

УДК 629.35

РАЗРАБОТКА НОРМ ПРОЧНОСТИ БАЛОК ПЕРЕДНИХ МОСТОВ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Х. А. ФАСХИЕВ

faskhiev@mail.ru

ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Поступила в редакцию 28 декабря 2013 г.

Аннотация. Приведена методика установления норм прочности балок передних мостов грузовых автомобилей. Установлены критерии работоспособности, необходимые запасы прочности для балок самосвалов КамАЗ-55111. Установлено, что балки мостов, удовлетворяющие нормам прочности по статическим напряжениям изгиба и кручения, соответствуют и критерию усталостной долговечности.

Ключевые слова: балка моста, норма прочности; грузовой автомобиль; тензометрирование; предел текучести; усталостная долговечность.

Конкурентоспособность – ключевой оценочный критерий изделий, в том числе и транспортных средств, определяется их ценой и качеством. В платежеспособных рынках покупатели при выборе товара однозначно предпочитают отдавать критерию качество. Это обусловлено тем, что качественный товар приносит за свой жизненный цикл гораздо больше полезного эффекта, чем некачественное изделие. Среди составных элементов качества транспортных средств центральное место занимает показатель надежность, т.е. вероятность сохранения работоспособности изделия в течении заданного срока службы. Высокую надежность автомобиля невозможно достичь, не обеспечивая надежность его деталей, узлов и агрегатов. При разработке грузовых автомобилей особое внимание должно быть уделено показателям надежности таких тяжело нагруженных в эксплуатации несущих деталей, агрегатов, как рама, платформа, подвеска, балки мостов, зубчатые колеса, карданные валы, которые теряют работоспособность по причине повреждений усталостного характера. По данным ряда исследователей для автомобилей доля отказов по причине усталостных разрушений составляет от 45 до 55 %.

Одной из актуальных технико-технологических задач в автомобилестроении является разработка норм прочности деталей, узлов и агрегатов, как например, в авиа, судостроении. Предметом нормирования являются: 1) режим работы и виды нагрузок действующих

на детали; 2) расчетные схемы и методы расчета деталей и узлов; 3) критерии разрушения; 4) предельные состояния, по которым производится расчет; 5) запасы прочности, допускаемые напряжения, жесткость и долговечность деталей и узлов; 6) требования к механическим характеристикам применяемых материалов. При этом необходимо добиться принципа «изделие соответствующее нормам прочности в эксплуатации не должен иметь разрушений, и иметь минимально возможную стоимость при изготовлении». Наличие норм прочности деталей, агрегатов автотранспортных средств способствует сокращению сроков их проектирования и доводки, повышению надежности и экономичности, снижению материалоемкости, следовательно, стоимости автомобиля, созданию конкурентоспособных моделей, наиболее полно соответствующих эксплуатационным требованиям. Кроме того, при наличии норм прочности появляется возможность проектировать детали, соответствующие нормам прочности, во вторых, на стадии доводки оперативно проверить соответствие их нормам прочности. К сожалению, в автомобилестроении в настоящее время отсутствуют общепринятые нормы прочности, и работы в данной области, начатые в конце 80-х годов прошлого столетия, практически остановились.

В статье рассматривается методика разработки норм прочности одной из особо тяжело нагруженных несущих деталей автомобилей –

балки переднего моста грузового автомобиля. Конструкции передних мостов различных автомобилей имеют много схожих технических решений, поэтому многолетний опыт проектирования и эксплуатации мостов различными производителями могут быть распространены на разработки новых конструкций.

Балка моста с точки зрения прочности характеризуется двумя критериями: предельной нагрузкой по текучести и усталостной долговечностью, из которых на этапе проектирования достоверно можно оценить только первое. Усталостная долговечность из-за отсутствия характеристик эксплуатационной нагруженности и усталостных характеристик балки на ранних этапах проектирования невозможно предсказать с удовлетворительной точностью. Даже при известных усталостных характеристиках и закономерностей эксплуатационной нагруженности расчетная долговечность изделия может отличаться от действительной в 2...3 раза [1]. При таких обстоятельствах наиболее целесообразным решением будет являться разработка норм прочности балок передних мостов по статическим напряжениям, но с одним условием - принятые нормы прочности должны обеспечивать надежность балки и по критерию усталостная долговечность.

