

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ
КИЕВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

ТИТАРЕНКО Александр Михайлович

УДК 625.85.001.2

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ УСКОРЕННОГО
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО ОЧЕРТАНИЮ
ЧАШИ ПРОГИБА

Специальность 05.23.11 - Строительство
автомобильных дорог и аэродромов

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

1992



00820018 (J)

Робота виконана в Києві

Научні керівники:

доктор технічних наук,
Баворицкий Владимир Иосифович;

кандидат технічних наук

Супрун Анатолий Сергеевич.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

Радовский Борис Семойлович;

кандидат технічних наук, професор

Кравченко Владимир Григорьевич.

Галузь організації - Український державний концерн
по будівництву, ремонту і содержанию автомобільних доріг /Укрдорстрой/.

Варіант розробки "29" листопад 1992 года на засіданні спеціалізованого комітету Д.068.09.02 при Київському автомобільно-доріжному інституті по адресу: 252010, м.Київ-10, ул.Суворова, 1.

С дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Київського автомобільно-доріжного інституту.

Автореферат розроблений "19" грудень 1992 г.

Учений секретар
спеціалізованого комітету,
кандидат технічних наук,
доцент

Дмитриев
Николай Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В последние годы все большее значение приобретают работы по реконструкции и капитальному ремонту дорог, которые по своим техническим показателям не соответствуют условиям возросшего движения. Существенным является тот факт, что подавляющая часть протяженности дорог в стране имеет тонкослойную одежду, способную пропускать в расчетный период автомобиля с осевой нагрузкой не более 60 кН. Основной задачей при принятии решения по назначению вида ремонтных работ при капитальном ремонте в том числе и усиления дорожных одежд является обеспечение требуемых эксплуатационных показателей дорог при минимальных затратах материальных и трудовых ресурсов.

Решение этой задачи усложняется тем, что необходимо учитывать большое количество факторов, в том числе одного из основных - состояние дорожной одежды. В настоящее время контроль и оценку деформативных характеристик дорожных одежд производят в ограниченном масштабе. Это объясняется прежде всего малой производительностью средств контроля, а также - отсутствием надежного способа их определения.

Целью исследования является разработка методики ускоренного определения деформативных характеристик слоев дорожной одежды и грунта земляного полотна по результатам исследования формы поверхности ее покрытия /чаши прогиба/ при действии расчетных нагрузок.

Научная новизна работы состоит в решении задачи определения значений модуля упругости грунта земляного полотна и пакета слоев дорожной одежды по параметрам чаши прогиба поверхности покрытия с учетом влияния вязких свойств материалов слоев и грунта, в обосновании методики и установлении режимов измерения для определения характеристик кривой чаши прогиба созданной установкой. На основе учета реологических свойств материалов слоев дорожной одежды и грунта земляного полотна получены количественные соотношения, устанавливающие связь между динамическим и статическим прогибами /общими модулями упругости дорожной конструкции/ с относительной толщиной органоминеральных слоев в конструкции дорожной одежды.

Достоверность результатов. Теоретические исследования выполнены с использованием современных методов механики твердого де-

формируемого тела. Экспериментальные исследования, проведенные в ходе полевых и стендовых испытаний конструкций дорожных одежд, результаты численного анализа на ПЭВМ подтвердили достоверность теоретических выводов и основных положений работы. Сходимость теоретических исследований с результатами экспериментов доказана методами математической статистики.

Практическое значение. Разработана методика, позволяющая по результатам измерений параметров чаши прогиба определить значения модулей упругости грунта земляного полотна и пакета слоев одежды. Методика предназначена для использования при разработке планов проведения ремонтно-эксплуатационных мероприятий и проектов реконструкции и капитального ремонта дорожных одежд, где дает возможность обоснованного назначения толщины слоев усиления. Методика включает расчетный аппарат /формулы, таблицы, графики, программа для ПЭВМ/ и инструментальную часть - установку для измерения необходимых параметров деформированной поверхности покрытия.

Предложены зависимости для перехода от статических прогибов к динамическим и наоборот в зависимости от относительной толщины органоминеральных слоев в конструкции дорожной одежды. Разработана методика: проведения измерений /регистрации/ кривой ветви разгрузки чаши прогиба поверхности дорожной конструкции созданной установкой; определения общего эквивалентного модуля упругости дорожной конструкции по данным динамических испытаний ее движущейся нагрузкой.

