

Alexandrova Natalia Pavlovna (Russian Federation, Omsk) – candidate of technical sciences, associate professor "Construction and maintenance of roads", The Siberian automobile and highway academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: aleksandrov00@mail.ru).

Semenova Tatyana Viktorovna (Russian Federation, Omsk) – candidate of technical sciences,

associate professor "Construction and maintenance of roads", The Siberian automobile and highway academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: semenova_tv@sibadi.org)

Strigun Ksenia Yurevna (Russian Federation, Omsk) – master's student of The Siberian automobile and highway academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5).

УДК 625.7

ОБОСНОВАНИЕ ГРУППОВЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА НА УЧАСТКАХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В УСЛОВИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ

Т.В. Боброва, А.А. Дубенков
ФГБОУ ВПО «СибАДИ», Россия, г. Омск.

Аннотация. Предложен метод решения задачи о закреплении групповых конструктивных решений земляного полотна за участками с повторяющимися по трассе инженерно-геологическими условиями при проектировании автомобильных дорог на многолетнемерзлых основаниях. Разработан алгоритм выбора эффективных вариантов на основе комбинаторного метода по критерию минимизации суммарных дисконтированных затрат на строительство, капитальный ремонт, ремонт и содержание дорожной конструкции в течение жизненного цикла. Результатом решения задачи является структурирование объекта как основы для организационно-технологического проектирования.

Ключевые слова: земляное полотно, групповые конструктивные решения, линейные дорожные комплексы, многолетнемерзлые основания, затраты в жизненном цикле.

Введение

В соответствии с актуализированной редакцией СП 32-104-98 [1] при проектировании земляного полотна железных дорог применяют три различных подхода: типовые конструктивные решения для участков с простыми инженерно-геологическими и топографическими условиями в соответствии с альбомом типовых решений; индивидуальные проекты, разрабатываемые для отдельных участков со сложными инженерно-геологическими условиями, когда требуется проверка устойчивости и прочности земляного полотна и его основания; групповые поперечные профили, разрабатываемые для применения на ряде участков со сложными и многократно повторяющимися на рассматриваемой линии инженерно-геологическими условиями. При этом земляное полотно с уточненными на основании выполненных расчетов параметрами (по сравнению с типовыми поперечными профилями) не требует индивидуального обоснования для каждого объекта.

Аналогичные подходы целесообразно применить при проектировании земляного полотна автомобильных дорог. Решающую роль при назначении конструктивных параметров земляного полотна автомобильной дороги играет полнота и достоверность информации, полученной в процессе инженерных изысканий автомобильной дороги. На основе исследований, представленных в работах [2,3] разработана методика, позволяющая с достаточной степенью достоверности выделить однородные участки с характерными природными условиями, что чрезвычайно важно при проектировании дорожных конструкций, организации строительства, а в дальнейшем при мониторинге состояния и эксплуатации дорог в условиях криолитозоны.

Реализация данной методики позволяет последовательно по этапам осуществлять декомпозицию объекта (трассы дороги) на природно-климатические зоны, участки линейных дорожных комплексов (ЛДК) в составе зон, участки с особо сложными

инженерно-геологическими особенностями местности, требующими индивидуальных решений при проектировании земляного полотна. Линейный дорожный комплекс представляет собой совокупность территориально рассредоточенных участков по длине дороги с повторяющимися инженерно-геологическими и гидрологическими условиями, относительно однородными по совокупности показателей [4].

Постановка задачи

Выбор групповых конструктивных решений земляного полотна для участков ЛДК представляет собой достаточно сложный

процесс, который зависит не только от природной среды, включая геокриологические особенности основания земляного полотна, но и от других факторов, которые при определенных обстоятельствах могут иметь решающее значение. К таким факторам относятся расположение карьеров, физико-механические свойства грунтов в карьерах, характеристики и доступность используемых в качестве прослоек специальных материалов, затраты на транспортирование и т.д. (рис. 1).



