

А. С. Савич

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРУЗОЧНОГО РЕЖИМА ПОДШИПНИКОВ КОЛЕС АВТОМОБИЛЕЙ

Технический прогресс во всех отраслях народного хозяйства нашей страны ставит перед автомобилестроителями все повышающиеся требования к надежности и долговечности автомобилей при снижении их веса и повышении производительности. На современном уровне развития техники надежность и долговечность автомобилей является основным показателем их качества.

Поставленные задачи могут быть решены на основе экспериментальных исследований и всестороннего изучения режимов работы узлов и агрегатов автомобиля в эксплуатационных условиях.

Совершенствование конструкций автомобилей требует разработки и внедрения в практику конструирования новых, более совершенных методов расчета, основанных на изучении действительных нагрузочных режимов работы агрегатов и узлов автомобилей и наиболее полно отражающих характер протекающих рабочих процессов в отдельных узлах автомобилей. Это позволит установить зависимость нагруженности агрегатов от условий эксплуатации автомобилей.

Нагрузочный режим узлов ходовой части автомобилей, а также расчеты долговечности подшипников этих узлов относятся к вопросам наименее изученным. Поэтому исследование действительного нагрузочного режима подшипников колес в эксплуатационных условиях позволит совершенствовать методы расчета подшипниковых узлов, повышать их надежность и долговечность.

Подшипники ступиц колес автомобилей относятся к таким узлам, которые работают в тяжелых условиях динамического нагружения. При эксплуатации они подвергаются непрерывному действию переменных нагрузок. Вертикальная нагрузка, величина которой зависит от веса, приходящегося на колесо автомобиля, дополняется динамической нагрузкой при движении по неровной дороге. По данным исследований, максимальная динамическая вертикальная нагрузка на колесо при эксплуатации автомобиля в тяжелых дорожных условиях может превышать статическую нагрузку в 1,5—2,5 раза и более.

Характер нагрузки при расчетах долговечности подшипников

колес учитывается динамическим коэффициентом безопасности K_6 . Однако выбор этого коэффициента в зависимости от условий эксплуатации в имеющейся литературе достаточно не обоснован. Так, значения этого коэффициента значительно отличаются по величине. Ведомственная нормаль Н-451-47 рекомендует при расчете долговечности подшипников колес вводить коэффициент уменьшения долговечности $K = 0,15$, что соответствует динамическому коэффициенту безопасности $K_6 = 1,76$, так как

$$\frac{1}{1,76^{3,33}} = 0,15.$$

По Б. В. Гольду [2], рекомендуется для подшипников колес и дифференциала принимать значение коэффициента динамической нагрузки $K_6 = 1,5$ независимо от типа автомобиля и условий эксплуатации.

А. И. Курганов [3] для подшипников колес приводит $K_6 = 1,3-1,8$.

При расчетах подшипников колес автомобилей Минского автомобильного завода величина коэффициента динамической нагрузки принимается равной 1,5—2,0, а при расчетах подшипников передней ступицы автомобиля МАЗ-500 и МАЗ-503 $K_6 = 2,5$, т. е. это коэффициент максимальной динамической нагрузки, действующей на ходовую часть автомобиля.

Разброс рекомендуемых значений коэффициента внешней динамической нагрузки вносит существенную ошибку при определении долговечности подшипников. Нагрузка и долговечность подшипника связаны между собой известной степенной зависимостью. Например, увеличение нагрузки на подшипник в 2 раза вызывает снижение долговечности в 10 раз. Поэтому важно правильно выбрать нагрузочный режим и коэффициент динамической нагрузки, от которого зависят работоспособность и общий срок службы подшипников колес автомобиля, в соответствии с заданными условиями эксплуатации.