Внедрение. Результаты настоящих исследований использованы при разработке системы ремонтно-эксплуатационных мероприятий для участков дорог, общей протяженностью 396 км, обслуживаемых Ровенским областодором и Укрдором № 8 концерна "Укрдорстрой". Материалы диссертации использовались при разработке темы по установлению "Региональных и отраслевых норм межремонтных сроков службы жестких дорожных одежд и покрытий /ВСН 41-88/ М., Минавтодор РСФСР 1988 г., включены в "Технические правила ремонта и содержания автомобильных дорог" /ВСН 24-88/ М., "Транспорт", 1989 г. /гл.2/.

Апробация. Материалы диссертации докладывались и получили одобрение на 45, 46, 47, 48 научно-технических конференциях КАДИ /г.Киев 1989-1992 г.г./.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 6 печат-

них работ, получено 2 авторских свидетельства и одно положительное решение на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Основной текст изложен на 150 стр. машинописного текста и содержит 18 таблиц и 35 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе проанализировано состояние вопроса об учете фактического модуля упругости грунта земляного полотна и пакета слоев дорожной одежды при назначении вида работ капитального ремонта, существующие методы и средства их определения, сформулированы цель и задачи исследования. В основу нормативных методов расчета дорожных одежд положены решения, основанные на теории упругости о напряженном состоянии многослойных систем. Это направление интенсивно развивалось под руководством Н.Н.Иванова, А.М.Кривисского, М.Б.Корсунского.

Для анализа напряженно-деформированного состояния дорожных одежд преимущественно используются решения Р.М.Раппопорта, Г.С.Шапиро, Б.И.Когана, М.Б.Корсунского, П.И.Теляева, В.С.Никишина, А.К.Приварникова, В.П.Плевако, Б.С.Радовского, А.С.Супруна, Д.Бурмистера, Р.Шепери, Д.Бленда, Е.Ли и др.

Развитие и становление отечественных методов оценки качества жестких дорожных одежд связано с именами таких ученых, как Н.Н.Иванов, А.К.Бируля, В.Ф.Бабков, Б.К.Некрасов, А.Я.Тулаев, В.М.Сиденко, Г.И.Глушков, А.Я.Калужский, А.П.Васильев, Ю.М.Яковлев, В.И.Барздо, С.И.Михович, В.И.Заворицкий, М.С.Коганзон, В.К.Апестин и др.

В результате этих исследований была создана существующая система транспортно-эксплуатационных показателей жестких одежд, характеризующая их качество как части дорожной конструкции.

В настоящее время дорожная одежда рассчитывается методами теории упругости. За основную деформативную характеристику в нормативных документах по расчету дорожных одежд принят модуль упругости. Показателями прочности материалов являются допускаемые напряжения на растяжение при изгибе и сдвиге.

При полевых испытаниях оценку деформативных свойств одежд производят в соответствии с действующими рекомендациями по вели-

чине максимального прогиба под расчетной статической или динамической нагрузкой, либо по результатам вскрытия одежды. Основой для разработки нормативных методов оценки деформативных свойств нежестких дорожных одежд явились теоретические и экспериментальные исследования Н.Н.Иванова, А.К.Бируля, Ю.М.Яковлева, В.К.Апестина, А.С.Салля, А.Я.Тулаева и других ученых.

Результирующим показателем физико-механических свойств, получаемым в результате оценки рекомендуемыми методами является общий модуль упругости дорожной конструкции *E_{общ}*.

Однако, как показывает анализ принимаемых проектных решений, этой информации о фактическом состоянии дорожных одежд крайне недостаточно для принятия эффективного и обоснованного решения по назначению вида работ при капитальном ремонте. Его чаще всего отождествляют с усилением /расчетом толщины слоя усиления/ дорожной конструкции, не принимая во внимание возможность выполнения ряда других работ, предусмотренных составом работ данного ремонта. Это обстоятельство объясняется прежде всего отсутствием необходимой информации об изменившихся свойствах конструктивных слоев дорожной одежды и грунта земляного полотна. Если общий модуль упругости и дает общее представление об изменившихся деформативных свойствах всей конструкции, то остается не ясен вопрос, по вине какого элемента дорожной конструкции произошла потеря прочностных свойств, а также вклад отдельных конструктивных элементов /пачет слоев дорожной одежды, грунт земляного полотна/ в общие деформативные свойства конструкции.

