



- © Д.А. Павлюк, • © В.В. Павлюк, • © В.В. Павлюк, • © А.С. Лебедев,
• © В.В. Гавришук, • © М.В. Шурьяков, • © И.С. Шуляк (НТУ)

СТАНЦИЯ ДЛЯ ШТАМПОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ИХ СЛОЕВ

Аннотация. Разработана станция для штамповых испытаний дорожных конструкций и их слоев статическим методом. Описаны технические возможности станции, а также особенности её применения при штамповых испытаниях дорожных конструкций.

Ключевые слова: станция для штамповых испытаний, статические штамповые испытания, дорожная конструкция.

Анотація. Розроблено станцію для штампових випробувань дорожніх конструкцій і їх шарів статичним методом. Описані технічні можливості станції, а також особливості її застосування при штампових випробуваннях дорожніх конструкцій.

Ключові слова: станція для штампових випробувань, статичні штампові випробування, дорожня конструкція.

Annotation. Designed station for testing of die road constructions and layers static method. Describes the technical capabilities of the station, and especially its use in the testing of die road constructions.

Key words: die testing station, the static stamps tests, road construction.

Введение

Согласно действующим нормативным документам основным критерием достаточности уплотнения грунта земляного полотна является коэффициент уплотнения. Определение его связано с выполнением трудоемких операций, продолжительность которых может достигать около 15 часов.

Контроль уплотнения щебеночных оснований и покрытий в настоящее время осуществляется путем визуального наблюдения за проходами катка с гладкими вальцами массой 8 – 13 т [1]. Перед передним вальцом не должна образовываться волна, а за задним – не должно оставаться следа, контрольная щебенка, брошенная под валец катка должна быть раздавлена. Такой способ контроля не имеет количественной определенности, морально устарел и необъективен. Недостаточное уплотнение щебеночных слоев (рядового и смесей) приводит к низкому качеству дорожных одежд.

Наиболее объективные результаты оценки состояния дорожных конструкций на стадии операционного контроля можно получить путем штамповых испытаний. На стадии эксплуатации штамповые испытания целесообразно применять при послойных испытаниях с целью выяснения причины разрушения дорожной конструкции. Причиной может являться недостаточная прочность грунтового основания, оснований дорожной одежды или слоев покрытия.

На сегодняшний день наибольшее распространение получили два статических метода оценки прочности дорожной одежды: с помощью жесткого штампа и с помощью колеса расчетного автомобиля.

В СССР первые штамповые испытания с нагрузкой дорожных конструкций весом автомобиля были проведены в ХАДИ А.К. Бируля [3] в 1936 – 1939 гг.

В 1940 г. под руководством А.А. Иноземцева были проведены полевые испытания прочности грунтов и дорожных одежд с помощью передвижного пресса, смонтированного на автомобиле “ЗИС – 5” с одноосевым прицепом [4]. Полученные им экспериментальные данные стали материалом для установления исходных положений при разработке метода расчета дорожных конструкций “ДОРНИИ” [5].

В 1949 г. в ХАДИ был изготовлен рельсовый пресс на тяжелом прицепе конструкции В.Д. Зинченко [6]. Позже, в 1954 г. по техническому заданию “Союздорнии” в г. Лейпциг была изготовлена установка для испытания дорожных одежд статическим методом с помощью жесткого штампа [7].

Установка монтировалась на базе вагона, где был установлен гидравлический пресс и прогибомеры с точностью показаний 0,01 мм. Диапазон нагрузки, которую установка способна была приложить на штамп, составлял 0,3 – 15,0 т. Для испытаний



покрытий применялся набор штампов с диаметрами 150, 250 и 340 мм. Опоры вагона при нагрузке на штамп находились на расстоянии 2,5 м, что исключало попадание штампа в чашу прогиба.

