенные нормативные нагрузки являются очевидным аналогом какой-то реальной максимально возможной нагрузки.

Но приведенные выше условные нагрузки по своему виду не имеют ничего общего с реальными колоннами транспортных средств или отдельными автомобилями.

Их можно рассматривать лишь в качестве своеобразных эквивалентных комбинированных нагрузок, состоящих из равномерно распределенной нагрузки и произвольного количества осей тележек с установленными для них сосредоточенными грузами.

Но параметры таких эквивалентных комбинированных нагрузок от любых реальных колонн транспортных средств и от одиночно проходящего автомобиля не могут быть постоянными, они существенно зависят от состава колонны транспортных средств, от вида отдельного автомобиля, от длины и формы линий влияния усилий в элементах мостовых сооружений.

Убедимся в этом на примере комбинированных российской и украинской нагрузок АК. Класс K этих условных комбинированных эквивалентных нагрузок, а точнее класс усилий, в единицах $A1$ от любой реальной нагрузки строго определяется по следующей формуле

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

де $\sum P_i y_i$ – усилия в элементе сооружения от любой реальной нагрузки; $(N_{1p} + N_{1q})$ – усилие в том же элементе сооружения от элементов единичной нагрузки $A1$.

Этот класс существенно зависит от состава колонны реальных транспортных средств, дли-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

ны и формы линий влияния силовых факторов и может изменяться в пределах от 6 до 20, но принят в России равным 14, а в нормах Украины равным 15.

Получим этот класс, например, для перспективной нормативной автомобильной нагрузки Н-48 в виде одной колонны из 22 автопоездов четырех типов (табл. 1) с массами от 35 до 48 т

для главной полосы движения по мостовым сооружениям на дорогах, по которым с учетом перспективы их эксплуатации предполагается движение автопоездов с массой до 48 т. Состав колонны принят по схеме 2Г+3В+3Б+6А+3Б+3В+2Г с дистанцией 20 м между транспортными средствами по статистическим данным для одного из городов России.

Таблица 1

Данные о нагрузках по осям автопоездов и расстояниях между их осями для Н-48

Тип а.п.	Общая масса автоп, т	Нагрузка на ось 1, т	Расстояние между осями 1-2, м	Нагрузка на ось 2, т	Расстояние между осями 2-3, м	Нагрузка на ось 3, т	Расстояние между осями 3-4, м	Нагрузка на ось 4, т
А	48	12,00	1,65	12,00	2,05	12	1,40	12
Б	44	11,00	2,01	11,00	1,80	11	1,80	11
В	40	8,00	1,50	8,00	2,70	12	1,40	12
Г	35	7,50	1,79	7,50	2,51	10	1,40	10

На рис. 4 приведены графики классов нагрузки (усилий) в единицах А1 от нагрузки Н-48, принятой в качестве перспективной нормативной нагрузки при дистанциях 20 м между транспортными средствами для двух форм треугольных линий влияния (с вершиной в середине и в начале) в диапазоне длин линий влияния от 3 до 207 м.

Из рассмотрения этого графика следует, что в рассмотренном диапазоне длин линий влияния силовых факторов для треугольных линий влияния с вершиной в их середине класс нагрузки (усилий) в единицах А1 от колонны Н-48 не постоянен, он изменяется в пределах от 10,5 до 16, а для треугольных линий влияния с вершиной в их начале – в пределах от 11 до 16,5.

