

УДК 630.383

## ОСНОВЫ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТИ НЕЖЁСТКОЙ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

**А.В. Скрыпников, В.Н. Логачев**

Методика оценки прочности этих одежд должна предусматривать следующее.

Разделение обследуемой дороги на однообразные участки в результате анализа документации, характеризующей дорогу (паспорт, проект и т.п.), и внешнего её осмотра. Каждый однообразный участок должен соответствовать требованиям нормативных документов. Выбор в пределах каждого однообразного участка контрольной точки, расположенной в месте наиболее характерном по состоянию одежды для указанного однообразного участка.

Проведение испытаний на каждой контрольной точке должно охватить весь расчётный период ослабления дорожной одежды и позволить построить график изменения модулей упругости (упругих деформаций) по дням. Окончание этих испытаний возможно только после того, как будет видна чёткая тенденция стабилизации упругой деформации, свидетельствующая об окончании периода ослабления. Требуемый модуль упругости  $E_{тр}$  на каждом участке с одинаковой существующей и перспективной интенсивностью движения, приведённой к расчётному автомобилю, следует определять, если в результате оценки прочности возможное усиление намечено производить на полный срок службы нового покрытия [1].

Наряду с этим возможны случаи, когда на отдельных участках необходимо усиление существенно раньше истечения нормативного срока службы покрытия. Такая необходимость может возникнуть в рамках ремонта или содержания.

В указанных случаях целесообразно довести уровень прочности отдельных ослабленных мест до той прочности, которой должна обладать одежда всей дороги или участка с определённой интенсивностью и составом движения в

данный период эксплуатации с учётом понижения запаса работоспособности, который достаточен на оставшиеся годы службы одежды до очередного капитального ремонта или реконструкции.

Подобное усиление ослабленных мест существенно повышает однородность и соответственно надёжность эксплуатируемой одежды по прочности.

В последних разработках ГипродорНИИ в аналогичном случае предложено величину  $E_{тр} = E_{трт}$  определять по той же номограмме, как и при расчёте на полный срок службы нового покрытия. Интенсивность движения  $N_p$ , приведённую к расчётному автомобилю рекомендовано вычислять с использованием зависимости

$$N_p = \gamma \left( 0,01 N_{И} \sum_1^{\omega} \alpha_i \cdot a_i \right) g^{\frac{T_{сл} - 1}{g - 1}}, \quad (1)$$

где  $\gamma$  – постоянная величина, зависящая от типа дорожного покрытия (для усовершенствованных покрытий капитального типа  $\gamma=0,12$ ; для усовершенствованных покрытий облегчённого типа  $\gamma=0,148$ ; для переходных покрытий  $\gamma=0,171$ );  $N_{И}$  – средняя суточная интенсивность движения в год испытаний дорожной одежды;  $\alpha_i$  – процент  $i$ -го типа автомобиля в составе транспортного потока;  $a_i$  – коэффициент приведения данного автомобиля к расчётному [2].

Испытания на всём протяжении обследуемой дороги (линейные испытания) желательно проводить в дни, достаточно близкие к моменту наибольшего ослабления дорожной одежды. Но точно прогнозировать наступление этих дней в настоящее время практически невозможно. Кроме того, желательно максимально продлить период испытаний для охвата большей протяжённости дороги.

В связи с этим, используя при обработке результатов испытаний методику, целесообразно эти испытания начинать на каждом однообразном участке с момента, когда на соответствующей контрольной точке отмечена чёткая тенденция к снижению прочности (увеличение упругой вертикальной деформации, снижение модуля упругости) [4].

Целесообразно, чтобы на каждом данном однообразном участке испыта-

ния были закончены вскоре после начала увеличения прочности дорожной одежды (устойчивое снижение упругой деформации и увеличение модуля упругости). Чтобы этого достичь, следует заранее спланировать линейные испытания, начав их в местах более раннего ослабления дорожной одежды и грунта земляного полотна. На большей части территории нашей страны, где имеет место сезонное промерзание дорожной одежды и грунта, к таким местам следует относить более южные участки обследуемой дороги, открытые участки, особенно с уклоном в южную сторону.

Методика проведения линейных испытаний кратковременной нагрузкой и методика обработки их результатов для обследований средствами малой и средней производительности и оборудования высокой производительности должна быть различной. Это связано с тем, что в случае применения оборудования малой и средней производительности число испытаний на каждом однообразном участке должно соответствовать требованиям. При использовании оборудования высокой производительности легко обеспечить число испытаний, заведомо превышающее их количество, соответствующее требованиям что упрощает процесс испытаний.

При проведении линейных испытаний оборудованием малой и средней производительности, поскольку для определения необходимого числа испытаний нужны данные о коэффициенте вариации модулей  $C_E$  и среднем значении фактических модулей  $E_\phi$  на однообразном участке, целесообразна следующая последовательность:

- проведение испытаний в количестве  $n$ , близком к наиболее вероятному необходимому их количеству  $n_{И}$ ;
- определение в соответствии с необходимым количеством испытаний  $n_{И}$ ;
- проведение дополнительных испытаний  $n_g$ , если  $n_{И} > n$ , в количестве  $n_g = n_{И} - n$ .