Рис. 1. Факторы для выбора варианта конструктивного решения на ЛДК

Схема на рисунке 2 отображает альтернативные варианты привязки конструктивных решений к участкам ЛДК в зависимости от формирования затрат на строительство земляного полотна на этих участках. Формирование массива возможных конструктивных решений осуществляется на основе «базы данных» [5], источников научно-технической информации, данных о реализованных конструкциях на объектах аналогах. При выборе варианта конструкции анализируются особенности природной среды и геокриологической ситуации на участках ЛДК. Расчеты на термическую устойчивость выполняются с использованием программ для ЭВМ с учетом усредненных условий на ЛДК или отдельно для каждого участка на среднюю отметку дорожной конструкции на участке по всем вариантам массива конструкций К. Если высота насыпи в пределах j-го участка ЛДК резко отличается от средней отметки на ЛДК, принимают решение о выделении этой зоны в отдельный

комплекс для проектирования конструкции с учетом региональных условий.

Для закрепления варианта конструктивного решения необходимо, прежде всего оценить затраты на реализацию каждого варианта на участках ЛДК. Критерием оценки приняты суммарные приведенные затраты на строительство и эксплуатацию (ремонт и содержание) земляного полотна в жизненном цикле [6].

При оценке эксплуатационных затрат для разных вариантов нами приняты нормативные затраты по методикам Росавтодора [7]. Предполагается, что сравнение вариантов выполняется для тех конструкций, которые по расчету обеспечивают прочность конструкции и устойчивость основания земляного полотна в условиях многолетенмерзлых грунтов (ММГ). Вид исходной матрицы с вариантами закрепления конструкций за участками ЛДК представлен на рисунке 3.

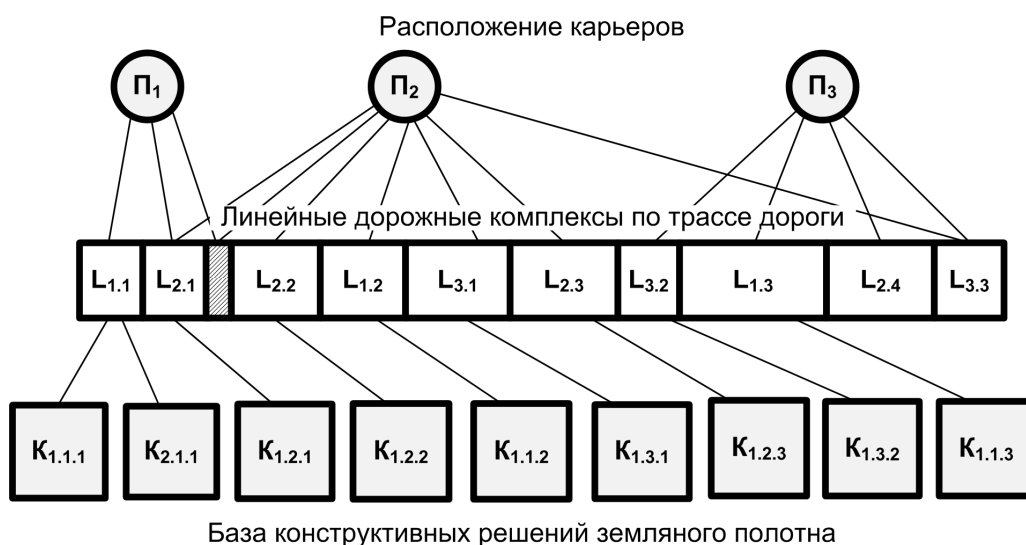


Рис. 2. Схема привязки конструктивных решений к участкам ЛДК. Обозначения: Π_r – номер и расположение грунтового карьера (поставщика), $r=1 \dots R$; L_{ij} – протяженность j -го участка на i -м ЛДК; K_{pij} – p -й вариант конструктивного решения на j -м участке i -го ЛДК. Заштрихован участок индивидуального проектирования

