

Валерий Геннадьевич ПАСТУШКОВ,  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры "Мосты и тоннели"  
Белорусского национального  
технического университета

# О ПРИМЕНЕНИИ МОДЕЛЕЙ НАГРУЗОК LM И АК ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ

## LOAD MODELS LM AND AK FOR DESIGN OF ROAD BRIDGES

В статье рассмотрены возможности использования программного комплекса МКЭ SOFiSTiK: для обучения студентов, научно-технических работ, для расчета сложных мостовых сооружений. Отмечено, что модель нагрузки LM1 может применяться как при расчете новых мостов на автомобильных дорогах трансъевропейских транспортных коридоров, так и на остальных дорогах Беларуси с учетом понижающих коэффициентов.

This article deals with possible applications of the software complex MKE SOFiSTiK for teaching students, carrying out research and technical work, designing complex bridge structures. It was pointed out that the main load model (LM1) could be used for designing new bridges on the highways of trans-European transport corridors as well as on the other roads in the Republic of Belarus, taking the lowering factors into account.

### ВВЕДЕНИЕ

В Республике Беларусь принято решение о гармонизации белорусских и европейских строительных норм в практике дорожно-мостового строительства. ГП "БелдорНИИ" совместно с Белорусским национальным техническим университетом (БНТУ) подготовлены и Министерством архитектуры и строительства с 01.01.2010 введены в действие технические кодексы установившейся практики (ТКП) и национальные приложения к ним по проектированию мостовых сооружений: ТКП EN 1991-2 [1], ТКП EN 1992-2 [2], ТКП EN 1993-2 [3], ТКП EN 1994-2 [4].

При расчете автодорожных, пешеходных и железнодорожных мостов ТКП EN 1991-2 [1] определяет модели нагрузок от транспортных средств. ТКП EN [1] вместе с Еврокодами (стандарты EN 1990–1999 годов) предназначается в первую очередь для непосредственного применения при расчете новых мостов на автомобильных дорогах Европейских транспортных коридоров на территории Республики Беларусь. Основные положения для комбинации нагрузок от транспортных средств с нагрузками других типов даны в разделе A2 СТБ EN 1990 [5].

### МОДЕЛИ НАГРУЗКИ LM

Описание поведения реальных нагрузок на конструкции мостов от воздействия транспортного потока является сложной задачей. Модели подвижных нагрузок мостов европейских стран подобны как между собой, так и моделям нагрузок, принятым в Республике Беларусь, и обычно содержат две части:

— сосредоточенные и распределенные нагрузки, моделирующие непрерывный поток автомобильного

транспорта, которые прикладываются на каждой из полос движения;

— одиночные сосредоточенные силы, моделирующие нерегулярные тяжелые подвижные нагрузки.

ТКП EN 1991-2 [1] предусматривает четыре модели LM:

— Load Model № 1 (главная модель) — сосредоточенные TS (tandem system) и распределенные нагрузки UDL (uniformly distributed load);

— Load Model № 2 — одиночная осевая нагрузка;

— Load Model № 3 — специальная колесная нагрузка (промышленный транспорт, военные нагрузки и т. п.);

— Load Model № 4 — нагрузка от толпы — 5 кПа.

