

Совершенствование организационно-технологического проектирования линейных транспортных объектов на основе моделирования их пространственной декомпозиции

Т.В. Боброва^а, А.А. Дубенков^б, И.В.Тытарь^с

Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия, пр. Мира 5, Омск, Россия

^аbobrova.tv@gmail.com, ^бhrnthrnt@gmail.com, ^сi.tytar@mail.ru

Статья поступила 8.09.2016, принята 24.10.2016

Одной из труднорешаемых проблем автоматизации организационно-технологического проектирования транспортных объектов является сложность формализованного описания процессов взаимодействия элементов дорожной системы и постоянно меняющихся факторов внешней среды. Изменение природных условий на протяжении линейного объекта влечет за собой формирование новых конструктивных решений отдельных элементов и связанных с ними объемов работ и технологий. В статье представлены подходы к последовательной декомпозиции сложной системы транспортного объекта сначала на структурные модули, а затем — структурных модулей на проектно-технологические модули. Рассмотрены варианты формирования проектно-технологических модулей (ПТМ) для пространственно сосредоточенных элементов дороги (искусственные сооружения, обустройство) и линейных структурных модулей объекта (земляное полотно, дорожная одежда автомобильных дорог). Основанием для формирования ПТМ служит оценка меры близости конструктивных и технологических решений отдельных элементов. Особое внимание уделено многоуровневой декомпозиции земляного полотна автомобильных и железных дорог, выполняемой на основе районирования трассы дороги по условиям однородности природной среды. Степень однородности природных условий оценивается коэффициентом вариаций по показателям зональных, интразональных и региональных факторов, влияющих на конструктивное решение земляного полотна на ПТМ. Для решения данной задачи разработан алгоритм и создана программа с использованием методов геоинформатики и таксономического анализа. Пространственная декомпозиция линейного объекта служит основанием для принятия технологических и организационных решений на отдельных ПТМ. Для проектирования сводного графика организации строительства принята ранее разработанная с участием авторов организационно-технологическая модель и программа комплексного дорожного потока. Привязка к календарным срокам выполнена в программе MS Project Professional. Приведены данные по использованию предложенного метода в практике проектирования дорог с оценкой эффективности принимаемых решений.

Ключевые слова: линейный объект; организационное проектирование; линейное дорожное районирование; геоинформатика; декомпозиция структурных элементов дорог; проектно-технологический модуль.

Improvement of organizational and technological design of linear transport objects by modeling their spatial decomposition

T.V. Bobrova^a, A.A. Dubenkov^b, I.V. Tytar^c

Siberian State Automobile and Highway Academy; 5 Prospect Mira, Omsk, Russia

^abobrova.tv@gmail.com, ^bhrnthrnt@gmail.com, ^ci.tytar@mail.ru

Received 8.09.2016, accepted 24.10.2016

One of the intractable problems of automation of organizational and technological design of transport facilities is the complexity of the formalized description of processes of interaction between elements of traffic system and ever-changing environmental factors. Changing environmental conditions over the linear object entails new constructive solutions on particular elements and corresponding amounts of work and technology. The article presents the approaches to sequential decomposition of a complex system of transport object first structural modules, and then – decomposition of structural modules into project and process modules. Discussed are options of design-technological module (DTM) for spatial road elements (permanent structure, construction) and linear structural modules of the object (roadbed, road pavement). The basis for DTM is the estimation of proximity of the constructive and technological solutions of particular elements. Special attention is paid to multilevel decomposition of the road and railway subgrade which is based on zoning road routes in terms of the homogeneity of the natural environment. The degree of homogeneity of natural conditions is estimated by variation coefficient using indicators of zonal, intrazonal and regional factors affecting constructive design of DTM subgrade. To solve this problem the algorithm and program using methods of geoinformatics and taxonomic analysis are developed. Spatial decomposition of linear object is the basis for making technological and organizational solutions on a DTM. For the design of the master schedule of construction organization previously developed with the participation of the authors of organizational-technological model and a program of integrated traffic are developed. The reference to calendar is made with MS Project Professional. The data on the use of the proposed method in practice of designing roads with the assessment of the efficiency of decisions are given.

Key words: linear object; organizational design; linear road zoning; geoinformatics; decomposition of road structural elements; design and technology module.

Введение

В настоящее время многие задачи проектирования транспортных сооружений решаются в автоматизированном режиме: проектирование плана трассы и продольного профиля, расчет конструкций земляного полотна и дорожных одежд автомобильных дорог на прочность, устойчивость и многие другие [1].

