

Интернет-журнал «Наукovedение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 7, №6 (2015) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol7-6>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/01KO615.pdf>

DOI: 10.15862/01KO615 (<http://dx.doi.org/10.15862/01KO615>)

УДК 624.042.8

Гриднев Сергей Юрьевич

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный архитектурно-строительный университет»

Россия, Воронеж¹

Профессор кафедры «Строительной механики»

Доктор технических наук

E-mail: gridnev_s_y@rambler.ru

Будковой Алексей Николаевич

ООО «Воронежпроект-2»

Россия, Воронеж

Главный специалист архитектурно-строительного отдела

Кандидат технических наук

E-mail: budalex2005@mail.ru

Развитие подходов к формированию нормативной базы динамических коэффициентов к временной нагрузке для расчета автодорожных мостов

¹ 394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84

Аннотация. Авторами предложена методика нормирования динамического воздействия подвижной нагрузки на основе численных исследований по разработанным алгоритмам и программам. Задача решается в наиболее общей постановке с учетом инерционных свойств как подвижной нагрузки, так и пролетного строения. Рассматривается движение с постоянной скоростью и неравномерное движение одиночных транспортных средств с твердыми и жидкими грузами с учетом кинематического возмущения. Особое внимание уделяется переходным режимам движения. Задача колебаний жидкости в полости цистерны решена с помощью усовершенствованной модели механического аналога жидкости с учетом ее демпфирующих качеств, гидравлического удара и возможности разбиения полости на независимые отсеки.

Динамический эффект оценивался для двух величин: давлений на путь каждой оси транспортного средства (для расчета элементов проезжей части) и прогибов среднего сечения пролетного строения. В работе представлены окончательные результаты исследования влияния неровностей микропрофиля проезжей части, величины ускорения при неравномерном движении, длины и положения участка торможения, колебаний жидкости внутри полости автоцистерны, а также некоторых других факторов на характер и величину колебаний пролетных строений. Результаты расчетов верифицируются данными натурных экспериментов.

Отдельно показана зависимость полученных динамических коэффициентов от длины пролетных строений. Результаты численных исследований подтверждают обоснованность ряда критических замечаний к действующей нормативной базе динамических коэффициентов. Авторами указываются подходы к ее уточнению и расширению.

Ключевые слова: подвижная нагрузка; пролетное строение; динамический коэффициент; неравномерное движение; автоцистерны; колебания; нормативная база.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Гриднев С.Ю., Будковой А.Н. Развитие подходов к формированию нормативной базы динамических коэффициентов к временной нагрузке для расчета автодорожных мостов // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №6 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/01KO615.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/01KO615

Введение. Вступление Российской Федерации в ВТО и создание зоны свободной торговли в рамках Таможенного союза потребовало пересмотра действующей системы нормативной документации в строительстве. Министерством регионального развития, а затем и Минстроем были утверждены актуализированные редакции СНиПов, которые вступили в силу с 01.07.2015 г. Здесь следует отметить, что в СССР пересмотр и актуализация нормативных документов выполнялись каждые 10 лет, что обеспечивало существовавшей тогда строительной отрасли современный научно-технический уровень проектных решений и высокую степень соответствия практическим потребностям. Несмотря на все изменения, которые происходили в промышленном и гражданском строительстве в течение последних 25-30 лет, база нормативных документов оставалась неизменной. В этой связи произошедшую актуализацию нормативных документов можно расценивать как положительную тенденцию, особенно в свете начавшейся гармонизации российской системы с европейскими аналогами. Однако, утвержденные актуализированные версии нормативных документов, точнее ряд их положений, вызвали недоумение у известных специалистов-практиков и научных работников в соответствующих отраслях. В частности, речь пойдет о нормировании динамического воздействия подвижной нагрузки на транспортные сооружения, предусмотренном в СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84*».

Это особенно важно в условиях постоянного увеличения грузоподъемности и скоростей движения тяжелых транспортных средств, что приводит к возникновению новых качественных и количественных особенностей и эффектов динамического воздействия подвижной нагрузки на транспортные сооружения, которые раньше не проявлялись или были незначительными.

Известно, что в отечественных нормах расчет пролетных строений на действие подвижной нагрузки выполняется без строгого учета инертных свойств как самой конструкции, так и подвижной нагрузки. По сути, весь динамический расчет сводится к статическому, а величины нагрузок и значения внутренних силовых факторов умножаются на некоторый коэффициент, который учитывает специфику динамического воздействия подвижной нагрузки, геометрические размеры конструкции, условия ее эксплуатации и т.д. При этом сами величины динамических коэффициентов регламентируются нормами на основе многочисленных теоретических и экспериментальных исследований. Так для тележек нагрузки АК эти величины достигают 1,4 для стальных и сталежелезобетонных мостов, 1,3 – для железобетонных мостов и т.д., а для равномерно распределенной нагрузки АК и одиночной НК – 1,0, то есть динамика вообще не учитывается. Исключение составляют нагрузки АБ, для которых приводятся эмпирические формулы. Величины вычисленных по ним динамических коэффициентов могут достигать больших значений.

