

Модель пространственно-временной аналогии в оптимизации последовательности реконструируемых объектов

Д.т.н., профессор С.А. Болотин;

к.т.н., доцент А.Х. Дадар;

аспирант М.А. Котовская,

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»

Ключевые слова: пространственно-временная аналогия; очередность освоения объектов; порядковая значимость объекта; горизонт планирования; методика наискорейшего пуска

В современном строительстве достаточно большую долю составляют объекты, на которых проводят реконструкцию, капитальный ремонт, санацию и другие подобные виды работ [1]. Данные объекты имеют определенную специфику, связанную с тем, что продолжительности, стоимости и объемы проводимых на них работ значительно меньше, чем на объектах нового строительства. Из этого следует, что даже для сравнительно непродолжительного времени строительства (например, 2 года) количество реконструируемых объектов будет исчисляться десятками. Задача поиска оптимальных очередностей освоения объектов была сформулирована еще в работе [2] и становится особенно актуальной в современных условиях.

Основной целью данной статьи является построение модели пространственно-временной аналогии для оптимизации последовательности реконструируемых объектов.

По принятой в научной литературе классификации задача поиска оптимальных очередностей освоения объектов относится к категории *NP*-трудных [3], что связано с экспоненциальным увеличением ее вычислительной трудоемкости в зависимости от линейного увеличения числа объектов в очереди [4]. Если на возможные перестановки объектов в очереди не накладывать никаких ограничений, то для числа объектов N затраты времени на вычисление всех вариантов очередности будут определяться формулой $Q = \alpha \cdot N!$, в которой α – это время, затрачиваемое на расчет одного варианта перестановки объектов. Например, для решения задачи оптимизации очередности по реконструкции энергоресурсосберегающих объектов, описанной в работе [5], расчет каждого варианта, осуществляемый в программе типа Microsoft Project, производится за время $\approx 0,001$ с. Из этого следует, что для полного перебора всех вариантов комплекса, состоящего из 10 объектов, общее время расчета составит более чем один час. А если решать задачу с 20 объектами, расчетное время составит более 10^{12} часов, то есть расчет будет длиться годами.

В работе [6] был поставлен вопрос, связанный с тем, что при планировании долговременной оптимальной очередности реконструируемых объектов необходимо учитывать возрастающую во времени неопределенность их характеристик. В частности, в этой работе показано, что на формируемый порядок освоения объектов в планируемой последовательности будет влиять место объекта в очереди таким образом, что чем позже запланирована реконструкция объекта, тем выше его неопределенность, и, следовательно, ниже значимость этого объекта. На рисунке 1 в виде гистограммы показан условный пример, отображающий изменение оценочного показателя объекта в зависимости от его места в формируемой очереди.

Каждый из представленных на рисунке 1 объектов характеризуется значением некоторого условного критерия и порядковой значимостью, определяющей монотонное убывание по мере возрастания номера в очереди строительства. Произведение значения условного критерия на порядковую значимость объекта дает взвешенный критерий, который, как показано на рисунке 1, существенно меняет исходную оценку оптимизируемых объектов.

