
УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 65.0(075.8)+330.4+ 681.3.06

АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ СОВОКУПНОСТЕЙ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ЗАДАЧ ПЛАНИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ РЕСУРСНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ И РИСКОВ

Брумштейн Юрий Моисеевич, кандидат технических наук, доцент, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, e-mail: brum2003@mail.ru

Тарков Денис Алексеевич, магистрант, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, e-mail: odmin65536@gmail.com

Дюдиков Иван Андреевич, аспирант, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, e-mail: shtorman@mail.ru

В статье рассмотрена проблема оптимального выбора совокупности решений (СР) применительно к двум классам задач планирования – «управление проектами» и «определение совокупности внеучебных мероприятий в средних общеобразовательных учреждениях». Исследованы вопросы формализации постановок задач этих классов с позиций лиц, принимающих решения (ЛПР). Подробно представлен математический аппарат, связанный с выбором оптимальных СР. Он включает в себя формализованные «критерии оптимальности» для разных вариантов выбора СР при наличии наборов ограничений по ресурсам и рискам. Эти ограничения могут относиться к отдельным задачам в проектах, проектам в целом, совокупностям проектов. По своему характеру ограничения могут быть «барьерными» или «мягкими». Последний вариант предложено учитывать с использованием «штрафных функций» – путем корректировки величин «затрат» на реализацию работ/проектов. Показана целесообразность дополнительного учета в моделях принятия СР таких характеристик проектов (и, возможно, групп работ в них), как «рентабельность» и «качество выполнения». Отдельно рассмотрены вопросы планирования СР, принимаемых группой ЛПР. Предполагается, что каждое из них управляет одним или большим числом проектов, причем помимо ресурсов, выделенных только отдельным ЛПР, для них могут быть доступны и некоторые ресурсы общего пользования. В этом случае СР разных ЛПР являются взаимосвязанными по ресурсам. Кроме того, их СР ограничиваются суммарными рисками по всем ЛПР. Авторами подробно рассмотрены вопросы технологии (алгоритмизации) выбора оптимальных СР, в том числе эффективности «распараллеливания» вычислений, метода ветвей и границ, генетических алгоритмов, агентных методов.

Ключевые слова: совокупность решений, технологии выработки, оптимизация выбора, ограничения, ресурсы, риски, качество, рентабельность, нечеткие условия, математические модели, метод ветвей и границ, генетические алгоритмы

THE MODELS AND METHODS ANALYSIS OF OPTIMUM CHOICE FOR DECISIONS SETS IN CONDITIONS OF RESOURCES RESTRICTIONS AND RISKS

Brumsteyn Yuriy M., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, e-mail: brum2003@mail.ru

Tarkov Denis A., undergraduate student, Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, e-mail: odmin886@mail.ru

Dyudikov Ivan A., post-graduate student, Astrakhan State University, 20a Tatischev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, e-mail: shtorman@mail.ru

The paper considers the problem of choosing optimal set of solutions (SS) for two classes of scheduling problems "Project Management" and "definition of total extra-curricular activities in secondary institutions". The formalization of task formulation for these classes problems for decision-making persons (DMP) is investigated. The mathematical techniques related to the choice of the optimal SS is submitted in detail. It includes a formal "optimality criteria" for different choices of SS in presence of sets for resources constraints and risks. These restrictions may be applied to individual task in the project, the project as a whole, the aggregate of projects. By its nature, limitations may be "barrier" or "soft". The last option proposed to account using the "penalty function" – by adjusting the "costs" for the implementation of works/projects. . Is shown the expediency of additional accounting in SS models such characteristics in projects (and possibly groups of works in them) as a "margin" and "quality of implementation". Separately considered SS planning for a group of DMP. It is assumed that each of them manages one or more projects, and above the resources allocated only for individual DMP there resources, available for public usage. In this case, the SS of different DMP are inter-related by resources. In addition they are limited by total risk of SS for all DMP. The authors in detail the considered the technology (algorithmic) of optimal SS selection, including the effectiveness of "parallel" calculations, of branch-and-bound method, genetic algorithms, agent-based technology.