В 1956 г. изготовлен передвижной пресс конструкции А.К. Бируля [8], нагрузка для которого создавалась нагруженным автомобилем ступенями от 1 кГ/см² до 7 кГ/см². С помощью прессы получали кривую зависимости оседания штампа от нагрузки, реологические кривые, в том числе, при повторных многократных нагружениях и разгружениях. Определялись как модуль деформации, так и модуль упругости дорожных конструкций. Также параллельно выполнялись испытания с приложением различных нагрузок на штампы диаметрами 15 – 75 см.

Несмотря на то, что штамповые испытания являются наиболее точным и надежным методом оценки деформативности дорожных конструкций, имеют место ряд факторов, которые усложняют использование метода для производственных целей. К ним можно отнести низкую продуктивность испытаний (3 – 5 км за рабочий день), сравнительно громоздкое оборудование, трудоемкость его монтажа, опасные условия труда (рис. 1), высокие требования к установке штампа, и обязательное перпендикулярное положение его относительно покрытия, большую трудоемкость создания расчетной нагрузки ручным домкратом.

Начиная с 50-х годов, в США получил широкое распространение прогибомер (балка Бенкельмана), с помощью которого можно измерить прогиб покрытия под колесом расчетного автомобиля [9].

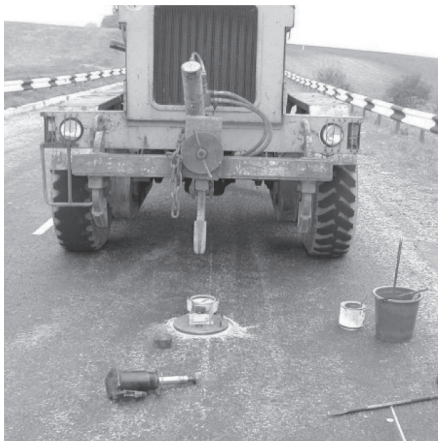


Рис. 1. Вылет домкрата во время испытаний с помощью жесткого штампа и тяжелой техники

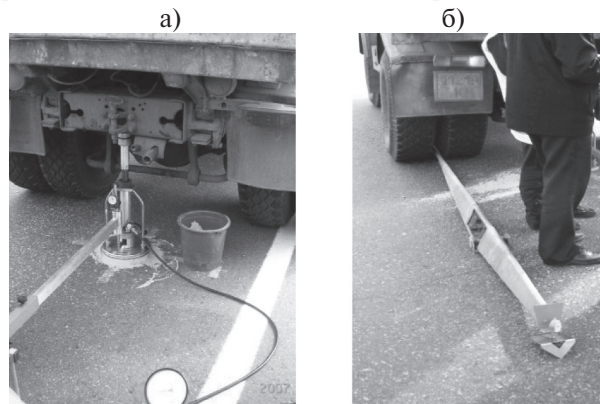
В начале 60-х годов прогибомер был несколько модернизирован “ЦНИЛ Гушосдора РСФСР” и “МАДИИ” и в течение нескольких лет выпускался мелкосерийными партиями, позже он стал использоваться в СССР под названием прогибомер “МАДИ-ЦНИЛ”.

В 1976 – 1977 гг. исследовательский завод “Госдорнии Миндорстроя УССР” выпустил партию прогибомеров конструкции “МАДИ-ЦНИЛ” с соотношением плеч 2:1, что не дает в ряде случаев избежать погрешности, которая возникает в результате попадания опоры прогибомера в чашу прогиба.

Прогибомер “МАДИ-ЦНИЛ” широко используется в Украине и в наше время, но необходимо отметить, что он имеет ряд существенных недостатков. К ним следует отнести сложность получения значений прогиба покрытий при повторных нагружениях, поскольку очень сложно подогнать автомобиль так, чтобы шуп прогибомера оказался между задними спаренными колесами. Также следует отметить и опасность при работе с прогибомером – когда автомобиль отъезжает, прогибомер остается на дороге малозаметным, что может привести к ДТП. Условия работы оператора, снимающего показания с датчика перемещений, тоже нельзя назвать безопасными.