Существенный вклад в развитие теории динамического воздействия автомобилей на мосты массового строительства на основе использования методов статистической динамики был сделан в восьмидесятые и середине девяностых годов XX века в Воронежском ИСИ под руководством проф. А.Г. Барченкова, проф. В.С. Сафронова и их учеников [2, 3]. Следует отметить, что с начала 90-х годов количество публикаций, посвященных подвижной нагрузке, резко сократилось. В связи со стремительным развитием ЭВМ, исследование динамики транспортных средств и пролетных строений в основном пошло по пути конечно-элементного моделирования. Во многом это вызвано приходом в нашу страну мощных зарубежных программных комплексов на основе МКЭ и попытках создания отечественных аналогов. Вместе с тем все эти продукты обладают рядом известных недостатков и, предоставляя широкий спектр возможностей, по сути, подразумевают наличие у пользователя достаточных знаний для их адекватного использования. Хочется добавить, что использование этих комплексов делают отечественные исследования зависимыми от их иностранных

разработчиков, что, как показали последние политические события, весьма рискованно с точки зрения укрепления государственного суверенитета и обороноспособности страны.

Исследования динамического воздействия движущегося автотранспорта на проезжую часть в большинстве случаев выполнялись при постоянной скорости подвижной нагрузки. Это было вызвано допущением о незначительном доле неравномерного движения в общем объеме ездового цикла транспортных средств. В современных условиях из-за постоянного увеличения плотности транспортного потока, участвовавших авариях на дорогах и установления нового скоростного режима такие явления, как экстренное торможение становятся широко распространенными и требуют глубокого изучения. Расстроены деформационные швы, неудовлетворительное состояние проезжей части, ремонтные работы и даже изменение психоэмоционального состояния водителя при въезде на мост или путепровод также являются объективными причинами изменения режима движения. Исследования ряда авторов показывают, что режим движения с переменной скоростью, включая режимы разгона и торможения, на сегодняшний день составляет до 75% всего ездового цикла. Именно неравномерное движение определяет реальные условия эксплуатации транспортного сооружения. В сложившейся ситуации стали проявляться новые качественные и количественные особенности поведения пролетных строений автодорожных мостов под воздействием подвижной нагрузки. В тоже время существенно увеличились объемы перевозок по автомобильным дорогам нашей страны жидких, сыпучих и других видов специальных грузов. Учет неравномерности движения особенно важен для оценки динамического воздействия автомобилей, транспортирующих в кузовных цистернах жидкие грузы с часто встречающимся в практике эксплуатации значительным недоливом. В таких случаях за счёт физических свойств перевозимых жидкостей (гидравлический удар, значительная вязкость и др.) существенно возрастают дополнительные динамические воздействия на несущие конструкции от неравномерности движения.

С другой стороны, развитие и совершенствование методик расчета транспортных сооружений привело к снижению их материалоемкости и более полному использованию резервов прочности и долговечности. В условиях возрастания динамического воздействия подвижной нагрузки и одновременного снижения веса самих пролетных строений динамические явления становятся определяющими и поэтому требуют более глубокого и всестороннего изучения, а анализ колебательных процессов транспортных сооружений при таких условиях эксплуатации приобретает важное практическое значение.

В ходе разнообразных исследований, выполненных в МАДИ в 2011 г. по заданию Росавтодора, было установлено, что численное значение класса усилий от любой реальной нагрузки в элементах мостовых сооружений в единицах А1 существенно зависит от состава колонны автомобилей, распределения нагрузки между их осями, дистанции между ними, от формы и длины линии влияния. Особенно важно то, что при прочих равных условиях это численное значение значительно возрастает при увеличении длины линий влияния.

Анализируя представленные в СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84*» эмпирические формулы для динамических коэффициентов, можно прийти к выводу, что эти коэффициенты во всех случаях не зависят от длины пролета сооружения. В действительности же, основываясь на представлениях строительной механики, величины динамических коэффициентов определяются к конкретным видам подвижной нагрузки в зависимости от ее массы, динамических особенностей и, если речь идет не о непосредственно воздействии, а о деформациях и внутренних силовых факторах в несущих конструкциях, безусловно, длины пролета сооружения. Принимая во внимание обоснованную критику [1] в области нормирования временных вертикальных нагрузок на автодорожные

мосты типа АК (аналога европейской LM и американской HL) и НК, изучение динамического воздействия подвижной нагрузки видится очень своевременным и весьма актуальным.