В процессе автоматизации проектирования организационно-технологических решений разработчики сталкиваются с рядом проблем, затрудняющих адекватное представление системы сооружения линейно-протяженного объекта в различных природных условиях из-за сложности описания действующих в ней факторов. Как следствие, решения в составе проектов организации строительства (ПОС) зачастую принимаются на основе упрощенных подходов, что сказывается в дальнейшем при практической реализации проектных решений. Несмотря на ряд перспективных научных разработок, связанных с моделированием различных схем поточной организации линейного строительства [2–5], вопросы комплексного проектирования взаимосвязанных конструктивно-технологических и организационных решений на основе их вариантной проработки требуют совершенствования и дальнейшего развития.

Целью настоящего исследования является представление модели сложной организационно-технологической системы строительства транспортного объекта в виде совокупности более простых структурных элементов и их связей на основе методов таксономии и иерархической декомпозиции.

В СНиПе 12-01-2004* (СП 48.13330.2011) [6], дающем общие рекомендации по организации строительства, отмечается, что при строительстве линейных сооружений необходимо дополнительно учитывать специальные требования действующих нормативных документов применительно к транспортному строительству, особенно в сложных природных условиях. Эти требования предполагают разделение (декомпозицию) линейного сооружения на участки, в которых особенности проектирования элементов дорожных конструкций, технологии и организации строительных работ будут по-разному проявляться в зависимости от природно-климатических условий по длине дороги и по периодам строительства.

Общие подходы к пространственной декомпозиции строительных объектов. Структурирование объектов в промышленном и гражданском строительстве связано с различными формами разделения сооружения или его частей на отдельные, сравнительно обособленные звенья (модули), например, нулевой цикл, фундаменты, каркас здания, перекрытия и т. д.

В.И. Воропаевым и др. [7] была разработана методика декомпозиции объектов на проектно-технологические модули. Предложенная ими терминология достаточно широко применяется в настоящее время в организационно-технологическом проектировании при строительстве объектов разного назначения.

Деление может выполняться в зависимости от технологий, общности используемых ресурсов и других факторов. Под проектно-технологическим модулем в строительстве понимают конструктивный элемент или укрупненный вид работ, выделенный в объемно-пространственной части здания (сооружения), завершаемый одним исполнителем или группой и открывающий фронт работ другому исполнителю или группе исполнителей [8–10].

Модульный принцип в дорожном строительстве осуществлялся ранее в форме разделения на этапы: вертикальное — по отдельным участкам дороги или горизонтальное — по слоям дорожной конструкции и сооружениям на дороге. В то же время, этапное деление в большей степени было связано с финансовыми вопросами взаимодействия заказчика и подрядчика, сдачей отдельных комплексов работ, чем с организационно-технологическим проектированием.

Особенности декомпозиции линейно-протяженных объектов. Если сохранять общие подходы к многоуровневой декомпозиции объектов, принятые в промышленно-гражданском строительстве, то на первом уровне декомпозиции линейного дорожного объекта предусматривается разделение дорожной конструкции на укрупненные элементы (структурные модули): водоотводные и другие искусственные сооружения, земляное полотно, слои дорожной одежды автомобильных дорог, сооружения верхнего строения пути железных дорог, обустройство дорог.

Нужно отметить, что структурные элементы разных транспортных линейных сооружений требуют разных подходов к пространственной декомпозиции. Наиболее общими для железных и автомобильных дорог являются способы разделения на проектно-технологические модули водоотводных сооружений и земляного полотна. Искусственные водоотводные сооружения, комплексы обустройства дорог представляют собой территориально обособленные объекты, которые закреплены на определенных участках трассы. Объединение их в однородные модули возможно на основе выявления меры близости конструктивных и технологических решений. В результате можно формировать отдельные специализированные подразделения для их строительства. М.С. Перфильев [11] предложил для этой цели использовать показатель функциональной близости отдельных элементов производственной системы, который можно отобразить в виде формулы h_{ij}^q :

$$h_{ij}^q = \alpha_{\tau} h_{ij}^{\tau} + \alpha_{\tau, \sigma} h_{ij}^{\tau, \sigma} + \alpha_{\kappa, \sigma} h_{ij}^{\kappa, \sigma} \rightarrow \max \quad (1)$$

при условии $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$,

где h_{ij}^{τ} , $h_{ij}^{\tau, \sigma}$, $h_{ij}^{\kappa, \sigma}$ — показатели соответственно технологической, территориальной и конструктивной близости элементов i, j ; α_{τ} , $\alpha_{\tau, \sigma}$, $\alpha_{\kappa, \sigma}$ — коэффициенты значимости указанных показателей.