Практика эксплуатации балок мостов показывает [2, 3], что при обеспечении запасов прочности по напряжениям изгиба и кручения по текучести балки передних мостов имеют необходимый запас и по усталостной долговечности. Балка моста из-за действия больших поперечных нагрузок при повышенных требованиях к жесткости, обусловленных требованиями к управляемости, имеют обычно такие геометрические размеры, что в эксплуатации амплитуды переменных напряжений изгиба даже в опасных зонах балки не превышают значения предела выносливости балки. Этому способствуют и высокие прочностные и усталостные характеристики применяемых материалов балок. Балки мостов автомобилей, как правило, изготавливаются из высокопрочных среднеуглеродистых сталей, подвергаются к термообработке, и тем самым обеспечивается предел текучести не менее 500 МПа, а предел выносливости - более 200 МПа. Опыт эксплуатации показывает, что еще не было не одного случая усталостного разрушения балок передних мостов, тогда как пластические деформирования балок встречается [2]. Пластический изгиб балки чаще происходит в горизонтальной плоскости в случае удара колеса об вертикальное препятствие, реже

в вертикальной плоскости при попадании под колесо «ям» при движении с большой скоростью. На практике были случаи скручивания балок, что наиболее вероятно при экстренном торможении груженого автомобиля сочетающегося с ударом колеса о препятствие.

Вышеприведенные сведения дают основу делать вывод о том, что прочность балок мостов необходимо нормировать по изгибным напряжениям в вертикальной и горизонтальной плоскости и по напряжениям кручения. В эксплуатации пластическое деформирование балок недопустимо, т.к. нарушаются геометрические характеристики установки колес автомобиля, в результате ухудшается управляемость, усиливается интенсивность изнашивания шин, поэтому за предельное напряжение в балках мостов необходимо принимать нормальные и касательные напряжения текучести материала балки, относительно которых и должен быть установлен запас прочности. Для расчета запаса прочности необходимо определить максимальные эксплуатационные напряжения в опасных сечениях балки, и пределы текучести материала балки.

Напряженно-деформированное состояние балок передних мостов в эксплуатации исследовались на автомобиле-самосвале КамАЗ-55111 грузоподъемностью 13 т. Самосвалы эксплуатируются более тяжелых условиях, чем автомобили общетранспортного назначения и седельные тягачи. По этой причине конструкции балок, спроектированные для самосвалов, без опасений могут быть распространены для применения и на другие модели внутри семейства.

Номинальная нагрузка на переднюю ось снаряженного автомобиля КамАЗ-55111 составляет 28,6 кН, а груженого 49,4 кН. Для тензометрирования балки в эксплуатации на серийную балку моста, изготовленную из стали 45Х (предел текучести $\sigma_T = 750$ МПа), были наклеены 16 тензодатчиков типа 2ПКБ10-200 (рис.1). В качестве тензометрической и регистрирующей аппаратуры были использованы шестиканальный тензоусилитель KWS/6A-5 и шлейфовый осциллограф К12-22. Записи деформаций проводились на полигоне НИЦИАМТ (Дмитров) при движении автомобиля по треку со сменными неровностями со скоростью 10 км/час, по «бельгийской мостовой» со скоростью 40 км/час и при торможении на асфальте со скоростью 70 км/час до полной остановки автомобиля.

Максимальное напряжение на балке моста (табл. 1) наблюдаются с наружной стороны рессорной площадки на верхней полке двутавра (датчик 13) при торможении автомобиля.