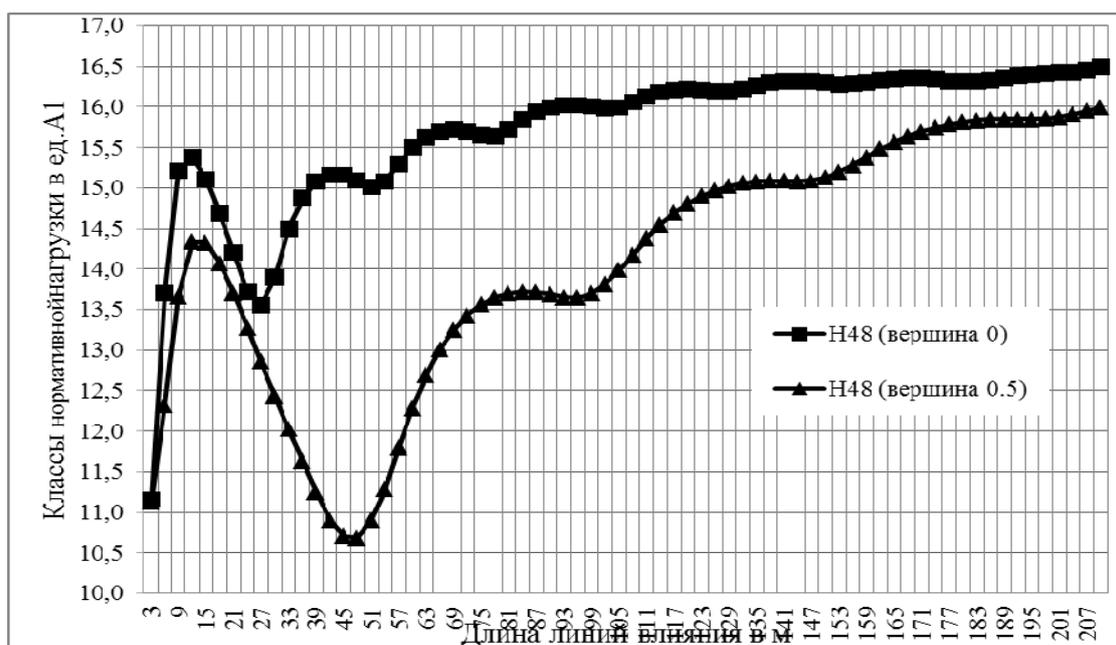


Рис. 4. Класс нагрузки(усилий) в единицах А1 от перспективной нормативной нагрузки Н-48 при дистанциях 20 м между транспортными средствами

© П. М. Саламахин, 2016

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Из его рассмотрения следует также, что в области длин линий влияния от 21 м до 105 м нормативная нагрузка А14 является избыточной по сравнению даже с весьма интенсивной нагрузкой Н-48 для элементов мостов, линии влияния силовых факторов для которых имеют вершину в середине и являются недостаточной при длинах линий влияния более 105 м для тех же элементов, а для элементов мостов, линии влияния силовых факторов которых имеют вершину вначале является недостаточной во всем рассмотренном диапазоне длин линий влияния за исключением длин линий влияния 3, 21 и 27, для которых она приемлема.

При сопоставлении класса 14 условной действующей нормативной нагрузки АК с классом К от реально возможной нагрузки легко выявляется, что на участках длин линий влияния, где класс в единицах А1 условной нормативной нагрузки АК больше класса от реально возможной колонны транспортных средств, мостовые сооружения проектируются на избыточную нагрузку, что вызывает избыточные расходы материалов, а на остальном её участке на недостаточные нагрузки, что может привести к разрушению моста. Их использование может привести не только к значительным экономическим потерям, но и к авариям мостов и гибели людей.

Дополнительно отмечу, что при этом;

- проектирование пролетных строений с различными пролетами производится на различные и неизвестные проектировщикам и эксплуатационникам реальные нагрузки;

- проектирование разных элементов одного и того же мостового сооружения с принятым пролетом выполняется на различные и неизвестные проектировщикам и эксплуатационникам реальные нагрузки;

- пролетные строения разных пролетов и их элементы в итоге имеют разную и неизвестную проектировщикам и эксплуатационникам степень обеспеченности несущей способности на воздействие реально проходящих транспортных средств;

- в области пролетов от 6 до 42 м действующая нормативная нагрузка А14, не имеющая

очевидной связи с реально действующими нагрузками совместно с одиночной тяжеловесной нагрузкой Н14, не имеющей аналогов по расстоянию 1,2 м между ее осями и нагрузке на оси по 25 т при двух колесах между осями при физически необоснованных для них динамических коэффициентов и коэффициентов надежности по нагрузке создают расчетные силовые факторы, превышающие их значения от реально возможных наиболее тяжелых транспортных средств более чем в 1,5...2 раза, что неоправданно увеличивает расходы на материалы пролетных строений на 30...35 % на автомобильных дорогах всех категорий.

Приведенные выше выводы применительно к нормативной нагрузке АК в равной мере относятся и к западноевропейским нагрузкам LM1 и к нормативным нагрузкам США, Украины, Белоруссии и Казахстана поскольку параметры их комбинированных нормативных нагрузок установлены тоже вне связи с длиной и формой линий влияния силовых факторов.

На международных конференциях и семинарах, посвященных вопросам проектирования мостовых сооружений на автомобильных дорогах, мною многократно было замечено, что западные коллеги-мостовики не могли ответить на простой мой вопрос: «Какова грузоподъемность моста с пролетом 42 м, спроектированного Вами на нагрузку LM1?», а на вопрос: «Почему равномерно распределенная нагрузка в LM1 установлена вне связи с длиной и формой линий влияния?» уважаемый французский инженер-мостовик ответил: «У нас не принято задавать такие вопросы!». Это свидетельствует о том, что мостовики многих стран мира, пользуясь своими нормами при проектировании мостовых сооружений без их критической оценки, способствуют нанесению вреда экономике своих стран.