Keywords: set of decisions, technologies of development, optimization of a choice, restriction, resources, risks, quality, profitability, indistinct conditions, mathematical models, method of branches and borders, genetic algorithms

Проблема принятия (и последующей реализации) оптимальной совокупности решений (СР) в условиях ресурсных ограничений и рисков является достаточно актуальной в практике деятельности различных лиц, принимающих решения (ЛПР). Чаще всего эта проблема решается на основе опыта и интуиции ЛПР, его прогнозных оценок рисков. Однако эти задачи могут решаться и на основе математических моделей/методов принятия решений. В существующей литературе эти вопросы рассмотрены недостаточно полно. Поэтому в настоящей статье сделана попытка исследовать математические постановки задач выбора СР одним ЛПР и их группой, а также оценить эффективность некоторых алгоритмов выполнения оптимального выбора.

Для определенности ниже мы будем иметь в виду два класса задач выбора СР. Первый класс (по умолчанию мы будем иметь в виду именно его) связан с выбором оптимальной СР, каждое из которых соответствует решению о реализации конкретного «проекта». При этом используются ограничения двух типов: (а) по доступным ресурсам – трудовым, материальным, финансовым; (б) для рисков – по отдельным видам работ в проектах; по отдельным проектам и их совокупностям за весь период выполнения; по отдельным годам реализации конкретных проектов и их совокупностей. Эти риски могут быть связаны с реализацией неблагоприятных событий (НС) природного, техногенного, организационного, экономического, криминального и иного характера. В некоторых задачах выбора СР по проектам могут также использоваться ограничения в отношении предельных или средних вероятностей реализации НС событий, максимальным ущербам для отдельных видов работ, проектов в целом, отдельных лет реализации конкретных проектов или совокупностей проектов и пр. При планировании проектов и их совокупностей учитывается также текущее состояние тех объектов, которые предполагается модифицировать, реконструировать или дополнить [1–3, 7].

Для упрощения постановок в рамках данной статьи мы не будем рассматривать вопросы оптимизации последовательности выполнения работ в проектах для минимизации продолжительности по времени «критического пути» [9, 13].

Отметим также, что для «отобранных» в СР решений (проектов) в принципе возможны различные варианты реализации, различающиеся продолжительностью, сроками и

пр. [9]. Поэтому для простоты мы будем считать: разные варианты реализации проектов рассматриваются как отдельные решения; в одной СР не может быть разных вариантов реализации для одного и того же проекта.

Второй класс задач связан с планированием совокупности внеучебных мероприятий в среднем общеобразовательном заведении – учителем, завучем, директором, классным руководителем или сочетанием (совокупностью) этих ЛПР. В качестве ресурсов здесь могут выступать: суммарные объемы времени, которые ЛПР может затратить в течение конкретного рабочего дня; наличие свободных помещений для проведения мероприятий (в общем случае они могут одновременно использоваться и несколькими ЛПР одновременно – но с учетом ограничений по вместимости); интервалы времени («окна») для ЛПР и родителей, в которых могут проводиться мероприятия и пр. Особенностью этого класса задач может быть необходимость одновременного (совмещенного по времени) планирования нескольких мероприятий разными ЛПР. Риски определяются возможностями срыва запланированных мероприятий по причинам, которые нельзя было предвидеть или заблаговременно предотвратить. Для этого класса задач роль «лет в проектах» могут играть «месяцы» или даже отдельные «дни».

В данной работе для i -ого НС термин «риск» (R_i) будем понимать как произведение вероятности (P_i) реализации этого НС в течение выбранного промежутка времени (T) на величину ущерба, наносимого при реализации этого НС (U_i) [5, 6, 8]. При этом последствия НС могут выходить за рамки промежутка времени T :

$$R_i = P_i U_i. \quad (1)$$

По умолчанию будем считать, что для отдельных НС общие величины ущербов равны суммам частных ущербов по отдельным направлениям воздействия. Кроме того, мы не будем учитывать возможность «взаимодействий» НС, которые могут усиливать неблагоприятные эффекты друг друга. Сами величины ущербов будем считать выраженными в рублях. В целом ряде случаев (например, при ущербе «социального характера», «моральной вреде» и пр.), величины ущербов не могут быть определены непосредственно. Тогда возможны следующие подходы. (1) Использование некоторых «нормативных показателей», взятых из различных инструкций, методик и т.п. документов. (2) Применение «экспертных оценок» для ущербов, выполняемых группами специалистов. (3) Использование литературных и иных данных о величинах ущербов, нанесенных аналогичным объектам и пр. (4) Социальный и иные «не экономические» виды ущербов пересчитываются в их «денежные эквиваленты» по той или иной методике. Однако при этом для последовательностей событий применяются некоторые коэффициенты, которые носят достаточно приближенный характер.