В работах [4, 5, 10 – 12] авторами исследовано и оценено динамическое воздействие одиночных автомобилей и автопоездов седельного типа на транспортные сооружения при переходных режимах движения по гладкому пути и с учетом неровностей профиля проезжей части. Методика учета подвижности жидкости с использованием механического аналога предложена в [9]. В [7, 10], где разработана плоская динамическая модель автоцистерны с учетом подвижности жидкости, явления гидроудара и разбиения полости цистерны на независимые отсеки для корректного определения дополнительных нагрузок на транспортные сооружения. Методике моделирования совместных колебаний балочных систем и автомобилей с твердыми и жидкими грузами посвящены работы [6, 13, 16]. Дополнительно в [13, 16] по разработанным методикам проведены численные исследования и оценены динамические коэффициенты. Натурные измерения рассмотрены в [8]. Там же даны некоторые практические рекомендации по испытаниям мостов балочных схем на проезд в режиме установившегося ускорения автомобилей с жидкими и твердыми грузами. Отдельное внимание уделено сопоставлению результатов расчетов с экспериментальными данными [14, 15]. Влиянию длины пролетных строений на величины динамических коэффициентов посвящена работа [17]. По всем разработанным алгоритмам и методикам составлены вычислительные программы для их реализации на ЭВМ, которые зарегистрированы в ОФПА Агентства по образованию РФ.

Выполненные авторами численные исследования динамического воздействия одиночных автомобилей с твердыми и жидкими грузами, движущихся с постоянной скоростью, а также в режиме торможения и разгона, на пролетные строения автодорожных мостов различной длины направлены на подтверждение обоснованности критических замечаний к подходу нормирования динамических коэффициентов к временной нагрузке, сделанных П.М Саламахиным в [1].

Описание результатов выполненных численных исследований. В качестве подвижной нагрузки рассматривалась трехосная автоцистерны 66052 на базе КамАЗ общей массой 24 т с учетом и без учета подвижности жидкости. Изучалось равномерное движение одиночного автомобиля по некоторому заданному микропрофилю проезжей части, а также процессы торможения и разгона с постоянными ускорениями. Диапазон скоростей $5 \div 25$ м/с, ускорений $1 \div 6$ м/с² при торможении и $1 \div 4$ м/с² при разгоне. Исследовалась возможность деления полости цистерны на независимые отсеки равных объемов (без отсеков, два и три отсека). Динамический эффект оценивался двумя способами: для каждой оси транспортного средства в отдельности (для расчета элементов проезжей части) и динамическим коэффициентом по прогибам среднего сечения пролетного строения, имеющего однопролетную шарнирную схему (для расчета несущих конструкций). Величины исследуемых пролетов: 18, 23, 31,6, 42,5 м.

1. Исследование зависимости давлений осей от величины ускорения, микропрофиля, подвижности жидкости, степени заполнения и конструктивных особенностей полости цистерны.

Ниже в таблице 1 представлены максимальные динамические коэффициенты, полученные для транспортного средства с твердым грузом по каждой из осей в отдельности (R1 – R3). Для иллюстрации влияния кинематического возмущения был принят реальный характерный профиль асфальтобетонного покрытия в удовлетворительном состоянии. В случае отсутствия профиля величины R2 и R3 совпадают. Из таблицы видно, что при неравномерном движении величины давлений осей могут в два и более раз превышать

соответствующие статические значения. Влияние профиля при этом также весьма значительно для наиболее нагруженной задней оси.

Таблица 1

Максимальные динамические коэффициенты давлений осей

Торможение					
Величина ускорения по модулю, м/с ²	Динамические коэффициенты давлений осей				
	Без учета профиля		С учетом профиля		
	Передняя ось R1	Задняя ось R2	Передняя ось R1	Задняя ось R2	Задняя ось R3
2	1,52	1,07	1,67	1,79	1,73
3	1,79	1,1	1,9	1,74	1,74
4	2,05	1,21	2,15	1,61	1,7
5	2,31	1,16	2,4	1,6	1,57
6	2,57	1,14	2,64	1,59	1,57
Разгон					
Величина ускорения по модулю, м/с ²	Динамические коэффициенты давлений осей				
	Без учета профиля		С учетом профиля		
	Передняя ось R1	Задняя ось R2	Передняя ось R1	Задняя ось R2	Задняя ось R3
2	1,23	1,18	1,34	1,84	1,77
3	1,33	1,27	1,41	1,82	1,76
4	1,43	1,36	1,33	1,75	1,65

Выполненные более детальные численные исследования разгона и торможения указанной автоцистерны с учетом подвижности жидкости показали необходимость выделения транспортных средств с жидкими грузами в особый вид подвижной нагрузки. При этом динамические коэффициенты давлений осей колеблются в пределах 1,12 – 3,6 и более в зависимости от величины ускорения, количества независимых отсеков в полости цистерны и уровня их заполнения. Столь высокие значения, характерные для экстренного торможения, свидетельствуют о явной аварийности такого воздействия и возможных катастрофических последствиях.