При определении деформативных характеристик подстилающих слоев основания и грунтов земляного полотна, этот способ вообще не применяют, ввиду невозможности приложения ступенчатой нагрузки. Кроме того, вследствие выпирания материала слоев между спаренными колесами, данные измерений оказываются неточными [10].

В 2007 году в Укравтодор поручил НТУ и ДНТЦ “Доркачество” провести государственные корреляционные испытания средств оценки прочности дорожной одежды [11]. Статические методы реализовывали два прибора: штамповое оборудование “Infatest” (Германия) с жестким штампом (рис. 2-а) и прогибомер “КП-204” (рис. 2-б).



а) штамповое оборудование фирмы “Infatest”, б) прогибомер “КП-204”

Рис. 2. Испытания дорожных конструкций

Во время обработки данных результатов корреляционных испытаний возникли вопросы, касающиеся достоверности полученных результатов.

После проведения ряда исследований, выяснили, что штамп находится в чаше прогиба от обоих колес автомобиля.



Надо сказать, что подобное явление, хотя и в меньшей степени, имеет место и во время испытаний при нагрузке дорожных конструкций колесом автомобиля, находящегося в чаше прогиба от соседнего колеса.

Вопрос об устранении погрешностей измерений, связанных с попаданием опоры короткобазового прогибомера “МАДИ-ЦНИЛ” в чашу прогиба от колеса автомобиля рассматривался и раньше [12], но влияние второго колеса во внимание не принималось.

После проведения исследований влияния чаши прогиба от второго колеса автомобиля на показания прогибомера Укравтодор поручил Национальному транспортному университету разработать новый усовершенствованный способ испытания дорожных одежд и грунтовых оснований на прочность с использованием навесного оборудования на автогрейдер (рис. 3) [13].



Рис. 3. Навесное оборудование НТУ

Масса автогрейдера достаточна для создания нормативной нагрузки, которая контролируется манометром, установленным на штампе. Главное преимущество навесного оборудования на автогрейдер заключается в том, что задние колеса автогрейдера находятся на значительном расстоянии от штампа, а при создании нагрузки часть веса автогрейдера переносится с них на штамп. Таким образом, исключается влияние чаши прогиба от опорных колес на показания индикатора перемещений.

Недостатком указанного способа является необходимость использования автогрейдера по прямому его предназначению.

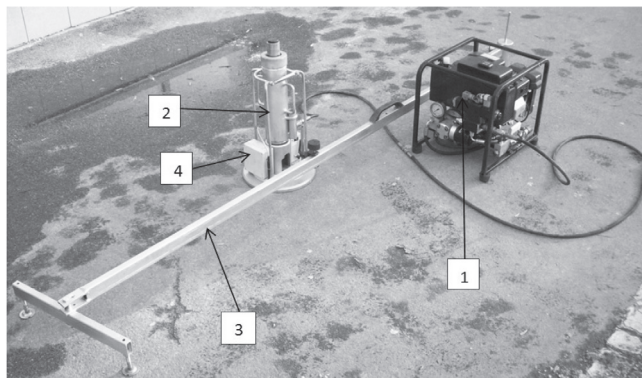
Основная часть

В 2011 – 2012 гг. по заказу Государственного агентства автомобильных дорог Украины “Укравтодор” в Национальном транспортном университете была разработана станция для штамповых испытаний дорожных конструкций, которая реализует статический метод испытания дорожных конструкций и их слоев с минимальными потерями времени и физических усилий.

Станция представляет собой сложное измерительное оборудование, в состав которого входят:

- насосная станция;
- штамп с гидроцилиндром, датчиками перемещения и усилия, устройствами для беспроводной передачи результатов измерений;
- прогибомер;
- пульт дистанционного управления;
- персональный компьютер с приемным устройством и специализированным программным обеспечением.