Для земляного полотна, которое является элементом геотехнической системы и относится к неразрывным линейно-протяженным структурным модулям,

такой подход не применим. Для решения вопроса пространственной декомпозиции этого структурного элемента сначала нужно определить границы природных геокомплексов, с которыми будут связаны те или иные особенности его конструирования.

Конструктивное решение земляного полотна транспортного сооружения может быть представлено в виде функции от совокупности свойств (природных факторов) участка дороги:

$$K P = f\{i, j, k, l, m, n, p, q\}, \quad (2)$$

где КР — вариант конструктивного решения; i — топографические условия; j — геологические и геоморфологические особенности; k — гидрологические условия; l — тип земляного полотна по продольному профилю (насыпь, выемка, полунасыпь-полувыемка, нулевые отметки профиля), градация по высотным отметкам; m — совокупность климатических факторов окружающей среды; n — геоботанические факторы; p — мерзлотные условия; q — сейсмические и тектонические явления (уровень сейсмичности).

В соответствии с актуализированной редакцией СП 32-104-98 [12] при проектировании земляного полотна железных дорог применяют три различных подхода: типовые конструктивные решения для участков с простыми инженерно-геологическими и топографическими условиями; индивидуальные проекты, разрабатываемые для отдельных участков со сложными инженерно-геологическими условиями; групповые конструктивные решения, разрабатываемые для применения на ряде участков со сложными и многократно повторяющимися на рассматриваемой линии инженерно-геологическими условиями. Эти правила применимы и для автомобильных дорог.

Основные понятия и принципы линейного дорожного районирования. Задача декомпозиции трассы линейно-протяженного объекта на участки с особо сложными условиями, однородными и многократно повторяющимися сложными природными условиями решается на предпроектной стадии на основе линейного дорожного районирования. Нужно сказать, что разделение дороги на характерные участки по результатам инженерных изысканий в той или иной степени выполняется и в настоящее время. Однако применение методов линейного дорожного районирования придает структуризации дороги большую достоверность, позволяет учитывать как качественные характеристики участков, так и количественные показатели для объединения их в структуры с относительно общими свойствами.

Впервые термин «линейное дорожное районирование» (ЛДР) применил А.К. Виноградский [13] для оценки сложности дорожных условий и выбора рационального местоположения трассы, понимая под коридором трассирования «цепочку» микроландшафтов, которые по своим характеристикам могут в определенной степени повторяться по длине трассы. По аналогии с принятым в теории физико-географического районирования понятием «природно-территориальные комплексы» (ПТК), совокупность участков вдоль трассы дороги с относительно однородными природными свойствами можно рассматривать как результат рай-

онирования, обозначив его как линейный дорожный комплекс (ЛДК).

Специальные математические методы линейного дорожного районирования на основе материалов инженерных изысканий были предложены в работах [14; 15] применительно к районам с многолет-немерзлыми грунтами. Данная методика вполне применима к районированию в других дорожно-климатических зонах. При этом набор характеристик природной среды должен уточняться в зависимости от территории районирования и результатов инженерных изысканий. Модели ЛДР — первая ступень в комплексе автоматизации проектирования конструктивных и организационно-технологических решений.

В комплексной модели отражена взаимосвязь компонентов сквозного проектирования земляного полотна: линейных дорожных комплексов, рассчитанных на основе инженерного районирования; типов конструктивных решений земляного полотна на участках ЛДК; линейных и сосредоточенных проектно-технологических модулей для формирования отрядов при строительстве земляного полотна. Предложенная модель декомпозиции земляного полотна на ПТМ реализуется на пяти этапах (рис. 1).

Первый этап ЛДР по классификации, принятой в теории районирования, относится к методам дифференциации (разделения) территорий по зональным климатическим факторам [16; 17] на основе данных ближайших метеорологических станций. Итогом решения по первому этапу является определение положения граничных линий, разделяющих трассу на участки с различным комплексом природно-климатических факторов (зоны А и Б на рис.1). При этом используется базовая методика, предложенная в работах [18]. Отличием предлагаемой нами методики является применение в качестве основного критерия дифференциации не одного «ведущего фактора», а интегрального показателя, объединяющего совокупность климатических факторов, основными из которых являются: солнечная активность, температура, количество осадков, влажность, величина снежного покрова и другие.