Вариант конструкции	Участки для линейных работ по i -му ЛДК / Протяженность, км				Суммарные затраты по варианту
	1.1/ $L_{1,1}$	1.2/ $L_{1,2}$	1.3/ $L_{1,3}$	1/ $L_{1,4}$	
1	k_{111} $C_{111}^{уд}$ R_{111} Z_{111} $C_{111}^{сп}$ B_{111}	k_{112} $C_{112}^{уд}$ R_{112} Z_{112} $C_{112}^{сп}$ B_{112}	k_{113} $C_{113}^{уд}$ R_{113} Z_{113} $C_{113}^{сп}$ B_{113}	k_{114} $C_{114}^{уд}$ R_{114} Z_{114} $C_{114}^{сп}$ B_{114}	V_{11}
2	k_{211} $C_{211}^{уд}$ R_{211} Z_{211} $C_{211}^{сп}$ B_{211}	k_{212} $C_{212}^{уд}$ R_{212} Z_{212} $C_{212}^{сп}$ B_{212}	k_{213} $C_{213}^{уд}$ R_{213} Z_{213} $C_{213}^{сп}$ B_{213}	k_{214} $C_{214}^{уд}$ R_{214} Z_{214} $C_{214}^{сп}$ B_{214}	V_{21}
3	k_{311} $C_{311}^{уд}$ R_{311} Z_{311} $C_{311}^{сп}$ B_{311}	k_{312} $C_{312}^{уд}$ R_{312} Z_{312} $C_{312}^{сп}$ B_{312}	k_{313} $C_{313}^{уд}$ R_{313} Z_{313} $C_{313}^{сп}$ B_{313}	k_{314} $C_{314}^{уд}$ R_{314} Z_{314} $C_{314}^{сп}$ B_{314}	V_{31}

Рис. 3. Матрица для решения задачи закрепления конструкций за участками. Принятые обозначения: i – индекс ЛДК, $i = \overline{1, I}$; j – индекс участка на i -м ЛДК, $j = \overline{1, J}$; L_{ij} – протяженность j -го участка на i -м ЛДК, км; $k_{pij} \in K$ – индекс конструктивного решения p -го типа ($p = \overline{1, P}$) на j -м участке i -го ЛДК, принадлежащего множеству K ; $C_{pij}^{уд}$ – удельная стоимость строительства 1км p -ой конструкции на j -м участке i -го ЛДК, тыс. руб; $C_{pij}^{сп}$ – затраты, сопутствующие строительству 1км p -го варианта конструкции, но не учтенные в удельных затратах, связанных с линейными объемами тыс. руб. B_{pij} – эксплуатационные затраты на 1км p -ой конструкции на j -м участке i -го ЛДК в t -м году, тыс.руб; Z_{pij} – дисконтированные затраты, включая строительство и эксплуатацию за срок службы по нормативу, тыс. руб

Метод решения. Задача решается с применением комбинаторных методов, принятых в теории и практике функционально-стоимостного анализа (ФСА). В зарубежной и отечественной литературе функционально-стоимостной анализ рассматривается как метод комплексного системного исследования функций объекта, направленный на оптимизацию соотношения между качеством, полезностью функций и затратами на выполнение этих функций на всех этапах жизненного цикла объекта [8]. Этот метод известен в мире как инструмент активной технико-экономической диагностики и оптимизации проектных решений и находил применение при решении ряда дорожных задач [9].

При подборе конструкций желательно сохранять однотипность конструкций на разных участках одного ЛДК. При сравнении вариантов конструкций земляного полотна если сохраняется постоянной конструкция дорожной одежды, то при расчете дисконтированных затрат ее можно не учитывать. При сравнении вариантов с разной конструкцией дорожной одежды на ЛДК, в автоматизированном режиме выполняется проверка конструкции на тепловую устойчивость, сравниваются варианты земляного полотна с разной конструкцией дорожной одежды.