Общий вид станции приведен на рис. 4.



1 – насосная станция; 2 – штамп с гидроцилиндром; 3 – прогибомер; 4 – датчики и устройства передачи результатов измерений

Рис. 4. Станция для штамповых испытаний дорожных конструкций

Основные технические характеристики станции приведены в табл. 1.

Насосная станция (рис. 5) – гидросиловая установка, которая является управляемым источником давления масла для гидроцилиндра.

На дорожное покрытие прилагается усилие, которое создается давлением масла в гидроцилиндре (рис. 6). Измерение величины усилия производится путем регистрации давления в жидкости в силовой гидросистеме с помощью датчика давления 8. Последний подключен к гидросистеме в непосредственной близости к гидроцилиндру, обеспечивая тем самым высокую точность и стабильность измерений.

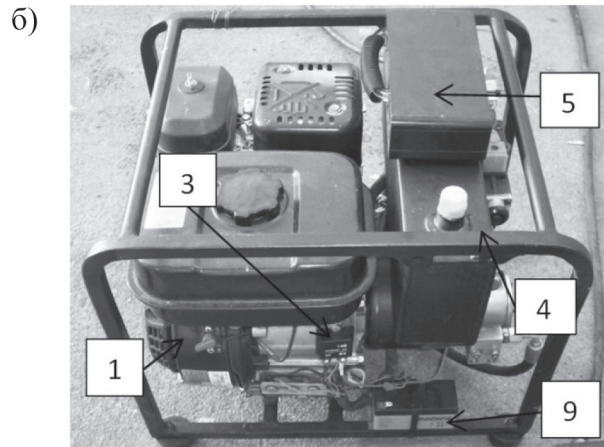
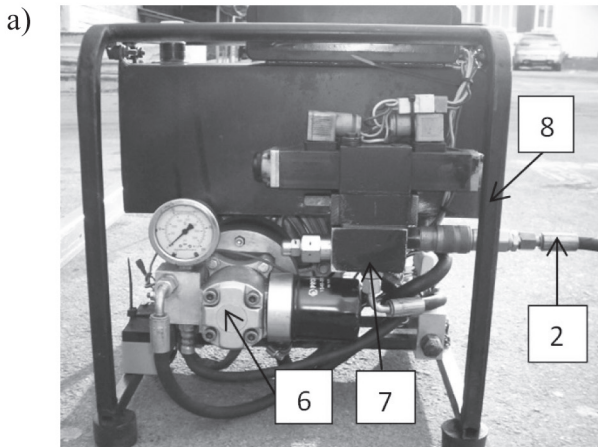
Основной особенностью является то, что на штампе смонтирован лазерный датчик перемещения 6, а также устройства передачи результатов измерений 7. Датчики усилия и перемещения



Таблиця 1

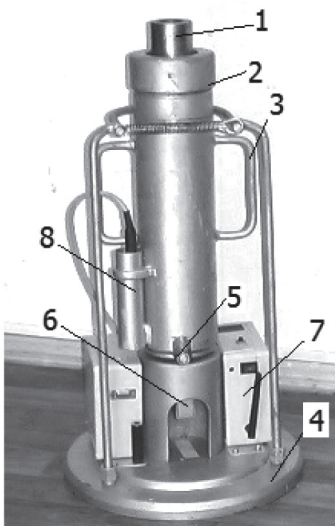
Основные технические характеристики станции для штамповых испытаний
дорожных конструкций и их слоев

№ п/п	Наименование	Значение
1	Масса, кг	80 ± 0,5
2	Габаритные размеры: высота, мм ширина, мм длина, мм	500 400 1600
3	Диаметр штампа, мм	300
4	Абсолютная погрешность измерения нагрузки, %	5
5	Максимальная нагрузка на штамп, кН	100
6	Погрешность измерения перемещения, мм	0,0025
7	Производительность, изм. циклов/час	10 – 15
8	Время разворачивания / сворачивания, мин	5
9	Температура хранения, °С (ПК храниться при температуре от + 10 до + 35 °С)	от – 10 до + 60
10	Обслуживающий персонал, чел.	2
11	Трудоемкость одного измерения, чел.-час	0,25