С целью исследования действительного нагрузочного режима подшипников колес, получения экспериментальных данных о характере действующих нагрузок и определения закономерностей статистического распределения величин нагрузок в зависимости от типа и состояния дорожного покрытия были проведены испытания автомобилей ГАЗ-51А и МАЗ-503. В программу испытаний входило определение следующих параметров: а) максимальных вертикальных нагрузок на цапфу в плоскости вращения колеса; влияния скорости движения на динамичность нагрузки; б) вертикальных длительно действующих нагрузок при длительном движении автомобиля на участках большой протяженности; в) пройденного пути и скорости движения автомобиля.

Нагрузки определялись с помощью проволочных преобразо-

вателей сопротивлением 200 ом, которые наклеивались на балку переднего моста между колесом и рессорной площадкой в плоскости действия вертикальной нагрузки. При исследовании максимальных пиковых нагрузок и влияния скорости движения на динамичность нагрузки все параметры регистрировались при помощи усилителя ГА-5 и двенадцатишлейфного осциллографа ПОБ-14, запись производилась на светочувствительную бумагу шириной 120 мм. Питание усилителя осуществлялось от аккумуляторных батарей через преобразователь постоянного тока ППР-120.

Скорость движения автомобиля определялась путем регистрации числа оборотов колеса с помощью индукционного датчика, закрепленного на цапфе колеса.

Регистрация длительно действующих нагрузок производилась при помощи режимомера РМ-3А конструкции НАМИ. Питание режимомера осуществлялось от аккумуляторных батарей напряжением 24 в.

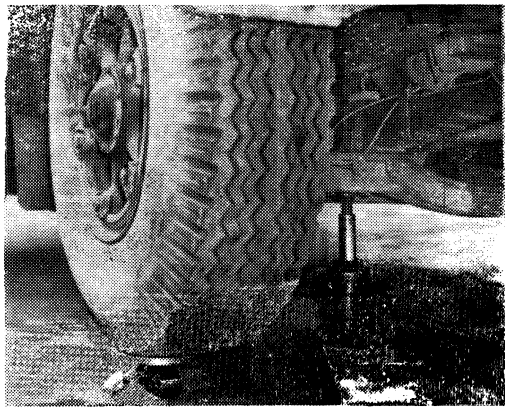


Рис. 1. Момент тарировки датчиков на автомобиле.

С целью повышения точности эксперимента перед испытаниями проводилась неоднократная тарировка датчиков непосредственно на автомобиле. На рис. 1 показан момент тарировки датчиков на автомобиле.

Нагрузка на колесо создавалась ступенями 250 кг при помощи гидравлического домкрата путем нагружения автомобиля. Величина нагрузки фиксировалась при помощи образцового динамометра сжатия ДС-3 с предельной нагрузкой 3 т, который устанавливался под колесо в центре опорной поверхности шины. Для горизонтального расположения автомобиля при тарировке под остальные колеса подкладывались деревянные подставки, высота которых была равна высоте динамометра с площадкой. Принятая схема тарировки наиболее точно соответствовала характеру нагружения ходовой части автомобиля в условиях эксплуатации. На рис. 2 представлены тарировочные графики зависимости напряжения (U) от усилия (P) при различных значениях контрольного сигнала ($KС$).

В соответствии с программой испытаний предусматривалось исследование влияния на нагрузочный режим ходовой части авто-