В последнее время усилия многих исследователей направлены на изучение параметров чаши прогиба поверхности покрытия от действия нагрузки, т.е., кривой, характеризующей распределение прогибов вдоль оси, совпадающей с направлением движения автомобиля. Так, изучению закономерностей изменения формы и очертания чаши прогиба посвящены работы Б.С.Радовского, А.С.Супруна, А.В.Смирнова, А.М.Шаха и др. Вопросы оценки распределяющей способности дорожных одежд по параметрам чаши прогиба рассматривались В.А.Лейвак, Ю.М.Яковлевым, Ю.О.Балащенко, В.П.Кориковым и др. Однако, исследования, направленные на изучение вопросов связанных с определением деформативных характеристик слоев дорожной конструкции по очертанию чаши прогиба не получили пока должного развития.

Анализ позволил также установить, что существующие в насто-

ящее время средства измерения деформативных характеристик дорожных конструкций не позволяют получать на уровне производственных потребностей надежные данные параметров чаши прогиба и тем самым увеличить объем получаемой информации о фактическом состоянии дорожных конструкций.

При выполнении настоящей работы были поставлены следующие задачи:

- обосновать принципиальную возможность и достоверность определения модуля упругости грунта земляного полотна и пакета слоев по данным о чаше прогиба дорожной одежды от действия расчетной нагрузки;

- создать установку для полевого определения параметров чаши прогиба дорожных одежд, обосновать расчетные режимы измерения;

- разработать методику обработки экспериментальных данных для получения деформативных характеристик грунта земляного полотна и пакета слоев дорожных одежд;

- разработать практические рекомендации по использованию метода и установки для определения деформативных характеристик дорожных конструкций.

Во второй главе излагаются теоретические предпосылки исследования: обосновывается расчетная схема дорожной одежды, способ расчета показателей ее деформативных свойств, приводится численный анализ предлагаемого способа определения модуля упругости грунта земляного полотна и модуля упругости пакета слоев дорожной одежды.

Дорожная одежда рассматривается как двухслойное упругое полупространство /слой конечной толщины на поверхности грунтового однородного полупространства/. Такая расчетная схема вполне оправдана, так как "пакет" слоев дорожной одежды может быть приведен к эквивалентному слою известными методами. В соответствии с действующим в настоящее время нормативным документом по расчету жестких дорожных одежд ВСН 46-83 нагрузка принимается осесимметричной, равномерно распределенной по площади круга радиусом R и интенсивностью действия P . Каждый слой двухслойной системы характеризуется модулем упругости E_i и коэффициентом Пуассона μ_i . Кривая распределения прогиба /чаши прогиба/ от действия нагрузки характеризуется значениями прогибов w_i на расстояниях r_i от оси приложения нагрузки. Длительность действия на-

рузки в расчетной схеме учитывается формой, величиной и размерами чаши прогиба, изменение которой производилось при принятых в нормативном документе расчетных схемах нагружения.

Наблюдения за поведением дорожных одежд показывают, что изменение свойств конструкции /применяемые материалы, особенности конструирования, состояние грунтов и т.п./ непосредственно связано с особенностями деформирования их при неизменном характере воздействия нагрузки. Иными словами, существует принцип обратимости, когда чаша прогиба является результатом взаимодействия нагрузки и свойств полупространства, т.е. для двухслойной системы

$$\begin{aligned} W_0 &= F(E_1, \mu_1, r_2, \mu_2, h, P, R); \\ W_{T_1} &= F(E_1, \mu_1, E_2, \mu_2, h, P, R, T_1); \\ W_{T_2} &= F(E_1, \mu_1, E_2, \mu_2, h, P, R, T_2); \\ W_{T_1} &= F(E_1, \mu_1, E_2, \mu_2, h, P, R, T_1). \end{aligned} \quad //1$$

Таким образом можно утверждать, что при известных параметрах чаши прогиба и условиях нагружения можно рассчитать показатели, которые бы характеризовали свойства полупространства в целом. Применение точного решения, полученного Б.И. Коганом для решения данной задачи, затруднительно, так как для его реализации требуется располагать значениями "специальных" расчетных характеристик, определение которых в полевых условиях затруднительно, а зачастую и невозможно. Известно также, что в слоях дорожной одежды значения вертикальных нормальных напряжений σ_z , рассчитанные по существующим в настоящее время точным решениям, совпадают с данными многочисленных экспериментальных исследований. Относительно чаши прогиба поверхности покрытия, то получаемые результаты свидетельствуют о завышении характеристик распределяющей способности конструкции дорожной одежды.

Поэтому рассмотрено ряд приближенных решений, связывающих величины вертикальных перемещений /прогиб/ W_z поверхности одежды, как двухслойного упругого однородного изотропного полупространства, с показателями его деформативных свойств E_1, E_2 при действии расчетной нагрузки.