Задача формулируется в следующей постановке. За каждым j -м участком i -го ЛДК протяженностью L_{ij} (см. рисунок 3) закрепляется последовательно одно из конструктивных решений k_{pij} (индекс конструкции - левый верхний угол ячейки). В правом верхнем углу проставляются удельные затраты на строительство 1км j -го участка по конструктивному решению p -го варианта C_{pij}^{∂} .

В левом нижнем углу ячейки проставляются затраты, сопутствующие строительству p -го варианта конструкции C_{pij}^{cp} . В правом нижнем углу ячейки проставляют эксплуатационные затраты B_{pijt} ; в центре ячейки - приведенные дисконтированные затраты на 1км конструкции за срок службы. Итогом каждой строки являются суммарные дисконтированные затраты по i -му ЛДК на реализацию p -го конструктивного варианта на всех участках (V_{pi}).

Целевая функция задачи:

$$F_i = \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J ((Z_{pij} \cdot Rk_{pij} \cdot L_j)) \rightarrow \min \quad (1)$$

Ограничения задачи и расчетные формулы:

1. выполнение условий обеспечения прочности, устойчивости по сдвигу в грунтовом массиве, и тепловой устойчивости основания земляного полотна по всем конструктивным решениям. Т.е для всех $k_{pij} \in K$ обеспечена прочность, устойчивость на сдвиг и тепловая устойчивость при расчете по ВСН 84-89 [10];

2. $Rk_{pj} = 0$, если решение о закреплении p -го типа конструкции на j -м участке не принято;

3. $Rk_{pj} = 1$, если решение о закреплении p -го типа конструкции на j -м участке принято;

4. $\sum_{p=1}^P Rk_{pij} = 1$ - за каждым участком закрепляется только один p -й тип конструкции, не может быть участка без одной закрепленной конструкции любого типа (итог конструктивных решений по каждому столбцу матрицы = 1);

5. $V_{pi} = \sum_{j=1}^J Z_{pij} \cdot L_{ij}$ - затраты по i -ой строке с p -ой конструкцией на всех участках ЛДК, тыс.руб.;

$$Z_{pij} = \sum_{t=0}^T (C_{pijt}^{уд} + C_{pijt}^{cp} + B_{pijt}) \cdot \alpha_t, \quad (2)$$

где t - шаг дисконтирования (1год); T - горизонт расчета, годы до расчетного срока службы, α_t - коэффициент дисконтирования. Период приведения затрат - начало строительства.

6. Удельные затраты на строительство j -го участка по p -му варианту конструкции рассчитывают по формуле:

$$C_{pij}^{уд} = \sum_{s=1}^S (Q_{ijps} (\underline{C}_{ps}^{пост} + \underline{C}_{ijps}^{достав})) + C_{ijps}^{маш} + C_{ijps}^{доп}, \quad (3)$$

где Q_{ijps} - объем s -го слоя p -го типа конструкции на j -м участке i -го ЛДК, ед. изм./км; $\underline{C}_{ps}^{пост}$ - цена поставщика материала (грунта) s -го слоя p -ой конструкции, тыс.руб/ед.изм.; $\underline{C}_{ijps}^{достав}$ - цена доставки автомобильным транспортом от поставщика (карьера) до места укладки ед. изм. материала s -го слоя p -ой конструкции на среднее расстояние до j -го участка i -го ЛДК, тыс.руб.; $C_{ijps}^{маш}$ - сметная стоимость эксплуатации машин специализированного отряда при работе на s -м слое конструкции, тыс.руб./км; $C_{ijps}^{доп}$ - дополнительные неучтенные ранее затраты, тыс.руб./км;

Расчет объемов работ (количество слоев конструкции) принимается в зависимости от средней высоты насыпи на j -м участке i -го ЛДК.