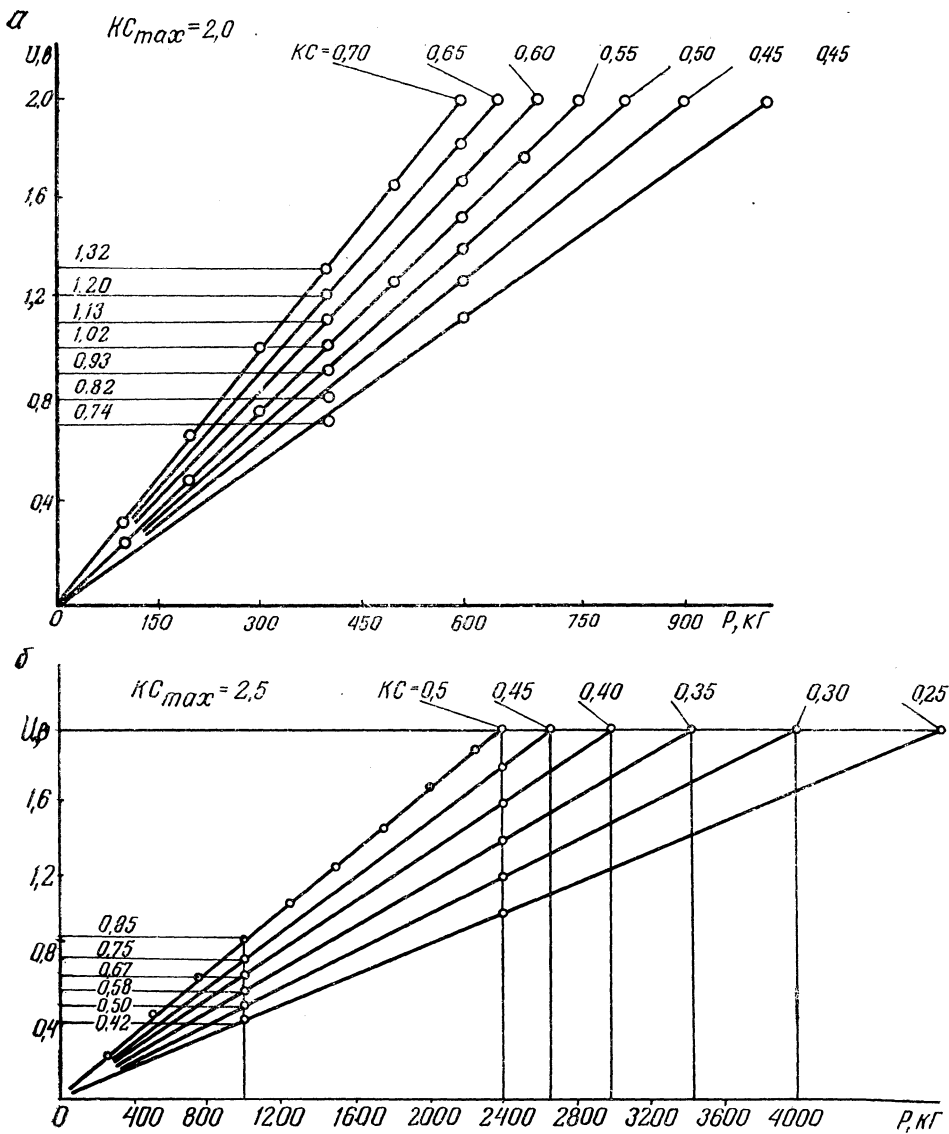


Рис. 2. Графики тарировки датчиков балки передней оси автомобиля ГАЗ-51А (а) и автомобиля МАЗ-503 (б)

мобиля скорости движения при переезде через искусственное препятствие синусоидального профиля длиной 0,5 м и высотой 0,10 м.

Для оценки динамического воздействия на ось автомобиля искусственного препятствия испытания проводились на автомобиле ГАЗ-51А с полезной нагрузкой в кузове 2,5 т. Скорость движения задавалась от 15 до 40 км/ч с интервалом 5—10 км/ч. При обработке осциллограмм численные значения скорости движения определялись по формуле:

$$v_a = 0,377 \cdot r_k n_k,$$

где r_k — рабочий радиус колеса, м; n_k — число оборотов колеса в минуту,

$$n_k = \frac{60}{t_{об}}.$$

Здесь $t_{об}$ — среднее время одного оборота колеса, сек,

$$t_{об} = \frac{L_{пл}}{v_{пл} n},$$

где $L_{пл}$ — общая длина пленки, мм; $v_{пл}$ — скорость движения пленки, мм/сек; n — число оборотов колеса на мерном участке пленки $L_{пл}$.

В результате обработки полученных осциллограмм были определены значения динамического коэффициента по пиковым нагрузкам из выражения

$$K_{д\max} = \frac{P_{ст} + P_d}{P_{ст}},$$

где $P_{ст}$, P_d — соответственно статическая и динамическая составляющие вертикальной нагрузки, кг.