а) вид спереди, б) вид сбоку 1 – двигатель внутреннего сгорания; 2 – рукав высокого давления; 3 – генератор; 4 – емкость для масла; 5 – блок управления; 6 – гидронасос; 7 – гидрораспределительная секция; 8 – рама; 9 – АКБ

Рис. 5. Насосная станция



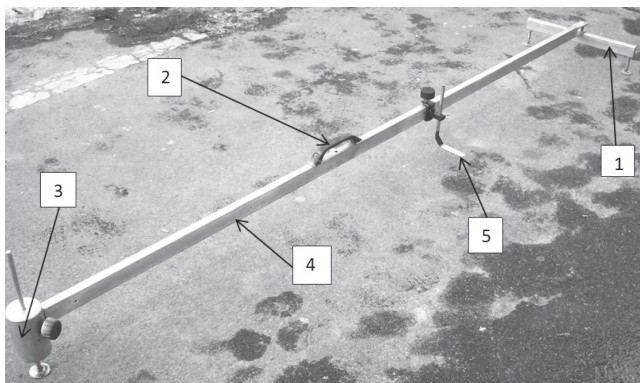
1 – шток гидроцилиндра; 2 – гидроцилиндр; 3 – ручки для установки гидроцилиндра; 4 – штамп; 5 – соединитель с гидросистемой; 6 – лазерный датчик перемещения; 7 – устройства передачи результатов измерений; 8 – датчик давления (нагрузки)

Рис. 6. Штамп с гидроцилиндром, датчиками перемещения и усилия, устройствами для передачи результатов измерений

регистрируют соответствующие параметры, которые с помощью устройств передачи результатов измерений передаются по радиоканалу BlueTooth на персональный компьютер. Для синхронизации и передачи измерений используется специально разработанная схема с микроконтроллерным управлением.

Реализация беспроводной системы передачи результатов измерений весьма упрощает процедуры разворачивания и сворачивания измерительной станции, избавляя от необходимости протягивания кабелей и подключения разъемов. Кроме того, персональный компьютер вместе с оператором может находиться на удалении до 50 м от станции в удобном для работы месте.

Прогибомер (рис. 7) – металлическая реперная балка на трех опорах, которая с помощью пассивного щупа создает точку отсчета для измерения перемещения штампа.



1 – задня опора; 2 – ручка для транспортування; 3 – передня опора; 4 – основна консоль; 5 – щуп

Рис. 7. Прогибомер

При разработке прогибомера принято решение вместо консольной конструкции на подобии “Infatest” и “КП-204” применить именно трехточечную мостовую. Это обеспечивает меньшую подверженность результатов измерений прогиба покрытия внешним факторам, таким, как вибрации, недостаточная жесткость, тепловое расширение. Кроме того, датчик перемещения штампа помещен не на прогибомер, как в большинстве существующих решений, а внедрен в конструкцию штампа. Это позволяет сохранить лазерный датчик перемещения, являющийся довольно хрупким и дорогим устройством, от нежелательных механических воздействий, а также упростить процедуру приведения станции из транспортного в рабочее положение и обратно.

Пульт дистанционного управления (рис. 8) предназначен для дистанционного управления насосной станцией. Пульт имеет четыре функциональные клавиши, с помощью которых создается и снимается усилие на штамп, а также регулируется скорость нагружения.