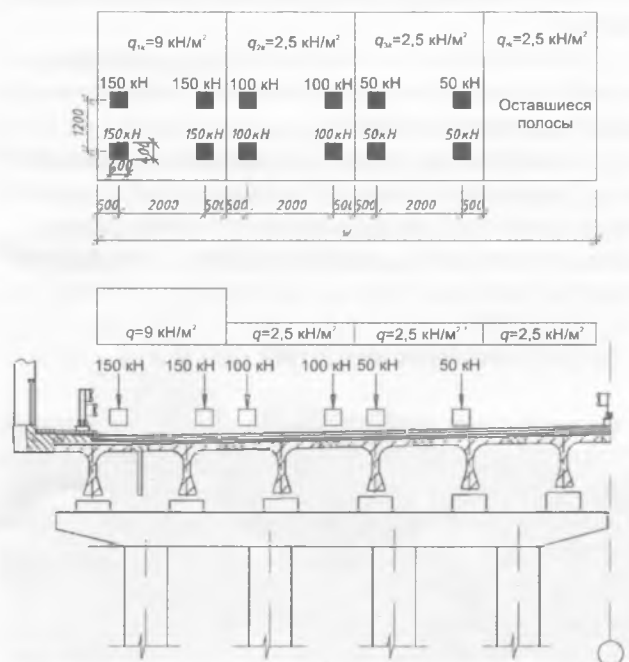


Рис. 1. Детали загрузки грузовой моделью LM1

Таблица 1. Нормативные значения  $Q_{ик}$  и  $q_{ик}$ 

Установка нагрузки	Нагрузка на ось тандема $Q_{ик}$ , кН	Распределенная нагрузка по площади $q_{ик}$ , кПа
Полоса 1	300	9,0
Полоса 2	200	2,5
Полоса 3	100	2,5
Прочие полосы	0	2,5
Оставшиеся площади	0	2,5

Для расчета прочности и устойчивости элементов моста применяется основная грузовая модель LM1, при которой сосредоточенные и равномерно распределенные по площади нагрузки имитируют воздействия на сооружение грузовых и легковых автомашин (рис. 1). Нормативные значения нагрузок по LM1 ( $Q_{ик}$ ,  $q_{ик}$ ) приведены в таблице 1. Эта модель предназначена для общих и местных проверок.

Анализ показывает, что технико-эксплуатационные характеристики белорусских автомобилей нового поколения типа МАЗ 64229 с полуприцепом, МАЗ 9506, МЗКТ 65158-420 и других позволяют перевозить грузы с осевыми нагрузками, близкими к нагрузкам, принятым в [1].

В настоящее время по территории Беларуси проходят два трансъевропейских транспортных коридора:

— Критский коридор II (протяженность 610 км) — автомобильная дорога М1/Е30 Брест (Козловичи) — Минск — граница Российской Федерации (Редьки), км 0 — км 610;

— Критский коридор IX (протяженность 925 км) — автомобильные дороги М8, М5, М6, М7 и Кольцевая дорога вокруг г. Минска М9 (км 9,6 — км 34,6).

Эти коридоры должны обеспечивать комфортное движение всех современных видов транспорта без ограничений скорости и грузоподъемности, со всеми необходимыми элементами сервиса и инфраструктуры в соответствии с международными стандартами.

Предусматривается два варианта решения этого вопроса:

— реконструкция и модернизация существующих автомобильных дорог с доведением их параметров до международных требований;

— строительство дорог и инженерных сооружений нового поколения с полным комплексом инфраструктуры в соответствии с международными стандартами.

Все сооружения на автомагистралях транспортных коридоров должны отвечать требованиям нагрузок LM.

### СОПОСТАВЛЕНИЕ МОДЕЛЕЙ LM1 И A14

Следует отметить, что применение главной модели LM1 для всех категорий дорог Республики Беларусь экономически нецелесообразно. Хорошо известно, что применение новой главной модели LM1 по ТКП EN 1991-2 [1] существенно превышает (до 30 %–40 %) усилия от нормативных нагрузок A11 и A14 по СНиП 2.05.03 [6]

На рис. 2 приведены результаты сопоставления различных моделей нагрузок по отечественным нормам,

полученными по упрощенной методике (при коэффициенте поперечной установки, равном 1), предложенной украинскими учеными [6].