Первые основные результаты моих работ этого направления были приведены в монографии [4].

Рекомендации, содержащиеся в ней, к настоящему времени учтены только в нормах проектирования мостовых сооружений КНР.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Выводы

Устранение выявленных недостатков действующих вертикальных временных нормативных нагрузок на автодорожные мостовые сооружения всего мира может быть выполнено обоснованным выбором для дорог различного функционального назначения с учетом интенсивности движения на них нормативных колонн автомобилей или нормативных автомобилей с одновременным созданием адекватных их аналогов в виде эквивалентных нагрузок с известной для всех их связью с длиной и формой линий влияния силовых факторов в элементах мостовых сооружений или использованием программы нагружения произвольных линий влияния силовых факторов произвольными колоннами транспортных средств или отдельными автомобилями, что в настоящее время мною решается легко.

Я считаю, что мои предложения достойны внимания мостовиков всего мира, так как их реализация позволит сберечь громадные объе-

мы материальных и денежных средств и предотвратит возможные аварии автодорожных мостов в области их больших пролетов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. EN 1991-2 (2003) (English) [Text] : Eurocode 1: Actions on structures – Part 2: Traffic loads on bridges [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC] – 164 p.
2. AASHTO LRFD. Bridge Design Specifications, second edition, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC, 1992.
3. Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 52748-2007. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчётные схемы нагружения и габариты приближения. – Введ. 2008-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2008. – 8 с.
4. Саламахин, П. Временные нагрузки на автодорожные мосты. Недостатки, их последствия, способы их устранения [Текст] / П. Саламахин. – Palmarium Academic Publishing, 2013 – 84 с.

П. М. САЛАМАХІН*

* Московський автомобільно-дорожній державний технічний університет (МАДІ), Ленінградський пр., 64, Москва, Росія, 125319, тел. +00 8 915 213 08 96, ел. пошта pavel-salamahin@mail.ru

ДО ПИТАННЯ ЕКОНОМІЇ МАТЕРІАЛЬНИХ І ГРОШОВИХ РЕСУРСІВ ПРИ БУДІВНИЦТВІ МОСТОВИХ СПОРУД НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ УСЬОГО СВІТУ

У статті наведена критика діючих в країнах західної Європи, в США, Канаді, РФ, Україні, Білорусії і Казахстані нормативних тимчасових вертикальних навантажень для проектування автодорожніх мостових споруд та обґрунтовано необхідність їх заміни міркуваннями економії матеріальних і грошових ресурсів

Ключові слова: мостові споруди; нормативні навантаження; схеми навантаження; лінії впливу; вертикальні навантаження

P. M. SALAMAHIN*

* Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), 64, Leningradsky prospect, Moscow, Russia, 125319, tel. +00 8 915 213 08 96, e-mail pavel-salamahin@mail.ru

SAVING THE ISSUE OF MATERIAL AND CASH RESOURCES IN CONSTRUCTION BRIDGES ON HIGHWAYS WORLD

The article presents the critique of existing in Western Europe, the USA, Canada, Russia, Ukraine, Belarus and Kazakhstan regulatory temporary vertical loads for the design of highway bridges and the necessity of their replacement by considerations of economy of material and financial resources.

Keyword: bridge construction; regulatory download; loading scheme; the impact of the line; vertical load

© П. М. Саламахин, 2016

REFERENCES

1. EN 1991-2 (2003) (English) [Text] : Eurocode 1: *Actions on structures – Part 2: Traffic loads on bridges* [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC] – 164 p.
2. AASHTO LRFD. Bridge Design Specifications, second edition, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC, 1992.
3. Natsionalnyy standart Rossiyskoy Federatsii GOST R 52748-2007. *Dorogi avtomobilnye obshchego polzovaniya. Normativnye nagruzki, raschetnye skhemy nagruzheniya i gabarity priblizheniya* [State Standard R 52748-2007. Highway public. Normative load, the calculated load circuit and approach dimensions]. Moscow, Standartinform Publ., 2008. 8 p.
4. Salamakhin P. *Vremennye nagruzki na avtodorozhnye mosty. Nedostatki, ikh posledstviya, sposoby ikh ustanovleniya* [Temporary load on road bridges. Disadvantages, their implications, their solutions]. Palmarium Academic Publishing, 2013. 84 p.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. В. Д. Петренко (Украина), д.т.н., проф. А. И. Лантухом-Лященко (Украина).

Поступила в редколлегию 30.08.2016.

Принята к печати 26.12.2016.