Целевая функция задачи формулируется следующим образом: закрепить конструктивные решения из массива K по одному за каждым j -м участком i -го ЛДК, чтобы минимизировать дисконтированные затраты на строительство всех участков данного ЛДК. Учитывая однородность природных условий на участках ЛДК, массив принятых конструктивных решений желательно ограничить до 3-х в зависимости от общей длины дороги. При незначительных

отклонениях конструкций по стоимости целесообразно сохранять однотипность конструкций на участках ЛДК для более эффективной загрузки специализированных отрядов. При реализации алгоритма для следующих ЛДК, рекомендуется включать в массив исходных данных ту конструкцию, которая получила преимущество на предыдущем ЛДК. Алгоритм решения задачи представлен на рисунке 4.



Рис. 4. Алгоритм привязки конструктивных решений к j -м участкам i -го ЛДК

Демонстрационный пример

Демонстрационный пример преобразования исходной матрицы после реализации алгоритма представлен на рисунке 5. Верификация алгоритма показала, что итог расчета с полным перебором всех вариантов (число сочетаний из n по m , $C_n^m = n! / (m!(n-m)!)$) идентичен расчету по сокращенной схеме и дает существенную экономию времени. Расчеты выполняются в программе MS Excel.

После того как за каждым участком всех ЛДК на дороге закреплены эффективные конструктивные решения, можно считать, что объект структурирован на однотипные проектно-технологические модули (ПТМ) – участки с однотипными конструкциями.

Выбор конструкций земляного полотна для участков ЛДК продемонстрирован на примере участка автомобильно дороги 3

технической категории, на многолетнемерзлых грунтах, в Саха-Якутии (I ДКЗ), в таблице 1 отображена взаимосвязь компонентов проектирования земляного полотна на многолетнемерзлых грунтах: ЛДК – участок ЛДК – тип конструктивного решения земляного полотна на основе индивидуального или группового решения.

По результатам линейного дорожного районирования на участке протяженностью 11,6 км было выделено 5 линейных дорожных комплексов с разными природными условиями для группового проектирования конструкций. Два типа конструкций приняты для участков индивидуального проектирования: 1 тип - глубокая выемка, 2 тип - насыпь на заболоченном участке (мари). Типы конструкций для группового проектирования назначены с сохранением мерзлоты в основании насыпи (первый

принцип проектирования). Тип конструкции 3 – насыпь высотой 2,5 – 3,0м из щебенистых грунтов местных карьеров с двухсторонними бермами; тип 4 – насыпь 3,5 - 4,0м из несцементированных обломочных грунтов с торфяной прослойкой в нижней части насыпи толщиной 0,3 м. Тип конструкции 5 запроектирован на основании изобретения ОАО «ИркутскгипродорНИИ» (патент RU 2256030 С2, Е 02 D 17/18 РФ [11]). В тело земляного полотна из крупнообломочного грунта включены прослойки из скального грунта, контактирующие с воздухом в периферийных зонах. Периферийные зоны в откосных частях снизу выполнены водонепроницаемыми. Высота водонепроницаемых зон определяется

расчетом. Водонепроницаемость снизу откосных частей периферийных зон в летний период препятствует фильтрации теплых поверхностных вод (верховодки) в основание сооружения, что особенно опасно на высокотемпературной (неустойчивой) вечной мерзлоте.

Затраты на строительство рассчитывались с учетом расположения карьеров, физико-механических свойств грунтов в карьерах, природных климатических и геокриологических факторов на участках ЛДК. Конструкция дорожной одежды на всем протяжении дороги одинаковая и учитывалась при расчете насыпи на тепловую устойчивость.

