НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ МГТУ ИМ. Н. Э. БАУМАНА

НАУКА и ОБРАЗОВАНИЕ

Эл № ФС77 - 48211. Государственная регистрация №0421200025. ISSN 1994-0408

электронный научно-технический журнал

Информационная поддержка принятия решений при управлении проектами обеспечения жизненного цикла протяженных объектов

09, сентябрь 2012

DOI: 10.7463/0912.0455399

Поспелов П. И., Ранджит К. П., Голубкова В. Б., Иорина И. А.

УДК 625.7/8-043.82

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

info@madi.ru

vb.citrus@mail.ru

kranjit@mail.ru

Введение

С позиций системного подхода следует отметить, что современные промышленно-производственные комплексы включают в свой состав не только производителей работ, но и поставщиков материальных ресурсов, различные обеспечивающие организации, включая, прежде всего, транспорт, а также проектировщиков системы, осуществляющих синтез рассматриваемой системы и выпуск проектно-сметной документации. Каждый из перечисленных субъектов может в общем случае иметь свои цели, задачи и функции, но в применении к процессу обеспечения жизненного цикла конкретного изделия или объекта, принимается во внимание только конкретное подмножество функций [3].

Важной задачей при создании протяженных объектов (ПрОБ), в том числе и автотранспортных магистралей, является ускорение доставки необходимых грузов на указанный объект. Удельный вес перевозок строительных материалов в стоимости строительно-монтажных работ, включая затраты на погрузочно-разгрузочные работы, составляет более 25 % в общей трудоемкости строительства.

Описание и постановка задачи

Основным транспортным средством в строительстве является автомобильный транспорт, которым перевозится до 90 % строительных грузов, Остальной объем выполняется железнодорожным, воздушным и водным транспортом. Решающая роль автомобильного транспорта в строительстве определяется большой маневренностью и способностью транспортировать любой груз с достаточно высокой технической скоростью на значительные расстояния, без промежуточной перевалки с завода-поставщика на строительный объект. Поэтому в формальное описание системы управления жизненным циклом объекта должны войти все упомянутые выше субъекты обеспечения. Это позволит применить комплексный подход к управлению жизненным циклом объекта строительства с использованием методов общей теории систем и теории нечетких множеств. Комплексный подход к автоматизации информационной поддержки управления жизненным циклом создания автотранспортных магистралей позволяет выявить «узкие» места технологического процесса обеспечения строительства и предложить мероприятия по их устранению.

Анализ существующего положения при производстве работ на протяженных объектах (ПрОб), позволяет сделать вывод о том, что цельная общепризнанная методика автоматизации технологического

процесса создания подобных объектов в настоящее время отсутствует. Это обусловливает необходимость выделения этапа предварительного проектирования, когда исследуется принципиальная возможность и целесообразность создания ПрОб, новые структуры организации, в том числе, транспортной системы и принципы управления технологическими процессами как производства работ, так и обеспечения производства работ на ПрОб (ОПР ПрОб), что, в свою очередь, требует создания комплекса иерархических моделей, связанных между собой процессами согласования и взаимного уточнения.

Сложность и высокая размерность возникающих задач приводит к тому, что основное требование полной адекватности моделей объекту трудновыполнимо и часто заменяется учетом лишь наиболее значимых параметров при сохранении достаточной степени адекватности. В такой ситуации адекватность аналитических моделей в большинстве случаев проверяется по конечному результату моделирования, т.е. по тому, насколько численные значения критерия эффективности системы согласуются с результатами имитационного моделирования системы.

В настоящее время выделяют следующие основные проблемы проектирования системы ОПР (СОПР) ПрОб:

- структурный синтез параметров СОПР ПрОб (определение ее структуры и функциональных возможностей, определяемых её параметрами);
- разработка методов и средств регулирования поставок грузов (сырье и комплектующие) и управления доставкой и распределением грузов для создания ПрОб.