В результате численного анализа и сопоставления полученных результатов в одном случае с точным решением /формула Барбера и

решением Б.И.Когана/; в другом с использованием зависимости М.Б.Корсунского с результатами экспериментальных данных испытаний дорожных одежд /рис.1/ получена система уравнений /2/, решение которой позволяет при известных значениях параметров кривой прогиба /части прогиба/ W_{r1} , толщины дорожной одежды h и параметров нагрузки P, D определять значения E_2 /модуль упругости грунта земляного полотна и E_1 /модуль упругости эквивалентного слоя, который имеет такую же толщину, что и пакет слоев испытываемой дорожной одежды/

$$W_0 = \frac{3PD}{351E_1} \left\{ \frac{0,936 \frac{E_1}{E_2} - 1}{\left[4\left(\frac{h}{D}\right)^2 \left(0,936 \frac{E_1}{E_2}\right)^{\frac{2}{3}} + 1 \right]^{\frac{1}{2}} + 1} \right\} \quad |2|$$

$$\frac{W_{r1}}{W_{r2}} = \frac{1 + 0,67 \left(\frac{r_2}{R} \operatorname{arctg} \frac{D}{h \sqrt[3]{E_1/E_2}} \right)^2}{1 + 0,67 \left(\frac{r_1}{R} \operatorname{arctg} \frac{D}{h \sqrt[3]{E_1/E_2}} \right)^2}$$



Рис.1. Сопоставление экспериментальных данных вертикальных перемещений поверхности дорожной одежды с вычисленными по зависимости М.Б.Корсунского

слоев дорожной одежды/, см; P - удельное давление на поверхности, мПа; D, R - соответственно диаметр и радиус отпечатка колеса расчетной нагрузки, см.

С целью установления влияния выбранно-го сочетания пар r_1 и

где W_0, W_{r1}, W_{r2} - величина прогиба поверхности двух-слойной системы соот-ветственно под осью действия нагрузки /максимальное значение/ и на расстояниях r_1 и r_2 от оси действия нагрузки /максимального значения/, см; h - толщина верхнего слоя /"пакета"

Γ_2 , соответственно W_{Γ_1} и W_{Γ_2} , на получаемые /расчитанные/ значения модулей упругости E_1 и E_2 был проведен численный анализ предлагаемого способа.

В результате численного анализа установлено, что значения Γ_1 и Γ_2 должны выбираться таким образом, чтобы выполнялось условие

$$\left. \begin{aligned} R &\leq \Gamma_1 \leq 25R \\ \Gamma_1 + 0,5R &\leq \Gamma_2 \leq 10R \end{aligned} \right\} \quad /3/$$

Точность вычислений возрастает в том случае, если дополнительно соблюдается условие

$$\Gamma_2 - \Gamma_1 > 0,3R \quad /4/$$

В третьей главе выполнен численный анализ деформированного состояния нежестких дорожных одежд при динамическом и статическом режимах действия нагрузки, на основании которого установлено количественное соотношение /коэффициент перехода/ между динамическим и статическим значением модуля упругости.

Численный анализ напряженно-деформированного состояния дорожных одежд под действием неподвижной и движущейся нагрузки выполнен по программе СТЕНД, реализующей разработанный А.С.Супруном способ решения задачи о напряжениях, деформациях и перемещениях, возникающих в дорожной одежде как слое в линейном вязкоупругом безинерционном полупространстве, по поверхности которого движется нормальная нагрузка, равномерно распределенная по площади круга, траектория движения, величина и скорость которой изменяется по произвольному закону.

При этом в соответствии с существующими расчетными схемами /ВСН 46-88/ время воздействия нагрузки принято: для неподвижной нагрузки $t = 600$ с, для движущейся - $t = 0,1$ с.

Всего в численном анализе было рассмотрено более 40 конструкций дорожных одежд наиболее распространенных на автомобильных дорогах Украины.

В качестве исходных данных использованы расчетные кривые функции релаксации дорожно-строительных материалов и грунта земляного полотна, установленные на основе проведенных Б.С.Радовским и А.С.Супруном экспериментальных исследований.

В результате проведенных вычислений для каждой из рассмат-

риваемых конструкций дорожной одежды были получены значения статического $W_{ст.}$ и динамического $W_{дин.}$ прогиба под центром действия нагрузки и соответствующие количественные соотношения

$$K_{пер} = \frac{W_{ст.}}{W_{дин.}}$$

Для установления основных закономерностей количественного изменения соотношения $\frac{W_{ст.}}{W_{дин.}}$ произведен анализ влияющих факторов.