Анализ результатов испытаний, выполненных на различных дорожных одеждах, показывает, что для обеспечения первоначального количества испытаний  $n$  на каждом километре однообразного участка достаточно проводить по

20 испытаний. При размещении точек испытаний на участках дорожной одежды для исключения систематической ошибки можно применить метод рандомизации, используя ряд случайных чисел. Однако в этом случае несколько осложняется подготовка к испытаниям и их проведение. Организационно более удобно точки испытаний размещать через равные интервалы длины дороги. При 20 испытаниях на 1 км дорожной одежды указанный интервал составит 50 м [3].

Обработка результатов испытаний с размещением точек этих испытаний на основе метода рандомизации, а также при равномерном их размещении через 50 м показывает, что уже при 20 испытаниях среднестатистические (средние) значения модулей упругости при том и другом способе размещения точек обычно имеют расхождения в пределах 2–3%, что ниже допустимых значений  $\Delta_E$ . В связи с этим для массовых испытаний целесообразно рекомендовать размещение точек испытаний через равные интервалы в 50 м. Метод рандомизации следует применять при испытаниях в исследовательских целях.

Следует отметить, что определение необходимого числа испытаний  $n_{и}$  по данным испытаний в случае  $n < n_{и}$  не совсем корректно. Однако практически в пределах данного однообразного участка обычно  $n$  сравнительно близко к  $n_{и}$  и ошибка при вычислении  $n_{и}$ , как показали расчёты не превышает 5–7%, что в данном случае вполне допустимо, так как при  $n > 20$  указанная ошибка в определении  $n_{и}$  в подавляющем большинстве случаев не приводит к отклонению в значении среднего модуля упругости больше  $\Delta_E$ .

Точки дополнительных испытаний в соответствии с их количеством  $n_g$  в процессе массовых испытаний, исходя из высказанных соображений, целесообразно равномерно разместить между точками ранее проведённых испытаний.

При испытаниях в исследовательских целях следует на основе метода рандомизации дополнительные точки разместить, используя продолжение ряда случайных чисел, на основе которого проведены первоначальные испытания.

Обработка результатов испытаний оборудованием малой и средней производительности должна включать построение графиков изменения модулей

упругости по дням, вычисление коэффициентов изменения прогиба (модуля упругости)  $K_{измi}$ , вычисление расчётных значений модулей упругости  $E_p$  и определение средних величин расчётного модуля  $E_{ср p}$  на участке по результатам  $n_{II}$  испытаний (при  $n > n_{II}$ ) и  $n$  испытаний (при  $n > n_{II}$ ).

Величина  $E_{ср p}$  обеспечивает, при наиболее распространённом нормальном законе распределения модулей, уровень надёжности результатов испытаний равен 0,5. Иными словами в 50% случаев на участке должны быть модули выше  $E_{ср p}$ , а в 50% случаев – ниже.

Необходимая вероятность того, что принятый для расчёта (оптимизированный расчётный)  $E_{ор}$  модуль упругости на участке не будет выше фактических модулей упругости, имеющих место на этом участке, может быть обеспечена с применением известной формулы:

$$E_{ор} = E_{ср.p} (1 - v_E C_{E_p}), \quad (1)$$

где  $v_E$  – тот же коэффициент, что и  $t_n$  в формуле (1), но в данном случае он должен быть интерпретирован как показатель, характеризующий вероятность того, что величина  $E_{ор}$  не будет выше любого значения модуля в массиве данных, имеющем среднее значение модуля  $E_{ср p}$  и коэффициент вариации модулей  $C_{E_p}$ .

При оценке прочности и, особенно, расчёте слоёв усиления указанная вероятность должна быть обоснована экономически. Чем меньше вероятность того, что  $E_{ор}$  не будет выше любого другого значения модуля на участке, тем выше уровень надёжности заключения о фактической прочности данного участка и выше надёжность рассчитанного при необходимости слоя усиления. Но, так как при более высокой надёжности значение  $E_{ор}$  меньше, то слой усиления будет в общем случае дороже, хотя вероятность его разрушения в процессе эксплуатации снизится. В результате, с повышением уровня надёжности назначения  $E_{ор}$  возрастают единовременные (капитальные) затраты и уменьшаются текущие затраты. Рациональный уровень надёжности и соответствующие ему экономически обоснованное значение  $v_E$  могут быть установлены по минимуму суммарных приведённых расходов.

При проведении линейных испытаний оборудованием высокой произво-

дительности, при котором обычно совершается в процессе испытаний безостановочное движение вдоль дороги, производятся измерения через 1...8 м. Такая частота испытаний создаёт практически непрерывную картину прочности одежды, характеризуемую упругим прогибом, что, как отмечено выше, заведомо обеспечивает число испытаний, превышающее необходимое, на каждом однообразном участке.

Начало и окончание линейных испытаний должно быть увязано с расчётным периодом аналогично испытаниям оборудованием малой и средней производительности.

