

О ХАРАКТЕРЕ РАБОТЫ ДОРОЖНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ

Н. И. СКРИПОВ

Кандидат технических наук

Л. Е. САВИН

Ассистент

(Архангельский лесотехнический институт)

В течение последних двух лет предприятиями лесной промышленности начато строительство лесовозных автомобильных дорог с колеиным покрытием из сборных железобетонных плит. Эти дороги еще не сданы в эксплуатацию, поэтому пока не имеется опыта их работы.

Колеи лесовозных автомобильных дорог покрываются прямоугольными железобетонными плитами размером $2,50 \times 1,0 \times 0,16$ м, имеющими 28 продолговатых конических отверстий с закругленными углами.

Плиты изготавливаются из бетона марки «300» с армированием в виде каркаса из двух сеток. По проекту на одну плиту расходуется бетона $0,28 \text{ м}^3$, арматуры 37 кг, вес плиты — около 700 кг. Сочленение коротких концов плит осуществляется забивкой деревянных брусков сечением 5×5 см в квадратную полость, образованную треугольными пазами двух смежных концов. Конструкция и размеры плит рассчитаны для движения автомобилей грузоподъемностью до 7 т.

Работа дорожных плит при разных условиях и нагрузках до сих пор была недостаточно изучена*. Поэтому в течение 1956—1957 годов в полевых условиях на Хайнозерской автомобильной лесовозной дороге комбината «Онеголес», являющейся одной из первых дорог подобного типа, нами были поставлены эксперименты для выявления характера работы дорожных плит и их стыков, как элементов колесопроедов. При прохождении автомобиля определялись фактические осадки плиты в разных ее сечениях, зависимость величины осадки от скорости движения и положения нагрузки относительно исследуемого сечения, устанавливалось влияние основания дороги и характера приложения нагрузки на изгиб плиты. Ниже освещаются результаты некоторых опытов.

Опыты проводились в самое неблагоприятное время года (первая декада июня 1957 года) на трех опытных участках. Опытный участок № 1 (ПК 40) был выбран на сухом месте с мелким супесчаным

* Строительная механика в СССР. Сборник статей-обзоров. М., 1957.

грунтом, имеющим границу текучести 20%. Фактическая влажность грунта в момент проведения опытов была около 10% с небольшими колебаниями в зависимости от глубины залегания.

На глубине 1,30 м обнаружен слой мерзлого грунта толщиной 20—25 см.

Опытный участок № 2 (ПК 45) располагался на сыром месте с временным притоком поверхностных вод и близком залегании грунтовых вод. С одной из сторон насыпи был незначительный подпор весенних вод, вследствие чего откосы насыпи оказались сильно переувлажненными. Насыпь высотой 0,80 м возведена из мелкого супесчаного грунта с границей текучести 26,9%.

При проведении опытов влажность грунта на разной глубине залегания оказалась от 17,8% до 24,6%. На глубине 90 см от поверхности плиты обнаружен мерзлый грунт.

Опытный участок № 3 (ПК 28) был расположен на пологом косогоре с нулевыми отметками. Место увлажняется грунтовыми водами, просачивающимися с нагорной стороны на поверхность земли. Мелкий супесчаный грунт имеет границу текучести 24,6%, а влажность грунта в момент проведения опытов на глубине 50 см была 21,5%. На глубине 80 см обнаружен мерзлый грунт.

Для проведения опытов был взят груженный автомобиль МАЗ-200. Нагрузка распределялась таким образом: на заднюю ось 10 т, на переднюю ось 3,6 т.

Величины осадок плит записывались в трех сечениях (по концам и на середине) вибрографами типа ВР-1. В каждом сечении устанавливалось два прибора по краям плиты друг против друга. На опытных участках № 1 и 2 было выбрано по одной плите на наружном и внутреннем колесопроводах (рис. 1 и 2), на опытном участке № 3 — одна плита наружного колесопровода. Расположение вибрографов на участке № 2 позволяло вести запись осадок концов двух смежных плит. Для отметки положения колеса автомобиля на виброграмме в момент прохождения через исследуемое сечение все опытные плиты имели отметчик положения колеса.

Вибрографы крепились к металлическим штангам, установленным в буровых скважинах глубиной до 2 м. Перемещение плиты передавалось на виброграф с помощью металлической скобки, прочно закрепленной в плите и имеющей выступ, на который опирается штифт прибора. По опытному участку пропускался груженный автомобиль со скоростями 5, 10, 20, 30 и 40 км/час. При каждой скорости движения совершалось пять опытных заездов для записи осадок плит с увеличением фактических перемещений в 2-6 раз.