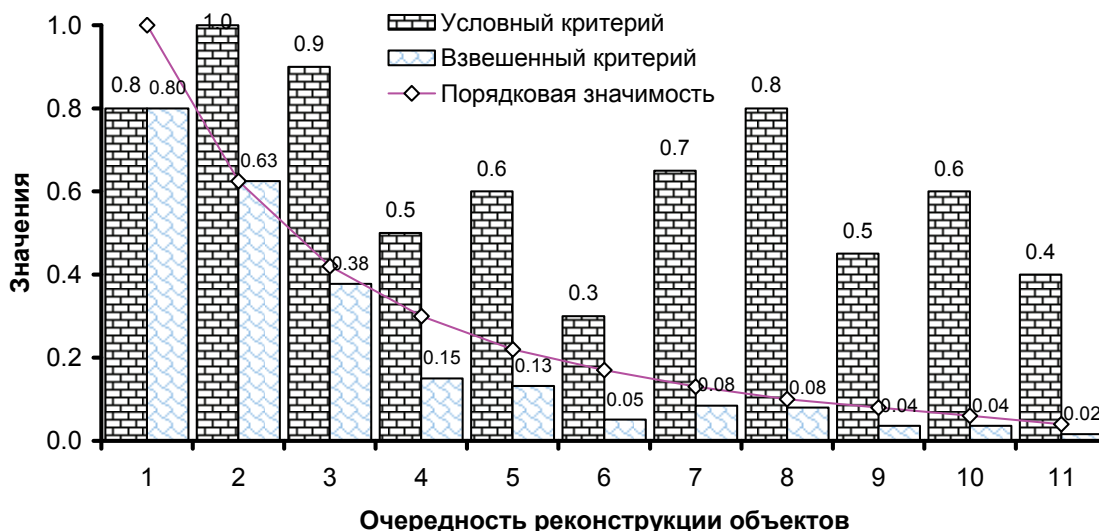


Рисунок 1. Изменение оценочного показателя объекта в зависимости от его очередности

Критерии, по которым осуществляется оптимизация последовательности выполнения работ, достаточно подробно описаны в многочисленных работах по теории расписаний. Например, на базе теории расписаний минимизируются простои при обработке деталей на станках, минимизируется общее время обработки деталей, максимизируется загрузка станков и оборудования и т. д. [7, 8, 9]. Однако применение методов теории расписаний в строительстве, как правило, не учитывает фактор неопределенности, который объективно растет вместе с ростом прогнозируемого времени формирования адресной программы реконструируемых объектов.

Рассмотрим динамику изменения значимостей объектов на основе формирования модели пространственно-временной аналогии (ПВА). В современных научных работах достаточно широко рассматриваются прогнозируемые во времени изменения в различных объектах. Например, в работе [10] произведен анализ уровня риска инновационного процесса, и на основании него сделан вывод о том, что «радикальные нововведения представляют собой нелинейный, стохастический и непрерывный процесс с непредсказуемыми последствиями, рассчитанный в среднем на 10 лет». Однако этот вывод частично опровергается в работе [11], где утверждается правомерность аппроксимационного прогнозирования и дополнительно резюмируется, что аппроксимационный подход возможен как база для оценки возможных отклонений для продолжительных интервалов времени.

Однако приведенных выше утверждений недостаточно для количественного решения поставленной задачи. Поэтому для формирования модели пространственно-временной аналогии рассмотрим такие чисто физические понятия, как пространственная перспектива и горизонт. Дело в том, что эти два понятия довольно часто и широко используют для целей планирования в переносном смысле. Так, в работе [12] излагаются методические аспекты перспективного планирования развития сельских территорий, при этом под перспективой планирования подразумевается, прежде всего, ее временной аспект. В работе [13] рассматривается понятие горизонта планирования как категории времени, адаптированной к области финансового права. В работе [14] представлен анализ современных тенденций научно-технического прогресса и горизонта планирования, также имеющего чисто временной характер. Данное понятие рассматривается и в работах [15, 16].

Используем приведенные выше утверждения в качестве первоначальной основы для формируемой нами модели, ориентированной на количественный аспект применения пространственно-временной аналогии. В качестве изменяемой величины рассмотрим продолжительность работы. На рисунке 2 показано геометрическое представление перспективы уменьшения продолжительности, определенное по аналогии с уменьшением истинных размеров предметов при их рассмотрении в пространстве.