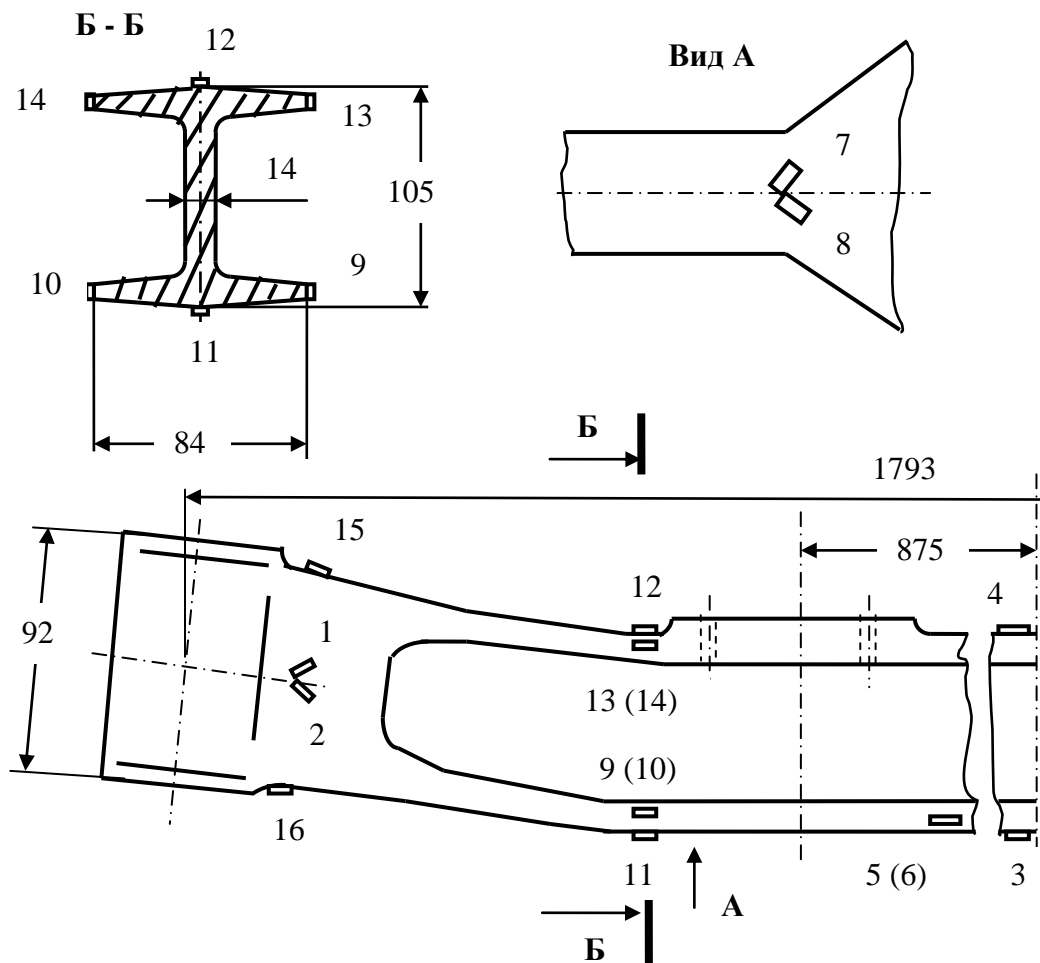


Рис. 1. Схема наклейки тензодатчиков на балку переднего моста самосвала КамАЗ-55111

Таблица 1

Результаты измерений максимальных напряжений на балке переднего моста автомобиля КамАЗ-55111, МПа

№ датчика	Статическое нагружение		Динамическое нагружение				Бельгийская мостовая, груз.
	снаряженный	груженный	Торможение		Трек со сменными неровностями		
			снаряж.	гружен.	снаряж.	гружен.	
1	2,0	-2,0	140,0	177,0	-14,0	-22,0	24,0
2	-16,0	-30,0	-276,0	342	10	9	-47
3	94	122	184	130	163	226	290
4	-110	-148	-142	-220	-166	-240	-290
5	110	112	-64	-130	198	224	192
6	106	112	448	464	193	312	199
7	30	36	-270	52	-296	-73	-66
8	28	36	368	378	-132	124	92
9	60	76	-48	-101	116	140	148
10	56	78	306	343	186	278	208
11	70	94	174	232	159	183	131
12	-74	-102	-191	-270	-122	-244	-158
13	-58	-86	-498	-556	-253	-382	-270
14	-68	-92	252	260	-148	-179	-188
15	-52	-84	-97	-148	-156	-196	-108
16	64	106	134	290	130	306	173

Максимальные напряжения сжатия в этой зоне доходят до 556 МПа. При статическом нагружении моста напряжения в этой зоне не превышают 86 МПа, т. е. коэффициент динамичности в зоне рессорной площадки на верхней полке двутавра доходит до 6,5. Напряжения в опасной зоне складываются из напряжений от вертикальных и горизонтальных нагрузок, действия которых при торможении суммируются и создают напряжения сжатия. Максимальные напряжения растяжения наблюдаются на нижней полке с передней стороны балки в зоне установки датчика 6. В этой зоне суммируются напряжения растяжения от вертикальных и горизонтальных нагрузок, и коэффициент динамичности при торможении груженого автомобиля доходит до 4,2. Напряжения между рессорными площадками обычно меньше, чем со стороны колеса рессорной площадки, что указывается и в работе [2].

