

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ РИСКА В ПРОЕКТИРОВАНИИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В ПЕРВОЙ ДОРОЖНО-КЛИМАТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ

Скрыльников И.Г., Столяров В.В.

ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина», Саратов, Россия (410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77), e-mail: iltard@bk.ru

На современном этапе развития северных районов Российской Федерации совокупность геополитических и экономических причин определяет необходимость дальнейшего совершенствования транспортной системы. Доступ к уникальным природным ресурсам северных регионов обуславливает повышенное внимание ведущих научных центров и отдельных ученых к вопросам проектирования, строительства и эксплуатации земляного полотна в условиях многолетнемерзлых грунтов. Земляное полотно автомобильных дорог в зоне многолетнемерзлых грунтов подвержено деформациям, которые в значительной мере обусловлены оттаиванием грунтов оснований и их переувлажнением. Риск или вероятность разрушения дорожной конструкции в результате промерзания и оттаивания деятельного слоя представляет собой отношение площади участков покрытия автомобильной дороги, подверженных разрушению, к общей площади участка покрытия, на котором условия, влияющие на параметры разрушения, могут быть приняты практически одинаковыми.

Ключевые слова: вероятность, разрушение, насыпь, грунт, риск, влажность, оттаивание, дорожное покрытие.

THE APPLICATION OF RISK THEORY IN THE SUBGRADE'S DESIGN OF ROADS IN THE FIRST CLIMATIC ZONE

Skrylnikov I.G., Stolyarov V.V.

Saratov State Technical University n.a. Gagarin J.A., Saratov, Russia (410054, Saratov, street Politechnicheskay, 77)

On the modern development stage the need in further improvement of transport system in northern parts of the Russian Federation is determined by the whole scope of geopolitical and economic reasons. The special attention paid by leading research centers and some scientists to the problems of design, construction and operation of the earthwork in the permafrost conditions can be explained by the access to unique natural resources of the northern regions. The earthwork of the permafrost highways undergoes deformation mainly due to foundation soil thawing and excessive moistening. Risk or highway construction failure probability as a result of frost-and-thaw of the active soil is a relation of the area of failed highway covering plottage to the total covering area with the same conditions effecting the failure criteria

Key words: probability, destruction, road fill, soil, risk, water content, frost retreat, road surface.

В северных районах Российской Федерации сосредоточены огромные запасы полезных ископаемых. Для их дальнейшего освоения необходимо совершенствовать транспортную систему в этом регионе. В настоящее время существует много различных методов решения проблем, связанных с проектированием, строительством и эксплуатацией автомобильных дорог в зоне распространения многолетнемерзлых грунтов. Применение теории риска является актуальной задачей при разработке методов предупреждения деформаций земляного полотна в зоне распространения многолетнемерзлых грунтов.

Для разработки математической модели по оценке риска разрушения дорожных конструкций были проведены исследования на внутривоздушных автодорогах Бованенковского и Харасавэйского ГКМ Ямало-Ненецкого АО в 2006-2007 годах. Исследования проводились на следующих участках: автодорога Промбаза ГП-1 ÷ СГАТ; подъездная автодорога к кусту № 6900; автодорога Бованенковское ГКМ ÷ Харасавэйское ГКМ (участок автодороги Промбаза ГП-1 ÷ ПК105+94,62); подъездная дорога к карьере № 3;

подъездная дорога к карьере № 4; подъездные автодороги к кустам газовых скважин; автодорога Промбаза ГП-1÷ГП-1.

В результате обработки полученных данных, после сравнения теоретического и эмпирического распределения (рис. 1), были сделаны выводы, что при выведении формул теории риска для высот насыпей на участках, подверженных деформациям в зоне вечной мерзлоты, необходимо использовать нормальный закон распределения.

Для выявления причин возникновения деформаций необходимо проанализировать условия, в которых работает конструкция автомобильной дороги. Для этой цели на исследуемых участках проводилось установление геотехнических условий района расположения автодорог и водно-физических свойств грунтов земляного полотна.

В результате проделанных исследований можно сделать вывод о том, что уплотнение (вторичная консолидация) грунтов насыпного слоя только под действием бытовой нагрузки без приложения к ним динамической нагрузки от движущихся транспортных средств крайне незначительная или вообще не происходит вне зависимости от возраста насыпи. Плотность скелета грунта сохраняется на уровне 1,45-1,6 г/см³ (соответствующем окончанию стадии фильтрационной консолидации), что соответствует коэффициентам уплотнения грунта 0,89-1,0.