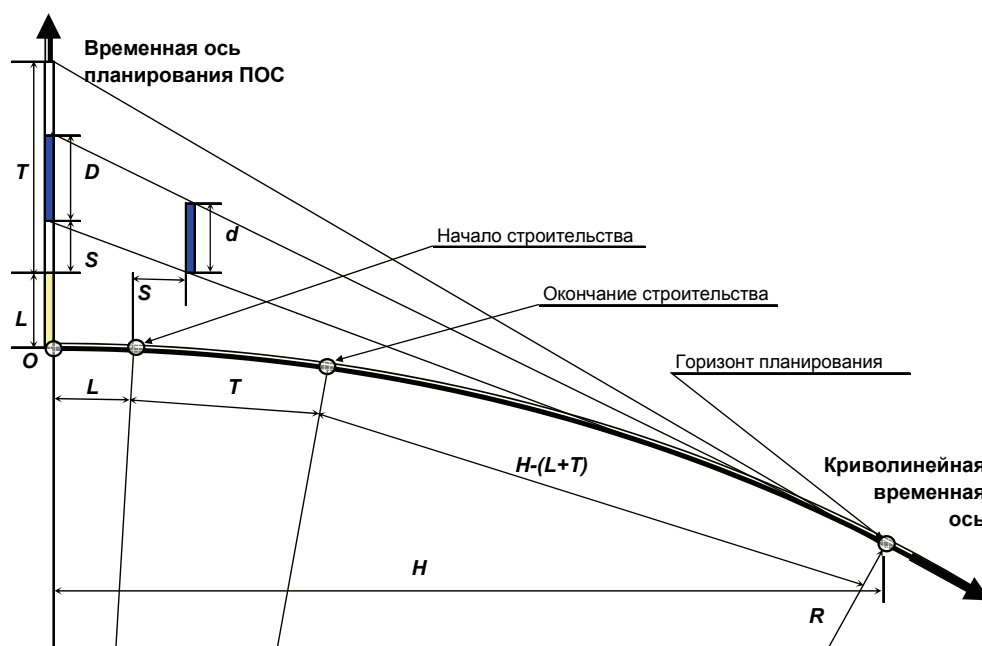


Рисунок 2. Геометрическое представление перспективы уменьшения продолжительности

Известно, что визуальный эффект, определяемый как перспектива, зависит от радиуса поверхности Земли и от высоты нахождения наблюдателя над ее уровнем. При перенесении пространственной перспективы на отображаемую плоскость, например, на плоскость рисунка, используют свойство схождения параллельных линий в точке горизонта, дальность которого отсчитывают от места нахождения наблюдателя. В результате, с точки зрения наблюдателя, горизонтом называется линия, характеризующаяся видимым схождением неба и земли. В итоге такого схождения получается, что выше этой линии находится небо, а ниже – земля.

В качестве аналогичной временной характеристики горизонта может быть использовано значение периода окупаемости проекта, которое обозначено на рисунке 2 литерой H . Как нам представляется, данная аналогия заключается в том, что на временном горизонте возникает равенство между интегральными инвестиционными расходами на строительный проект и интегральными операционными доходами, получаемыми от эксплуатации готового объекта. По аналогии с пространственным горизонтом получается, что до точки временного горизонта имеется, как правило, отрицательный денежный поток, а после нее денежный поток становится положительным. В итоге можно сказать, что временным горизонтом является точка схождения отрицательного и положительного денежных потоков. При развитии принятой аналогии следует отметить, что понятие горизонта планирования должно быть связано с временным аналогом высоты нахождения наблюдателя. За данную высоту целесообразно принять момент времени окончания строительства, так как именно с этой высоты можно оценить срок окупаемости всего проекта.

Если ориентировать создаваемую модель ПВА на ее применение в проекте организации строительства (ПОС), то тогда за точку анализа будущих характеристик очередности строительства объектов может быть принят момент времени окончания проектирования календарного плана, разработанного с учетом задания очередности освоения объектов. Однако время окончания проектирования календарного плана отдельно не фиксируется, поэтому за начало отсчета времени целесообразно принять общий момент завершения ПОС. Суммарная продолжительность строительства очереди объектов T и лаг времени между окончанием ПОС и началом строительства L как раз и определяют ту высоту нахождения наблюдателя, с которой виден срок окупаемости проекта, используемый в качестве горизонта планирования.

Для модели ПВА следует указать и на ее отличие от прямой геодезической задачи, в которой радиус кривизны земной поверхности является константой. В нашем случае константой является срок окупаемости, а значение высоты наблюдения является параметром, который определяется календарным планом, разрабатываемым в ПОС. В итоге возникающая временная кривизна имеет статус функции, определяющей искомый эффект перспективы уменьшения продолжительностей работ во времени. Определение значения временной кривизны необходимо для оценки тех приближений, которые использованы в дальнейшем при выводе расчетных формул. Ее расчет проводится по следующей формуле:

$$R = \frac{H^2 - (L + T)^2}{2(L + T)}. \quad (1)$$

При выводе формулы (1) принято, что длина касательной, определенная от точки горизонта до пересечения с ординатой, приравнена соответствующей длине дуги горизонта. На самом деле, согласно работе [17], относительное увеличение длины касательной определяется формулой

$$G = H + \frac{H^3}{3R^2}, \quad (2)$$

где G – абсолютное значение длины отрезка касательной.