С формальных позиций проектирование СОПР ПрОб следует рассматривать как совокупность двух основных задач: анализа, связанного с

построением моделей изучаемых показателей качества, и синтеза, которая в свою очередь делится на задачи синтеза структуры и синтеза параметров элементов данной структуры. Средства автоматизированного проектирования могут предоставлять проектировщикам аппарат для вариации параметров или выбора оптимальных параметров, удовлетворяющих заданным требованиям.

С точки зрения принципов системного подхода процесс синтеза параметров, определяющих процесс функционирования и процесс создания СОПР ПрОб, как и процесс принятия решений, можно разбить на три этапа:

- внешнее проектирование, предусматривающее конкретизацию целей и задач, которые должна решать система, и представление требований к основным характеристикам, обеспечивающим достижение этих целей;
- формирование облика системы, когда строится конкретное множество вариантов системы, среди которых следует искать вариант, обеспечивающий достижение целей, поставленных на этапе внешнего проектирования;
- внутреннее проектирование, соответственно выбор основных параметров системы, придающих ей требуемые качества.

При проектировании СОПР ПрОб на этапе внешнего проектирования основная проблема связана с выражением глобальной цели функционирования СОПР ПрОб, заключающейся в обеспечении своевременной доставки грузов от поставщика к месту размещения объекта, через некоторое множество локальных целей, имеющих количественный характер.

Выбор рационального проекта протяженного объекта (ПрОб) является сложной, трудноформализуемой задачей. По классификации предложенной Г. Саймоном и А. Ньюэллом [1] ее можно отнести к классу, так называемых, слабоструктурированных задач, то есть таких задач, которые не допускают строго количественных формулировок; в их описании присутствуют как качественные, так и количественные элементы, причем первые имеют тенденцию доминировать. Слабая структурированность делает затруднительным, а, подчас, и невозможным применение для ее решения точных методов математического программирования, исследования операций и теории оптимизации.

Другим существенным аспектом этой задачи является ее многокритериальность. Это значит, что часть информации, необходимой для однозначного определения решения отсутствует. Устранить неопределенность, заключенную в многокритериальности каждой альтернативы, может лишь лицо, заинтересованное в решении данной задачи и хорошо знающее данную предметную область. Поэтому, выбор оптимального решения всегда имеет принципиально неустранимый «субъективный оттенок».

Задачи, которым свойственны слабая структурированность, многокритериальность, субъективный характер решений и т.п., рассматриваются в теории принятия решений (ТПР) [2, 4]. Задачей принятия решений (ЗПР) называется пара (A, C), в которой A – множество вариантов решения (исходное множество альтернатив, ИМА), а функция выбора $C: 2^A \to 2^A$, любому подмножеству вариантов $Y \subseteq A$ ставит в соответствие подмножество лучших, согласно некоторому принципу оптимальности, альтернатив $C(Y)$, $C(Y) \subseteq Y$.

В задаче выбора рационального проекта ПрОб исходным множеством альтернатив является совокупность технически возможных вариантов исполнения проекта. Источником информации о качестве альтернатив является лицо принимающее решение (ЛПР), которым может быть как отдельный эксперт, так и коллектив специалистов. Функция выбора формируется на основе данных, поставляемых ЛПР. Процедура извлечения сведений из ЛПР называется экспертизой.

Обозначим $X = \{x_i\}_{i=1}^{n}$ – множество различных вариантов исполнения ПрОб. Будем считать, что экспертиза проведена и ее итоги представлены в виде матрицы парных сравнений $\overline{A} = \left\| a_{ij} \right\|_{n \times n}$ порядка n. Это числовая матрица, в которой элемент $a_{ij} \geq 0$, стоящий на пересечении строки i и столбца j, задает степень предпочтительности альтернативы x_i над вариантом x_j. Для элементов матрицы выполняется соотношение $a_{ij} \geq a_{ji}$ тогда и только тогда, когда $x_i \geq x_j$, то есть вариант i превосходит вариант j с точки зрения ЛПР. Симметричные элементы матрицы парных сравнений a_{ij} и a_{ji} должны быть равны, если соответствующие объекты равноценны ($x_i = x_j$) или несравнимы ($x_i \sim x_j$). Если $x_i > x_j$, то должно быть $a_{ij} > a_{ji}$.