Обработка результатов испытаний оборудованием высокой производительности также как и оборудованием малой и средней производительности, должна быть начата с вычисления коэффициента изменения прогиба (модуля упругости)  $K_{изм}$  по данным испытаний на контрольных точках. Дальнейшую обработку целесообразно выполнять с применением ЭВМ, так как наличие больших массивов данных (до нескольких десятков тысяч измерений в день) практически исключает ручную обработку. С учётом указанных обстоятельств разработана методика обработки результатов испытаний оборудованием высокой производительности. Эта методика включает следующие основные операции:

- вычисление для каждой  $\theta$ -ой точки испытаний в соответствии с величиной расчётного модуля упругости существующей одежды  $E_0=E_p$ ;
- определение требуемого модуля упругости дорожной одежды;
- вычисление средних значений модулей упругости  $E_{ср}$  для данного массива с числом испытаний  $m$  (обычно в пределах однообразного участка);
- определение коэффициента вариации  $S_E$  модулей в данном массиве из  $m$  испытаний;
- установление минимально необходимого числа испытаний;
- перебор массива модулей с вычислением их средних значений  $E_{E\psi}$  по малым накладываемым выборкам с числом испытаний  $n_{и}$  в каждой из них.

$$E_{cp1} = \frac{\sum_{\theta=1}^{n_I} E_{\theta}}{n_I}$$

$$E_{cp2} = \frac{\sum_{\theta=2}^{n_I} E_{\theta}}{n_I}$$

$$E_{cp(m-n_I+1)} = \frac{\sum_{\theta=(m-n_I+1)}^{n_I} E_{\theta}}{n_I} \quad (2)$$

$$E_{cp(m-n_I+1)} = \frac{\sum_{\theta=(m-n_I+1)}^{n_I} E_{\theta}}{n_I}$$

Как видно  $\psi$  лежит в пределах от 1 до  $m-n_I+1$ .

– вычисление коэффициентов вариации модулей  $S_{E\psi}$  по каждой из малых накладываемых выборок.

– объединение смежных малых выборок, отличающихся одна от другой по средним значениям модулей упругости  $E_{cp\psi}$  не более, чем на  $\Delta E$ , и по величинам коэффициентов вариации  $S_{E\psi}$  не более чем на  $\Delta S_E$ . Анализ исследований, позволяет рекомендовать для вычисления  $\Delta E$  зависимость:

$$\Delta E_{\psi, \psi+1} = 360 \frac{E_{cp\psi} + E_{cp(\psi+1)}}{2E_{yc}} - 3100 \frac{E_{cp\psi} + E_{cp(\psi+1)}}{2E_{yc}} \frac{E_{mp}}{E_{yc}}, \text{ МПа} \quad (3)$$

где  $E_{yc}$  – модуль упругости материала предполагаемого слоя усилия.

Величину  $\Delta S_{E\psi, \psi+1}$  в первом приближении можно принять равной 0,05.

При объединении нескольких малых накладываемых выборок следует ориентироваться на минимальное значение  $\Delta E_{\psi, \psi+1}$ . Объединённая выборка, включающая в себя  $n_M$  малых накладываемых выборок, охватывает  $n_0$  модулей (результатов испытаний):

$$n_0 = n_I n_M^{-1}, \quad (4)$$

– вычисление средних модулей упругости  $E_{cp0}$  и коэффициентов вариации модулей  $S_{E0}$  по объединённым выборкам. Величину  $E_{cp0}$  можно рассматривать, как средний расчётный модуль  $E_{cp}$  на участке, соответствующем объединённой выборке.

Предложенная зависимость, описывающая изменение величины требуемого модуля упругости в различные периоды службы дорожной одежды, которая подтверждена экспериментально, позволяет прогнозировать состояние дорожной одежды, что очень важно для прогнозирования транспортных расходов.

Проведённые исследования позволили разработать общие принципы методики оценки прочности дорожных одежд нежёсткого типа.

#### Список литературы

1. Хорошилов, Н. Ф. Техничко-эксплуатационная оценка основных элементов автомобильных дорог при разработки проектно-системной документации / Н. Ф. Хорошилов // Труды СоюздорНИИ. – М. : Транспорт, 1968. – Вып. 19. – С. 3–46.

2. Скрыпников, А. В. Система формирования транспортно-эксплуатационных характеристик автомобильных лесовозных дорог / А. В. Скрыпников // Вестн. МГУЛ. Лесн. вестн. – 2005. – № 076. – С. 14–19.

3. Скрыпников, А. В. Модели формирования эксплуатационно-прочностных свойств покрытий автомобильных лесовозных дорог / А. В. Скрыпников // Вестн. МГУЛ. Лесн. вестн. – 2005. – № 072. – С. 26–34.

4. Ярошутин, А.С. Совершенствование методики оценки прочности нежёстких дорожных одежд / А.С. Ярошутин; ВГЛТА. – Воронеж, 2006. – 129 с. – Деп. в ВИНТИ 20.06.2006, № 823–В2006.