Покажем на конкретном примере возникающую от этого погрешность. Для $H = 5$ лет, $L + T = 1$ год, получаем $R = 12$ лет и $G = 5.29$ лет, что соответствует погрешности менее 6%. Таким образом, на основании представленных приближений для вывода искомых формул можно использовать более простую линейную модель, показанную на рисунке 3.

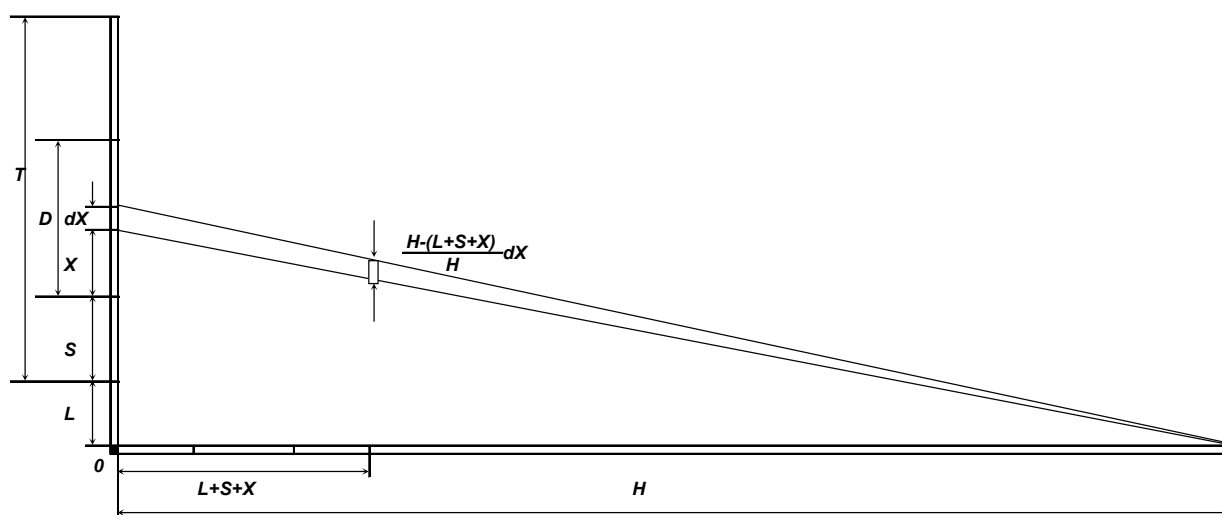


Рисунок 3. Линейная модель перспективы уменьшения продолжительности

Возьмем произвольную работу, начало и продолжительность которой определены литерами S и D соответственно. Определим на данной работе элементарную длину dX , отстоящую от ее начала на расстояние X . Тогда любая элементарная длина (продолжительность) работы в силу ее перспективного уменьшения при приближении к точке горизонта будет определять общее уменьшение в соответствии со следующим определенным интегралом:

$$Z_j = \frac{d}{D} = \int_{L+S}^{L+S+D} \frac{H - L - S - X}{H} dX = \left(1 - \frac{L + S + 0.5D}{H}\right). \quad (3)$$

Выведенная формула показывает, что с удалением работы в сторону горизонта планирования ее видимая продолжительность уменьшается, и именно это относительное уменьшение Z_j и принято в качестве значимости отдельного объекта очереди. Анализируя формулу (3), можно отметить, что значимость объекта будет больше при более раннем начале работы на нем и при меньшей продолжительности. Анализ показал, что формула (3) справедлива при $H \geq T + L$, что является нижней границей задания горизонта планирования. Верхняя же граница горизонта планирования может асимптотически стремиться к бесконечности, и в этом случае отношение Z_j будет стремиться к единице. Действительно, при задании достаточно большого горизонта планирования декларируется сплошная детерминированность, являющаяся, по сути дела, антиподом риска несвоевременного выполнения работ. Естественно, что тогда видимая перспектива изменения продолжительностей работ будет незначительно отличаться от единицы. В практическом же плане горизонт планирования можно определить исходя из нормы дисконта E , которая универсально используется при расчете различных показателей экономической эффективности инвестиционных строительных проектов. С ее помощью в первом приближении горизонт планирования может быть определен как $H \approx 1/E$.