Для зонального районирования принята аддитивная свертка климатических показателей на каждой метеорологической станции. В общем случае она выражается следующей формулой [19]:

$$y^* = f(y) = \sum_{j=1}^n \frac{y_j w_j}{s_j}, \quad (3)$$

где y^* — обобщенный показатель (свертка исходных климатических показателей); y_j — среднее значение j -го показателя за период наблюдений; s_j — показатель, равный максимальному значению по шкале для j -го показателя; w_j — весовой коэффициент (вес) j -го показателя, пропорциональный его значимости.

На втором этапе (рис. 1) выполняется структурирование трассы, т. е. создание и объединение единичных рассредоточенных однородных участков (операционных территориальных единиц (ОТЕ)) в линейные дорожные геокомплексы с относительно однородными условиями по интразональным и региональным факторам. Степень однородности оценивается коэффициентом вариации показателей природной среды.

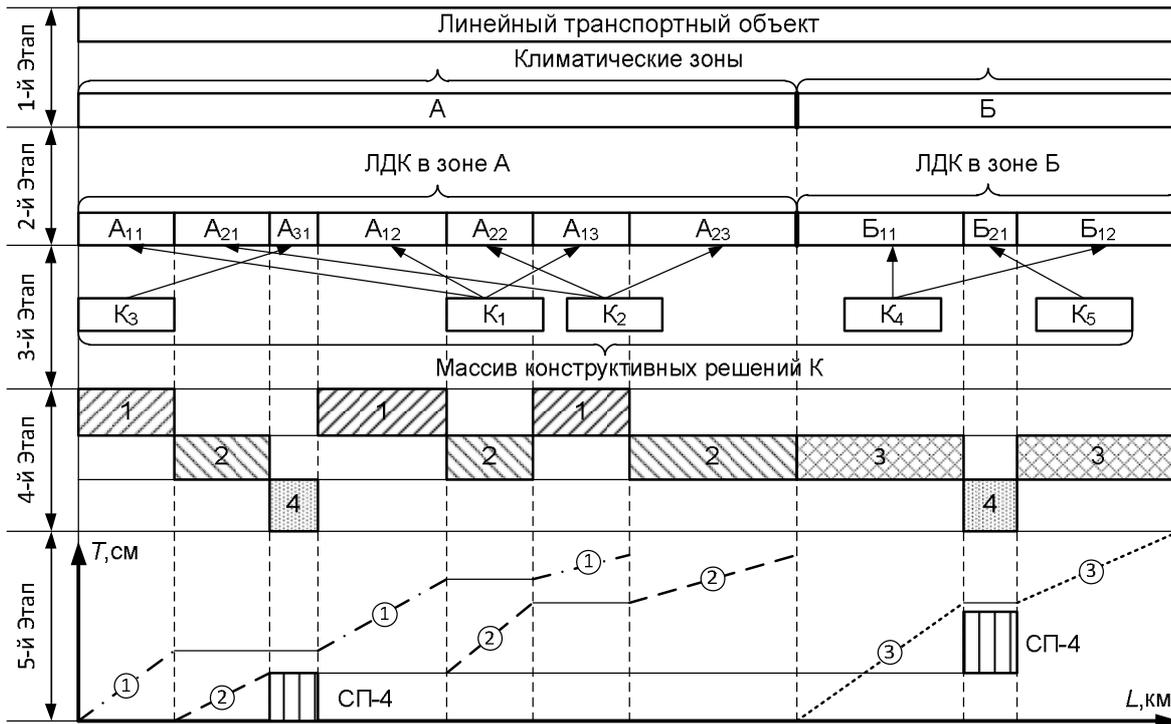


Рис. 1. Схема взаимосвязи конструктивных и организационно-технологических решений по земляному полотну на основе линейного районирования транспортного объекта: — j -й участок i -го ЛДК соответственно в зонах А и Б; K_i — i -й вариант конструктивного решения из массива К; T — рабочие смены; L — протяженность объекта.