Весь комплекс условий и особенностей деформации грунтов земляного полотна при действии нагрузки обычно характеризуется модулем деформации грунтового основания. Поэтому одновременно с измерениями осадок плит был определен модуль деформации их основания, величина которого необходима также для сопоставления результатов теоретических расчетов с опытными. Своеобразная конструкция стыкового соединения (шарнир) позволяет рассматривать плиту как прямоугольный штамп. С учетом этого положения модуль деформации определялся по средним осадкам опытной плиты. При этом последняя принималась за жесткую, что можно считать достаточно справедливым только для поперечного направления. Такое допущение могло вызвать ошибку до 15—16%*.

* Н. А. Цитович. Механика грунтов. М., 1951.

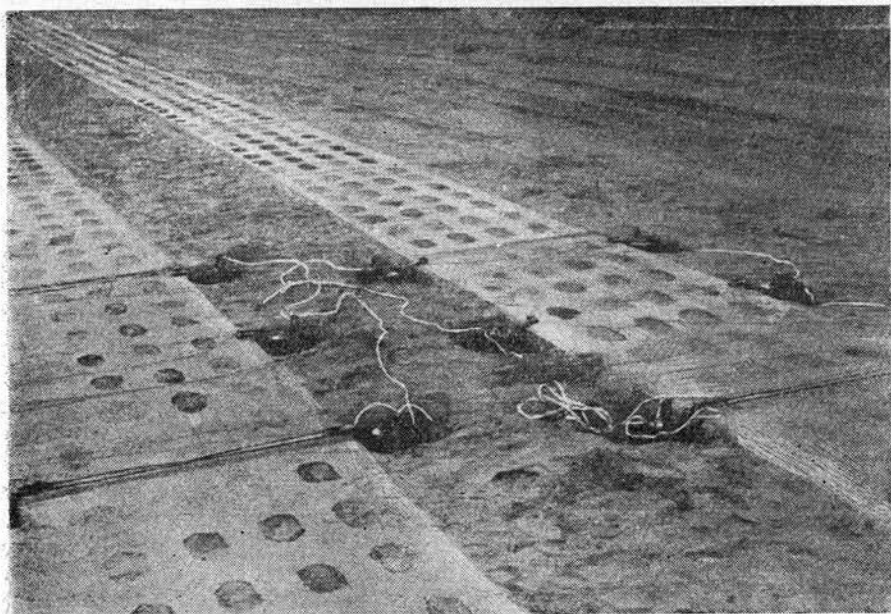


Рис. 1 Установка вибрографов на опытном участке № 1.

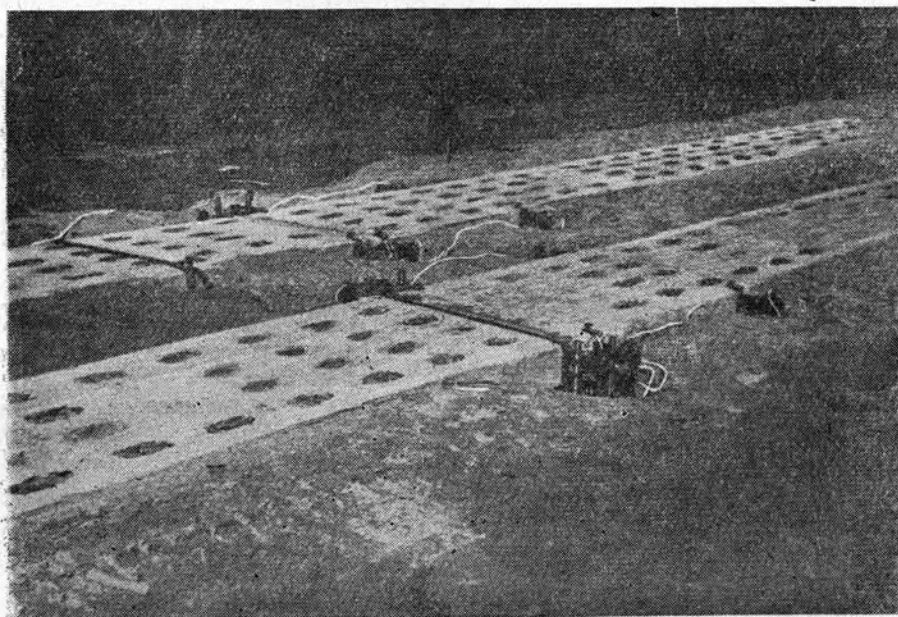


Рис. 2 Установка вибрографов на опытном участке № 2.