Для дальнейшего придания рассматриваемой задаче оптимизационной направленности используем в качестве критерия чистый дисконтированный доход. В работе [6] на примере рассмотрения энергоресурсосберегающих объектов было показано, что согласно данной целевой функции необходимо найти такую очередность строительства объектов, чтобы суммируемый чистый дисконтированный доход был бы максимален. Эта целевая функция определяется следующим выражением: $NPV = \sum NPV_j \rightarrow \max$, каждый член которого определяется формулой:

$$NPV_j = V_j \frac{1 - \alpha^{-S_j}}{\ln \alpha} - \int_{S_j}^{F_j} \alpha^{-t} c_j(t) dt + R_j \frac{\alpha^{-F_j} - \alpha^{-T}}{\ln \alpha}, \quad (4)$$

где $V_j(t)$ – функция годовых операционных доходов (расходов) до проведения реконструкции на j -м объекте;

$R_j(t)$ – функция годовых операционных доходов (расходов) после проведения реконструкции на j -м объекте;

$C_j(t)$ – функция инвестиционных затрат в реконструируемый объект;

S_j и F_j – сроки начала и окончания реконструкционных работ на объекте;

T – продолжительность выполнения всех реконструкционных работ;

$E = \alpha - 1$ – норма дисконта, включающая безрисковую составляющую (ставку), темп инфляции и премию за риск инвестиций в комплексный проект.

Из формулы (4) следует, что для формирования всех денежных потоков обязательно необходима разработка соответствующих календарных планов, для составления которых также требуется учет трех групп ограничений: топологических, ресурсных и временных, и это обстоятельство дополнительно делает поставленную задачу информационно сложной [18]. Таким образом, представленный пример показывает, что для решения задачи очень трудно использовать точные алгоритмы комбинаторной оптимизации, определяемые методами динамического программирования и методом ветвей и границ [19–21].

Поскольку теоретически доказанных алгоритмов для решения подобного рода сложной задачи не существует, то целесообразно применить оптимизационный метод, получивший название метода наискорейшего спуска (подъема), алгоритм которого изложен в работе [22]. Рассмотрим алгоритм наискорейшего спуска с учетом модели ПВА в вербальной форме.

На первом шаге оптимизации для всех N объектов, входящих в адресную программу реконструкции, формируют денежные потоки при условии, что очередь начинается с каждого объекта. Для каждого j -го объекта, закрепленного на первом месте, по формуле (3) рассчитывается его значимость Z_j , а по формуле (4) – чистый дисконтированный доход NPV_j . В соответствии с максимумом произведения этих величин $Z_j \cdot NPV_j$ определяется объект, который ставится на первое место. Следующим из оставшихся $N-1$ объектов по аналогичной схеме определяется доминирующий объект второй очереди и так далее до окончательного построения искомой последовательности.

Описанная методика получила также название «жадного алгоритма», поскольку для ее реализации требуется расчет всего лишь $N(N-1)/2$ узлов дерева целей, что существенно меньше расчета числа вариантов, определяемых факториальной функцией [23]. Однако точные результаты для методики наискорейшего спуска возможны только для существенно убывающей функции, определяемой моделью ПВА [24]. Анализ этой модели показывает, что максимизация скорости убывания значимости будет соответствовать минимизации принятого горизонта планирования. Вместе с этим следует отметить, что решение рассмотренной задачи в ПОС имеет положительную перспективу и для нового строительства, так как календарное планирование в ПОС опирается на нормативное определение продолжительностей строительства [25].