Если положительные эффекты (ПЭ) от решений и ущербы «распределены» по значительным промежуткам времени, то целесообразно введение коэффициентов дисконтирования, учитывающих инфляционные поправки.

Рассмотрим сначала задачу выбора одним ЛПР оптимальной СР (проектов) для определенного периода времени. Подчеркнем, что этот этап фактически предшествует собственно «управлению проектами» [4, 10, 14, 16]. При этом мы не будем рассматривать вопросы, связанные с последовательностью выполнения «проектов» по времени в рамках этого периода. Для простоты также не будем учитывать возможности «замещения» одних видов ресурсов другими.

Оптимальная СР для m -го ЛПР соответствует их сочетанию с наибольшей разностью между суммами ПЭ и затрат на реализацию (при выполнении заданных ограничений для ресурсов и рисков – см. ниже)

$$\left\{ \max_{j=1 \dots \psi_m} (\Omega_{j,m} = E_{j,m} - Z_{j,m}) \right\}_{m=1 \dots M}, \quad (2)$$

где M – общее количество ЛПР; j – индекс СР (для разных ЛПР, соответствующих разным индексам « m », количество потенциально возможных СР, которое мы обозначим как ψ_m может быть разным); $E_{j,m}, Z_{j,m}$ – суммарные ПЭ и затраты для m -го ЛПР в случае j -ой СР; $\Omega_{j,m}$ – их разность. Таким образом, (2) описывает модель оптимизации СР для всех ЛПР «по отдельности».

Суммарный ПЭ от j -ой СР m -го ЛПР ($E_{j,m}$) будем считать равным сумме «собственно ПЭ» ($D_{j,m}$) и предотвращённых ущербов от реализации возможных НС ($N_{j,m}$):

$$E_{j,m} = D_{j,m} + N_{j,m}. \quad (3)$$

При учете коэффициентов дисконтирования для ПЭ и затрат за период T (за годы с 1-го по G -ый) формула (2) должна быть заменена на

$$\left\{ \max_{j=1 \dots \psi_m} = \sum_{g=1}^G K(E_{j,m,g}^* - Z_{j,m,g}^*) \right\}_{m=1 \dots M}, \quad (4)$$

где для g -ого года: K_g – коэффициент дисконтирования; $E_{j,m,g}^*$ и $Z_{j,m,g}^*$ – ПЭ и затраты, связанные с принятием и реализацией m -ым ЛПР j -ой СР.

Ресурсные ограничения для m -ого ЛПР за весь период планирования

$$\left\{ \left(\sum_{j=1}^{J_m} S_{n,j,m} \right) \leq S_{n,m}^{\#} \right\}_{n=1 \dots N; m=1 \dots M}, \quad (5)$$

где m – индекс ЛПР; N – количество видов ресурсов; J_m – количество СР, потенциально возможных для m -ого ЛПР; $S_{n,m}^{\#}$ – предельный объём использования n -го ресурса m -ым ЛПР для реализации СР, т.е. по всем его «проектам»; $S_{n,j,m}$ – необходимый объём использования n -го ресурса, соответствующий j -ому решению для m -ого ЛПР. Подчеркнем, что согласно (5) каждый ЛПР располагает только «своими» ресурсами, а не «берет» их из общего пула.

Ограничения по ресурсам для каждого ЛПР можно задать и «по периодам» (в случае проектов – это обычно «годы», «месяцы», реже «недели»)

$$\left\{ \left(\sum_{j=1}^{J_m} S_{n,j,m,g}^* \right) \leq S_{n,m,g}^{\#\#} \right\}_{g=1 \dots G; n=1 \dots N; m=1 \dots M}, \quad (6)$$

