



М.Г. ГОРЯЧЕВ,
канд. техн. наук,
доцент Московского
автомобильно-дорожного
государственного технического
университета (МАДИ)

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СОСТОЯНИЯ НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ПРИ ИМИТАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ДИНАМИЧЕСКИМ АВТОТРАНСПОРТНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

Рассмотрены теоретические закономерности формирования и превращения энергии в конструкциях дорожных одежд для моделирования энергетического обмена в их слоях. Предложены математические выражения для оценки работы, совершаемой дорожной одеждой, для создания имитационной модели нагружения.

Ключевые слова: дорожная одежда, энтропия, работоспособность.

Работоспособность дорожных одежд — их свойство или способность удовлетворять на определенный отрезок времени всем требованиям, установленным в отношении основных показателей, характеризующих нормальное (эффективное) выполнение заданных функций. На сегодняшний день это наиболее полное, объективное и целесообразное для прикладного назначения понятие, полученное постепенным развитием теории надежности и работоспособности.

При нагружении дорожной одежды автотранспортными средствами она испытывает существенное механическое воздействие, которое целесообразно рассматривать с энергетической точки зрения [1, 2]. В рамках рассматриваемой задачи для дорожной одежды следует выделить реализацию опорной, демпфирующей и фрикционной функций. Показатели сцепных качеств характеризуют работоспособность исключительно дорожных покрытий [3]. Поэтому ниже будут детально описаны эффекты, присущие опорной и демпфирующей функциям.

С энергетических позиций проезд колеса целесообразно разделить на пять этапов (рис. 1). Энергетические этапы и описание возникающих состояний сведены в табл. 1.

Таким образом, при однократном проезде колеса некоторый фрагмент дорожной одежды (сечение) получает дополнительную энергию

$$\Delta U_0 = U_{\Pi}^{\text{ост}}(t) + A_T(t) + (A_{\text{др}} + A_{\text{дн}}(t)), \quad (1)$$

где t — время, с течением которого происходит дальнейшее медленное изменение (релаксация) составляющих энергии $U_{\Pi}^{\text{ост}}$;

A_T — работа сил трения;

$A_{\text{др}}$ — работа деформирования дорожной одежды равновесная (не изменяющаяся с течением времени);

$A_{\text{дн}}$ — работа деформирования дорожной одежды неравновесная (изменяющаяся с течением времени вследствие релаксационных процессов в структуре слоев дорожной одежды).

С увеличением времени, прошедшего после проезда колеса, упругие деформации дорожной одежды полностью

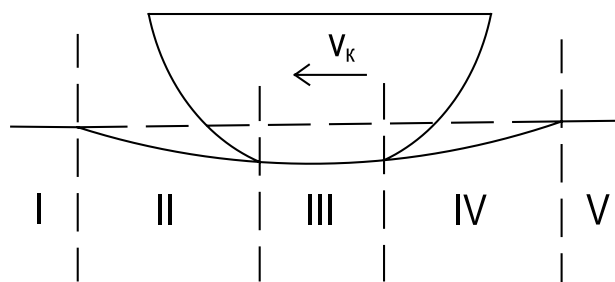


Рисунок 1 — Энергетические этапы фрагмента движения колеса по жесткой дорожной одежде

Таблица 1 — Энергетические характеристики этапов проезда колеса

Этап проезда	Описание процесса	Энергия дорожной одежды	Комментарии к фазе энергетического состояния
I	Опорная поверхность проезжей части до проезда колеса	U_0	Начальная полная энергия дорожной одежды (может быть принята $U_0 = 0$)
II	Развитие чаши прогиба от 0 до границ колесного штампа	$U_0 + U_{II} \uparrow + A_T \uparrow + A_d \uparrow$	<ol style="list-style-type: none"> 1. Передача массы автомобиля через колесо приводит к росту (запасанию) потенциальной энергии сжатия дорожной одежды U_{II}; 2. Быстрое погружение колеса приводит к росту работы сил трения A_T, идущей на нагрев слоев и колеса; 3. Действие колеса приводит к появлению деформаций дорожной одежды (сдвиг, уплотнение и т. п.) и, соответственно, к росту работы A_d, идущей на деформирование
III	Колесо погружено до максимального значения прогиба, зона контакта колеса с покрытием	$U_0 + U'_{II} + A'_T + A'_d$	<ol style="list-style-type: none"> 1. Запасена максимальная потенциальная энергия; 2. Работа сил трения и деформирования временно не увеличивается; 3. Вероятность появления необратимых деформаций и микроразрывов наибольшая
IV	Закрытие чаши прогиба	$U_0 + U_{II} \downarrow + A_T \uparrow + A_d \uparrow$	<ol style="list-style-type: none"> 1. Происходит возвращение запасенной потенциальной энергии сжатия дорожной одежды, что способствует выкатыванию колеса из чаши прогиба; 2. Продолжает увеличиваться работа сил трения; 3. Продолжают появляться микродефекты, соответственно растет работа A_d
V	Опорная поверхность после проезда колеса	$U_0 + U_{II}^{ост} \downarrow + A_T \downarrow + A_d \downarrow$	<ol style="list-style-type: none"> 1. Потенциальная энергия практически полностью возвращена; остаток потенциальной энергии $U_{II}^{ост}$ постепенно исчезает с течением времени (в режиме релаксации); 2. Дорожной одежде передана работа сил трения A_T, вызвавшая локальный нагрев и постепенно исчезающая вследствие распространения тепла внутри дорожной одежды и теплообмена с окружающей средой; 3. Накопленные микродефекты дорожной одежды характеризуются работой сил, направленных на необратимое деформирование A_d

Примечание: стрелки вверх и вниз в формулах означают увеличение и уменьшение показателя в течение процесса.