На первом этапе было установлено, что наибольшее влияние на количественное соотношение /коэффициент перехода/ оказывает относительная толщина органических слоев дорожной конструкции $\frac{\sum h_{орг.}}{H_{осн.}}$.

Получены уравнения зависимости

$$K_{пер} = \frac{W_{ст.}}{W_{дин.}} = f\left(\frac{\sum h_{орг.}}{H_{осн.}}\right) \quad 15/$$

Определение вида функции регрессии и коэффициентов уравнения произведено по методу наименьших квадратов с применением ЭВМ путем апробирования различных математических функций: линейного приближения, экспоненциальной, степенной, показательной, параболической.

Для чистоты эксперимента отдельно рассматривались конструкции дорожных одежд с усовершенствованным капитальным и усовершенствованным облегченным типами покрытий.

В результате обработки и анализа экспериментальных данных получены уравнения регрессии изучаемой зависимости:

а/ для дорожных одежд с усовершенствованным капитальным типом покрытия

$$K_{пер} = 1,43 + 0,64 \frac{\sum h_{орг.}}{H_{осн.}} \quad 16/$$

б/ для дорожных одежд с усовершенствованным облегченным типом покрытия

$$K_{пер} = 1,16 + 0,55 \frac{\sum h_{орг.}}{H_{осн.}} - 0,05 \left(\frac{\sum h_{орг.}}{H_{осн.}}\right)^2 \quad 17/$$

Уравнения 16/ и 17/ установлены для дорожных конструкций, у которых относительная толщина органических слоев изменялась в пределах: для уравнения 16/ -

$$0,09 \leq \frac{\sum h_{орг.}}{H_{осн.}} \leq 0,71$$

для уравнения 17/ -

$$0,14 \leq \frac{\sum h_{орг.}}{H_{осн.}} \leq 0,67$$

Регрессионные уравнения проверены на адекватность по критерию Фишера. Расчет выполнен при уровне значимости $\alpha = 0,05$.

Анализ уравнений показывает, что с увеличением относительной толщины органоминеральных слоев /рис.2/ количественное соотношение /коэффициент перехода/ между статическим и динамическим прогибами увеличивается и может достигать в рассмотренных пределах значений $K_{пер} = 1,22 + 1,98$.

В четвертой главе дано описание конструкции и принцип работы созданной установки для измерения /регистрации/ чаши прогиба /кривой распределения прогиба ветви разгрузки/, приведены результаты экспериментальных работ по исследованию деформированного состояния нежестких дорожных одежд.

Созданная установка /рис.3/ выполнена на уровне изобретения.

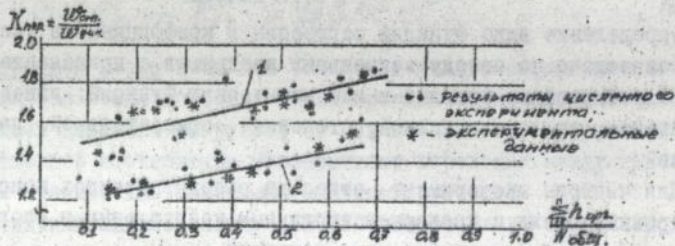


Рис.2. Влияние относительной толщины органоминеральных слоев на количественное соотношение между статическим и динамическим прогибами:

- 1 — для дорожных одежд с усовершенствованным капитальным типом покрытия;
- 2 — для дорожных одежд с усовершенствованным облегченным типом покрытия.

К настоящему времени получено положительное решение ВНИИПЗ № 4820498/33 от 25.05.91 г. Установка позволяет относительно просто реализовать способ как статического /неподвижная расчетная нагрузка/ так и динамического /в процессе непрерывного движения расчетной нагрузки/ нагружения.