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

- 1) задача поиска оптимальных очередностей освоения объектов является *NP*-трудной вследствие экспоненциального увеличения ее вычислительной трудоемкости в зависимости от линейного увеличения числа объектов в очереди;
- 2) на формирование порядка освоения объектов существенным образом влияет место объекта в очереди: чем позже запланирована реконструкция объекта, тем выше его неопределенность и ниже значимость;
- 3) на основании переноса значений и использования таких физических понятий, как пространственная перспектива и горизонт, можно построить модель пространственно-временной аналогии для определения критерия порядковой значимости каждого объекта и формирования оптимальной очередности их освоения.

Литература

1. Горбанева Е.П., Мищенко В.Я. Роль реконструкции и модернизации в системе обеспечения сохранности и воспроизводства объектов недвижимости // Научный вестник ВГАСУ. Серия: Дорожно-транспортное строительство. 2004. №3. С.72–76.
2. Афанасьев В. А. Поточная организация строительства. Ленинград: Стройиздат, 1990. 160 с.
3. Gharibian S. Strong *Np*-Hardness of the Quantum Separability Problem // Quantum Information and Computation. 2010. No.3–4. Pp. 0343–0360.
4. Юдин Д.Б., Юдин А.Д. Математики измеряют сложность. М.: Знание, 1985. 192 с.
5. Болотин С.А., Мещанинов И.Ю. Основы постановки частной задачи комбинаторной оптимизации строительства комплекса объектов // Известия вузов. Строительство. 2009. №2(602). С. 38–42.
6. Болотин С.А., Дадар А.Х. Оптимизация последовательности реконструкции энергоресурсосберегающих объектов в условиях роста неопределенности // Недвижимость: экономика, управление. 2011. №2. С. 21–24.
7. Конвей Р.В., Максвелл В.Л., Миллер Л.В. Теория расписаний. М.: Наука, 1975. 360 с.
8. Lazarev A.A., Kvaratskheliya A.G. Metrics in Scheduling Problems // Doklady Mathematics. 2010. No.3. Pp. 497–499.
9. De Snoo C., Van Wezel W., Jorna R.J. An Empirical Investigation of Scheduling Performance Criteria // Journal of Operations Management. 2011. No.3. Pp. 181–193.
10. Шестакова И.Г. Анализ современных тенденций научно-технического прогресса и горизонты планирования // Экономика и экологический менеджмент. 2013. №1. С. 67–82.
11. Шамина Л.К., Петров Д.Н. Динамика риска ошибочного выбора инновационного проекта // Альманах современной науки и образования. 2009. №9(28). С. 193–194.
12. Аношкина Е.Л., Карпович Ю.В. Методические аспекты перспективного планирования развития сельских территорий // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Социально-экономические науки. 2010. №7. С. 78–86.
13. Кудряшова Е.В. Понятие «горизонт планирования» в финансовом праве // Финансовое право. 2013. №4. С. 5–8.
14. Харин А.А. Принцип неопределенного будущего, примеры его применения в экономической теории, возможности его применения в теориях сложных систем, в теории множеств, теории вероятностей и логике // Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах: труды международной научной школы МАБР. Санкт-Петербург, 2007.