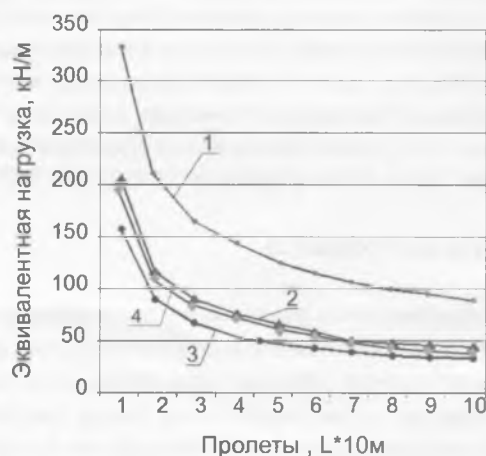
В ТКП EN [1] предусмотрены также модели нагрузок АК для других категорий дорог, за исключением транспортно-коридоров. Применение нагрузок по моделям LM1 и A14 носит временный характер.

Необходимо провести оценку воздействия нагрузок на пролетные строения от нормативных моделей [1] и сравнение их с моделью нагрузки A14. В ближайшие пять лет на переходном этапе следует рассмотреть возможность отказа от модели автомобильной нагрузки A14 с переходом на модель LM1 с обоснованным учетом пониженных коэффициентов  $\alpha$ , к нагрузкам для различных категорий дорог Республики Беларусь. Пониженные коэффициенты  $\alpha$ , не должны вводиться для трансъевропейских транспортных коридоров.

В соответствии с национальными приложениями к ТКП EN [1] требуется проведение расчетов мостовых сооружений и сопоставление полученных данных в соответствии с нагрузками, принятыми в Европе и Республике Беларусь.

В таблице 2 приведены рекомендуемое деление категорий дорог, принятых в Республике Беларусь, и их привязка к классам нагрузок для мостовых сооружений.

В первом приближении для различных классов нагрузок коэффициенты  $\alpha_{O_i}$  и  $\alpha_{q_i}$  для главной модели LM1 предложены в соответствии со значениями, приведенными в таблице 3. Применение коэффициентов  $\alpha_{O_i}$  менее 0,8 для 3 класса нагрузки рекомендуется на дорогах низких категорий. Однако в этом случае движение по данным мостам должно быть ограничено знаками.



1 — модель LM1, ТКП EN 1991-2 [1]; 2 — модель A14; 3 — модель A11, СНиП 2.05.01 [6]; 4 — модель HK112

Рис. 2. Эквивалентные нагрузки по различным моделям

Таблица 2. Категории дорог и классы нагрузки

Категория дорог, принятая в Беларуси	Класс нагрузки	Обязательный расчет на нагрузку по модели	Проверка на нагрузку по модели
Ia, Ib	1	LM1	A14, НК112
I, II, III	2	A14, НК112	LM1
IV, V	3	A11, НК80	LM1

Таблица 3. Рекомендуемые значения коэффициентов  $\alpha_{Qi}$  и  $\alpha_{qi}$

Класс нагрузки	$\alpha_{Qi}$	$\alpha_{Qi}, i \geq 2$	$\alpha_{qi}$	$\alpha_{qi}, i \geq 2$	$\alpha_{qi}$
1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
2	0,8	0,7	0,7	1,0	1,0
3	0,7	0,5	0,5	1,0	1,0

Увеличение материалоемкости моста от повышения нагрузок установить сложно, так как эта функция зависит от материала, типов пролетных строений, значений пролетов, габаритов проезда и ряда других конструктивных факторов. Поэтому на переходном этапе требуются проведение большого количества сравнительных расчетов и уточнение понижающих коэффициентов, приведенных в таблице 3.

**ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА МКЭ SOFiStiK**

В связи с существенным повышением временных подвижных нагрузок на эксплуатируемые мостовые сооружения необходимо строгое определение их грузоподъемности с учетом фактора времени. Особое внимание следует обращать на пропуск сверхнормативных нагрузок по эксплуатируемым мостовым сооружениям.

Для обеспечения пропуска таких нагрузок по мостовым сооружениям требуется, чтобы их пространственные расчеты были предельно строгими, где расчетная схема принимается без искажения реальной конструкции. Пространственные расчеты мостовых сооружений с применением метода конечных элементов позволяют более глубоко проводить научные исследования, полнее учитывать в расчетах физические свойства материалов, взаимодействие элементов, условия работы и характер деформирования элементов и, в ряде случаев, позволяют отказаться от усиления мостового сооружения.