Условные обозначения: на 4-м этапе $\begin{matrix} 1 & 2 & 3 \\ \hline \end{matrix}$ — порядковые номера и расположение ЛПТМ (1, 2, 3) по длине транспортного объекта; $\begin{matrix} 4 \\ \hline \end{matrix}$ — порядковый номер и расположение СПТМ (4) по длине объекта;

на 5-м этапе $\textcircled{1}$ $\textcircled{2}$ $\textcircled{3}$ — графики работы линейных специализированных потоков параллельно-поточным методом; СП-4 — работа специализированного подразделения на сосредоточенных участках индивидуального проектирования

В качестве меры близости (сходства/различия) между ОТЕ $x_i, x_k \in X$ в n -мерном нечетком пространстве признаков используется евклидово расстояние, вычисляемое по формуле [19]:

$$d(x_i, x_k) = \sqrt{\sum_{j=1}^n (\mu_j(x_i) - \mu_j(x_k))^2}, \quad (4)$$

где $\mu_j(x_i)$, $\mu_j(x_k)$ — меры обладания j -м свойством соответственно i -го и k -го объектов (ОТЕ).

Для решения данной задачи применены методы геоинформатики и таксономического агрегативного алгоритма [20].

К интразональным признакам большинство исследователей [13; 15; 16; 18] относят рельеф местности, топографические факторы, условия стока и водоотвода, наличие рек и озер, гранулометрический состав грунтов, колебания уровня грунтовых вод, связанные с особенностями микрорельефа и т. д.

Региональные факторы имеют более частный характер и делятся на природные (распространение грунтов особых разновидностей, отличающихся своими свойствами от обычных грунтов того же состава) и антропогенные, связанные с хозяйственной деятельностью человека.

Проектно-технологические модули линейного объекта. Учитывая линейную неоднородность работ на структурных модулях в зависимости от принадлежно-

сти участка к тому или иному ЛДК, на третьем этапе (рис. 1) осуществляют подбор и расчет конструкций на участках ЛДК.

Закрепление однотипных конструкций за участками ЛДК, выделенными по интразональным факторам, позволяет на четвертом этапе рассмотреть их в качестве линейных проектно-технологических модулей (ЛПТМ) с определенным набором групповых конструктивных и организационно-технологических решений. В процессе моделирования выделяются участки с региональными природными особенностями (глубокие выемки, болота, подходы к мостам, мари и т. д.) в отдельные модули для сосредоточенных работ — сосредоточенные проектно-технологические модули (СПТМ).

Особенности организационно-технологического проектирования на ПТМ. С пространственной декомпозицией линейного сооружения связаны не только конструктивные решения, но и особенности проектирования технологий, составов специализированных отрядов и методов организации работ по сооружению отдельных элементов линейного объекта. Организационно-технологическое моделирование на 5-м этапе осуществляют в следующей последовательности:

1. Уточнение количества линейных проектных модулей (ЛПТМ). При однотипных конструктивных решениях земляного полотна на разных участках ЛДК возможно их объединение в укрупненные линейные проектно-технологические модули.

2. Расчет объемов работ на проектно-технологических модулях.

3. Составление перечня подготовительных и сопутствующих работ.

4. Вариантное проектирование линейных графиков строительства по схемам:

а) последовательно-поточный метод — один отряд для выполнения всех линейных работ на дороге;

б) формирование организационной схемы для параллельно-поточного метода организации строительства.

5. Оценка и выбор варианта организации строительства по показателю чистого дисконтированного дохода (ЧДД).

Разделение земляного полотна на проектно-технологические модули позволяет совмещать параллельно- и последовательно-поточные методы организации работ на одном объекте. Это в определенной степени осложняет организацию работ и в то же время ведет к сокращению сроков и более эффективному использованию ресурсов на основе методов управления проектами в строительстве [21–23].

Создание проектно-технологических модулей других линейных структур, к которым, например, относятся многослойная дорожная одежда автомобильных дорог, основывается на общих подходах к декомпозиции линейного объекта, сформулированных для земляного полотна, но параметры декомпозиции будут иметь свои отличительные черты. В частности, для дорожной одежды часто используют однотипные конструктивные решения на всем протяжении дороги или на существенных по протяженности участках. При этом конструкции на проектно-технологических модулях могут различаться только толщиной слоев в зависимости от расчетных параметров по прочности и устойчивости. Наиболее приемлемым для дорожных одежд автомобильных дорог является горизонтальное разделение на проектно-технологические модули, в большей степени связанное с условием обеспечения технологической и конструктивной близости отдельных слоев дорожной одежды (формула (1)).

На этой основе формируют специализированные производственные подразделения для строительства слоев основания и покрытия автомобильных дорог.

Организационно-технологическая модель сооружения линейного объекта реализуется с разным характером использования ресурсов (модуль ресурсного обеспечения), освоения частных фронтов работ (модуль фронта работ), с технологическими и организационными ограничениями на связи между работами и соответственно с разными технико-экономическими показателями.