Величина модуля деформации была вычислена по формуле средней осадки поверхности упругого полупространства при загрузении по площади прямоугольника².

$$E = \frac{P \cdot b \cdot \omega^1 (1 - \mu^2)}{y_{\text{ср}}},$$

где P — удельное давление на основание плиты,
 b — ширина плиты по основанию,
 μ — коэффициент Пуассона для грунта основания,
 $y_{\text{ср}}$ — средняя измеренная осадка плиты,
 ω^1 — коэффициент, зависящий от формы загружаемой площади.
 Средняя осадка $y_{\text{ср}}$ подсчитана по правилу трапеции из измеренных осадок в момент нахождения колеса автомобиля на середине плиты. Коэффициент ω^1 , соответствующий средней осадке всей загруженной площади и зависящий от отношения размеров сторон плиты, принят равным 1,415.

Обработка виброграмм (рис. 3) состояла в измерении осадок и отрыва плит от основания, возникающих под действием передних и задних колес автомобиля при различном их положении относительно исследуемого сечения, а также расстояний от исследуемого сечения до положения заднего колеса при характерных значениях осадок.

Сравнение опытных данных показывает значительную осадку концов плиты по сравнению с серединой, что вполне закономерно. При этом оседание сдающего и принимающего концов неодинаково, осадка последнего больше и превышает осадку середины плиты более чем в три раза. Это явление объясняется ударным воздействием колес автомобиля на принимающий конец плиты в момент перехода стыка, в то время как сдающий конец испытывает нагрузку нормально катящегося колеса. Измеренные величины осадок плит приведены в табл. 1 и 2. Обращает

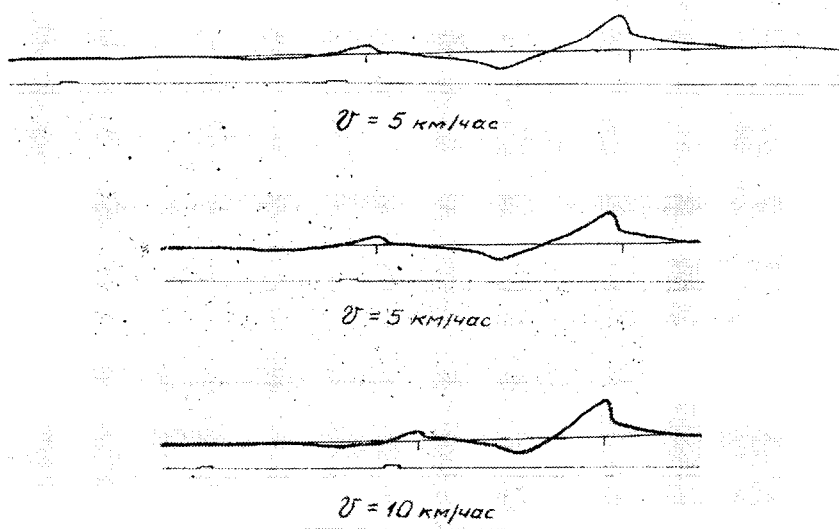


Рис. 3. Виброграмма осадок сдающего конца плит.

на себя внимание неодинаковая осадка плит наружного и внутреннего колесопроводов, что следует объяснить неравномерной работой основания, благодаря наличию мерзлоты в теле насыпи и меньшей плотности грунта на обочинах.

Таблица 1

Средние значения осадок по оси плиты в мм
из 45—50 замеров по каждому сечению

Опытный участок	Положение сечения по длине плиты					
	наружный колесопровод			внутренний колесопровод		
	середина	сдающий конец	принимающий конец	середина	сдающий конец	принимающий конец
Под задним колесом						
1	0,46	0,63	0,75	0,37	0,33	0,50
2	0,73	1,61	2,18	0,62	1,42	1,73
3	0,58	1,19	1,71	—	—	—
Под передним колесом						
1	0,18	0,28	0,32	0,20	0,15	0,21
2	0,25	0,48	0,99	0,12	0,32	0,40
3	0,15	0,47	0,72	—	—	—

Таблица 2

Максимальные осадки по оси плиты в мм

Опытный участок	Положение сечения по длине плиты		
	середина	сдающий конец	принимающий конец
Под задним колесом			
1	0,55	0,74	0,84
2	0,83	1,85	2,75
3	0,65	1,35	1,95
Под передним колесом			
1	0,23	0,33	0,35
2	0,31	0,65	1,15
3	0,20	0,57	0,80

Под действием заднего колеса автомобиля наблюдается отрыв концов и середины плиты от основания. Величина отрыва зависит от податливости основания, возрастая с увеличением последнего. Отрыв середины плиты незначителен и не превышает 0,30 мм. Наибольшее значение отрыва, достигающее 75% от величины осадки, наблюдается на сдающем конце.