Датчики, наклеенные по центру верхней и нижней полки (7, 8, 11, 12), фиксируют напряжения только от вертикальных нагрузок. Динамический коэффициент в зонах расположения данных датчиков находится в пределах 2...2,9. Напряжения значительно увеличиваются при движении автомобиля по «бельгийской мостовой» с большой скоростью. Так максимальное напряжение растяжения равное 297 МПа наблюдалось на нижней полке между рессорными площадками, что может быть объяснено действием инерционных нагрузок от веса балки. При движении по неровной дороге суммарные напряжения от вертикальных и горизонтальных нагрузок превышают статические напряжения от 2 до 4,5 раза.

Определение динамических коэффициентов нагруженности по результатам дорожных испытаний осуществлялось относительно статических напряжений только от вертикальной номинальной нагрузки. Как было указано выше, величина статических напряжений для наиболее нагруженной зоны может возрастать до 6,5 раза. Таким образом, запас прочности по изгибу в вертикальной плоскости для автомобилей семейства КамАЗ должен быть не менее 7, причем этот запас прочности для наиболее опасной зоны, где напряжения от вертикальных и горизонтальных нагрузок имеют максимальные значения и одинаковый знак.

Геометрические параметры балки в горизонтальной плоскости могут быть определены в зависимости от вертикального момента сопротивления балки изгибу. Горизонтальные нагрузки на балку не ведущего моста возникают при торможении или при ударе колес о вертикаль-

ное препятствие. Если учесть, что коэффициент скольжения шин на сухой дороге находятся в пределах 0,3...0,5, горизонтальная сила, действующая на балку при торможении будет в 2-3 раза меньше вертикальной, поэтому у известных конструкций балок мостов отношение моментов сопротивления изгибу в вертикальной и горизонтальных плоскостях находится именно в этих пределах, что видно из табл.2, где приведены моменты сопротивления изгибу и отдельно параметры балок передних мостов различных автомобилей.

Таблица 2

Характеристики балок передних мостов некоторых типов автомобилей

Модель автомобиля	Осевая нагрузка, кН	Собственная масса балки, кг	Материал	Момент сопротивления изгибу $\times 10^{-6} \text{ м}^3$		W_v/W_r
				верт	гор.	
ЗИЛ-130	27,80	50,5	45	65,5	30,16	2,1
ГАЗ-53	17,75	35	30X	31,7	14,13	2,2
УАЗ-451М	12,0	н.д.	н.д.	18,4	7,9	2,3
МАЗ-504В	44,10	75	40X	86,0	34,81	2,5
КамАЗ-5320	43,75	66	45X	102	38,8	2,6
КамАЗ-55111	44,70	66	45X	102	38,8	2,6
Форд-Транзит 900	9,8	17,9	30X	17,8	7,80	2,3
GMC-7500	40	63	45	46,1	14,50	3,2
Интернейшнл 190 (США)	40	70	45	80,6	43,11	1,9
Э-5320	39,20	78,6	45	2,38	38,90	2,4

Дорожные испытания показывают [2], что горизонтальные напряжения в среднем составляют 50 % от вертикальных напряжений, но при ударе колес о препятствие могут достигать и до 70...80%. Учитывая, что известные конструкции балок мостов удовлетворяют эксплуатационным требованиям, для автомобилей с осевой нагрузкой до 30 кН отношение момента сопротивления изгибу в вертикальной плоскости (W_v) к моменту сопротивления изгибу в горизонтальной плоскости (W_r) рекомендуется принимать в пределах 2...2,3, а для автомобилей с осевой нагрузкой выше 30 кН – в пределах 2,3...2,7.

Важным оценочным показателем прочности балки моста является также запас прочности по кручению, который определяется как отношение момента кручения по текучести к максимальному крутящему моменту балки, реализуемому при экстремальном торможении на сухой асфальто-бетонной дороге. В литературе отсутствуют какие-либо данные запаса прочности по кручению балок мостов, поэтому были проведены экспериментальные исследования на кручение балок мостов автомобилей КамАЗ

первых выпусков и модернизированных, балки которых изготовлены из стали 45 ($\sigma_T = 700$ МПа) и 45Х ($\sigma_T = 720$ МПа) соответственно. Предел текучести по кручению у балок из стали 45 находится в пределах 20...22 кН·м, а из стали 45Х в пределах 25...26 кН·м, т. е. больше на 18 %. В эксплуатации балки из стали 45 на автомобилях КамАЗ-55111, осевая нагрузка которых 44,7 кН, в отдельных случаях имели пластические деформации от крутящего момента приложенного на балку.