Составы и производительность специализированных отрядов определяют исходя из заданных сроков строительства объекта. С учетом вышеназванных обстоятельств продолжительность возведения конструкции k -го типа на j -м участке i -го ПТМ T_{ijk} рассчитывается по формулам:

$$T_{ijk} = \sum_{s=1}^S \tau_{ijks}, \quad (5)$$

$$\tau_{ijks} = Q_{ijks} / \Pi_{pijsz}, \quad (6)$$

$$\Pi_{pijsz} = f(\theta_{mkzs}, \alpha), \quad (7)$$

, (5), (6) где Π_{pijsn} — сменная производительность p -го механизированного отряда на j -м участке i -го ПТМ при выполнении s -го технологического процесса в z -м месяце, *ед. изм./смена*; Q_{ijks} — объем работ s -го технологического процесса для конструкции k -го типа на j -м участке i -го ПТМ, *ед. изм.*; θ_{mkzs} — свойства m -го материала (грунта) для s -го технологического процесса k -й конструкции в z -м месяце; α — коэффициент, учитывающий сезонность работ.

Из известных имитационных моделей наиболее соответствует требованиям линейного транспортного строительства в сложных условиях организационно-технологическая модель, представленная в работе [2], так как именно в ней учитываются следующие факторы:

- неравномерность распределения объемов работ по длине дороги;
- разные конструктивные решения элементов дорожной конструкции на отдельных участках, связанные с изменением природных геоконструкций;
- изменение сменной производительности отрядов по длине дороги под действием климатических, технологических и организационных факторов;
- изменение технологии при производстве работ в разные сезоны года (летний, зимний);
- степень готовности слоев дорожной конструкции для выполнения следующих технологических операций.

Алгоритм расчета графиков строительства линейных объектов на проектно-технологических модулях реализован в виде организационно-технологической модели в программном комплексе «РОТОК» [2] с привязкой по календарным срокам в программе Microsoft Project Professional [24].

Обоснование выбора вариантов организации строительства на ПТМ. При сравнении вариантов взаимосвязанных конструктивных и организационно-технологических решений в линейном строительстве с длительным периодом освоения капитальных вложений дисконтированные капитальные затраты рассчитывают по каждому структурному модулю с месячным шагом расчета по формуле:

$$Z_r^k = \sum_{t=0}^T \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J [Z_{пп}(t) + (\tau_{ijt} C_{pi})] \frac{1}{(1+E_{me})^t} \quad (8)$$

где Z_r^k — дисконтированные капитальные затраты по k -му варианту организационно-технологического решения на r -м структурном модуле (земляное полотно), *тыс. р.*; $Z_{пп}(t)$ — затраты на подготовительные работы в период t , *тыс. р.*; τ_{ijt} — количество рабочих смен работы отряда на j -м участке i -го проектно-

технологического модуля (ПТМ) в интервале планирования t ; C_{pi} — стоимость машино-смены работы p -го специализированного отряда на i -м модуле, тыс. р.; t — месячный интервал планирования (шаг расчетного периода); T — расчетный период строительства структурного модуля с максимальной продолжительностью по вариантам, мес.; $E_{мес}$ — месячная норма дисконта.

Суммарные дисконтированные капитальные вложения в строительство автомобильной дороги рассчитывают, суммируя дисконтированные капитальные вложения основного и обеспечивающих производств на каждом шаге расчета по всем структурным модулям, с учетом затрат на передислокацию отрядов. Месячный шаг дисконтирования позволяет более точно учесть затраты при разных вариантах организации строительства.

Окончательный выбор варианта организации строительства осуществляют на основе технико-экономического сравнения вариантов по показателю чистого дисконтированного дохода (ЧДД).

Заключение

Раскрыты сущность, порядок и особенности поэтапной декомпозиции сложной системы линейного транспортного объекта на проектно-технологические модули. Определены способы группировки пространственно рассредоточенных и линейно-непрерывных элементов транспортного сооружения с учетом комплексной оценки близости конструктивных и технологических решений.

Применение методов линейного дорожного районирования создает условия для проектирования однотипных конструктивных решений на однородных по природным условиям комплексах. Расчеты, выполненные в составе проектной документации с использованием предложенных методов, позволили сократить сроки строительства на 3–7 %, повысить индекс доходности в среднем на 7,8 % за счет повышения согласованности конструктивных и технологических решений, обоснованности выбора рациональных схем организации строительства.