В момент достижения максимальной величины отрыва заднее колесо автомобиля не доходит до исследуемого сечения на расстояние, приблизительно одинаковое для сдающего и принимающего концов плит. В среднем (из 24—30 измерений) это расстояние составляет для сдающего конца плиты 1,93—2,23 м и для принимающего — 1,73—2,27 м. С увеличением скорости движения наблюдается незначительное уменьшение расстояния.

Приведенные данные показывают, что в момент наибольшего отрыва сдающего конца плиты от основания заднее колесо устанавливается.

на принимающем конце этой же плиты сразу после перехода стыка. В это время переднее колесо (база автомобиля 4,52 м) находится в зоне переднего стыка (по направлению движения) смежной плиты. При такой установке колес динамическое воздействие их вызывает значительный отрыв концов плиты от основания. Это создает неустойчивое положение плиты в зоне стыка, в результате чего возможно накопление остаточных деформаций основания и расстройство работы стыкового соединения. Все это говорит о неудачном выборе соотношения между длиной плиты и базой автомобиля.

Положение колеса автомобиля в момент достижения максимальной осадки не совпадает с исследуемым сечением. Наибольшая осадка наступает после прохождения колесом исследуемого сечения, что свидетельствует о запаздывании деформации при подвижных кратковременных нагрузках. По нашим опытам это запаздывание таково, что колесо успевает переместиться за это время в среднем (из 95—120 измерений) на 0,09—0,48 м в зависимости от скорости движения. С повышением скорости движения расстояние возрастает.

Таблица 3

Средние расстояния в м от колеса автомобиля до исследуемого сечения в момент достижения максимальной осадки

Скорости движения в км/час	Положение сечения по длине плиты		
	середина	сдающий конец	принимаю- щий конец
5,0	0,09	0,12	0,08
10,0	0,01	0,17	0,11
20,0	0,22	0,12	0,08
30,0	0,48	0,18	0,09
Среднее для всех скоростей	0,20	0,15	0,09

Изменение величины осадок плит и отрыва их от основания в зависимости от скорости движения автомобиля не улавливаются проведенными опытами (рис. 4). В пределах скоростей, практически применяющихся на лесовозных дорогах (до 40 км/час), осадки плит и их отрыв от основания можно считать постоянными.

Характер изгиба плиты изменяется в зависимости от положения перемещающейся нагрузки. Нагружение принимающего конца (рис. 5) вызывает его максимальную осадку, отрыв сдающего конца на величину, приблизительно равную половине максимальной осадки, и изгиб плиты. При установке колеса на сдающем конце (рис. 6) плита тоже изгибается, но принимающий конец не отрывается от основания или отрывается весьма незначительно. Нагружение середины плиты движущимся колесом автомобиля (рис. 7) вызывает несимметричную осадку: принимающий конец оседает много больше сдающего. Практически осадки сдающего конца близки к нулю и не превышают 0,20 мм, в то время как осадки принимающего конца составляют более одной трети максимальной величины. Такое положение наблюдается для любой скорости движения, в том числе и минимальной (5—6 км/час), когда нагрузку можно считать за статическую.

Отмеченное явление объясняется тем, что для восстановления упругой деформации после снятия внешней нагрузки требуется промежуток времени значительно больший, чем время прохождения колесом автомобиля половины плиты при самых незначительных скоростях движения. За время перемещения колеса от принимающего конца до середины