Максимальный крутящий момент, реализуемый тормозным устройством автомобиля КамАЗ-55111, достигает 15 кН·м. Крутящий момент, прикладываемый на балку, увеличивается при ударе колеса о препятствие в момент торможения, и суммарный крутящий момент может достигать значения предела текучести. Запас прочности по кручению балки изготовленной из стали 45 равнялся 1,4. Как показала практика, он недостаточен. У балок из стали 45Х запас прочности по текучести на кручение повысился до 1,7. У автомобилей с балкой передней оси из стали 45Х в эксплуатации не было ни одного случая пластического деформирования балок. Исходя из этого, запас прочности балок передней оси автомобилей по кручению рекомендуется принять в пределах 1,5...1,7. Причем нижние значения предела рекомендуются для седельных тягачей и автомобилей общетранспортного назначения, а верхние – для самосвалов и автомобилей для эксплуатации в тяжелых дорожных условиях.

Несущие детали автомобилей при движении подвергаются переменным во времени нагрузкам, поэтому они должны нормироваться и по критерию усталостная долговечность. Этот критерий из-за отсутствия исходных данных на этапе разработки является наиболее сложным для проверки, поэтому находит редкое применение на практике [3]. Долговечность детали более достоверно может быть оценена на этапе доводки по данным режимометрирования и стендовых усталостных испытаний с целью определения характеристик усталостной прочности детали.

Данная проблема может быть решена. Дело в том, что долговечность может быть оценена и методом сравнительных ускоренных стендовых испытаний на одном повышенном уровне регулярных нагрузок. Полученная при этом долговечность можно сопоставить с долговечностью аналогичной конструкции, полученной при тех же условиях испытания, и сделать вывод о пригодности новой конструкции.

Дорожные испытания балок передних мостов автомобиля КамАЗ-55111 показали, что амплитудное значение переменных напряжений в опасных зонах не превышает 556 МПа при торможении и 260 МПа (датчик 13) при движении по неровной дороге, т.е. коэффициент динамичности в наиболее нагруженных зонах в редких случаях при движении доходит до 3. С учетом этого фактора и рекомендаций работы [2] по испытанию несущих конструкций мостов на КамАЗе была разработана методика усталостных испытаний балок мостов. Согласно данной методики усталостные испытания балок мостов проводятся с приложением по рессорным площадкам вертикальной отнулевой циклической нагрузки с частотой в 7 Гц с максимальным значением в 2,5 раза превышающим номинальную вертикальную нагрузку на мост в статике. Эти величины приняты по результатам режимометрирования балок мостов самосвалов в различных дорожных условиях и способствуют имитировать на стенде наиболее тяжелый режим нагружения балок в эксплуатации. Тем самым происходит максимальное ускорение испытаний. Испытания балок проводится в сборе с поворотными кулаками, которые посредством специальных башмаков опираются на масляные ванны, установленные на раме гидропульсатора «PZA» (Германия).

По вышеописанной методике были проведены усталостные испытания 6 балок мостов автомобиля КамАЗ-55111 изготовленные из разных материалов: 3 балки были изготовлены из стали 45 и 3 – из стали 45Х. На рессорные площадки прикладывалась отнулевая циклическая нагрузка в 112 кН, т. е. динамический коэффициент по номинальной вертикальной нагрузке на мост груженого автомобиля составил 2,5. Максимальные напряжения растяжения на полке под рессорной площадкой при этом равнялись 306 МПа.

Результаты усталостных испытаний (табл. 3) показали, что долговечность балок при замене стали 45 на сталь 45Х не повышается. Разрушения балок во всех случаях происходят по сечению Б-Б в зоне отверстий под стремянки рессор (см. рис. 1), где были зафиксированы максимальные напряжения при дорожных испытаниях. Согласно работе [2] балки мостов, имеющие долговечность при данных условиях испытания не менее 10^6 циклов нагружения, обладают достаточной эксплуатационной надежностью. Это утверждение подтверждается тем, что еще на практике неизвестно случаев усталостных разрушений балок передних мостов автомобилей КамАЗ.