где $S_{n,j,m,g}^*$ – необходимый объём n -го ресурса, соответствующий j -ому решению m -ого ЛПР в g -ом году, а $S_{n,m,g}^{\#\#}$ – предельный объём использования для j -ого ресурса в g -ом году для m -ого ЛПР. Ограничения типа (6) могут применяться либо «одновременно» с (5), либо вместо них. Существенно, что вместо «барьерных» (т.е. таких, которые нельзя нарушать) ограничений вида (5), (6) могут использоваться «мягкие» ограничения. Их нарушение приводит к появлению «штрафов», увеличивающих затраты при реализации проектов. Например, превышение «лимитов» на трудовые ресурсы, доступные в пределах рабочего времени, может достигаться за счет планирования «сверхурочной» работы персонала или работы в

праздничные дни. Такие виды работы должны оплачиваться по повышенным ставкам, следовательно, будут меняться и $Z_{j,m}$ в (2).

Для рисков [6, 8] в случае одного ЛПП и одного вида ресурсов ограничения «за весь период» и по «отдельным годам» выглядят аналогично тому, что мы ранее представили для ресурсов

$$\left\{ \left(\sum_{j=1}^{J_m} R_{n,j,m}^{\#} \right) \leq R_{n,m}^{\#} \right\}_{n=1 \dots N; m=1 \dots M}, \quad (7)$$

$$\left\{ \left(\sum_{j=1}^{J_m} R_{n,j,m,g}^* \right) \leq R_{n,m,g}^{\#\#} \right\}_{g=1 \dots G; n=1 \dots N; m=1 \dots M}, \quad (8)$$

где $R_{n,j,m}$ – оценка риска по n -ому ресурсу для j -ого решения m -ого ЛПП за весь период; $R_{n,j,m,g}^*$ – то же, но в g -ом году; $R_{n,m}^{\#}$ и $R_{n,m,g}^{\#\#}$ – предельные (максимально допустимые) риски для n -го ресурса в случае m -ого ЛПП соответственно за весь период планирования и в g -ом году. Для одного ЛПП могут быть также заданы (дополнительно к (7), (8) или альтернативно им) ограничения по суммам рисков для всех видов ресурсов, используемых во всех его проектах:

$$\left\{ \left(\sum_{j=1}^{J_m} \sum_{n=1}^N R_{n,j,m} \right) \leq R_m' \right\}_{m=1 \dots M}, \quad (9)$$

$$\left\{ \left(\sum_{j=1}^{J_m} \sum_{n=1}^N R_{n,j,m,g}^* \right) \leq R_{m,g}'' \right\}_{g=1 \dots G; m=1 \dots M}. \quad (10)$$

Ограничения по рискам для отдельных проектов m -ого ЛПП в простейшем случае можно представить как

$$\left\{ \left\{ R_m^{(k)} \leq R_m^{MAX} \right\}_{k=1 \dots K_{m,j}} \right\}_{m=1 \dots M}, \quad (11)$$

где k – номер проекта (подчеркнем, что $k \neq j$, так как индекс j относится к СР); $K_{m,j}$ – общее количество проектов, соответствующее j -ой СР m -ого ЛПП; $\{R_m^{MAX}\}_{m=1 \dots M}$ – максимальный риск по одному «проекту», допустимый для m -ого ЛПП. На практике в отношении выбора СР (проектов) может использоваться подход, аналогичный применяемому для «портфельных инвестиций». Он заключается в комбинировании «проектов» с низкими, средними и высокими уровнями рисков, причем количество «средне-» и «высокорисковых» проектов ограничивается так, чтобы удовлетворить ограничениям по суммарным рискам для ЛПП.

Для отдельных проектов могут использоваться также ограничения по рентабельности вида

$$\left\{ \left\{ W^{(k,m)} \geq W_{\min,m} \right\}_{k=1 \dots K_{m,j}} \right\}_{m=1 \dots M}, \quad (12)$$

где $W^{(k)}$ – рентабельность для k -ого проекта m -ого ЛПП; $W_{\min,m}$ – минимальная рентабельность проекта для m -ого ЛПП. Расчет рентабельности в (12) предполагается по обычной формуле

$$W^{(k,m)} = 100(E^{(k,m)} - Z^{(k,m)}) / Z^{(k,m)}, \quad (13)$$

где $E^{(k,m)}$, $Z^{(k,m)}$ – ПЭ и затраты для k -ого варианта m -ого ЛПР. При этом ПЭ предполагаются выраженными в тех же единицах (например, рублях), что и затраты. При большой продолжительности «варианта реализации» может быть использован аналог (13), включающий учет коэффициентов дисконтирования.