Данные нагрузок на цапфу и величины коэффициента динамичности, полученные при замерах, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Полезная нагрузка в кузове автомобиля G , кг	Статическая нагрузка на цапфу в плоскости колеса $P_{ст}$, кг	Преодоление искусственного препятствия одним колесом			Преодоление искусственного препятствия обоими колесами		
		средняя техническая скорость движения v_a , км/ч	максимальная динамическая нагрузка P_d , кг	коэффициент динамической нагрузки $K_{д\max}$	средняя техническая скорость движения v_a , км/ч	максимальная динамическая нагрузка P_d , кг	коэффициент динамической нагрузки $K_{д\max}$
2 500	800	17,8	740	1,93	17,0	1 140	2,43
	800	20,5	840	2,05	22,0	1 360	2,70
	800	27,0	1 260	2,60	27,5	1 420	2,78
	800	30,0	1 320	2,65	30,0	1 480	2,85
	800	36,0	1 520	2,90	35,0	1 680	3,10
	800				42,5	1 820	3,28

Изменение коэффициента динамической нагрузки в зависимости от скорости движения показано на рис. 3.

По данным испытаний, при переезде через искусственное препятствие определенных размеров можно судить о максимальных динамических нагрузках в ходовой части автомобиля, которые могут возникнуть при эксплуатации в тяжелых дорожных условиях.

При преодолении препятствия колесами одного борта нагруженность ходовой части несколько меньше, чем при переезде через препятствие одновременно обоими колесами.

Так, при движении со скоростью 20—30 км/ч динамические нагрузки на цапфу со стороны колеса, преодолевающего препятствие, меньше в 1,1—1,3 раза соответствующих нагрузок при преодолении препятствия обоими колесами одновременно.

Однако необходимо учесть, что максимальные (пиковые) нагрузки являются случайными и по времени действия ограничены. Поэтому они не оказывают существенного влияния на усталостную прочность

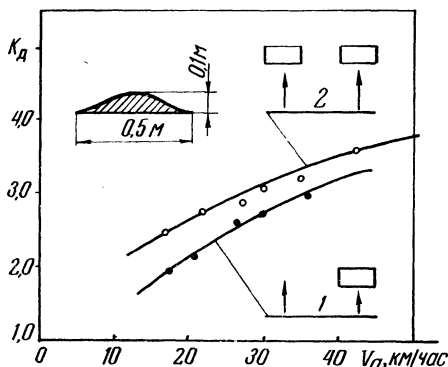


Рис. 3. Изменение коэффициента максимальной динамической нагрузки $K_{d\max}$ в зависимости от скорости движения автомобиля v_0 :

1 — при переезде через препятствие колесами одного борта; 2 — то же обоими колесами

как материала оси и цапфы, так и подшипников колес.

С целью исследования характера распределения длительно действующих нагрузок были проведены испытания автомобилей ГАЗ-51А и МАЗ-503 при длительном движении по дорогам с различными покрытиями.

Мгновенные значения вертикальных нагрузок, действующих на цапфу в плоскости вращения колеса, регистрировались с помощью режимомера РМ-3А, имеющего 10 каналов (счетчиков). Каждый канал прибора настраивался на определенный интервал нагрузок, при достижении которого вступал в работу соответствующий счетчик и регистрировал количество импульсов нагрузки данного интервала. Причем каждый предыдущий счетчик регистрировал суммарное количество импульсов нагрузки, которая достигла порога срабатывания данного счетчика. Балансировка прибора производилась при нагрузке на колесо 400 и 1000 кг соответственно для ГАЗ-51А и МАЗ-503. Это позволило более правильно распределить весь диапазон реальных нагрузок по каналам, так как прибор был настроен для регистрации первым и вторым каналом

нагрузок обратного знака, а в действительности отрицательных нагрузок не наблюдалось.

Контрольный сигнал при испытаниях на дорогах различного типа подбирался после пробного заезда таким образом, чтобы последний десятый счетчик регистрировал единичные пиковые нагрузки.