Выводы по 1:

- при переходных режимах движения в ряде случаев динамические давления могут вдвое превышать аналогичные величины, полученные для равномерного движения, что указывает на необходимость учета неравномерности движения при формировании нормативной базы динамических коэффициентов.
- при неравномерном движении по гладкому профилю проезжей части начальная и конечная скорости не влияют на характер колебательного процесса. Основным фактором, определяющим величину динамического эффекта, можно считать ускорение. Максимальные динамические коэффициенты по отношению к статическим значениям в состоянии покоя составили для равнозамедленного движения: 2,57 – передняя ось, 1,21 – задняя; для равноускоренного: 1,43 – передняя, 1,36 – задняя;
- равномерное движение по предложенному характерному профилю дает увеличение максимальных динамических давлений для передней оси – 1,31, для задней оси – 1,78 при максимальной рассматриваемой скорости 20 м/с;

- неравномерное движение с учетом неровностей проезжей части является сложным нестационарным колебательным процессом и требует отдельного глубокого изучения в вероятностной постановке. Комплекс проведенных расчетов на предложенном характерном микропрофиле проезжей части в удовлетворительном состоянии позволил выявить некоторые особенности. Так, для рассмотренного автомобиля учет профиля при неравномерном движении привел к небольшому увеличению динамических давлений передней оси. Динамические коэффициенты составили: 2,64 при торможении и 1,57 при разгоне. Существенное влияние профиля, главным образом сказалось на колебаниях задней оси и привело к росту динамических коэффициентов: 1,79 при торможении и 1,93 при разгоне.

2. Исследование зависимости прогибов от величины ускорения и положения участка изменения скорости. Динамический эффект на пролетном строении от воздействия подвижной нагрузки будем оценивать динамическим коэффициентом как отношением максимального значения прогиба, полученного при моделировании совместных колебаний, к значению статического прогиба от силы, равной весу рассматриваемого автомобиля. Для оценки динамического эффекта в качестве исследуемого (расчетного) сечения примем середину балки. При этом основной изучаемой величиной будет динамический прогиб. Длина пролета – 42,5 м.

Ниже на рис. 1 и 2 приведены графики динамических коэффициентов по прогибам среднего сечения при торможении указанной автоцистерны с учетом и без учета подвижности жидкости.

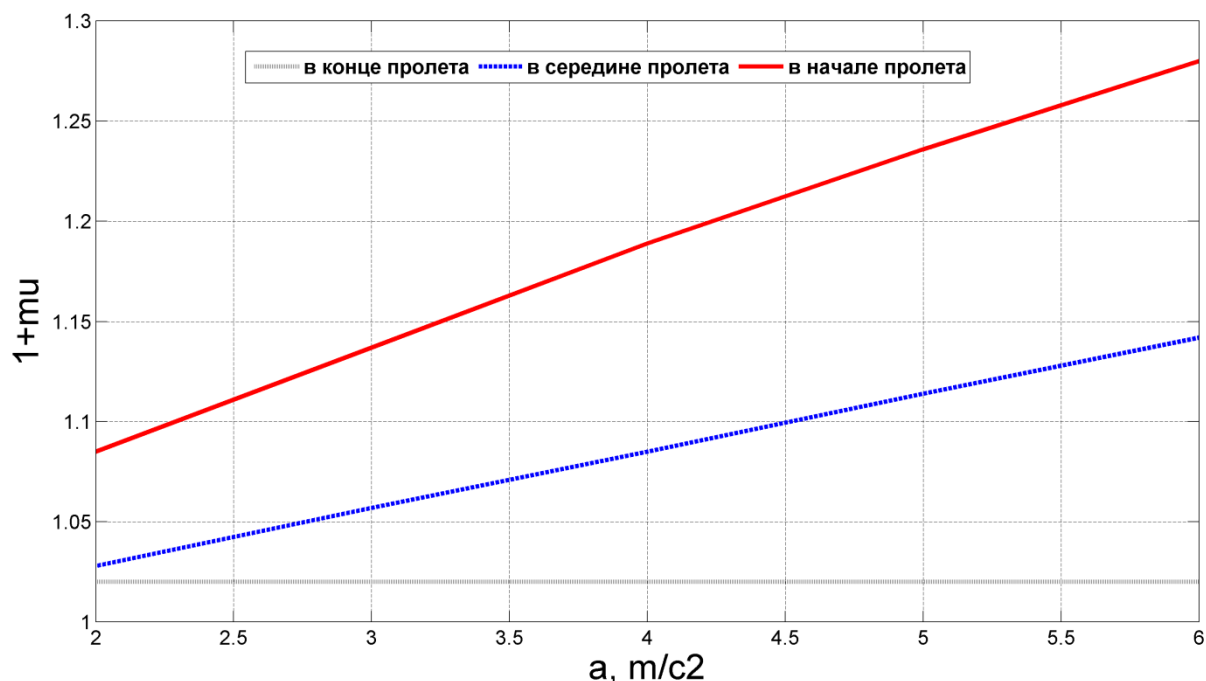


Рис. 1. Максимальные динамические коэффициенты для прогибов среднего сечения пролет в зависимости от величины ускорения и участка торможения, полученные без учета подвижности жидкости (выполнен авторами)