Вариант конструкции	Участки для линейных работ по i-му ЛДК/Протяженность, км				Суммарные затраты по варианту
	1.1/L _{1.1}	1.2/L _{1.2}	1.3/L _{1.3}	1.4/L _{1.4}	
1	k_{111} $C_{111}^{уд}$ R_{111} $З_{111}$ $C_{111}^{сп}$ B_{111}	k_{112} $C_{112}^{уд}$ R_{112} $З_{112}$ $C_{112}^{сп}$ B_{112}	k_{113} $C_{113}^{уд}$ $C_{113}^{сп}$ B_{113}	k_{114} $C_{114}^{уд}$ $C_{114}^{сп}$ B_{114}	V_{11}^*
2	k_{211} $C_{211}^{уд}$ $C_{211}^{сп}$ B_{211}	k_{212} $C_{212}^{уд}$ $C_{212}^{сп}$ B_{212}	k_{213} $C_{213}^{уд}$ R_{213} $З_{213}$ $C_{213}^{сп}$ B_{213}	k_{214} $C_{214}^{уд}$ R_{214} $З_{214}$ $C_{214}^{сп}$ B_{214}	$V_{21}^*(б)$
3	k_{311} $C_{311}^{уд}$ $C_{311}^{сп}$ B_{311}	k_{312} $C_{312}^{уд}$ $C_{312}^{сп}$ B_{312}	k_{313} $C_{313}^{уд}$ $C_{313}^{сп}$ B_{313}	k_{314} $C_{314}^{уд}$ $C_{314}^{сп}$ B_{314}	V_{31}

Рис. 5. Пример изменения исходной матрицы после расчета по программе

Таблица 1 – Пример формирования групповых конструктивных решений земляного полотна в условиях ММГ

№ участка(j) на i-м ЛДК, обозначение i, j	Границы участка, км: начало-конец	Протяженность участка l_{ij} , км	Тип конструктивного решения, k
1.1	0 – 2.1	2,1	3
2.1	2.1 – 3.0	0,9	4
3.1	3.0 – 3.5	0,5	1
1.2	3.5 – 5.8	2,3	3
2.2	5.8 – 7.2	1,4	4
1.3	7.2 – 8.3	1,1	3
4.1	8.3 – 9.0	0,7	2
5.1	9.0 – 11.6	2,6	5

Заключение

После того как за каждым участком всех ЛДК на дороге закреплены эффективные конструктивные решения, можно считать, что объект структурирован для принятия в дальнейшем организационно-технологических решений. Однотипные конструкции могут присутствовать на разных ЛДК, но в каждом случае устойчивость земляного полотна обеспечивается расчетом высоты насыпи и различными геометрическими размерами и характеристиками свойств материалов конструктивных элементов. Разработанный алгоритм позволяет целенаправленно управлять поиском рациональных решений и сократить количество итераций при простом переборе вариантов в 8-10 раз и более в зависимости от протяженности дороги и количества участков на ЛДК.

В итоге закрепления конструктивных решений за участками ЛДК формируется структура проектно-технологических модулей земляного полотна, которая служит основой для разработки вариантов организационного проектирования: составов специализированных отрядов, их количества и схем поточной организации работ.

Библиографический список

1. СП 32-104-98 (актуал. 01.10.2008) Проектирование земляного полотна железных дорог колеи 1520мм // Утв. ОАО ЦНИИС, 27.12.1996. – 95с.
2. Боброва, Т.В. Математическая модель линейного районирования трассы дороги в зоне многолетнемерзлых грунтов/ Т.В.Боброва, А.А. Дубенков // Вестник ТГАСУ. – 2013. – Выпуск 2. – С.362-370.
3. Bobrova T.V., Dubenkov A.A. Mathematical model of linear road zoning in the permafrost. VESTNIK of Tomsk state University of Architecture and Building/ English version appendix to NN 1-4, 2013 / scientific and Technical Journal? Tomsk-2013 – 141p, p.134-141.
4. Дубенков, А.А. Комплексная оценка инженерно-геологических и мерзлотных условий при районировании трассы дороги / А.А. Дубенков // Вестник СибАДИ. – 2013. – № 4(32) – С 46-52.
5. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620658 «База конструктивных решений земляного полотна на многолетнемерзлых основаниях «Permafrost Construction Base» / А.А. Дубенков, Е.А. Бедрин, Т.В. Боброва; Опубл.08.05.2014; Бюл. Программы для ЭВМ. Базы данных. №6(92)2014.
6. Руководство по оценке экономической эффективности использования в дорожном хозяйстве инноваций и достижений научно-технического прогресса. ОДМД / Министерство транспорта РФ, Росавтодор. – М., 2002. – 71 с.