15. Verderame P.M., Floudas C.A. Integration of Operational Planning and Medium-Term Scheduling for Large-Scale Industrial Batch Plants under Demand and Processing Time Uncertainty // *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 2010. No.10. Pp. 4948–4965.
16. Tang L., Meng Y., Liu J. An Improved Lagrangean Relaxation Algorithm for the Dynamic Batching Decision Problem // *International Journal of Production Research*. 2011. No.9. Pp. 2501–2517.
17. Кулешов Д.А., Стрельников Г.Е. инженерная геодезия для строителей: Учебник для вузов. М.: Недра, 1990. 256 с.
18. Болотин С.А., Дадар А.Х., Мещанинов И.Ю., Оолакай З.Х. Элиминация последовательности энергоресурсосберегающей реконструкции объектов при учете разнородных ограничений для нахождения оптимума // *Вестник СПбГАСУ*. 2011. №3(28). С. 60–65.
19. Fomin F.V., Golovach P.A., Kratochvil J., Kratsch D., Liedloff M. Branch and Recharge: Exact Algorithms for Generalized Domination // *Algorithmica*. 2011. No.2. Pp. 252–273.
20. Skaf J., Boyd S., Zeevi A. Shrinking-Horizon Dynamic Programming // *International Journal of Robust and Nonlinear Control*. 2010. No.17. Pp. 1993–2002.
21. Paulavičius R., Žilinskas J., Grothey A. Investigation of Selection Strategies in Branch and Bound Algorithm with Simplicial Partitions and Combination of Lipschitz Bounds // *Optimization Letters*. 2010. No.2. Pp. 173–183.
22. Валетов В.А. Интеллектуальные технологии производства приборов и систем [Электронный ресурс]. URL: <http://le-club.ru/books/va-valetov/371-algorithm-naiskoreis.html> (дата обращения: 26.09.13).
23. Papakonstantinou P.A., Rackoff C.W. Characterizing Sets of Jobs That Admit Optimal Greedy-Like Algorithms // *Journal of Scheduling*. 2010. No.2. Pp. 163–176.
24. Slevinsky R.M., Safouhi H. A Comparative Study of Numerical Steepest Descent, Extrapolation, and Sequence Transformation Methods in Computing Semi-Infinite Integrals // *Numerical Algorithms*. 2012. No.2. Pp. 315–337.
25. Болотин С.А., Дадар А.Х., Птухина И.С. Имитация календарного планирования в программах информационного моделирования зданий и регрессионная детализация норм продолжительности строительства // *Инженерно-строительный журнал*. 2011. №7(25). С. 20–24.

*Сергей Алексеевич Болотин, Санкт-Петербург, Россия
+7(904)551-80-99; эл. почта: sbolotin@mail.ru*

*Алдын-кыс Хунаевна Дадар, Санкт-Петербург, Россия
+7(913)355-0123; эл. почта: daryi@mail.ru*

*Марина Александровна Котовская, Санкт-Петербург, Россия
+7(905)205-09-63; эл. почта: mkotovskaya@gmail.com*

© Болотин С.А., Дадар А.Х., Котовская М.А., 2013

doi: 10.5862/MCE.42.7

The model of the space-time analogy in the optimization of the renovation order of buildings

S.A. Bolotin

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg, Russia
+7(904)551-80-99; e-mail: sbolotin@mail.ru

A.Kh. Dadar

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg, Russia
+7(913)3550123; e-mail: daryi@mail.ru

M.A. Kotovskaya

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg, Russia
+7(905)2050963; e-mail: mkotovskaya@gmail.com

Key words

space-time analogy; order of construction; serial importance of the project; planning horizon; steepest descent method

Abstract

The objective of the research was the problem of optimal priorities of the buildings' renovation or major repairs. The number of works can be great because of their short duration. This fact increases the computational processing time depending on linear increase of projects' number exponentially. Uncertainty of the projects' characteristics increases with the time as well.

For solving this problem the definition of serial importance of project was introduced and the dynamics of this serial importance was reviewed. The model of the space-time analogy based on the category of the aerial perspective and horizon was built. On the basis of application of this analogy the algorithm of the optimization of priorities in buildings' reconstruction or major repairs was suggested.