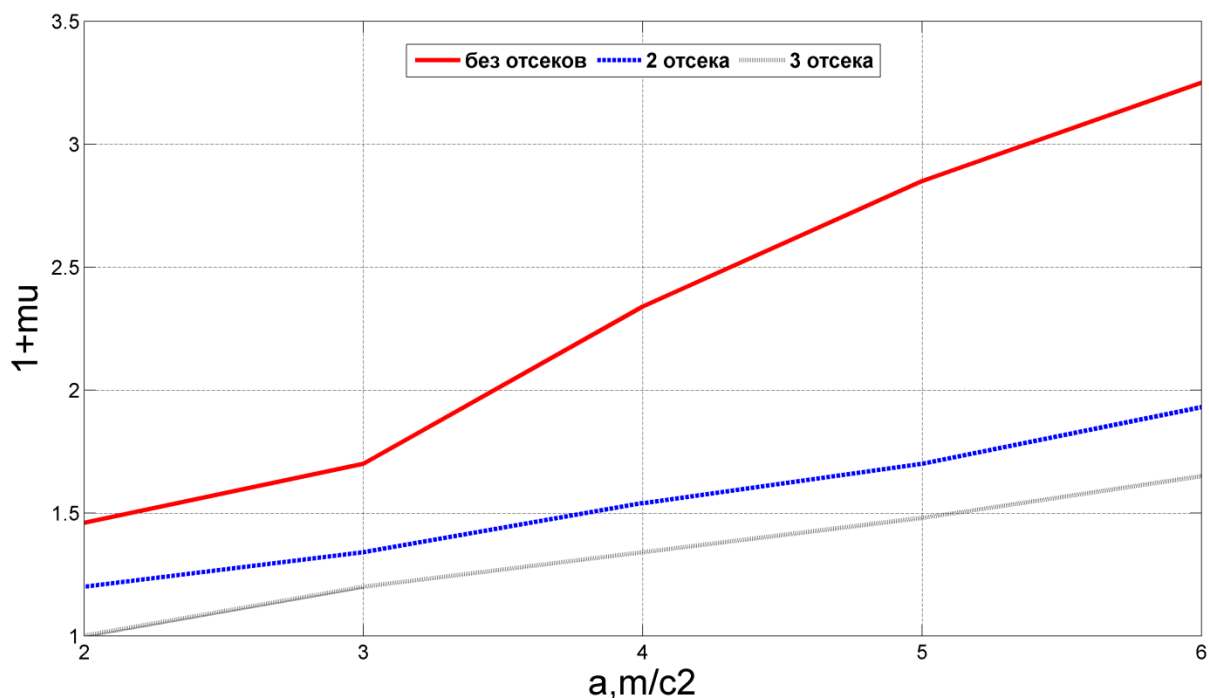


Рис. 2. Максимальные динамические коэффициенты для прогибов среднего сечения пролета при торможении с различными ускорениями с учетом подвижности жидкости и возможного деления на отсеки (выполнен авторами)

Выводы по 2:

- при определении максимального динамического эффекта для пролетного строения от неравномерного движения наряду с величиной установившегося ускорения определяющим является выбор участка появления ускорения (начало, середина или конец пролета) и длительности его действия. Для однопролетной шарнирной схемы наиболее опасным является торможение и разгон в пределах первой половины пролета. Начальная скорость при отсутствии кинематического возмущения на колебания практически не влияет;
- наиболее опасным режимом эксплуатации следует считать около 85% наполнения для цистерны без отсеков, так как в этом случае при больших ускорениях наряду с существенным увеличением динамических давлений осей возможно появление резонансных колебаний, что крайне опасно для балочных систем средних пролетов с собственными частотами до 20 c^{-1} . В случае разбиения котла цистерны на отсеки резонансные явления для мостов малых и средних пролетов практически исключены вследствие того, что периоды вынужденных колебаний находятся в пределах $0,5 - 0,7 \text{ c}$;
- для рассмотренного пролетного строения при торможении и разгоне автоцистерны общей массой 24 т с ускорениями $2 - 6 \text{ м/с}^2$ были получены следующие результаты. Без учета подвижности жидкости, то есть в предположении, что жидкость “заморожена”, максимальный динамический коэффициент при торможении с ускорением $6 \text{ м/с}^2 - 1,26$, при разгоне с ускорением $4 \text{ м/с}^2 - 1,27$. С учетом подвижности жидкости изучался только процесс торможения. Максимальные динамические коэффициенты составили: $3,25 -$ без отсеков, $1,93$ и $1,65 -$ при 2 и 3 отсеках соответственно. Отдельно от учета подвижности жидкости динамические коэффициенты по жидкости

составили соответственно 2,54, 1,51 и 1,29. Таким образом, в предположении, что жидкость “заморожена”, максимальный динамический эффект по прогибам для данного случая получается недоучтен минимум на 29%.

3. Исследование влияния длины пролета рассмотрено в три этапа.

На первом этапе изучалось равномерное движение одиночного автомобиля на пролетных строениях различной длины с учетом пяти участков характерного профиля асфальтобетонного покрытия. По результатам вычислительного эксперимента сделана выборка максимальных значений, которые сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Динамические коэффициенты при равномерном движении по заданному микропрофилю

Пролет, м	Максимальный динамический коэффициент при скорости, м/с				
	5	10	15	20	25
18	1,25	1,60	1,16	1,13	1,29
23	1,26	1,61	1,40	1,19	1,28
31,6	1,29	1,65	1,57	1,38	1,29
42,5	1,28	1,62	1,47	1,31	1,37

Как видно из таблицы 2, наиболее неблагоприятные скорости движения для заданного микропрофиля преимущественно находятся в диапазоне 10-15 м/с. Это связано с тем, что основным фактором, определяющим величину динамического воздействия, здесь является кинематическое возмущение и его параметры, то есть статистические характеристики микропрофиля. Влияние длины пролета здесь является второстепенным фактором.