На кафедре "Мосты и тоннели" БНТУ имеется лицензионный программный комплекс МКЭ SOFiStiK, предоставленный компанией "ППС" (Санкт-Петербург) в рамках специальной акции "Инновационный прорыв — инженеры будущего" для обучения студентов и научно-исследовательской работы.

Интегрированный программный комплекс SOFiStiK конечно-элементного анализа строительных конструкций и проектирования в среде AutoCAD разработан специалистами Германии и широко применяется в проектных бюро многих стран мира для проектирования мостов, тоннелей и подземных сооружений. Комплекс ориентирован на расчет сложных мостовых сооружений и обладает сертификатом соответствия требованиям как европейских, так и отечественных норм проектирования — СНиП 2.05.03 [6].

В проводимых автором статьи исследованиях была изучена особенность пространственной работы моста через р. Поплавка с применением программного комплекса МКЭ SOFiStiK.

Мостовое сооружение выполнено по типовому проекту ПМП 86.15.000.

Формула сооружения — 2x15 м. Пролетное строение состоит из восьми балок таврового сечения, шаг балок — 1,72 м.

Промежуточная опора — свайная однорядная, состоящая из 11 свай.

Габарит сооружения Г-11,58 + 2x1,01.

На рис. 3 приведен общий вид пропуска сверхнормативной нагрузки по эксплуатируемому мостовому сооружению.

На рис. 4 представлены результаты определения напряженно-деформированного состояния мостового сооружения с применением программного комплекса МКЭ SOFiStiK.

Сотрудниками ГП "БелдорНИИ" и кафедры "Мосты и тоннели" БНТУ были выполнены поверочные расчеты и анализ напряженно-деформированного состояния элементов мостового сооружения, определена его грузоподъемность, разработаны рабочие чертежи усиления пролетных строений и опор.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

- 1 С 01.01.2010 Министерством архитектуры и строительства Республики Беларусь введены в действие технические кодексы установившейся практики (ТКП) и национальные приложения к ним по проектированию мостовых сооружений,



Рис. 3. Общий вид пропуска сверхнормативной нагрузки по мосту

Utilization ( $\sigma/\sigma_c$ )  
 max. | $\sigma_{\text{max}}-\text{BEAM}$ | approx. 30.24 MPa ( $\sigma/\sigma_c = 1.78$ )  
 reliable values only via AQB!  
 max. | $\sigma_{\text{max}}-\text{QUAD}$ | approx. 66.42 MPa ( $\sigma/\sigma_c = 3.91$ )