Экспериментальные задачи, которые решались для достижения цели настоящего исследования свелись к следующим: обосновать достоверность получаемых значений характеристик чаши прогиба при использовании созданной установки; обосновать выбор координат на кривой распределения прогиба /чаши прогиба/ для обеспечения точ-

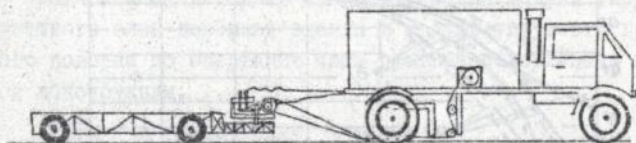


Рис.3. Установка для испытания дорожных одежд УНК-5
в рабочем положении

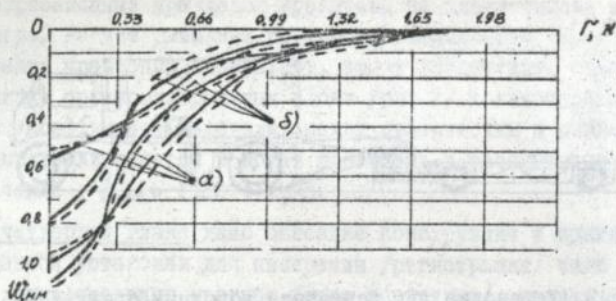
ности определения /вычисления/ модуля упругости эквивалентного слоя дорожной одежды E_1 и модуля упругости грунта земляного полотна E_2 ; количественная оценка соответствия теоретических результатов, полученных в настоящей работе /гл.2, 3/, экспериментальным данным.

Экспериментальные исследования проводились в 1989-1991 г.г. на бети эксплуатируемых автомобильных дорог Украины с одеждami усовершенствованного типа в сроки, совпадающие с периодами осеннего и весеннего накопления влаги в слоях дорожной одежды и грунте земляного полотна. Всего было испытано 16 конструкций дорожных одежд с усовершенствованным капитальным и облегченным типами покрытий автомобильных дорог, расположенных во II и III дорожно-климатических зонах.

Оценка достоверности получаемых значений характеристик чаши прогиба дорожных конструкций при испытании установкой выполнялась путем сопоставления измеренных /записанных/ ординат кривой прогиба W_{r_1} , взятых на одинаковых расстояниях r_1 от оси действия нагрузки, с аналогичными измерениями /записанными/ с использованием рычажного прогибомера как эталонного прибора. Типичные результаты испытаний представлены на рис.4.

По результатам испытаний установлено, что значения ординат кривой прогиба, измеренных с использованием установки и прогибомера, достаточно хорошо согласуются между собой. Отношения их абсолютных величин, рассматриваемых на равноудаленных от оси действия нагрузки точках, в основном лежат в пределах 0,9...1,10 и лишь для отдельных ординат кривой прогиба, находящихся на расстоянии 1,82 м, достигают 1,12...1,15.

В ходе экспериментальных исследований деформированного со-



Р.с.4. Результаты испытаний дорожных конструкций:

- а/ кривые прогиба ветви разгрузки, измеренные с использованием установки;
- б/ кривые прогиба ветви разгрузки, измеренные рычажным прогибомером с индуктивным преобразователем модели М-217

тояния дорожных конструкций уточнены границы и условия выбора значений вертикальных перемещений на кривой ветви разгрузки чаши прогиба, обеспечивающие при реализации предлагаемого способа точность определения /вычисления/ модуля упругости эквивалентного слоя дорожной одежды и модуля упругости грунта земляного полотна. При этом условие /3/ имеет вид

$$\left. \begin{aligned} R &\leq r_1 \leq 2,5R \\ r_1 + 0,5R &\leq r_2 \leq 8R \end{aligned} \right\} \quad /8/$$

Это объясняется тем, что для некоторых конструкций дорожных одежд становится затруднительно достаточно точно устанавливать значения прогиба по кривой прогиба на удалении от оси действия нагрузки более чем $8R$, значения которых относительно малы и порой соизмеримы с точностью измерения. Подтверждены также полученные количественные соотношения, устанавливающие связь между статическими и динамическими значениями прогибов /обдих модулей упругости дорожной одежды/ с относительной толщиной органоминеральных слоев конструкции дорожной одежды. Показана хорошая сходимость результатов определения значений деформативных характеристик дорожной конструкции известными способами и предлагаемым. Полученное качественное и количественное согласие результатов теории и эксперимента свидетельствует о возможности исполь-

нятой в настоящее время при расчете ее на прочность.

Перед проведением полевых измерений величины прогиба дорожной конструкции на обследуемую дорогу устанавливаются достоверные данные о материалах конструктивных слоев одежды и их толщинах. На основе этих данных определяется относительная толщина органоминеральных слоев одежды $\frac{h}{H_{\text{ост}}}$ $\frac{1,000}{H_{\text{ост}}}$.

В зависимости от типа покрытия по формуле /6/ или /7/ вычисляется коэффициент для перехода от динамических значений прогиба к статическим.