References

1. Gorbaneva E.P., Mishchenko V.Ya. *Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Traffic Construction*. 2004. No.3. Pp. 72–76. (rus)
2. Afanasyev V.A. *Potochnaya organizatsiya stroitelstva* [Mainstreaming of construction]. Leningrad: Stroyizdat, 1990. 160 p. (rus)
3. Gharibian S. Strong Np-Hardness of the Quantum Separability Problem. *Quantum Information and Computation*. 2010. No.3–4. Pp. 0343-0360.
4. Yudin D.B., Yudin A.D. *Matematiki izmeryayut slozhnost* [Mathematicians are measuring complexity]. Moscow: Znaniye, 1985. 192 p. (rus)
5. Bolotin S.A., Meshchaninov I.Y. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2009. No.2 (602). Pp. 38–42. (rus)
6. Bolotin S.A., Dadar A.K. *Real Estate: Economic. Management*. 2011. No.2. Pp. 21–24. (rus)
7. Konvey R.V., Maksvell V.L., Miller L.V. *Teoriya raspisaniy* [Scheduling theory]. Moscow: Nauka, 1975. 360 p. (rus)
8. Lazarev A.A., Kvaratskheliya A.G. *Doklady Mathematics*. 2010. No.3. Pp. 497–499.
9. De Snoo C., Van Wezel W., Jorna R.J. *Journal of Operations Management*. 2011. No.3. Pp. 181–193.
10. Shestakova I.G. *Economics and Environmental Management*. 2013. No.1. Pp. 67–82. (rus)
11. Shamina L.K., Petrov D.N. *Almanac of Modern Science and Education*. 2009. No.9(28). Pp. 193–194. (rus)
12. Anoshkina Y.L., Karpovich Y.V. *Vestnik of State National Research Polytechnic University of Perm. Socio-economic sciences*. 2010. No.7. Pp. 78–86. (rus)
13. Kudryashova Y.V. *Financial Law*. 2013. No.4. Pp. 5–8. (rus)
14. Kharin A.A. *Modelirovaniye i analiz bezopasnosti i riska v slozhnykh sistemakh: trudy mezhdunarodnoy nauchnoy shkoly MABR* [Modelling and Analysis of Safety and Risk in Complex Systems: Proceedings of the Seventh International Scientific School MA SR – 2007]. Saint-Petersburg, 2007. 540 p. (rus)

Bolotin S.A., Dadar A.Kh., Kotovskaya M.A. The model of the space-time analogy in the optimization of the renovation order of buildings

15. Verderame P.M., Floudas C.A. Integration of Operational Planning and Medium-Term Scheduling for Large-Scale Industrial Batch Plants under Demand and Processing Time Uncertainty. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 2010. No.10. Pp. 4948–4965.
16. Tang L., Meng Y., Liu J. An Improved Lagrangean Relaxation Algorithm for the Dynamic Batching Decision Problem. *International Journal of Production Research*. 2011. No.9. Pp. 2501–2517.
17. Kuleshov D.A., Strel'nikov G.E. *Inzhener'naya geodeziya dlya stroiteley* [Engineering Surveying for constructors]. Moscow: Nedra, 1990. 256 p. (rus)
18. Bolotin S.A., Dadar A.K., Meshchaninov I.Y., Oolokay Z.K. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2011. No.3(28). Pp. 60–65.
19. Fomin F.V., Golovach P.A., Kratochvíl J., Kratsch D., Liedloff M. Branch and Recharge: Exact Algorithms for Generalized Domination. *Algorithmica*. 2011. No.2. Pp. 252–273.
20. Skaf J., Boyd S., Zeevi A. Shrinking-Horizon Dynamic Programming. *International Journal of Robust and Nonlinear Control*. 2010. No.17. Pp. 1993–2002.
21. Paulavičius R., Žilinskas J., Grothey A. Investigation of Selection Strategies in Branch and Bound Algorithm with Simplicial Partitions and Combination of Lipschitz Bounds. *Optimization Letters*. 2010. No.2. Pp. 173–183.
22. Valetov V.A. *Intellektualnyye tekhnologii proizvodstva priborov i sistem* [Intellectual Technologies of Instruments and Systems Production], URL: <http://le-club.ru/books/va-valetov/371-algoritmnaiskoreis.html>. (accessed September 26, 2013). (rus)
23. Papakonstantinou P.A., Rackoff C.W. Characterizing Sets of Jobs That Admit Optimal Greedy-Like Algorithms. *Journal of Scheduling*. 2010. No.2. Pp. 163–176.
24. Slevinsky R.M., Safouhi H. A Comparative Study of Numerical Steepest Descent, Extrapolation, and Sequence Transformation Methods in Computing Semi-Infinite Integrals. *Numerical Algorithms*. 2012. No.2. Pp. 315–337.
25. Bolotin S.A., Dadar A.K., Ptukhina I.S. *Magazine of Civil Engineering*. 2011. No.7. Pp. 20–24. (rus)

Full text of this article in Russian: pp. 51–57