На втором этапе предметом анализа стало неравномерное движение одиночного автомобиля с максимальным по величине ускорением в различных частях пролета и с различной продолжительностью. Результаты вычислительного эксперимента для торможения представлены в таблице 3 и наглядно демонстрируют рост величин динамических коэффициентов при увеличении длины пролета во всех диапазонах начальных скоростей

Таблица 3

Торможение с ускорением 6 м/с²

Пролет, м	Максимальный динамический коэффициент при начальной скорости торможения, м/с			
	10	15	20	25
18	1,28	1,14	1,17	1,02
23	1,36	1,24	1,15	1,12
31,6	1,40	1,36	1,20	1,16
42,5	1,46	1,45	1,35	1,23

Третий этап исследования должен был выявить закономерности изменения динамических коэффициентов при воздействии одиночной подвижной нагрузки в виде транспортного средства с жидким грузом (автоцистерны). Рассматривался наиболее характерный вариант разбиения полости на два независимых отсека. Изучался преимущественно процесс торможения. Результаты сведены в таблицу 4.

Таблица 4

Торможение автоцистерны с ускорением 6 м/с^2

Пролет, м	Максимальный динамический коэффициент при начальной скорости торможения, м/с			
	10	15	20	25
18	1,74	1,34	1,10	1,02
23	2,06	1,78	1,38	1,07
31,6	2,41	1,87	1,44	1,32
42,5	2,23	2,51	1,99	1,92

Существенный рост динамических коэффициентов при использовании модели жидкого груза по сравнению с твердым обусловлен наличием свободной поверхности жидкости и появлением гидравлического удара в полости цистерны при больших ускорениях. Значительные колебания жидкости в полости цистерны приводят к практически не контролируемому процессу торможения и могут стать причиной аварийных ситуаций на дорогах, вызывая тем самым сверхнормативные нагрузки на транспортные сооружения.

Выводы по 3:

- при наличии значительных неровностей проезжей части влияние кинематического возмущения становится определяющим для равномерного движения одиночной подвижной нагрузки; динамические коэффициенты для различных длин пролетных строений близки по значению при фиксированной скорости движения;
- при неравномерном движении одиночного автомобиля по относительно гладкой проезжей части влияние длины пролета сооружения на динамические коэффициенты становится весьма существенным; при этом во всех диапазонах начальных скоростей наблюдается их рост с увеличением длины пролета. Максимальные величины динамических коэффициентов составили 1,28 – 1,46 в зависимости от длины пролета;
- подвижность жидкого груза значительно увеличивает величины динамических коэффициентов при неравномерном движении, отмечается их рост в среднем на 30-70% по отношению к твердым грузам;
- длина пролета сооружения при движении одиночного автомобиля с переменной скоростью по проезжей части в хорошем состоянии (наряду с величиной ускорения и расположением участка изменения скорости) определяет величины динамических коэффициентов. В рассмотренном случае максимальный разброс указанных величин составил 28 – 88%.