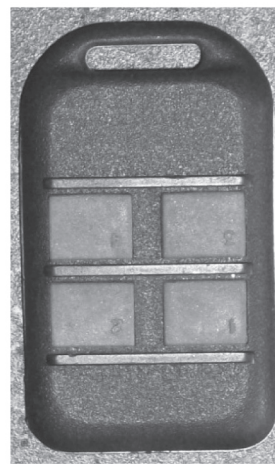


Рис. 8. Пульт дистанционного управления

Использование системы дистанционного управления насосной станцией позволяет максимально просто и удобно монтировать измерительный штамп одним человеком, а также управлять величиной и скоростью нагружения на расстоянии.

Персональный компьютер используется для регистрации и обработки результатов измерений усилия на штамп и его перемещения. С этой

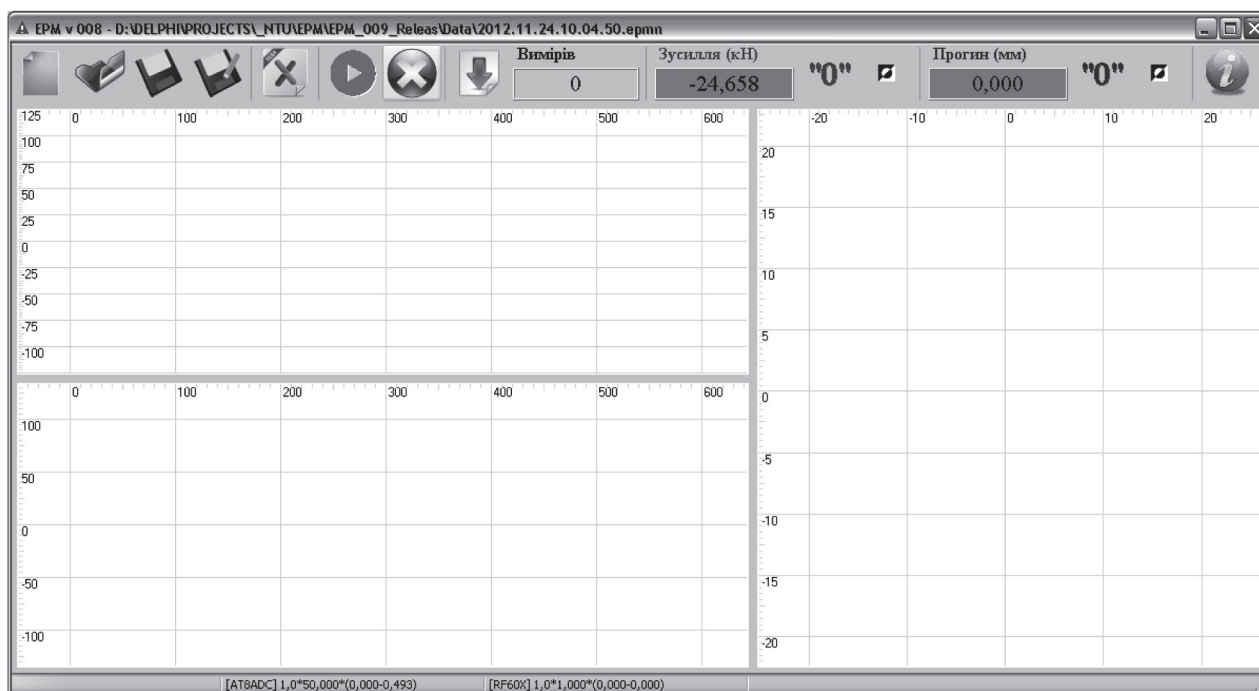


Рис. 9. Главное окно программного обеспечения “EPM_010”



целью специалистами Национального транспортного университета разработано специальное программное обеспечение “ЕРМ_010”, главное окно которого приведено на рис. 9.

Особенностями разработанного программного обеспечения являются:

- обеспечение синхронной регистрации и отработки результатов измерений двух параметров – усилия нагружения и прогиба штампа;
- передискретизация, сглаживание и фильтрация результатов измерений;
- построение временных зависимостей измеренных величин, а также параметрических графиков, в частности зависимости прогиба от усилия нагружения;
- построение и обработка результатов многоступенчатых дискретных и плавных с разной скоростью нагрузочных и разгрузочных воздействий;
- калибровка и юстировка измерительных датчиков;
- сохранение и экспорт результатов измерений.