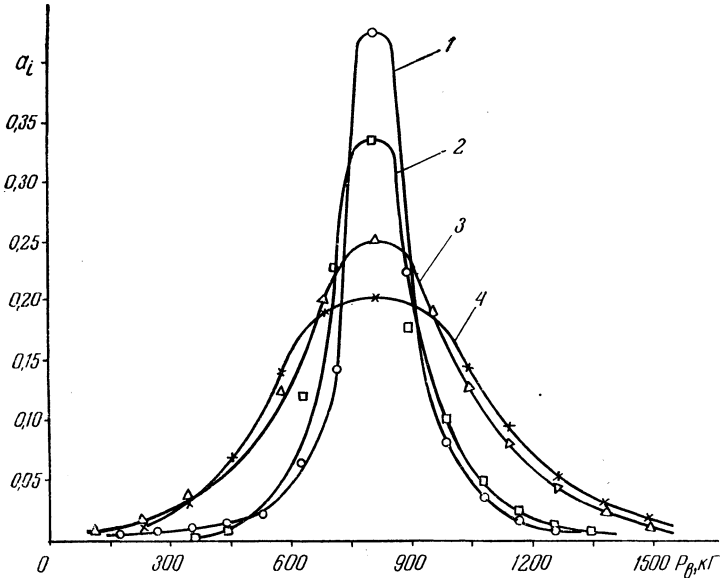


Рис. 4. Распределение вертикальных нагрузок, действующих на цапфу переднего колеса автомобиля ГАЗ-51А, при движении по различным дорогам с нагрузкой 2,5 т:

1—асфальтированное покрытие хорошего качества, $v_{а_ср} = 60,5$ км/ч; 2—асфальтированное шоссе среднего качества, $v_{а_ср} = 55,5$ км/ч; 3—булыжное шоссе среднего качества, $v_{а_ср} = 40$ км/ч; 4—булыжное разбитое шоссе, $v_{а_ср} = 30,5$ км/ч.

Скорость движения автомобиля при испытаниях поддерживалась самим водителем в зависимости от состояния дорожного покрытия.

Для получения достаточных данных о характере нагрузок и обеспечения условий, близких к статистической стационарности исследуемых нагрузок, длина регистрируемых участков дорог принималась в пределах 100—200 км.

В результате обработки полученных данных были построены экспериментальные кривые распределения вертикальных нагрузок для различных условий эксплуатации (рис. 4, 5). Как видно, общий диапазон нагрузок возрастает с ухудшением качества дорож-

ных покрытий. Наибольшее количество импульсов нагрузки соответствующего уровня смещается в зону больших нагрузок при ухудшении качества дорожного покрытия.

Вертикальная нагрузка, действующая на узлы ходовой части автомобиля, является переменной величиной, изменяющейся по определенному закону. Однако при расчетах долговечности подшипников переменные нагрузки удобнее заменить постоянной

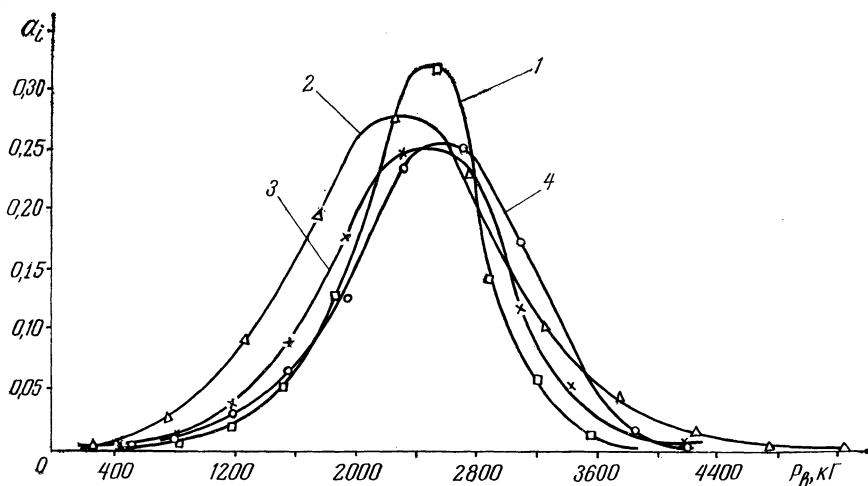


Рис. 5. Распределение вертикальных нагрузок, действующих на цапфу переднего колеса автомобиля МАЗ-503, при движении по различным дорогам с нагрузкой 7 т:

1—асфальтированное шоссе среднего качества, $v_{\text{а.ср}} = 53$ км/ч; 2—булыжное шоссе среднего качества, $v_{\text{а.ср}} = 50$ км/ч; 3—гравийное шоссе удовлетворительного качества, $v_{\text{а.ср}} = 42,5$ км/ч; 4—песчаный карьер.

(расчетной) нагрузкой. При этом необходимо, чтобы износоусталостные явления были одинаковыми, как при действии переменных нагрузок. Для определения коэффициента работоспособности колесных подшипников в качестве расчетной нагрузки следует принимать вертикальную нагрузку на колесо в статическом состоянии, а ее динамическое воздействие учитывать динамическим коэффициентом безопасности, принимая во внимание длительность действия данной нагрузки на различных уровнях в долях от общего времени движения.

Анализ и обработка экспериментальных данных статистического распределения вертикальных нагрузок позволили определить коэффициент внешней динамической нагрузки $K_{\text{д}}$, который учитывает действительный характер переменных нагрузок.

Для приближенного определения коэффициента $K_{дс}$ предлагается следующая формула:

$$K_{дс} = \sqrt[3,33]{\frac{\sum P_i^{3,33} a_i}{P_{ст}^{3,33}}}$$

где $P_{ст}$ — статическая нагрузка от приходящегося на колесо веса автомобиля, кг; P_i — среднее значение каждого интервала нагрузок, кг; a_i — вероятность действия нагрузки P_i .

Таким образом, в основу расчета долговечности подшипников качения колес автомобиля положен принцип расчета по переменным нагрузкам, характер распределения которых зависит от условий эксплуатации. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Условия эксплуатации	Средняя техническая скорость движения автомобиля $v_{a,ср}$, км/ч		Статистические значения коэффициента динамичности $K_{дс}$	
	МАЗ-503	ГАЗ-51А	МАЗ-503	ГАЗ-51А
Движение по дороге с асфальтобетонным покрытием хорошего качества	—	60,5	—	1,18
Движение по асфальтированному шоссе среднего качества	53,0	55,5	1,107	1,15
Движение по дороге с булыжным покрытием среднего качества	50,0	40,0	1,20	1,32
Движение по гравийному шоссе удовлетворительного качества	42,5	—	1,175	—
Движение по разбитому булыжному шоссе	—	30,5	—	1,34
Работа автомобиля в песчаном карьере	—	—	1,205	—

Как видно из табл. 2, значения коэффициента динамической нагрузки возрастают с ухудшением дорожных условий. Более высокие значения $K_{дс}$ характерны для автомобиля ГАЗ-51А при одинаковых дорожных условиях. Это объясняется тем, что с уменьшением статической нагрузки на ось автомобиля динамичность ее возрастает, особенно в зоне повышенных скоростей. Средние зна-

чения $K_{дс}$ при различных дорожных условиях лежат в пределах: для автомобиля ГАЗ-51А — 1,15—1,34; для автомобиля МАЗ-503—1,107—1,205. Этот уровень обусловлен величиной средней технической скорости движения по дорогам данного вида, характером неровностей и профилем пути.

Определим расчетный динамический коэффициент в зависимости от условий эксплуатации по следующей формуле:

$$K_{дp} = \sqrt[3.33]{\frac{\alpha_1}{100} K_{дс1}^{3.33} + \frac{\alpha_2}{100} K_{дс2}^{3.33} + \dots},$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \dots$ — продолжительность работы автомобиля от общего времени движения в данных условиях эксплуатации, %; $K_{дс1}, K_{дс2}, \dots$ — динамические коэффициенты, соответствующие данным типам дорог.