Кроме этих оценочных условий, на элементы матрицы $\overline{A}$ обычно накладываются дополнительные калибровочные ограничения, связывающие попарно симметричные элементы a_{ij} и a_{ji}. Матрица парных сравнений формируется на основе экспертной информации ЛПР, поэтому значения a_{ij} зависят от типа экспертной процедуры и должны подчиняться так называемым калибровочным условиям. Рассмотрим три основных типа калибровок [1].

Простая калибровка (ПК):

$$\forall i, j, \quad i \neq j \quad a_{ij} = \begin{cases} 1, & если \quad x_i > x_j; \\ 0, & если \quad x_j > x_i; \\ \frac{1}{2}, & если \quad x_i \sim x_j. \end{cases}$$

Диагональные элементы при этом обычно не фиксируются и могут быть любыми. Интерпретация простой калибровки достаточно прозрачна: a_{ij} – это констатация факта предпочтительности одного объекта над другим или их равноценности (несравнимости).

Турнирная калибровка (Т):

$$\forall i, j \;\; a_{ij} \geq 0; \; a_{ij} + a_{ji} = c.$$

В этой калибровке a_{ij} – рассматривается как «число очков», набранных объектом x_i в единоборствах с объектом x_j. Число $c = const$ при этом может интерпретироваться как количество таких сравнений. Турнирная калибровка возникает при проведении экспертиза коллективом из c независимых экспертов, каждый из которых использует для оценки пар вариантов простую калибровку.

Вероятностная калибровка (В):

$$\forall i, j \quad 0 \leq a_{ij} \leq 1; \quad a_{ij} + a_{ji} = 1.$$

В зависимости от типа экспертизы величины a_{ij} можно понимать как вероятность превосходства x_i над x_j или значения функции принадлежности нечеткого отношения доминирования. Для обработки таких структур предпочтений можно применить развитый аппарат теории вероятности, математической статистики и теории нечетких множеств.

Любую матрицу парных сравнений $A = \left\| a_{ij} \right\|_{n \times n}$ с неотрицательными элементами $a_{ij} \geq 0$ можно представить в виде ориентированного графа $G = (X, D)$, в котором вершинами служат альтернативы, и две вершины x_i и x_j связаны дугой $d=(x_i, x_j) \in D$ с весом a_{ij} тогда и только тогда, когда $a_{ij} > 0$.

Будем называть его графом предпочтений. Очевидно, что граф предпочтений и матрица парных сравнений – это равноправные формы записи одной структуры предпочтений ЛПР.

Существует несколько постановок задачи принятия решений по заданному графу предпочтений. В различных проектных ситуациях этот носитель может быть использован для генерации: лучшей вершины (всех лучших), недоминируемой вершины (всех недоминируемых), устойчивой вершины (всех устойчивых) и др. Рассмотрим вариант ЗПР, в котором решением является наилучшая линейная аппроксиманта исходной структуры предпочтений. То есть, решение представляет собой линейное упорядочение вершин графа предпочтений, которое в некотором заданном смысле, в минимальной степени противоречит мнению ЛПР, выраженному в процессе экспертизы. Это упорядочение, которое часто называют ранжировкой, есть расположение альтернатив по мере возрастания (убывания) их предпочтительности.