7. Приказ Минтранса РФ от 01.11.2007г. №157 «О реализации постановления Правительства Российской Федерации от 23 августа 2007 г. N 539 «О нормативах денежных затрат на содержание и ремонт автомобильных дорог федерального значения и правилах их расчета».

8. Грамп, Е.А. Функционально-стоимостной анализ: сущность, теоретические основы, опыт применения за рубежом / Е.А. Грамп. – М.: Информэлектро, 1980.

9. Дубенков, А.А. Вариантное проектирование дорожных конструкций с использованием функционально-стоимостного анализа / А.А. Дубенков // Материалы VII Международной науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, 14-16 мая 2013г., Волгоград / М-во образования и науки Рос.Федерации, Волгогр.гос.архит.-строит.ун-т. – Волгоград: ВолГАСУ, 2013 – 399с., С. 311-315.

10. Изыскания, проектирование и строительство автомобильных дорог в условиях вечной мерзлоты: ВСН 84-89 / Минтрансстрой: Введ. 30.03.1989. Взамен ВСН 84-75. – М.: Союздорнии, 1990. – 271 с.

11. Земляное полотно на многолетнемерзлых грунтах: патент RU 2256030 С2, Е 02 D 17/18 РФ/ Поленова Л.А., Тугарин А.М., Русаков В.С., Захаренко А.В. Лонский В.Н. // <http://www.freepatent.ru/> URL: <http://www.freepatent.ru/images/patents/212/2256030/patent-2256030.pdf> (дата обращения: 10.03.2013).

REASONING OF GROUP CONSTRUCTIVE SOLUTIONS OF A ROADBED ON AUTOMOBILE ROADS' AREAS IN THE CONDITIONS OF CRYOLITHIC ZONE

T.V. Bobrova, A.A. Dubenkov

Abstract. The authors propose a method for solving the problem of belonging group constructive solutions of a roadbed to areas with repetitive, along a route, engineering and geological conditions in design of roads on permafrost grounds. There is developed an algorithm of selecting effective options based on combinatorial method on criterion of minimizing total discounted costs for construction, major repair, repair and maintenance of a road construction during life cycle. The result of problem solution is structuring of an object, which serves as the basis for the organizational and technological design.

Keywords: roadbed, group constructive solutions, linear road complexes, permafrost bases, costs in life cycle.

References

1. SP 32-104-98 (ACTUAL. 01.10.2008) *Design subgrade 1520mm gauge railways* // Approved. Of CNIIS, 27.12.1996. 95 p.
2. Bobrov T.V., Dubenkov A.A. Matematicheskaja model' linejnogo rajonirovanija trassy dorogi v zone mnogoletnemerzlyh gruntov [Mathematical model of

linear track zoning in the area of permafrost]. *Vestnik TGASU*, Tomsk, Trace 2013 Issue 2, pp.362-370.

3. Bobrova T.V., Dubenkov A.A. Mathematical model of linear road zoning in the permafrost. VESTNIK of Tomsk state University of Architecture and Building / English version appendix to NN 1-4, 2013 / scientific and Technical Journal Tomsk-2013 - 141p, p.134-141.