Принимая распределение грузооборота по различным видам дорог за продолжительность работы в данных условиях эксплуатации, можно определить значения $\alpha_1, \alpha_2, \dots$

Распределение грузооборота автомобильного транспорта по сети дорог СССР [1], а следовательно, и продолжительность работы автомобиля в различных дорожных условиях приведены в табл. 3.

Таблица 3

Виды дорог	Распределение грузооборота по видам дорог, %	Продолжительность работы автомобиля от общего времени движения, %
Дороги капитального типа I и II категорий	16	$\alpha_1=16$
Дороги облегченного типа с твердым усовершенствованным покрытием II—IV категорий	17	$\alpha_2=17$
Дороги переходного типа с твердым покрытием (бульжные, щебеночные)	27	$\alpha_3=27$
Профилированные грунтовые дороги	29	$\alpha_4=29$
Грунтовые естественные дороги	11	$\alpha_5=11$

Таким образом, можно определить величину расчетного динамического коэффициента $K_{дp}$ для подшипников ступиц колес в заданных условиях эксплуатации.

Например, для автомобилей типа ГАЗ-51А при принятой (табл. 3) продолжительности работы в различных дорожных условиях расчетный динамический коэффициент равен

$$K_{дp} = \sqrt[3.33]{\frac{16}{100} \cdot 1,18^{3.33} + \frac{17}{100} \cdot 1,15^{3.33} + \frac{56}{100} \cdot 1,32^{3.33} + \frac{11}{100} \cdot 1,34^{3.33}} = 1,28.$$

Для автомобилей-самосвалов, которые большей частью работают в тяжелых условиях, за величину расчетного динамического коэффициента следует принимать значение $K_{дp}$ по наиболее тяжелому режиму.

Выводы

1. Проведенное исследование дает достаточно полное представление о реальных нагрузочных режимах подшипников ступиц колес автомобилей. Действительная нагрузка на подшипники колес при любых условиях эксплуатации превышает статическую нагрузку. Максимальные динамические нагрузки ходовая часть испытывает при переезде автомобиля через неровности, а также при движении с полной полезной нагрузкой по разбитым дорогам. При преодолении препятствия одновременно обоими колесами динамичность нагрузки в 1,1—1,3 раза выше динамичности нагрузок при переезде через препятствие колесами одного борта. С увеличением скорости преодоления препятствия динамичность возрастает. Увеличение скорости с 17 до 42,5 км/ч при переезде через препятствие обоими колесами одновременно приводит к увеличению коэффициента динамичности с 2,43 до 3,28 (т. е. в 1,35 раза).

2. При определении долговечности подшипников колес расчетная нагрузка должна подсчитываться с учетом условий эксплуатации и продолжительности работы автомобиля в данных условиях.

3. В качестве расчетной нагрузки необходимо применять статическую нагрузку на колесо, а ее динамичность и изменения по длительности при движении в различных условиях удобнее учитывать с помощью коэффициента внешней динамической нагрузки $K_{дs}$.

4. Полученные экспериментальные кривые распределения вертикальных нагрузок в различных условиях эксплуатации дают возможность определить расчетное значение коэффициента динамической нагрузки в зависимости от типа автомобиля и продолжительности его работы на дорогах с различными покрытиями. Так, для автомобилей типа ГАЗ-51А значение $K_{дp}$ может быть принято в пределах 1,25—1,30.

5. Выводы, сделанные по нагрузочному режиму подшипников колес автомобилей ГАЗ-51А и МАЗ-503, могут быть использованы при расчетах и конструировании подшипниковых узлов колес автомобилей подобных типов.

Литература

1. Великанов Д. П. Эксплуатационные качества автомобилей. М., 1962.
2. Гольд Б. В. Конструирование и расчет автомобиля. М., 1962.
3. Курганов А. И. Основы расчета шасси тракторов и автомобилей. М., 1953.