Важна и оценка рентабельности по всей совокупности СР, т.е. выбранных «проектов». Без учета коэффициентов дисконтирования аналогом (13) для j -ой СР m -ого ЛПР для средней рентабельности $\bar{W}_{m,j}$ имеем

$$\left\{ \bar{W}_{m,j} = 100 \left(\sum_{k=1}^{K_{m,j}} E^{(k,m)} - \sum_{k=1}^{K_{m,j}} Z^{(k,m)} \right) / \sum_{k=1}^{K_{m,j}} Z^{(k,m)} \right\}_{m=1 \dots M} \quad (14)$$

При этом средняя рентабельность также должна ограничиваться «снизу»

$$\left\{ \bar{W}_{m,j} \geq \bar{W}_{m,\min} \right\}_{m=1 \dots M}, \quad (15)$$

причем для каждого ЛПР индивидуально, что может быть связано с тем, что они «ведут» проекты разных типов. Понятно, что для части «проектов» их рентабельность может быть ниже $\bar{W}_{m,j}$.

Помимо рентабельности для проектов может ограничиваться и их предполагаемое «качество результатов», причем в общем случае и «снизу» (т.е. в виде «минимального качества»), и сверху. Причина ограничения сверху – избыточное улучшение качества может приводить к неоправданному повышению ресурсоемкости и/или длительности реализации проекта, в том числе и за счет снижения качества для других проектов. Математически это можно представить как

$$\left\{ Q_{m,\min} \leq Q^{(k,m)} \leq Q_{m,\max} \right\}_{k=1 \dots K_m} \Bigg\}_{m=1 \dots M}, \quad (16)$$

где $Q^{(k,m)}$ – прогнозная оценка «качества» для предполагаемого k -ого проекта m -ого ЛПР (она может носить индивидуальный или коллективный характер и основываться на опыте самого ЛПР или его коллег, статистических или иных данных по проектам); $Q_{m,\min}$; $Q_{m,\max}$ – нижняя и верхняя границы «качества» для m -ого ЛПР.

Переходим к задаче оптимизации СР для совокупности «М» ЛПР, которые для планирования проектов используют ресурсы из общего пула. При этом риски СР могут ограничиваться для отдельных ЛПР (эти вопросы уже рассмотрены выше) и/или по всем «М» ЛПР в совокупности. Можно считать, что такая постановка соответствует оптимизации менеджмента в отношении «команды» управляющих проектами. В этом случае аналогами (2) и (4) будут соответственно

$$\max_{i=1 \dots I_{\max}} \left(\sum_{m=1}^M (E_i^{(m)} - Z_i^{(m)}) \right), \quad (17)$$

$$\max_{i=1 \dots I_{\max}} \left(\sum_{m=1}^M \left(\sum_{g=1}^G (K_g (E_i^{(m,g)} - Z_i^{(m,g)})) \right) \right), \quad (18)$$

где $E_i^{(m)}$; $Z_i^{(m)}$ – соответственно ПЭ и затраты, относящиеся к m -ому ЛПР в i -ом варианте сочетаний СР всех «М» ЛПР за весь период планирования; $E_i^{(m,g)}$; $Z_i^{(m,g)}$ – то же, но в g -ом

году; I_{\max} – общее количество всех возможных сочетаний СР по всем «М» ЛПР, которые удовлетворяют совокупности ограничений (по отдельным ЛПР и в совокупности). Подчеркнем, что в этом случае для отдельных ЛПР СР могут быть и «не оптимальными» по критериям типа (2) или (4).

Описанные «базовые» математические постановки задач могут быть обобщены в различных направлениях, в частности в отношении: «приоритетности» прав использования ресурсов различными ЛПР; наличия у отдельных или всех ЛПР «защищенных» минимальных объемов ресурсов (т.е. тех, которые могут использовать только они) плюс общий пул ресурсов для всех ЛПР; применения «матрицы доступности» ресурсов для разных ЛПР; использования «мягких» (см. выше) ограничений по ресурсам и рискам и пр. Эти вопросы предполагается исследовать в последующих статьях.