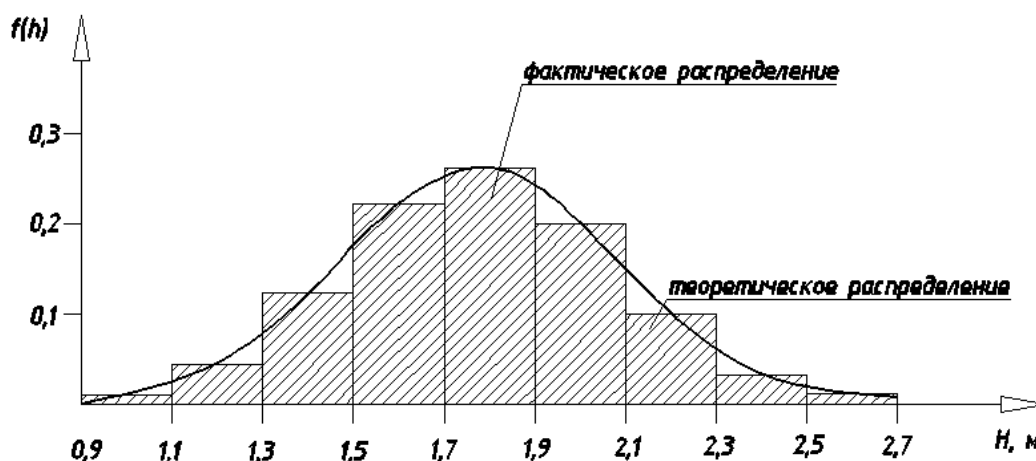


Рис. 1. Пример сравнения гистограммы распределения высот насыпи с плотностью нормального распределения при $H_{cp} = 1,775$ м и $\sigma_H = 0,299$ м.

Уплотнение грунтов тела насыпи происходит в пределах участков автодорог, находящихся в эксплуатации длительное время (в том числе, что особенно важно – в теплый период). Уплотнение это в значительной степени неоднородно. Наблюдается формирование ядра уплотнения в пределах рабочей части полотна при слабом уплотнении обочин. Наиболее высокие плотности скелета насыпного грунта до 1,85 г/см³ зафиксированы в центре рабочей части полотна в верхнем горизонте разреза. Это соответствует коэффициенту

уплотнения 1,14. С глубиной степень уплотнения грунта уменьшается. Верхняя часть разреза насыпей автодорог подвержена осушению, в том числе на участках периодического и постоянного подтопления. Более интенсивно осушаются грунты, слагающие обочины, медленнее осушается рабочая часть полотна. В нижней части сезонно-талого слоя при этом формируется зона с повышенной влажностью грунта, близкой к состоянию полного влагонасыщения, формирование которой обусловлено наличием водоупора, в качестве которого выступает кровля мерзлых грунтов. Площадные отсыпки также подвержены осушению в краевых частях и на участках с хорошей планировкой (плоско-выпуклым характером поверхности). На участках локальных понижений, низких, плоско-вогнутых поверхностях насыпей отмечается увеличение влажности грунтов по сравнению с моментом окончания отсыпки.

По результатам эксперимента был разработан математический аппарат теории риска.

В общем случае формулировка вероятности разрушения выше допустимого уровня может базироваться на понятиях теории риска и звучать следующим образом.

Риск или вероятность разрушения земляного полотна в результате промерзания и оттаивания деятельного слоя представляет собой отношение площади участков покрытия автомобильной дороги, подверженных разрушению, к общей площади покрытия дороги.

Значение риска разрушения земляного полотна в зависимости от фактической высоты насыпи можно установить по зависимости (1).

$$r = 0,5 - \Phi \left(\frac{H - H_{кр}}{\sqrt{\sigma_H^2 + \sigma_{H_{кр}}^2}} \right) \quad (1)$$

где H – фактическая высота насыпи, м; σ_H – среднеквадратическое отклонение параметра H , м; $H_{кр}$ – предельное значение высоты насыпи, при которой вероятность разрушения дорожной конструкции составляет 50%, м; $\sigma_{H_{кр}}$ – среднеквадратическое отклонение параметра $H_{кр}$, м.

Значения параметров H и σ_H могут быть определены опытным путем.

Параметры $H_{кр}$ и $\sigma_{H_{кр}}$ устанавливаются по математическим моделям теории риска [1] в зависимости от требуемой высоты насыпи H_{mp} (устанавливается согласно ВСН 84-89 [2]) и значения коэффициента вариации высоты насыпи:

- по формуле (2) $H_{кр}$ определяется при $C_V \neq 0,2$:

$$H_{кр} = \frac{\sqrt{H_{mp}^2 + [25(C_V^{H_{кр}})^2 - 1](H_{mp}^2 - 25\sigma_{H_{mp}}^2)} - H_{mp}}{25(C_V^{H_{кр}})^2 - 1}, \quad (2)$$