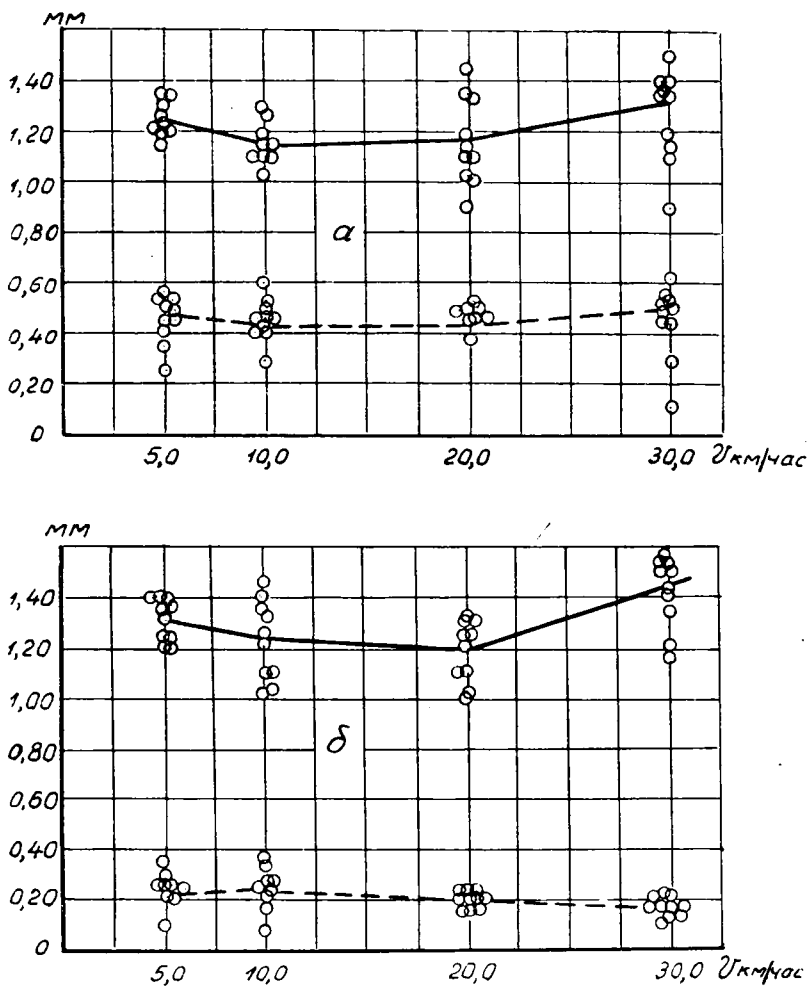


Рис. 4. Опытный участок № 2.

а) — сдающий конец плиты внутреннего колесопровода; б) — принимающий конец плиты внутреннего колесопровода. Сплошной линией показаны осадки, пунктиром — отрыв плиты от основания под задним колесом.

плиты деформация восстанавливается только на 2/3 величины. Характер изгиба плиты при подвижных нагрузках оказывается иным по сравнению с изгибом при статическом нагружении, независимо от скорости перемещения нагрузки.

Результаты опытов показывают, что степень изгиба плиты зависит от податливости основания (рис. 7). На малоподатливом основании плита изгибается сильнее при меньших значениях осадок, а на податливом основании степень изгиба меньшая, хотя осадки значительно больше.

Как было указано раньше, для сопоставления измеренных осадок плит с теоретическими значениями были определены модули деформации основания плит на опытных участках (табл. 4). Обращает внимание значительная величина модуля деформации на первом участке по сравнению с остальными, что следует объяснить состоянием грунта.

Теоретические значения осадок плит вычислены при статическом нагружении по методу проф. Б. Н. Жемочкина для одиночной плиты со