Литература

1. Бойков В.Н., Федотов Г.А., Пуркин В.И. Автоматизированное проектирование автомобильных дорог на примере IndorCAD/Road. М.: МАДИ(ГТУ), 2005. 224 с.
2. Боброва Т.В. Проектно-ориентированное управление производством работ на региональной сети автомобильных дорог: моногр. Омск: Изд-во СибАДИ, 2006. 334 с.
3. Воробьев В.С. Формирование систем управления строительством транспортных объектов в районах нового освоения: автореф. дис.... д-ра техн. наук. Новосибирск, 2005. 47 с.
4. Босенко В.Н. Автоматизированное управление проектом строительства нефтепровода: дис. ... канд. техн. наук. Волгоград, 2014. 133 с.
5. Managing Performance of a Highway System in the 21st century. Dr. Robin [Электронный ресурс] // J. Dunlop. PIARC

XXI World Road Congress (Kuala Lumpur 1999). URL: http://www.ppiarf.org/sites/ppiarf.org/files/documents/toolkits/highwaytoolkit/6/bibliography/pdf/managing_performance_of_a_highway_system_in_the_21st_century.pdf (дата обращения 08.12.2012).

6. Организация строительства. СНиП 12-01-2004* (СП 48.13330.2011) = Organization of construction. Взамен СНиП 3.01.01-85*. Введ. 2015.01.01. СПб.: ДЕАН., 2005. 63 с.
7. Воропаев В.И. Методические указания по декомпозиции объектов строительства на проектно-технологические модули. М.: ВНИИГМ, 1988. 91 с.
8. Каложнюк М.М., Каложнюк А.В. Упорядочение рабочих операций простых технологических процессов в строительстве // Инж.-строительный журн. 2011. № 7. С. 87-99.
9. Каложнюк М.М. Структурная классификация элементов строительных процессов / М.М. Каложнюк, Р.Н. Сандан // Вестн. гражданских инженеров. 2008. № 1 (14). С. 46-52.
10. Chang A.S., Shen F.Y., Ibbs W. Design and construction coordination problems and planning for design-build project new users // Canadian journal of civil engineering. 2010 Vol. 37, № 12. P. 1525-1534.
11. Перфильев М.С. Совершенствование методов формирования и модернизации производственных структур дорожно-эксплуатационных организаций: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Омск, 2004. 24 с.
12. СП 32-104-98 (актуал. 2008.10.01.) Проектирование земляного полотна железных дорог колеи 1520мм, утв. ОАО ЦНИИС от 27 дек. 1996. М., 1996. 95 с.
13. Виноградский А.К. Дорожное районирование. М.: Транспорт, 1989. 95 с.
14. Боброва Т.В., Дубенков А.А. Математическая модель линейного районирования трассы дороги в зоне многолетнемерзлых грунтов // Вестн. ТГАСУ. 2013. Вып. 2. С. 362-370.
15. Дубенков А.А. Комплексная оценка инженерно-геологических и мерзлотных условий при районировании трассы дорогив // Вестн. СибАДИ. 2013. № 4 (32). С. 46-52.
16. Куприянова Т.П. Принципы и методы физико-географического районирования с применением ЭВМ. М.: Наука, 1977. 125 с.
17. Zapata C.E., Houston W.N. Calibration and validation of the enhanced integrated climatic model for pavement design. Washington, D.C.: Transportation Research Board, 2008. 62 p.
18. Ефименко С.В., Бадина М.В. Дорожное районирование территории Западной Сибири: моногр. Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2014. 244 с.
19. Микони С.В. Теория и практика рационального выбора: моногр. М. Маршрут, 2004. 463 с.
20. Трофимов А.М., Заботин Я.И., Панасюк М.В. Количественные методы районирования и классификации: моногр. Казань: Казан. Ун-ет, 1985. 119 с.
21. Сиверикова А.И., Величкин В.З. Параллельно-поточный метод организации строительства // Строительство уникальных зданий и сооружений: сб. науч. ст. СПб., 2015. № 4 (31). С. 135-162.
22. Zavadskas E. K., Turskis Z., Tamošaitiene J. (2010) Risk assessment of construction projects // Journal of Civil Engineering and Management. 2010. Vol. 16, № 1. P. 33-46.
23. Harold K. Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling. USA, 2003. 878 p.
24. Чатфилд К., Джексон Т.Д. Microsoft Project 2013. Русская версия. М.: ЭКОМ Паблишерз, 2013. 672 с.