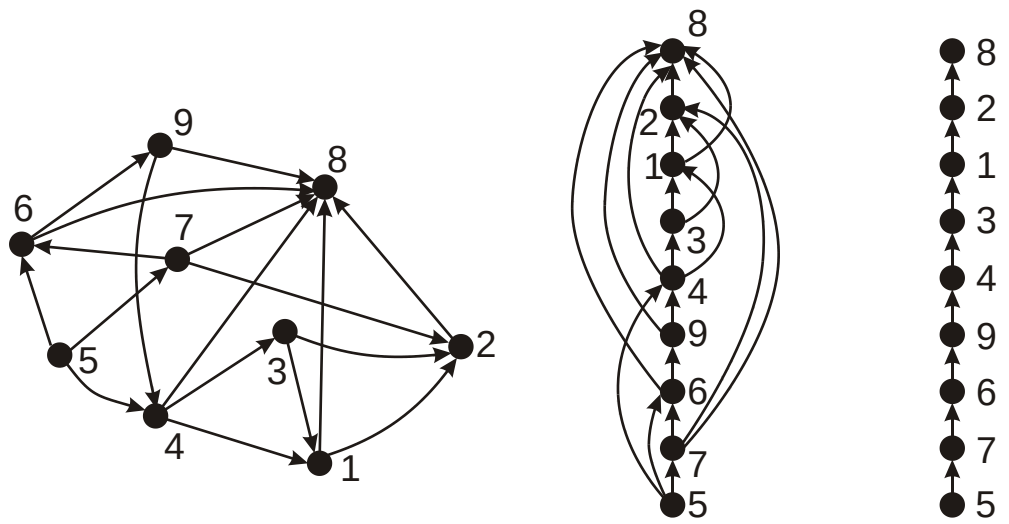

Рис. 1. Структура предпочтений и ее линейная аппроксиманта

На рис. 1 приведен простой пример, когда исходная структура предпочтений, заданная в простой калибровке, трансформируется в линейную структуру сортировкой вершин. Средний граф получен перестановкой вершин с сохранением всех связей исходной структуры. Правый граф представляет собой линейное упорядочение, полученное отбрасыванием избыточных транзитивно-замыкающих дуг. Эта ранжировка в наглядном виде представляет мнение ЛПР, выраженное в исходной структуре предпочтений.

В общем случае, задача построения линейной аппроксиманты не решается с такой очевидностью и простотой, какой демонстрирует приведенный пример. Существование в графе предпочтений хотя бы одного ориентированного цикла вносит существенную неопределенность метод синтеза ранжировки.

Рассмотренный вариант ЗПР обладает несомненными преимуществами в задаче выбора рационального варианта ПрОб, поскольку предоставляет разработчику большую свободу действий в любой проектной ситуации. Во-первых, ранжировка дает лучшее решение, коим является стартовая вершина. Во-вторых, она показывает несколько лучших вершин, которые можно выбрать для проведения дополнительных проектных исследований и изысканий. В-третьих, она позволяет отбросить заведомо неконкурентные альтернативы, расположенные в последней части упорядочения.

Известно множество моделей, позволяющих синтезировать линейную аппроксиманту исходной структуры предпочтений (хороший обзор приведен в [1 и 5]). Для выбора подходящей модели линейного упорядочения можно использовать подход, основанный на оценке качества моделей линейного упорядочения по степени удовлетворения ими

некоторых постулированных свойств. Эти свойства не должны считаться аксиомами: их выполнение лишь желательно, но не обязательно, но многие из них имеют столь ясную и хорошо согласующуюся с интуицией формулировку, что их нарушение с трудом сочетается с представлениями о разумности модели упорядочения.

Произвольное линейное упорядочение объектов из X далее будем записывать в виде вектора номеров $I= (i_1, ..., i_n)$, обозначая через $N_m(I)$ номер места объекта x_m в упорядочении I. Множество всевозможных упорядочений (перестановок) над X обозначим I^*. Если задана матрица парных сравнений A и некоторая модель упорядочения, множество оптимальных с ее точки зрения упорядочений будет обозначаться $I^*_{opt}(A)$; $|I^*_{opt}(A)| \geq 1$.

Рассмотрим в первую очередь возможные изменений множества $I^*_{opt}(A)$ в зависимости от допустимых изменений исходной матрицы парных сравнений A.