Таблица 3
Результаты усталостных испытаний балок передних мостов автомобиля КамАЗ-55111

Материал балки	Условный номер	Циклов до разрушения, $N \cdot 10^{-6}$	Место разрушения (рис.1)
Сталь 45	1	1,59	по сечению Б-Б
	2	1,47	то же
	3	1,50	«
Сталь 45Х	4	1,45	«
	5	1,61	«
	6	1,56	«

Высокая усталостная долговечность балок мостов объясняется тем, что материалы, применяемые для изготовления балок, имеют предел выносливости порядка 350...450 МПа, тогда как амплитуда переменных напряжений от внешних нагрузок обычно меньше этих величин и долговечность детали значительно превышает ресурс автомобиля, на что указывается и в работе [2].

Таким образом, работоспособность балок передних мостов для высокопрочных термообработанных сталей обуславливается запасами прочности по статическим напряжениям изгиба и кручения. Балка, соответствующая требованиям отсутствия пластических деформаций в эксплуатации, удовлетворяет и требованиям по усталостной долговечности.

Критериями прочности балок мостов рекомендуется принять запасы прочности по напряжениям изгиба и кручения, определенные из условия текучести. Запас прочности балок передних мостов по напряжениям изгиба в вертикальной плоскости рекомендуется принимать не менее 7, по кручению – 1,5...1,7. Момент сопротивления изгибу в горизонтальной плоскости балок рекомендуется принимать в 2...2,7 раза меньше, чем в вертикальной плоскости. Балка из термообработанной высокопрочной стали при соблюдении этих статических норм прочности при испытании приложением отнулевой циклической нагрузки, превышающей в 2,5 раза номинальную нагрузку на мост, имеет усталостную долговечность больше нормативной, равной 10^6 циклов.

Рекомендованные нормы прочности могут быть уточнены в зависимости от условий эксплуатации проектируемого автомобиля, применяемых материалов, требований его надежности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Серенсен С. В., Когаев В. П., Шнейдерович Н. С. Неспособность и расчеты на прочность деталей машин. М.: Машиностроение, 1975. 488 с. [S. V. Serensen, V. P. Kogayev, and N. S. Shneyderovich, *Bearing ability and calculations on durability of details of cars*, (in Russian). Moscow: Mashinostroenie, 1975.]

2. Марголис С. Я. Мосты автомобилей и автопоездов. М.: Машиностроение, 1983. 160 с. [S. Y. Margolis, *Bridges of cars and road trains*, (in Russian). Moscow: Mashinostroenie, 1983.]

3. Фасхиев Х. А. Проектирование деталей транспортных средств по нормативной стеновой долговечности // Вестник УГАТУ. 2013. Т. 17, № 4. С. 44–55. [Kh. A. Faskhiyev, "Design of details of vehicles on standard bench durability," (in Russian), *Vestnik UGATU*, no. 4, pp. 44-55, 2013.]

ОБ АВТОРЕ

ФАСХИЕВ Хакимзан Амирович, проф. каф. прикл. гидромех. УГАТУ и каф. экон., менедж. и маркетинга Финанс. ун-та при Правит. РФ. Дипл. инж. по машинам лесн. пром. (Марийск. политехн. ин-т, 1982), дипл. экономист (Казанск. фин.-экон. ин-т, 1999). Д-р техн. наук по колесн. и гусен. машинам (НАМИ, 1999). Иссл. в обл. проектир. и испыт. трансп. средств, управления конкурентоспособн. в техн. и соц.-экон. системах.

METADATA

Title: Working out of norms of durability of beams of lobbies bridges of cars.

Authors: Kh. A. Faskhiyev.

Affiliation: Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: faskhiyev@mail.ru.

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (Scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 18, no. 3 (64), pp. 106-111, 2014. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: The technique of an establishment of norms of durability of beams an apron of bridges of lorries is resulted. Criteria of the working capacity, necessary safety factors for beams of dump-body trucks of KamAZ-55111 are established. It is established that beams of the bridges, durability satisfying to norms on static pressure of a bend and torsion, correspond also to criterion of fatigue durability.

Key words: a bridge beam, norm of durability, a lorry, measurement of deformations, a fluidity limit, fatigue durability.

About the author:

FASKHIEV, Khakimzan Amirovich, prof., chair of an applied hydromechanics UGATU, prof. of chair of economy, management and marketing of Financ. univ. under the Government of the RF. Dipl. engineer (Mari polytechnic inst., 1982), dipl. economist (Kazan financ. and economic inst., 1999). Dr. of tech. sci. (NAMI, 1999). Researches in the field of design and tests of vehicles, management of competitiveness of technical, social-econ. systems.