4. Dubenko A.A. Kompleksnaja ocenka inzhenerno-geologicheskikh i merzlotnykh uslovij pri rajonirovanii trassy dorogi [Comprehensive assessment of engineering, geological and permafrost conditions at track zoning] *Vestnik SibADI*, 2013, no 4 (32) 2013, pp. 46-52.

5. The certificate of state registration number 2014620658 database "Database design solutions subgrade on permafrost grounds«Permafrost Construction Base». A.A. Dubenkov, E.A. Bedrin, T.V. Bobrova. Opubl.08.05.2014, Bul. Computer programs. Database. no 6 (92) in 2014.

6. Guidelines for the evaluation of economic efficiency in the road sector innovation and scientific and technological progress. ODMD / Ministry of Transport, Rosavtodor. Moscow, 2002. 71 p.

7. Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation of 01.11.2007. №157 «On the implementation of resolutions of the Government of the Russian Federation dated August 23, 2007 N 539" On rates of cash costs for the maintenance and repair of federal highways and the rules for their calculation.

8. Grumpy E.A. Funkcional'no-stoimostnoj analiz: sushhnost', teoreticheskie osnovy, opyt primeneniya za rubezhom [Functional and value analysis: nature, theoretical foundations, foreign experience]. Moscow, Informelectro 1980.

9. Dubenko A.A. Variantnoe proektirovanie dorozhnykh konstrukcij s ispol'zovaniem funkcional'no-stoimostnogo analiza [Variant design of road structures using functional-cost analysis]. *Materialy VII Mezhdunarodnoj nauch.-tehn. konf. studentov,*

aspirantov i molodyh uchenyh, 14-16 maja 2013, Volgograd / M of Education and Science Ros.Federatsii, Volgogr. gos. arhit.-stroit.un-T.-Volgograd: Volggasu; 2013, pp 311-315.

10. The survey, design and construction of roads in permafrost: VSN 84-89 / Mintransstroy: Type. 30.03. 1989. Instead VSN 84-75. Moscow, Soyuzdornii, 1990. 271 p.

11. Subgrade on permafrost soils: Patent RU 2256030 C2, E 02 D 17/18 RF / Polenova LA Tugarin AM, Rusakov VS, AV Zakharenko Lonskaya. Available at: <http://www.freepatent.ru/images/patents/212/2256030/patent-2256030.pdf> (accessed: 03.10.2013).

Боброва Татьяна Викторовна (Россия, г. Омск) – доктор технических наук, профессор кафедры «Экономика и проектное управление в транспортном строительстве» ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5 e-mail: bobrova.tv@gmail.com).

Дубенков Андрей Алексеевич (Россия, г. Омск) – инженер кафедры «Экономика и проектное управление в транспортном строительстве» ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: hrnthrnt@gmail.com).

Bobrova Tatiana Viktorovna (Russian Federation) – doctor of technical sciences, professor of the department "Economics and project management in transport construction", The Siberian automobile and highway academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: bobrova.tv@gmail.com).

Dubenko Andrey Alekseevich (Russian Federation) – engineer of the department of "Economics and project management in transport construction", The Siberian automobile and highway academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail:hrnthrnt@gmail.com).

УДК 624.012.45.046

МОДЕЛИРОВАНИЕ АНКЕРОВКИ АРМАТУРЫ В БЕТОНЕ

Ю.В. Краснощёков

ФГБОУ ВПО «СибАДИ», Россия, г. Омск.

Аннотация. В статье приведены результаты компьютерного моделирования опытных образцов, предназначенных для испытаний на выдергивание арматуры периодического профиля из бетона. Анализируется напряженно-деформированное состояние конечных элементов конкретных моделей, определяются участки вероятного образования трещин при упругих деформациях материалов и выявляется характер разрушения бетона по различным теориям прочности. Особое внимание уделено выявлению условий опасного явления раскалывания бетона в зоне анкерования арматуры.

Ключевые слова: железобетон, анкерование арматуры, испытания, моделирование, теории прочности, раскалывание, срез.