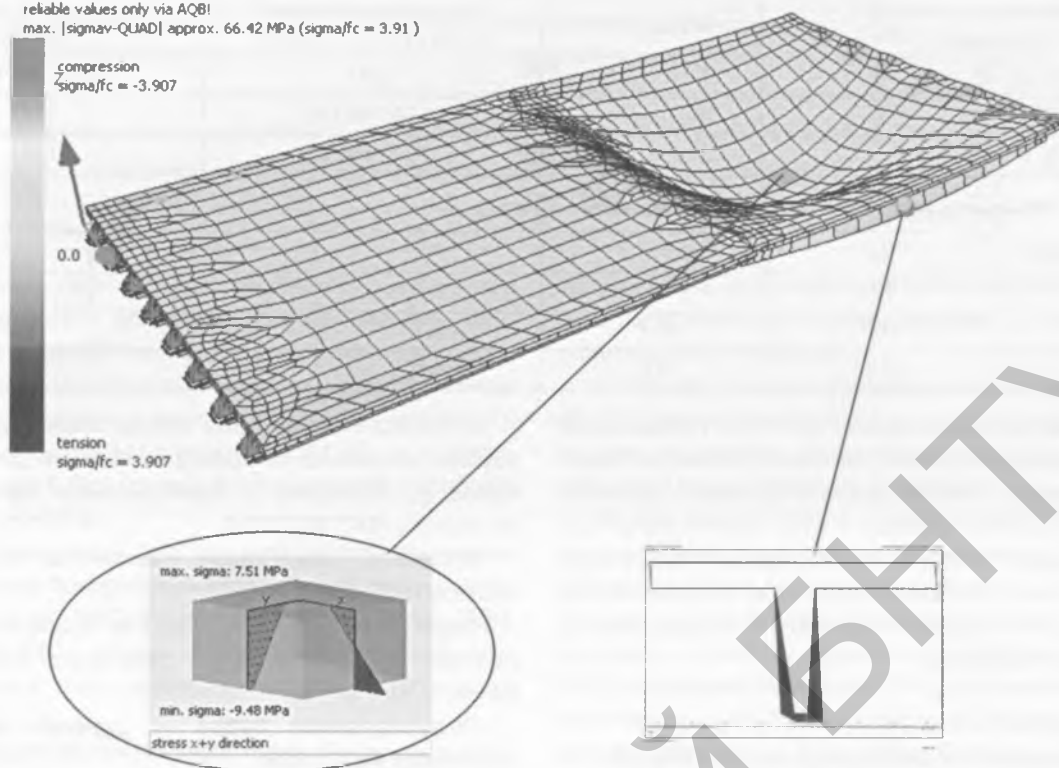


Рис. 4. Оценка напряженно-деформированного состояния плиты проезжей части и балок пролетного строения

гармонизированные с нормами проектирования Евросоюза.

- 2 Международная экономическая интеграция выдвигает в число важнейших проблему межгосударственной унификации нормативных требований к нагрузкам на мосты и трубы. ТКП EN 1991-2 [1] определяет модели нагрузок от транспортных средств при расчете автодорожных, пешеходных и железнодорожных мостов.
- 3 Применение главной модели LM1 с коэффициентами  $\alpha_{cl} = 1$  и  $\alpha_{q1} = 1$  для всех категорий дорог Республики Беларусь экономически нецелесообразно.
- 4 Отказ от нагрузки АК с переходом на модель нагрузки LM1 на автомобильных дорогах на всей территории Республики Беларусь возможен только после

проведения большого количества сравнительных расчетов мостовых сооружений различных конструктивных решений с обоснованным уточнением понижающих коэффициентов для параметров нагрузки LM1 для различных категорий автомобильных дорог.

- 5 Для того чтобы обеспечить пропуск сверхнормативных нагрузок по эксплуатируемым мостовым сооружениям, их пространственные расчеты должны быть предельно строгими, где расчетная схема принимается без искажения реальной конструкции.
- 6 Комплекс МКЭ SOFiStiK ориентирован на расчет сложных мостовых сооружений и обладает сертификатом соответствия требованиям как европейских, так и отечественных норм проектирования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воздействие на строительные конструкции. Часть 2. Транспортные нагрузки на мосты: ТКП EN 1991-2. Еврокод 1. — Введ. 01.01.2010. — Минск: Минстройархитектуры, 2010. — 106 с.
2. Проектирование железобетонных конструкций. Железобетонные мосты. Проектирование и правила конструирования: ТКП EN 1992-2. Еврокод 2. — Введ. 01.01.2010. — Минск: Минстройархитектуры, 2010. — 84 с.
3. Проектирование стальных конструкций. Часть 2. Стальные мосты: ТКП EN 1993-2. Еврокод 3. — Введ. 01.01.2010. — Минск: Минстройархитектуры, 2010. — 106 с.
4. Проектирование сталежелезобетонных конструкций. Часть 2. Общие правила и правила для мостов: ТКП EN 1994-2. Еврокод 4. — Введ. 01.01.2010. — Минск: Минстройархитектуры, 2010. — 84 с.
5. Основы проектирования несущих конструкций: СТБ EN 1990-2007. — Введ. 01.01.2008. — Минск: Госстандарт, 2008.
6. Мосты и трубы: СНиП 2.05.03-84\*. — М.: ЦИТП, 1985. — 200 с.

Статья поступила в редакцию 22.02.2011.