References

1. Boikov V.N., Fedotov G.A., Purkin V.I. Computer-aided design of roads as an example IndorCAD / Road / M.: MADI (GTU), 2005. 224 p.
2. Bobrova T.V. Project-oriented production management of works on the regional network of highways: monogr. Omsk: Izd-vo SibADI, 2006. 334 p.
3. Vorob'ev V.S. Formation of control systems of construction of transport facilities in areas of new development: avtoref. dis.... d-ra tekhn. nauk. Novosibirsk, 2005. 47 p.
4. Bosenko V.N. Automated control of a pipeline construction project: dis. ... kand. tekhn. nauk. Volgograd, 2014. 133 p.
5. Managing Performance of a Highway System in the 21st century. Dr. Robin [Elektronnyi resurs] // J. Dunlop. PIARC XXI World Road Congress (Kuala Lumpur 1999). URL. http://www.ppiaf.org/sites/ppiaf.org/files/documents/toolkits/highwaystool-kit/6/bibliography/pdf/managing_performance_of_a_highway_system_in_the_21st_century.pdf (data obrashcheniya 08.12.2012)
6. Organization of construction. SNiP 12-01-2004* (SP 48.13330.2011) = Organization of construction. Vzamen SNiP 3.01.01-85*. Vved. 2015.01.01.SPb.: DEAN., 2005. 63 p.
7. Voropaev V.I. Methodical of the indicating on the decomposition of construction projects for design and technological modules. M.: VNIIGM, 1988. 91 p.
8. Kalyuzhnyuk M.M., Kalyuzhnyuk A.V. Streamlining business operations of simple technological processes in construction // Magazine of Civil Engineering. 2011. № 7. P. 87-99.
9. Kalyuzhnyuk M.M. Structural classification of elements of construction processes // Bulletin of Civil Engineers. 2008. № 1 (14). P. 46-52.
10. Chang A.S., Shen F.Y., Ibbs W. Design and construction coordination problems and planning for design-build project new users // Canadian journal of civil engineering. 2010 Vol. 37, № 12. P. 1525-1534.
11. Perfil'ev M.S. Improvement of methods of formation and modernization of production structures of the road and operational organizations: abstract k. t. s.: 05.23.11 / Perfil'ev Maksim Sergeevich.– Omsk, 2004. 24p.
12. SP 32-104-98 (aktual. 2008.10.01.) Design of the sub-grade railway track 1520mm, utv. OAO TsNIIS ot 27 dek. 1996. M., 1996. 95 p.
13. Vinogradskii A.K. Road zoning. M.: Transport, 1989. 95 p.
14. Bobrova T.V., Dubenkov A.A. Mathematical model of linear road zoning in the route area of permafrost soils // Vestn. TGASU. 2013. Vyp. 2. P. 362-370.
15. Dubenkov A.A. Comprehensive assessment of geological engineering and permafrost conditions in the zoning road alignment // Vestn. SibADI. 2013. № 4 (32). P. 46-52.
16. Kuprianova T.P. Principles and methods of physical-geographical zoning with the use of computers / T.P. Kuprianova. M.: Science, 1977. 125p.
17. Zapata C.E., Houston W.N. Calibration and validation of the enhanced integrated climatic model for pavement design. Washington, D.C.: Transportation Research Board, 2008. 62 p.
18. Efimenko S.V., Badina M.V. Road zoning of the territory of Western Siberia: monogr. Tomsk: Izd-vo Tom. gos. arkhitekt.-stroit. un-ta, 2014. 244 p.
19. Mikoni S.V. Theory and practice of rational choice: monogr. M. Marshrut, 2004. 463 p.
20. Trofimov, A.M. Quantitative methods of zoning and classification: a monograph / AM Trofimov YI Zabotin, MV Panshiuk. - Kazan: Kazan University, 1985. - 119 p.
21. Siverikova A.I., Velichkin V.Z. Parallel-flow method of organization of construction // Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzhenii: sb. nauch. st. SPb., 2015. № 4 (31). P. 135-162.
22. Zavadskas E. K., Turskis Z., Tamošaitiene J. (2010) Risk assessment of construction projects // Journal of Civil Engineering and Management. 2010. Vol. 16, № 1. P. 33-46.
23. Harold K. Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling. USA, 2003. 878 p.
24. Chatfield K., Dzhekson T.D. Microsoft Project. Russian version. M.: EKOM Pablisherz, 2013. 672 p.