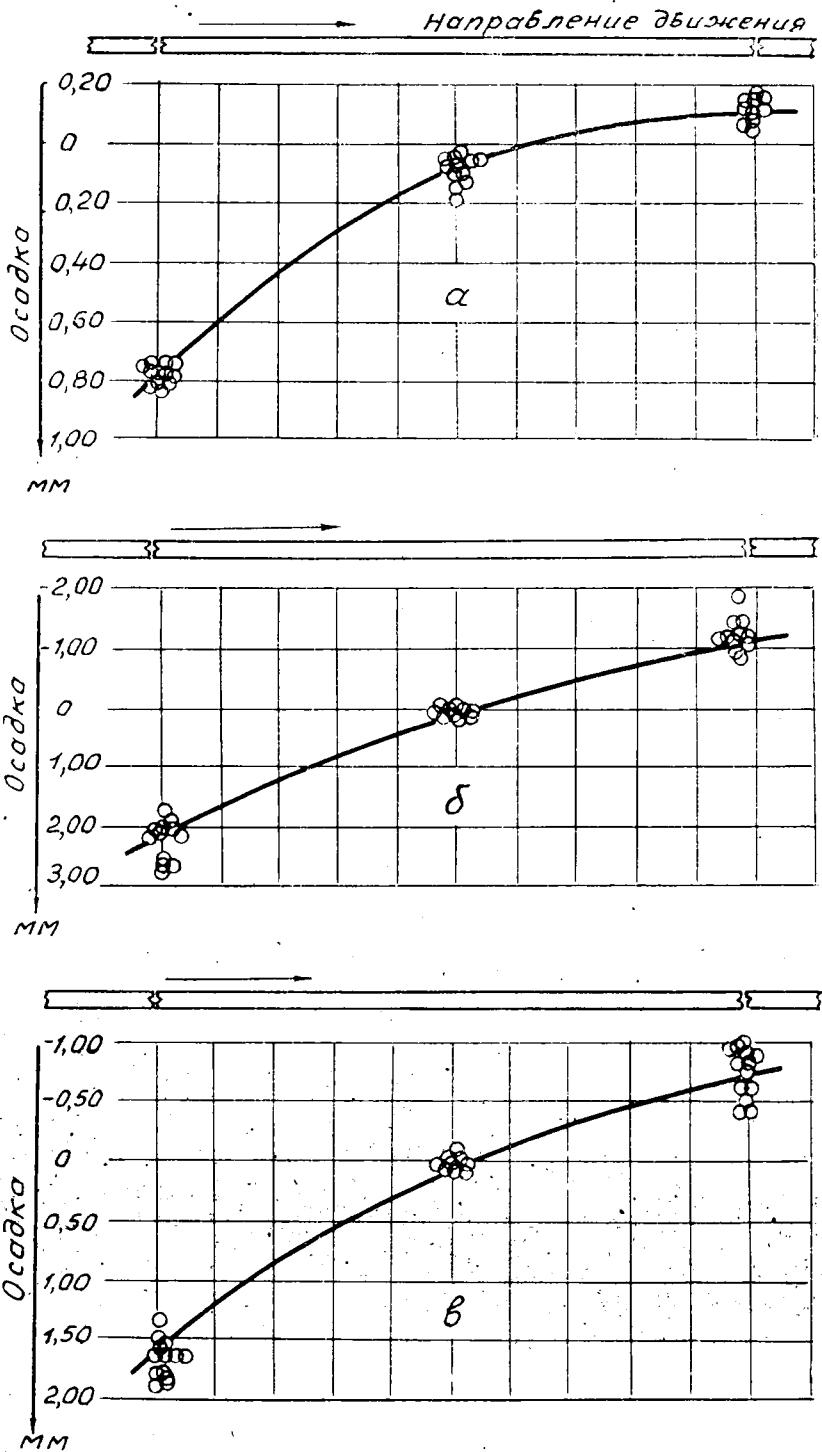


Рис. 5. Осадки плит наружного колесопровода при нагружении принимающего конца задним колесом автомобиля.

α — на опытном участке № 1; β — на опытном участке № 2; δ — на опытном участке № 3.