- при $C_V = 0,2$ значение предельной высоты насыпи, при которой вероятность разрушения дорожной конструкции составляет 50%, устанавливается по формуле (3):

$$H_{кр} = \frac{H_{мп}^2 - 25\sigma_{Hмп}^2}{2H_{мп}}, \quad (3)$$

где C_V – коэффициент вариации:

$$C_V = \frac{\sigma_H}{H}, \quad (4)$$

$\sigma_{H_{мп}}$ – среднее квадратическое отклонение требуемой высоты насыпи, определяемое по формуле (5):

$$\sigma_{H_{мп}} = 0,05 \cdot H_{мп}. \quad (5)$$

Параметр $\sigma_{H_{кр}}$ определяется из выражения (6):

$$\sigma_{H_{кр}} = C_V \cdot H_{кр}. \quad (6)$$

Первая Северная подзона является самой неблагоприятной для работы земляного полотна. Для этой подзоны реализуется принцип проектирования и строительства, при котором не допускается оттаивания грунтов в основании насыпи.

В общем случае формулировка вероятности разрушения земляного полотна в результате оттаивания основания насыпи может базироваться на понятиях теории риска и звучать следующим образом.

Риск или вероятность разрушения земляного полотна в результате оттаивания грунта в основании земляного полотна представляет собой отношение температуры грунта в основании насыпи, при которой происходит разрушение конструкции, к температуре, которая выше заморзания грунта.

Значение риска разрушения земляного полотна в зависимости от температуры грунта основания насыпи можно установить по зависимости (7).

$$r = 0,5 - \Phi \left(\frac{\Theta_{зам(50)} - t_{осн}^{нас}}{\sqrt{\sigma_{\Theta}^2 + \sigma_{t_{осн}}^2}} \right), \quad (7)$$

где $t_{осн}^{нас}$ – температура грунта в основании насыпи, °С; $\sigma_{t_{осн}}$ – среднеквадратическое отклонение параметра $t_{осн}^{нас}$, °С; (эти два параметра устанавливаются экспериментально); $\Theta_{зам(50)}$ – температура грунта земляного полотна, при которой вероятность оттаивания

основания и разрушения земляного полотна составляет 50%, °C; σ_{Θ} – среднее квадратическое отклонение параметра $\Theta_{зам(50)}$, °C.

Параметры $\Theta_{зам(50)}$ и σ_{Θ} можно установить по математическим моделям теории риска [1] в зависимости от температуры начала замерзания грунта ($\Theta_{зн}$) и значения коэффициента вариации (C_V) величины температуры (Значение $\Theta_{зн}$ устанавливается по СНиП 2.02.04-88 [3], C_V устанавливается по формуле (10)).

- по формуле (8) $\Theta_{зам(50)}$ определяется при $C_V \neq 0,2$.

$$\Theta_{зам(50)} = 2\Theta_{зн} - \frac{\sqrt{\Theta_{зн}^2 + [25C_V^2 - 1](\Theta_{зн}^2 - 25\sigma_{зн}^2)} - \Theta_{зн}}{25C_V^2 - 1}, \quad (8)$$

- при $C_V = 0,2$ значение температуры грунта земляного полотна, при которой вероятность оттаивания основания и разрушения земляного полотна составляет 50%, устанавливается по формуле (9).

$$\Theta_{зам(50)} = 2\Theta_{зн} - \frac{\Theta_{зн}^2 - 25\sigma_{зн}^2}{2\Theta_{зн}}, \quad (9)$$

$$C_V = \frac{\sigma_{тосн}}{t_{нас}^{тосн}}, \quad (10)$$

где $\sigma_{зн}$ – среднее квадратическое отклонение величины $\Theta_{зн}$, определяемое по формуле (11).

$$\sigma_{зн} = 0,05 \cdot \Theta_{зн}. \quad (11)$$

Параметр σ_{Θ} определяется из выражения (12).

$$\sigma_{\Theta} = C_V \cdot \Theta_{зам(50)}. \quad (12)$$

Разработанные методики позволяют обеспечить работу дорожной конструкции в районах распространения многолетнемерзлых грунтов с заданным уровнем надежности.

Список литературы

1. ВСН 84-89. Инструкция по изысканию, проектированию и строительству автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты. – М. : Союздорнии, 1990. – С. 272.
2. Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений : учеб. пособие. – М. : Наука, 1969. – С. 512.
3. СНиП 2.02.04-88. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах / Госстрой СССР. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1990. – С. 58.

4. Столяров В.В. Проектирование автомобильных дорог с учетом теории риска : в 2 ч. – Саратов : СГТУ, 1994. – С. 184-232.
5. ОДН 218.046-01. Проектирование дорожных одежд нежесткого типа. – М. : Транспорт, 2001. – С. 145.

Рецензенты

Овчинников Игорь Георгиевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Транспортное строительство» ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина», г. Саратов.

Попов Виктор Сергеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теплогазоснабжение, вентиляция, водообеспечение и прикладная гидрогазодинамика», ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина», г. Саратов.