Выводы

Разработано новое испытательное оборудование – станция для штамповых испытаний дорожных конструкций, которая реализует статический метод испытания дорожных конструкций и их слоев, с минимальными затратами времени и физических усилий.

Основной особенностью станции является то, что лазерный датчик перемещения штампа помещен не на прогибомер, а внедрен в конструкцию штампа, что позволяет сохранить датчик от механических воздействий.

Реализация беспроводной системы передачи данных измерений позволяет существенно ускорить процедуры разворачивания и сворачивания измерительной станции, а также обеспечивает удаленную работу оператора на расстоянии до 50 м.

Применение трехточечной мостовой конструкции прогибомера, в отличие от консольной конструкции прогибомеров “Infatest” и “КП-204”, обеспечивает получение наиболее точных результатов измерений прогиба покрытия, не подверженных действию внешних факторов.

Использование системы дистанционного управления насосной станцией позволяет максимально просто и удобно монтировать измерительный штамп одним человеком, а также управлять величиной и скоростью нагружения слоев дорожной конструкции на расстоянии.

Существует возможность дальнейшего развития станции, в частности реализация системы “программной нагрузки”, при которой серия нагружений/разгрузений проводится в автоматическом режиме.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Автомобільні дороги.** Споруди транспорту: ДБН В.2.3-4:2007. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. – [Чинний від 2007-30-10]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2007. – 91 с.
2. **ВСН 46-83.** Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа. – М.: Транспорт, 1985. – 157 с.
3. **Бируля А.К.** Об упругих и пластических деформациях щебеночных покрытий / А.К. Бируля // Труды ХАДИ. – 1939. – № 6. – С. 16 – 19.
4. **Труды Дорнии.** – Вып. 3. – Дориздат, 1941.
5. **Иванов Н.Н.** Проектирование дорожных одежд / Н.Н. Иванов, А.Н. Зацепин, М.Б. Корсунский, Ю.Л. Мотылев, Н.Н. Пузаков, А.Я. Тулаев. – М.: Автотрансиздат, 1955. – 247 с.
6. **Зинченко В.Д.** Учет нелинейной зависимости между напряжениями и деформациями / В.Д. Зинченко // Труды ХАДИ. – 1956. – № 18. – С. 27 – 30.
7. **Исследование** прочности дорожных одежд. – М.: Автотрансиздат, 1959. – 298 с.
8. **Бируля А.К.** Конструирование и расчет нежестких одежд автомобильных дорог / А.К. Бируля. – М.: Транспорт, 1964. – 167 с.
9. **Иванов Н.Н.** Конструирование и расчет нежестких дорожных одежд / Н.Н. Иванов. – М.: Транспорт, 1973. – 327 с.
10. **Апестин В.К.** Испытания и оценка прочности нежестких дорожных одежд / В.К. Апестин, А.М. Шак, Ю.М. Яковлев. – М.: Транспорт, 1977. – 102 с.
11. **Павлюк Д.О., Булах Є.О., Кизима С.С., Лебедев О.С., Глуховець В.М., Івашенко А.П., Русин Р.М., Собачко С.М., Богданенко А.М.** Кореляційні випробування засобів оцінки міцності дорожніх конструкцій // Автошляховик України. – 2008. – № 2. – С. 26 – 33.
12. **Методические** указания по оценке прочности и расчету усиления дорожных одежд. – М.: Гипродорнии, 1973.
13. **Павлюк Д.О., Павлюк В.В., Лебедев О.С., Булах Є.О., Перістий О.О.** Начіпне обладнання НТУ для оцінки міцності і деформативності дорожніх конструкцій та ґрунтових основ // Автошляховик України. – 2008. – № 3. – С. 33 – 36.