Выводы. Анализ полученных результатов моделирования совместных колебаний балочных систем и одиночных транспортных средств с использованием разработанных авторами вычислительных алгоритмов и программ убедительно доказывает необходимость дополнительного учета целого ряда факторов при изучении динамического воздействия подвижной нагрузки. Неравномерность движения, специфика перевозимых грузов и длина пролетного строения обязательно должны учитываться при формировании нормативной базы динамических коэффициентов с целью улучшения качества проектирования и эксплуатации транспортных сооружений. Полученные результаты показывают обоснованность критических замечаний в вопросе нормирования динамических коэффициентов к временной нагрузке в [1]. Для получения достоверных значений динамических коэффициентов необходимо выполнить полномасштабную серию численных и экспериментальных исследований по оценке динамического воздействия распространенных типов одиночных автомобилей и их колонн при переходных режимах движения. Особое внимание при этом следует уделить специализированным видам подвижной нагрузки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Саламахин, П.М. Недостатки действующих нормативных вертикальных временных нагрузок на автодорожные мостовые сооружения / П. М. Саламахин // Транспортное строительство. – 2012. – №11. – С. 28 – 32.
2. Барченков, А.Г. Динамический расчет автодорожных мостов / А.Г. Барченков. – М.: Транспорт, 1976. – 199 с.
3. Сафронов, В.С. Расчет висячих и вантовых мостов на подвижную нагрузку / В.С. Сафронов. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1983. – 196 с.
4. Гриднев, С.Ю. Методика расчета динамического давления большегрузных транспортных средств при изменении режима движения / С.Ю. Гриднев, А.Н. Будковой // Современные методы статического и динамического расчета зданий и сооружений. – Воронеж: Научная книга, 2007. – Вып. 4. – С. 79-86.
5. Гриднев, С.Ю. Исследование динамического воздействия автотранспортных средств на пролетные строения мостов при переходных режимах движения / С.Ю. Гриднев, А.Н. Будковой // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики: сб. тр. междунар. конф. – Воронеж [б.и.], 2009. – Ч. №1. – С. 128-135.
6. Гриднев, С.Ю. Моделирование совместных колебаний пролетных строений и автоцистерн с частично наполненными жидкостью кузовами при переходных режимах движения / С.Ю. Гриднев, А.Н. Будковой // Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. – 2009. – Вып. №3. – С. 103-110.
7. Гриднев, С.Ю. Моделирование колебаний автоцистерны при торможении с использованием механического аналога жидкости / С.Ю. Гриднев, А.Н. Будковой // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики: сб. трудов междунар. конф. – Воронеж: ИПЦ ВГУ, 2010. – С. 125-131.
8. Гриднев, С.Ю. Натурные измерения колебаний упруго опертого сталежелезобетонного моста при движении по нему автомобиля в режиме торможения / С.Ю. Гриднев, В.В. Волков, А.Н. Будковой // Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. – Вып. №1 (21), 2010. – С. 18-27.
9. Гриднев, С.Ю. Использование механического аналога жидкости для моделирования колебаний автоцистерны при разгоне и торможении / С.Ю. Гриднев, А.Н. Будковой // Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. – Вып. №1 (21), 2011. – С. 98-106.
10. Гриднев, С.Ю. Динамическое воздействие автоцистерн с отсеками на путь при учете гидроуда / С.Ю. Гриднев, А.Н. Будковой // Строительная механика и конструкции. – 2012. – Вып. №1 (4). – С. 115-121.
11. Гриднев, С.Ю. Оценка динамического воздействия автомобиля на путь при торможении и разгоне с учетом кинематического возмущения / С.Ю. Гриднев, А.Н. Будковой // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – Вып. №3 (23), 2012. – С. 409-415.
12. Гриднев, С.Ю. Динамическое воздействие седельного автопоезда на транспортное сооружение при торможении / С.Ю. Гриднев, А.Н. Будковой // Наука и образование: сб. науч. тр. по материалам междунар. заочной науч.-практич. конф. – Тамбов: [б.и.], 2012. – Ч. 5. – С. 31-35.

13. Гриднев, С.Ю. Колебания балочных систем при переходных режимах движения одиночного автомобиля / С.Ю. Гриднев, А.Н. Будковой // Строительная механика и конструкции. – 2013. – Вып. №1 (6). – С. 84-91.
14. Гриднев С.Ю. Сопоставление результатов расчета колебаний балочной системы при переходных режимах движения автоцистерн с экспериментальными данными / С.Ю. Гриднев, А.Н. Будковой // Строительная механика и конструкции. – Воронеж, 2014. – Вып. №1 (8). – С. 88-95.
15. Гриднев С.Ю. Верификация результатов изучения динамического воздействия специализированной подвижной нагрузки на балочные системы / С.Ю. Гриднев, А.Н. Будковой // Инженерные системы и сооружения. Научной журнал. – Воронеж, 2014. – Т. 3. - Вып. №4 (17). – С. 213-217.
16. Гриднев С.Ю. Моделирование колебаний балочных систем при переходных режимах движения транспортных средств с жидкими грузами / С.Ю. Гриднев, А.Н. Будковой // Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. – Вып. №4 (36), 2014. – С. 113-125.
17. Гриднев, С.Ю. Влияние длины пролетных строений при оценке воздействия одиночной подвижной нагрузки на автодорожные мосты / С.Ю. Гриднев, А.Н. Будковой // Строительная механика и конструкции. – Воронеж, 2015. – Вып. №1 (10). – С. 97-105.

Рецензент: Овчинников Игорь Георгиевич, академик РАТ, д.т.н., профессор, заместитель председателя «Поволжского отделения Российской академии транспорта».

Gridnev Sergey Yuryevich

Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering
Russia, Voronezh
E-mail: gridnev_s_y@rambler.ru

Budkovoy Alexey Nikolaevich

LLC «Voronezhproekt-2»
Russia, Voronezh
E-mail: budalex2005@mail.ru

Development of approaches to formation of regulatory base of dynamic coefficients to temporary loads for design of road bridges

Abstract. Authors offered a technique of rationing of dynamic impact of moving load on the basis of numerical researches on the developed algorithms and programs. The problem is solved in the most general statement taking into account inertial properties both moving load and flying structure. The movement with a constant speed and non-uniform motion of single vehicles with solid and liquid freights taking into account kinematic disturbanse is considered. The special attention is paid to the transitional modes of the movement. The problem of fluctuations of fluid in a cavity of the tank is solved by means of advanced model of mechanical analog of liquid taking into account its damping qualities, a hydraulic shock and possibility of splitting a cavity into independent compartments.

The dynamic effect was estimated for two ways: pressure upon a way of each axis of the vehicle (for design of elements of the carriageway) and deflections of average section of a flying structure. In work final results of research of influence of roughnesses of a microprofile of the carriageway, acceleration size at non-uniform motion, lengths and provisions of a site of braking, fluctuations of fluid in a tanker cavity, and also some other factors on character and size of fluctuations of flying structures are presented. Results of calculations are verified by data of natural experiments.