исчезают, поэтому составляющая $U_{II}^{ост} = 0$ при $t \rightarrow \infty$. Вследствие теплообмена составляющая A_T также полностью исчезает. В результате энергия дорожной одежды оказывается повышенной по сравнению с первоначальным уровнем U_0 на величину $A_{др}$.

В режиме эксплуатации дорожной одежды происходит многократное нагружение. При этом дорожной одежде сообщается следующая энергия

$$\Delta U_0(t; N) = \sum_{i=1}^N \left(U_{II}^{ост}(t) + A_{Ti}(t) + (A_{дpi} + A_{дни}(t)) \right), \quad (2)$$

где ΔU_0 — прирост полной энергии автодороги после проезда N колес (с различными характеристиками, что отражает индекс i).

То же самое распространяется и на автомобильную дорогу в целом. Время релаксации упругих напряжений, теплообмена, релаксации разрушений является довольно большим, порядка $10^0 \dots 10^5$ с. Поэтому нельзя считать, что дорога, находящаяся в эксплуатации, содержит только энергию равновесных разрушений

$$\Delta U_0(N) \neq \sum_{i=1}^N A_{дpi}. \quad (3)$$

Поэтому при анализе работоспособности дорожной одежды необходим учет неравновесных процессов, что позволяет сделать разработанная автором динамическая модель.

Необходимо также отметить, что уровень энергии A_d , идущей на деформирование дорожной одежды, существенно меньше общего уровня энергетического воздействия колеса на автодорогу ΔU_0 . Так, в частности, система «колесо-дорога» является высокодобротной, поэтому диссипативная составляющая энергии A_d в $10^3 \dots 10^6$ раз меньше потенциальной энергии $U_{пр}$ запасаемой дорогой при проезде колеса. Кроме того, благодаря конструкции и свойствам материалов автодороги, она является высокопрочной, поэтому энергия, идущая на деформирование одежды A_d еще в $10^2 \dots 10^7$ раз меньше общей диссипативной энергии A_T . Это вызывает некоторые сложности в моделировании как процессов разрушения автодороги (необходимо воспроизводить в модели $10^5 \dots 10^8$ проездов автомобилей), так и в оценке энтропийной составляющей энергии (она составляет долю $10^{-13} \dots 10^{-5}$ от характерной энергии контакта колеса с автодорогой). С точки зрения разработки метода

моделирования это вызывает необходимость максимально уменьшать шаг интегрирования, дискретизировать пространство на малые фрагменты, увеличивать длительность компьютерных экспериментов.

■ Современные представления в теории работоспособности дорожных одежд все больше основываются на реальных процессах. Рост энтропии, явления превращений энергии с оценкой поведения материалов конструкций должны приниматься в расчет наиболее адекватными имитационными моделями.

■ Этапы, которые проходит дорожная одежда при нагружении, характеризуются различным энергетическим уровнем, что вызвано закономерностями накопления и возврата энергии (работы), а также ростом энтропии.

■ На следующем шаге появляется возможность программирования и проведения компьютерных экспериментов исследования влияния конструктивных параметров дорожной одежды, характера движения автотранспорта и т. п. на характер деформирования и разрушения дорожной одежды.

Список использованной литературы

1. Смирнов А. В. Теоретические и экспериментальные исследования работоспособности нежестких дорожных одежд: дис. ... д-ра техн. наук. Омск, 1989. 391 с.

2. Смирнов А. В., Александров А. С. Механика дорожных конструкций: учеб. пособие // СибАДИ. Омск, 2009. 211 с.

3. Горячев М. Г. Структура понятия «работоспособность нежестких дорожных одежд»: свойства, показатели, критерии

оценки // Вестник МАДИ. Вып. 3 (30), сентябрь, 2012. С. 101–108.

Материалы хранятся по e-mail: sed@madi.ru

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛЕ «СЕЙСМОСТОЙКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО. БЕЗОПАСНОСТЬ СООРУЖЕНИЙ»

Текст:

1. **Объем статьи** не должен превышать **20 000** знаков.
2. **Количество авторов** статьи — не более 3-х.
3. **Сведения об авторе** должны содержать: ФИО, регалии, место работы и должность, почтовый и электронный адреса, контактный телефон, фотографию в формате TIF, JPG.
4. **Ключевые слова** к статье [1] должны быть **на русском и английском языках**.
5. **Аннотация** к статье должна содержать не менее **600** знаков на **русском и английском языках**.
6. Обязательно наличие отдельного **списка литературы** с ссылками по тексту.
7. Обязательно приложение — **рекомендательное письмо** от организации, которую представляет автор, **рецензия** или **экспертное заключение**.

Иллюстрации:

1. **Рисунки** должны быть представлены в форматах файлов (под PC): **PDF, EPS, AI, CDR**;
2. **Фото** должны быть представлены для публикации в форматах файлов (под PC): **TIFF, JPG**;
3. **Разрешение** файлов — не менее **300 dpi**;
4. **Таблицы, схемы и диаграммы** должны быть встроены в статью и иметь связи (быть доступными для редактирования) с программой, в которой они созданы (**Excel, Corel Draw**);
5. Обязательно наличие **подписей к иллюстрациям**, оформленных отдельным списком.
6. **Данные в таблицах** даются полностью **без сокращений**.
7. **Математические формулы и выражения** должны быть записаны в **Microsoft Word** или с помощью редактора **Microsoft Equation 3.0**.

Ждем ваши материалы по адресу: **109456, а/я 29, г. Москва**
или по e-mail: **info@raee.su**, т/ф.: **(499) 170-06-93**

[1] Журнал входит в систему «Российский индекс научного цитирования» на платформе eLIBRARY.ru.