Свойство 1. Инвариантность к растяжению (ИР). Умножение всех элементов A на положительную константу не изменяет оптимальных упорядочений:

$$\forall k > 0 \;\; I^*_{opt}(A) = I^*_{opt}(kA).$$

Свойство 2. Инвариантность к сдвигу (ИС). Замена всех элементов a_{ij} на $a_{ij}+b$, где b — произвольная положительная константа, не влияет на множество оптимальных упорядочений:

$$\forall b > 0 \; I^*_{opt}(A) = I^*_{opt}(A + \|b\|_{n\times n}).$$

Свойство 3. Транспонируемость (T). Замена всех предпочтений на «прямо противоположные», т. е. инверсия всех дуг в структуре

предпочтений, должна приводить к обращению оптимальных упорядочений.

Свойство 4. Устойчивость «в малом» (УМ). Достаточно малые допустимые изменения матрицы *A* должны сохранять оптимальность хотя бы одного элемента из $I^*_{opt}(A)$.

Свойство 5. Положительная реакция (ПР). Изменение результата отдельного парного сравнения между x_i, и x_j в пользу x_i не должно приводить к ухудшению места, занимаемого объектом x_i в оптимальном упорядочении.

Ряд следующих свойств связан с доминированием объектов в исходной структуре предпочтений.

Свойство 6. Сохранение доминирования (СД). Будем говорить, что объект x_i *строго доминирует* над объектом x_j в данной структуре предпочтений (обозначая это $x_i >> x_j$), если во всех парных сравнениях объект x_i проявляет себя хотя бы не хуже, чем x_j, и хотя бы в одном – строго лучше:

$$x_i >> x_j \Leftrightarrow \forall t \notin \{i, j\} \quad (a_{it} \geq a_{jt};\ \ a_{ti} \leq a_{tj}); \quad a_{ij} \geq a_{ji},$$

причем хотя бы одно из этих неравенств – строгое.

Очевидно, что «разумная» модель линейного упорядочения должна в подобном случае помещать доминирующий объект выше подчиненного, т.е. сохранять доминирование.

Свойство 7. Сегментируемость по бикомпонентам (СБ). Если структура предпочтений $G = (V, U)$ не является сильно связным орграфом, то в ней можно выделить отдельные бикомпоненты (компоненты сильной связности), которые оказываются односторонне связанными между собой. Пусть $V_1, \ldots, V_m$ — множества вершин, относящихся к различным бикомпонентам, то они могут быть пронумерованы так, чтобы дуги из

бикомпонент с большими номерами в бикомпоненты с меньшими номерами отсутствовали. При этом естественно заключить, что объекты, принадлежащие бикомпоненте с меньшим номером, в целом предпочтительнее объектов из бикомпоненты с большим номером и в оптимальном упорядочении должны им предшествовать.

Назовем оптимальное упорядочение кусочно-оптимальным, если отбрасывание произвольного количества объектов с самого начала или с самого конца его сохраняет оптимальность оставшегося фрагмента, т. е. произвольный связный фрагмент $I_{rt}=(i_r,...,i_t)$ оптимального упорядочения $I=(i_1,...,i_r,...,i_t,...,i_n)$ сам является оптимальным для соответствующей подматрицы.

Свойство 8. Кусочная оптимальность (КО). Для любой матрицы парных сравнений A любое упорядочение $I \in I^*_{opt}(A)$ кусочно-оптимально.

Рассмотрим еще одно свойство, тесно связанное с кусочной оптимальностью. Следуя, введем на множестве X отношение группового доминирования $\Diamond$, определив

$$\forall Y \subset X \;\; \forall x_i \notin Y \;\; x_i \Diamond Y \Leftrightarrow \sum_{x_j \in Y} (a_{ij} - a_{ji}) \geq 0.$$

Таким образом, объект x_i доминирует над группой Y, если баланс его парных сравнений с объектами из этой группы неотрицателен. Заметим, что введение такого отношения осмысленно не при любой калибровке матрицы A (например, при степенной калибровке типа понятие баланса парных сравнений, видимо, теряет смысл).

Упорядочение $I=(i_1,...,i_n)$ (не обязательно оптимальное) назовем *локально-сбалансированным,* если любой объект в нем доминирует в над любой непосредственно следующей за ним группой:

$$\forall s,t : 1 \leq s < t \leq n \;\; x_{i_s} \Diamond \{x_{i_j} \mid j = \overline{s+1,t}\}.$$

Свойство 9. Локальная сбалансированность (ЛС). Любое оптимальное линейное упорядочение должно быть локально-сбалансированным.