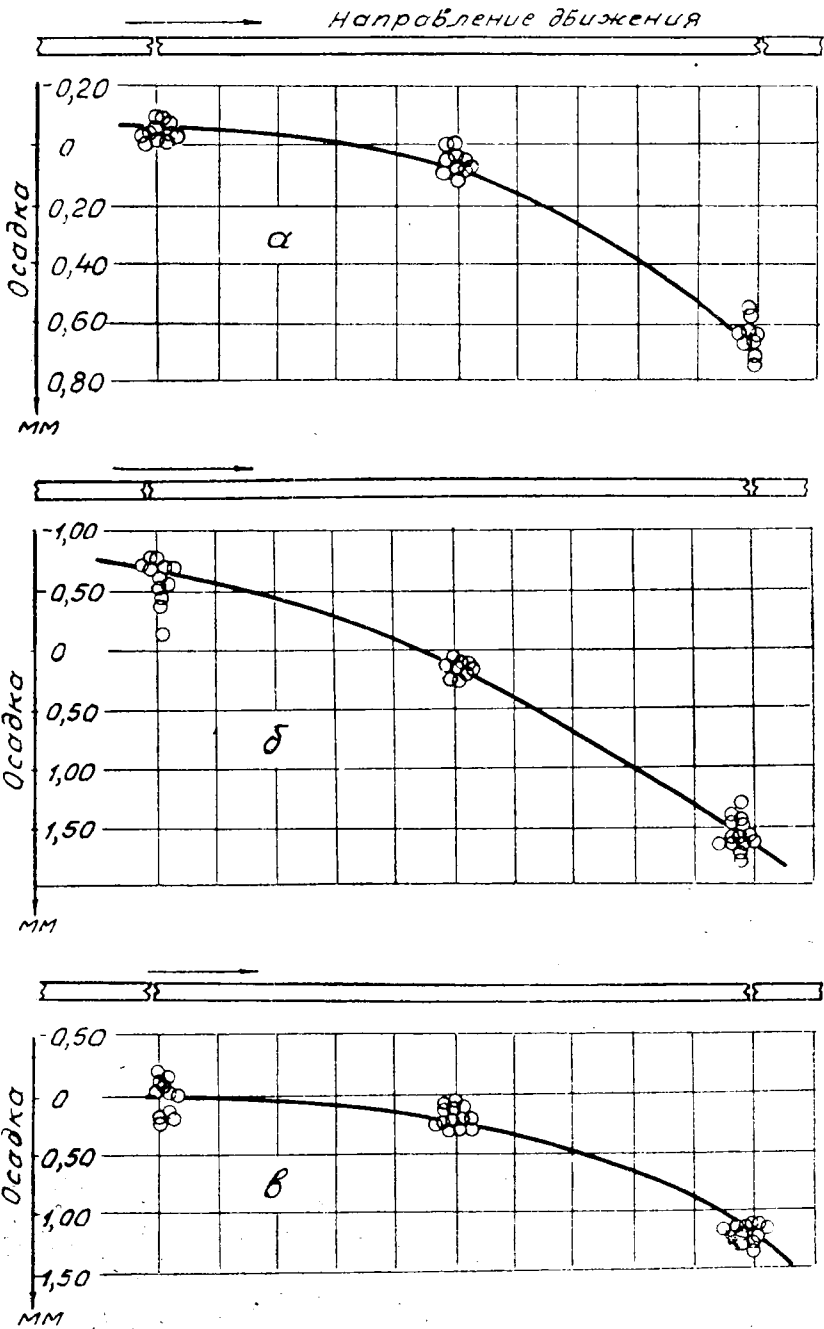


Рис. 6. Осадки плит наружного колесопровода при нагружении сдающего конца задним колесом автомобиля.

α — на опытном участке № 1; β — на опытном участке № 2; γ — на опытном участке № 3.

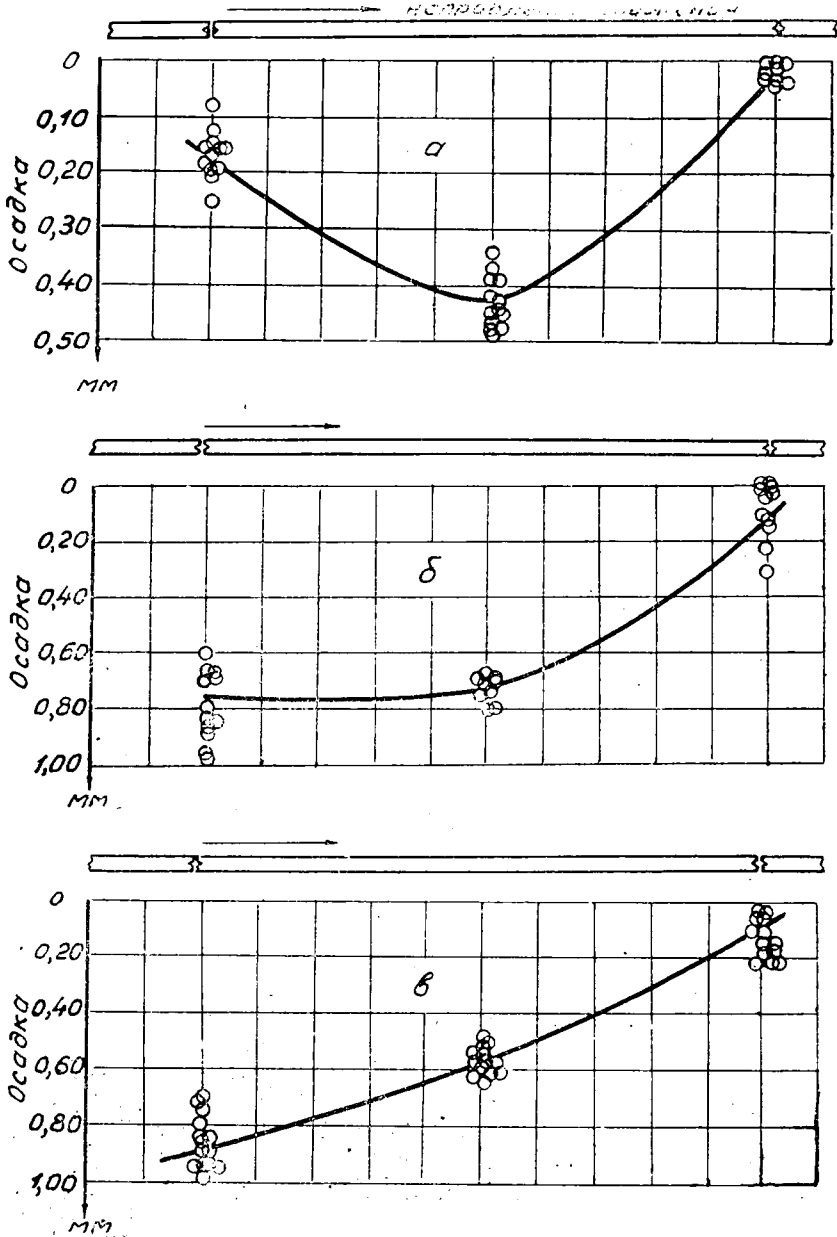


Рис. 7. Осадки плит наружного колесопровода при нагружении середины плиты задним колесом автомобиля.
 а — на опытном участке № 1; б — на опытном участке № 2; в — на опытном участке № 3.