Общий эквивалентный модуль упругости /динамический или статически./ дорожной конструкции рассчитывается по формуле, справедливой при значении коэффициента Пуассона дорожной конструкции

$$\mu = 0,3$$

$$E_{\text{ст(расс)}} = \frac{P D_{\text{ст(расс)}} (1 - \mu^2)}{W_{\text{ст(расс)}}}$$

Методика распространяется на результаты измерений прогиба дорожной одежды, полученные при испытании дорожных конструкций в наиболее неблагоприятный по условиям увлажнения период года, когда температура окружающей среды в дневное время находилась в пределах $+5 - +16^{\circ}\text{C}$.

Разработана методика инструментального определения деформативных характеристик конструктивных слоев дорожной конструкции.

К деформативным характеристикам конструктивных слоев дорожной конструкции можно отнести модуль упругости грунта земляного полотна E_2 и модуль упругости эквивалентного слоя дорожной одежды E_1 . Модули упругости E_1 и E_2 могут быть установлены на основании данных инструментальных измерений получаши прогиба /ветви разгрузки, поверхности покрытия дорожной конструкции.

Для определения значений модуля упругости E_1 и E_2 необходимо располагать следующими данными: прогибом поверхности конструкции в 3-х точках W_0, W_1, W_2 , равноудаленных от центра действия нагрузки /одна из них под центром отпечатка колеса расчетного автомобиля/, удельным давлением на покрытие P , диаметром отпечатка колеса расчетного автомобиля D , общей толщиной слоев дорожной одежды h .

Для получения данных о чаше прогиба поверхности покрытия дорожной конструкции используются установки типа УНК-4, УНК-5 конструкции КАДИ либо рычажный прогибомер конструкции МАДИ-ЦИЛ, КП-2/4 с соотношением плеч не менее чем 2:1. При использовании рычажного прогибомера вместо индикатора часового типа устанавли-

вается индуктивный преобразователь электроизмерительной системы М-217, который подключается к самопишущему прибору. Возможно использование других приборов и устройств, обеспечивающих получение данных вертикальных перемещений кривой чаши прогиба с абсолютной погрешностью не более чем 0,02 мм.

Устанавливаются достоверные данные об общей толщине дорожной одежды.

Регистрация /запись/ кривой чаши прогиба производится при статическом действии расчетной нагрузки по группе А или Б.

По кривой чаши прогиба берутся значения прогиба в 3-х точках: максимальное W_0 и на расстояниях r_1 / W_{r_1} и r_2 / W_{r_2} от максимального значения. При этом расстояния r_1 и r_2 берутся таким образом, чтобы выполнялись условия /4/ и /8/.

Модуль упругости эквивалентного слоя одежды E_1 и модуль упругости грунта земляного полотна E_2 определяются путем решения системы уравнений /2/.

Получаемые деформативные характеристики дорожной конструкции могут быть использованы при решении следующих вопросов проектирования, строительства и эксплуатации дорог: уточнение расчетных характеристик грунтов земляного полотна для целей проектирования слоев усиления при капитальном ремонте и реконструкции дорог; оценка степени выполнения на стадии строительства требований проекта в отношении деформативных характеристик конструктивных слоев и дорожной конструкции в целом; назначения вида ремонтных работ в зависимости от состояния конструктивных слоев дорожной конструкции, не исключая при этом и тех решений, которые принимаются в настоящее время при использовании данных об общем эквивалентном модуле упругости.

Оценка эффективности предлагаемой методики определения деформативных характеристик слоев дорожной конструкции произведена с использованием трех критериев: степенью достоверности, с которой она позволяет определять искомые характеристики; ее преимуществами по сравнению с существующими; удобством в практическом использовании. Что касается последнего, то, как показано в предыдущих главах, реализация предлагаемого способа - исключение исходной информации и решение системы уравнений не вызывает никаких затруднений. Степень достоверности искомых деформативных характеристик дорожной конструкции по предлагаемому способу возможно оценить путем сопоставления их значений с опытными данными.

Такое сопоставление проведено в четвертой главе, где показана достаточная согласованность результатов.

Преимущества разработанного способа по сравнению с применяемым в настоящее время способом послынного проведения на одном месте штамповых испытаний с поочередным удалением конструктивных слоев достаточно очевидны. Это выражается прежде всего в том, что он является неразрушающим, более производительным и менее трудоемким. Приведенные в работе расчеты показывают, что предлагаемая методика в среднем в 10 раз дает выигрыш в производительности и в 10-12 раз снижает трудозатраты.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработан неразрушающий способ и методика ускоренного определения мод. ля упругости грунта земляного полотна и модуля упругости эквивалентного слоя дорожной одежды по форме и размерам кривой ветви разгрузки чаши прогиба.