В теоретических работах по теории принятия решений приводятся и другие свойства моделей упорядочения. Мы ограничимся приведенными, поскольку все они имеют ясный физический смысл и отвечают априорным представлениям ЛПР о «хорошем» методе упорядочения.

Статус свойств моделей упорядочения можно уподобить аксиоматике данной проблемной области. Их нельзя доказать или свести к совокупности более простых качеств, справедливость которых очевидна. Подобно постулатам формальных систем они принимаются как, отвечающие базовым представлениям или закономерностям. Попробуем привести аргументы в пользу технической обоснованности перечисленных свойств.

Представляется почти очевидным, что метод упорядочения, который не соответствует свойствам 1 – 6, имеет мало оснований считаться доброкачественным. Инвариантность к растяжению и сдвигу, а также транспонируемость – это базовые характеристики любой корректной процедуры измерения. Действительно, свойство ИР можно сравнить с растяжением или сжатием (в зависимости от коэффициента) некоей многомерной шкалы, что может изменить числовые значения измерения, но сохраняет взаимное положение измеряемых точек. Свойство ИС аналогично смещению точки отсчета многомерной шкалы, что не должно повлиять на результаты качественных измерений.

Выполнимость свойств устойчивости в малом, положительной реакции и сохранения доминирования весьма желательна, поскольку они имеют ясное физическое толкование и множество аналогий в других сферах человеческой деятельности.

Рассмотрим свойство сегментируемости по бикомпонентам. Практика показывает, что для принятия рационального решения об упорядочении вариантов реализации любой сложной системы, например ПрОб, необходимо учесть большой массив данных свойствах самой системы и ее окружения. Это значит, что граф, описывающий структуру предпочтений ЛПР, получит плотную структуру с большим числом взвешенных дуг. С очень высокой вероятностью этот граф будет сильно-связным, не допускающим разбиение на бикомпоненты. Таким образом, выполнимость свойства сегментируемости является желательным, но не обязательным.

В авторитетных публикациях по теории принятия решений [2] говорится о том, что выполнимость свойств кусочной оптимальности и локальной сбалансированности является трудно выполнимым делом.

Пусть на множестве вариантов исполнения ПрОб проведена экспертиза, а ее результаты зафиксированы в матрице парных сравнений $\overline{A}$ с вероятностной калибровкой. В этом случае величины $a_{ij} \in \overline{A}$ можно рассматривать как значения функции принадлежности нечеткого бинарного отношения доминирования, заданного на множестве вариантов ПрОб $X = \{x_l\}_{l=1}^{n}$.

Если $a_{ij} \in [0,1]$ – степень принадлежности пары (x_i, x_j) к нечёткому отношению предпочтения, заданному на X, то функция доминируемости $l_X(x_i) = \max\limits_{j \neq i} a_{ji}$ характеризует максимальную силу, с которой объект x_i доминируется остальными объектами множества X. При $l_X(x_i) = 0$ x_i абсолютно не доминируется, при $l_X(x_i) = 1$ – абсолютно доминируется, при $0 < l_X(x_i) < 1$ – слабо доминируется. Ранжирование объектов выполнятся по следующему простому правилу $x < y$, если $l_X(x) > l_X(y)$ упорядочивая объекты по убыванию соответствующих ее значений.

Описанная модель предназначена для обработки матриц в вероятностной калибровке, однако ее можно адаптировать и для матриц с калибровками ПК и Т.

Для этой модели выполняются свойства ИР, ИС, УМ, ПР и СД. Свойство Т в общем случае не выполняется. Таким образом, из шести «аксиом» рационального упорядочения, выбранных для проверки качества модели, не выполняется только одно. Это можно считать хорошим результатом, если учесть, что алгоритмическая реализация метода очень проста и не требует больших вычислительных ресурсов.