Таблица 4
 Модуль деформации основания плит (в кг/см²)

Опытный участок	Колесопровод	
	наружный	внутренний
1	972—1020	1174—1202
2	302—367	392—433
3	319—366	—

свободными концами *. Сопоставление измеренных осадок с теоретическими значениями позволяет отметить следующее:

Таблица 5.

Измеренные и вычисленные осадки плит в мм

Опытный участок	Колесопроезд	Модуль деформации основания в кг/см ²	Середина плиты		Принимающий конец		Сдающий конец	
			измеренная осадка	вычисленная осадка	измеренная осадка	вычисленная осадка	измеренная осадка	вычисленная осадка
1	Наружный	1000	0,46	0,54	0,75	0,63	0,63	0,63
	Внутренний	1200	0,37	0,49	0,50	0,55	0,33	0,55
2	Наружный	350	0,73	1,03	2,18	1,57	1,61	1,57
	Внутренний	430	0,62	0,91	1,73	1,39	1,42	1,39
3	Наружный	350	0,58	1,11	1,71	1,74	1,19	1,74

а) Вычисленные осадки по середине плиты значительно превышают измеренные. Для средних значений это превышение составляет от 17% до 92%. Увеличение разницы наблюдается на более податливых основаниях. Такое положение следует объяснить кратковременным воздействием нагрузки, недостаточным для полного завершения деформации. Некоторое влияние могла оказать возможная разница между фактической жесткостью (EJ) плиты и жесткостью, принятой в расчете.

б) Осадки сдающего конца плиты, определенные расчетом и измеренные при опытах, хорошо согласуются друг с другом, за исключением третьего участка, где разница достигает 46%.

в) Осадки принимающего конца плиты, вычисленные расчетом, меньше измеренных в среднем на 19—39%. Наибольшая разница наблюдается на податливых основаниях. Это явление вызывается ударным воздействием нагрузки.

Изложенные результаты опытов позволяют сделать следующие выводы:

1. Исследуемые плиты испытывают изгиб в продольном направлении. Максимальные осадки под воздействием заднего колеса автомобиля МАЗ-200 оказались различными в разных сечениях плиты: на середине плиты 0,83 мм, на сдающем конце 1,85 мм и на принимающем конце 2,75 мм. Осадки под воздействием передних колес составляют около 40% от осадок под задними колесами. Отмечаются значительные осадки принимающего конца плиты по сравнению с осадками сдающего конца. В среднем это превышение составляет от 19 до 52%.

2. Под воздействием заднего колеса автомобиля наблюдается отрыв концов и середины плиты от основания. Максимальный отрыв имеет место на сдающем конце и достигает 75% от осадки этого конца, отрыв плиты посередине составляет 30—35%, а принимающего конца 15—20% от их осадки. Это указывает на наличие изгибающего момента, который вызывает растягивающие напряжения в верхней зоне сечения плиты, а также говорит о неустойчивом положении в зоне стыка, что в последующем может привести к расстройству стыкового соединения.

3. Сочетание базы автомобиля МАЗ-200 и длины плиты нельзя считать удачным. При длине плит 2,50 м и базе автомобиля 4,52 м создает-

* Расчет плиты выполнен инж. В. М. Шишко.

ся невыгодная установка заднего и переднего колес, вызывающая большой отрыв стыка плит от основания.

4. Характер и степень изгиба плиты определяется характером приложения нагрузки и податливостью основания. Нагружение середины плиты движущимся колесом автомобиля при любой скорости движения вызывает несимметричную осадку плиты. Принимающий конец оседает гораздо больше сдающего. На податливых основаниях плита изгибается слабее по сравнению с менее податливыми, при одновременном увеличении осадок.

5. Вследствие неравномерной осадки плиты под действием подвижной кратковременной нагрузки, расчет на статическую нагрузку не отражает действительной работы плиты в колесопроводе даже при минимальных скоростях движения. Необходимо в расчете учесть время действия нагрузки и вытекающие из этого последствия.

Поступила в редакцию
4 февраля 1958 г.