2. Установлены границы и условия выбора значений вертикальных перемещений на кривой вет и разгрузки чаши прогиба, обеспечивающие при реализации предлагаемой методики точность определения /вычисления/ модуля упругости эквивалентного слоя дорожной одежды и модуля упругости грунта земляного полотна.

3. На основе использования способа решения задачи о напряженно-деформированном состоянии слоистого вязко-упругого полупространства при действии неподвижной и движущейся нагрузки получены количественные зависимости, устанавливающие связь между динамическими и статическими значениями прогибов /общих модулей упругости дорожной конструкции/ с относительной толщиной органоминеральных слоев в конструкции дорожной одежды, на основе которых определяются коэффициенты для перехода от одних значений к другим.

4. Создана установка, позволяющая при испытаниях дорожных конструкций получать данные не только значений максимального прогиба под нагрузкой, но и кривой ветви разгрузки чаши прогиба. При этом измерения производятся под колесом как стоящей /неподвижной расчетная нагрузка/, так и в процессе непрерывного движения расчетной нагрузки.

5. Проведенными экспериментальными исследованиями деформированного состояния нежестких дорожных одежд на участках эксплуатируемых автомобильных дорог:

- доказана достоверность получаемых значений характеристик кривой прогиба ветви разгрузки поверхности или покрытия дорожной одежды, образующейся под колесом автомобиля;

- подтверждена достоверность теоретических результатов.

6. Достаточное качественное и количественное согласие результатов теории и эксперимента свидетельствует о возможности использования предложенной методики для определения модуля упругости грунта земляного полотна и модуля упругости эквивалентного слоя дорожной одежды по очертанию чаши прогиба поверхности покрытия дорожной конструкции.

7. Сформулированы практические рекомендации, вытекающие из результатов проведенных исследований:

- создан расчетный аппарат для определения модуля упругости эквивалентного слоя дорожной одежды и модуля упругости грунта земляного полотна по данным о чаше прогиба поверхности дорожной конструкции;

- обоснована методика проведения измерений /регистрации/ кривой чаши прогиба поверхности дорожной конструкции установки типа УНК-5;

- отработана методика определения общего эквивалентного модуля упругости дорожной конструкции по данным динамических испытаний движущейся нагрузки.

Список опубликованных работ
по теме диссертации

1. Сиденко В.М., Иванюца Е.В., Титаренко А.М. Контроль прочности дорожных одежд подвижной нагрузкой. - Тез. республиканской научно-технической конференции. - Владимир, 1983, - с.21-23.

2. Сиденко В.М., Аленич М.Д., Титаренко А.М. Непрерывное измерение прогиба жестких дорожных одежд подвижными нагрузками. - Автомобильные дороги, 1985, № 2, - с.6-7.

3. Установка для измерения прогиба дорожной одежды /Сиденко В.М., Иванюца Е.В., Титаренко А.М. и др./, А.с.1020482 /СССР/. - Опубл. в Б.И. 1.02.83.

4. Установка для измерения прогиба дорожной одежды /Иванюца Е.В., Титаренко А.М., Булах А.И. и др./, А.с. 1159969 /СССР/. - Опубл. в Г.И. 8.02.83.

5. Установка для измерения прогиба /чаши прогиба/ дорожной

одежды /Заворицкий В.И., Иваница Е.В., Титаренко А.М./ П.Р.
ВНИИГТЭ № 4820498/88 от 25.05.1991.

6. Заворицкий В.И., Титаренко А.М. К вопросу об учете фак-
тических значений деформативных характеристик слоев дорожной
конструкции при назначении вида работ при капитальном ремонте.
- Тез. научно-технической конференции "Проблемы проектирования,
строительства и эксплуатации местных дорог". - Минск, 1992. -
- с. 14-15.

7. Заворицкий В.И., Супрун А.С., Титаренко А.М. Неразрушаю-
щий метод определения деформативных характеристик слоев дорожной
конструкции по данным измерения чаши прогиба. - Тез. Научно-тех-
нической конференции "Прогрессивные методы ремонта и содержания
автомобильных дорог". - Суздаль, 1992, - с. 9-10.

Заворицкий

Зак. 961. 05.11.92. Объем 1,0 н.л. Экз. 101.
Ротапная треста "Орждорстрой"

AB 26.630