Модель рационального упорядочения вариантов ПрОб, основанная на использовании функции доминируемости, представляется очень перспективной. Ее адекватность в различных проектных ситуациях требует глубокой практической проверки.

Выводы

Выбор рационального проекта ПрОб невозможно реализовать без учета всей совокупности связей этой сложной технической системы с многочисленными подсистемами обеспечения и поддержки, функционирующими в окружающей среде. Разнообразие и сложность этих связей вносит в задачу фактор существенной неопределенности, что позволяет отнести ее к классу слабоструктурированных. Для формализации и алгоритмизации проблем такого типа можно использовать аппарат нечетких множеств и теорию принятия решений. В работе предлагается модель, которая объединяет преимущества обоих формализмов. Эта модель позволяет учесть неопределенность свойств и субъективность оценок, которые характеризуют процедуру принятия рациональных решений при проектировании ПрОб.

Список литературы

1. Белкин А.Р., Левин М.Ш. Принятие решений: комбинаторные модели аппроксимации информации. – М.: Наука, 1990. – 160 с.
2. Кузьмин В.Б. Построение групповых решений в пространствах четких и нечетких бинарных отношений. – М.: Наука, 1982. – 168 с.
3. Норенков И.П., Кузьмик П.К. Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 320 с.
4. Davis H.W. An Anatomy of Decision-making // Datamation. – 1978. – Vol. 3, no. 8.– P. 201-208.
5. Henn P.G.W. Decision Support Systems: The Next Decade // Decision Support Systems.– 1987.– Vol. 3, no. 3.– P. 253-265. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/0167-9236(87)90180-1
6. Zadeh L.A. Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility // Fuzzy Sets and Systems.– 1978. – Vol. 1, no. 1. – P. 3-28. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/0165-0114(78)90029-5

SCIENTIFIC PERIODICAL OF THE BAUMAN MSTU

SCIENCE and EDUCATION

EL № FS77 - 48211. №0421200025. ISSN 1994-0408

electronic scientific and technical journal

Decision-making support information for management of lifecycle projects for extended objects

09, September 2012
DOI: 10.7463/0912.0455399

Pospelov P.I., Randjit K.P., Golubkova V.B., Iorina I.A.

Russia, Moscow State Technical University – MADI
info@madi.ru
vb.citrus@mail.ru
kranjit@mail.ru

The article describes the current problems of formulating and solving decision-making problems in management of lifecycle projects for extended auto-road objects in the face of uncertainty, the need for them as an integral part in construction of an integrated automation system of industrial and construction enterprises.

Publications with keywords:automation, decision making, condition of indeterminacy, ranging, preference scheme, dominating function, product life cycle, fuzzy relation
Publications with words:automation, decision making, condition of indeterminacy, ranging, preference scheme, dominating function, product life cycle, fuzzy relation

References

1. Belkin A.R., Levin M.Sh. *Priniatie reshenii: kombinatornye modeli approksimatsii informatsii* [Decision-making: a combinatorial model of approximation of information]. Moscow, Nauka, 1990. 160 p.

2. Kuz'min V.B. *Postroenie gruppovykh reshenii v prostranstvakh chetkikh i nechetkikh binarnykh otnoshenii* [Building group decisions in the spaces of clear-cut and fuzzy binary relations]. Moscow, Nauka, 1982. 168 p.

3. Norenkov I.P., Kuz'mik P.K. *Informatsionnaia podderzhka naukoemkikh izdelii. CALS-tekhnologii* [Information support of science intensive products. CALS-technologies]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2002. 320 p.

4. Davis H.W. An Anatomy of Decision-making. *Datamation*, 1978, vol. 3, no. 8, pp. 201-208.

5. Henn P.G.W. Decision Support Systems: The Next Decade. *Decision Support Systems*, 1987, vol. 3, no. 3, pp. 253-265. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/0167-9236(87)90180-1

6. Zadeh L.A. Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility. *Fuzzy Sets and Systems*, 1978, vol. 1, no. 1, pp. 3-28. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/0165-0114(78)90029-5