Dependence of the received dynamic coefficients on length of flying structures is separately shown. Results of numerical researches confirm validity of a number of critical remarks to the operating regulatory base of dynamic coefficients. Authors specify approaches to its specification and expansion.

Keywords: moving load; flying structure; dynamic coefficient; non-uniform motion; tankers; fluctuations; regulatory base.

REFERENCES

1. Salamahin, P.M. Temporary load on road bridges. Disadvantages, their consequences, their elimination / P.M. Salamahin // Palmarium Academic Publishing. - Saarbruken, 2013. – 78 p.
2. Barchenkov, A.G. Dynamic design of road bridges [Text] / A.G. Barchenkov. – Moscow: Transport, 1976. - 199 p.
3. Safronov, V.S. Design of suspension and cable truss bridges on movable load. [Text] / V.S. Safronov. – Voronezh: Publ. house of VGU, 1983.-196 p.
4. Gridnev, S.Yu. Method of calculating the dynamic pressure of heavy vehicles when changing modes of motion / S.Yu. Gridnev, A.N. Budkovoy // Modern methods of static and dynamic analysis of structures and buildings. - Voronezh Academic Book, 2007. - Issue. Number 4. - P. 79-86.
5. Gridnev S.Yu. Study of the dynamic effects of vehicles on the bridge spans during transient driving conditions / S.Yu. Gridnev, A.N. Budkovoy // Actual problems of applied mathematics, computer science and mechanics: Fri. tr. Intern. Conf. - Voronezh [b.i.], 2008. - Part number 1. - P. 128-135.
6. Gridnev S.Yu. Modelling of simultaneous vibrations of the spans and tank lorries with bodies partially filled with liquid at transient traffic condition / S.Yu. Gridnev, A.N. Budkovoy // Scientific Bulletin VGASU. Construction and architecture. - Vol. Number 3, 2009. - P. 103-110.
7. Gridnev S.Y. Modeling of fluctuations of a tank during braking with use of mechanical analog of liquid / S.Yu. Gridnev, A.N. Budkovoy // Actual problems of applied mathematics, computer science and mechanics: Fri. tr. Intern. Conf. – Voronezh: IPC VGU, 2010. – P. 125-131.
8. Gridnev S.Yu. In-situ measurements of vibrations of elastically supported reinforced concrete bridge during car braking / S.Yu. Gridnev, A.N. Budkovoy // Scientific Bulletin VGASU. Construction and architecture. - Vol. Number 1 (21), 2010. - P. 18-27.
9. Gridnev, S.Yu. Using a mechanical analogue of fluid for tank lorry vibration simulating during acceleration and braking / S.Yu. Gridnev, A.N. Budkovoy // Scientific Bulletin VGASU. Construction and architecture. - Vol. №1 (21), 2011. - P. 98-106.
10. Gridnev, S.Yu. Dynamic impact of tank lorries with compartments during traffic with account of stress / S.Yu. Gridnev, A.N. Budkovoy // Structural mechanics and construction. - 2012. - Vol. 1, number (4). - P. 116-121.
11. Gridnev, S.Y. Evaluation of dynamic influence on the way the car under braking and acceleration, taking into account the kinematic perturbations / S.Yu. Gridnev, A.N. Budkovoy // Proceedings of the Kazan State Architectural University. Construction and Architecture. - Issue. Number 3 (23), 2012. - P. 98-106.
12. Gridnev, S.Yu. Dynamic impact of the saddle road train on a transport construction when braking / S.Yu. Gridnev, A.N. Budkovoy // Science and education: the coll. sc. works on materials of the int. cor. sc.-practical conf. – Tambov: [b.i.], 2012. – P. 5. – P. 31-35.

13. Gridnev, S.Yu. Fluctuations of beam systems under a single car transient motion / S.Yu. Gridnev, A.N. Budkovoy // Structural Mechanics and construction. - 2013. - Vol. Number 1 (6). - P. 84-91.
14. Gridnev, S.Yu. Comparison of calculations results of beam system vibration during tank lorries transient travel with the experimental findings / S.Yu. Gridnev, A.N. Budkovoy // Structural Mechanics and construction. - 2014. - Vol. Number 1 (8). - P. 88-95.
15. Gridnev S.Yu. Verification of the results of studying of specialized mobile dynamic load impact on beam systems [Text] / S.Yu. Gridnev, A.N. Budkovoy // Engineering systems and facilities. Science magazine. - Voronezh, 2014. - Т. 3. - Vol. Number 4 (17). - P. 213-217.
16. Gridnev S.Yu. Beam systems vibrations modelling during the transient of vehicle with liquid cargoes traffic [Text] / S.Yu. Gridnev, A.N. Budkovoy // Scientific Bulletin VGASU. Construction and architecture. - Vol. Number 4 (36), 2014. - P. 113-125.
17. Gridnev S.Yu. Influence of length of flying structures at the assessment of impact of single moving load on road bridges / S.Yu. Gridnev, A.N. Budkovoy // Structural Mechanics and construction. - 2015. - Vol. Number 1 (10). - P. 97-105.