Рассмотрим теперь вопросы алгоритмизации поиска (подбора) оптимальных СР для одного ЛПР с учетом ограничений по ресурсам и рискам. В силу превышения ПЭ над затратами для всех «проектов», наращивание их количества в СР должно приводить к увеличению показателей типа (2), (4). Однако при этом средняя рентабельность для выбранной «совокупности проектов» может падать и, как следствие, не выполняться критерий типа (15).

Рост количества работ в проектах также обычно приводит к росту рисков. Исключением могут быть «работы», связанные со страхованием рисков.

Мы считаем решения в СР «взаимно независимыми» в том смысле, что ресурсоемкость и риски отдельных решений не влияют друг на друга.

В простейшем случае для оптимизации выбора может быть, очевидно, использован алгоритм сплошного (полного) перебора всех возможных СР с отсечением «не подходящих» наборов по принятым ограничениям (соответствует модели «жестких ограничений»). При линейном росте количества возможных отдельных решений количество СР (представляющих их сочетания) увеличивается значительно быстрее. Поэтому если потенциально возможных к реализации проектов много, то полный «перебор с отсечениями» всех возможных СР может быть вычислительно не эффективным.

При таких условиях алгоритмически простым (но обычно не оптимальным) средством может быть ранжирование решений (для определенности – вариантов выбора проектов) по «приоритетности» – например, по абсолютной величине разности между ПЭ и затратами. Затем в формируемую СР из этого списка последовательно отбираются решения в порядке убывания приоритетов. Если попытка добавить очередное решение (т.е. проект) из ранжированного списка приводит к нарушению хотя бы одного из ограничений, то это решение (проект) в СР не добавляется. После чего ранжированный список продолжает просматриваться дальше. Это связано с тем, что объекты, имеющие меньший «ранг», могут требовать меньше ресурсов и/или иметь меньшие риски.

При большом числе решений (проектов), из которых осуществляется отбор в СР, эффективным может быть алгоритм типа метода «ветвей и границ» на основе «древовидной» структуры решений. На каждом этапе этого алгоритма потенциально возможно «ветвление» по всем еще не включенным в СР решениям (проектам). При этом «отсечение ветвей» на промежуточных этапах формирования СР может происходить при нарушении любого из ограничений (прежде всего по объемам используемых ресурсов). Поскольку дальнейшее добавление решений в СР будет «усиливать» нарушения принятых ограничений (по ресурсам или рискам), постольку «двигаться» дальше по соответствующей ветви нет смысла (т.е. оставшуюся часть ветви можно «отсечь», сэкономив на этом вычислительные затраты).

При очень большом количестве решений (вариантов реализации проектов) даже метод «ветвей и границ» может потребовать слишком больших вычислительных усилий, так как «генерация» вариантов СР и их отбор (проверка на допустимость по всем ограничениям) сами по себе достаточно трудоемки. В таких случаях может быть целесообразным отказ от

поиска оптимальных решений в пользу «достаточно хороших», т.е. близких к оптимальным. Это позволяет за разумное время получить неплохой результат.

Простейшим вариантом алгоритмов этого класса является, очевидно, случайный поиск, основанный на случайной генерации вариантов СР. Если вновь сгенерированный вариант не удовлетворяет хотя бы одному из ограничений, то он сразу бракуется (отбрасывается). Если удовлетворяет, то его интегральный показатель сравнивается с тем, что хранится для ранее достигнутого «лучшего варианта». Если новый вариант лучше ранее достигнутого, то заменяется «лучший вариант», иначе – замена не проводится. Основные недостатки описываемого варианта: медленное приближение (сходимость) к оптимальному решению по мере увеличения количества попыток генерации СР; возможность повторной генерации одних и тех же вариантов СР. Однако алгоритмы типа «случайного поиска» имеют важное достоинство – они могут быть «распараллелены» на несколько компьютеров – например, в рамках использования так называемых вычислительных кластеров.

В качестве современного подхода к поиску субоптимального решения для СР за разумное время могут быть, очевидно, эффективны генетические алгоритмы. Однако для решения рассматриваемых в статье задач они требуют определенной «адаптации» к предметной области – с учетом ее специфики.

Оптимизация СР для коллектива из «М» управляющих проектами, которые используют общий пул ресурсов, может быть осуществлена с использованием в основном тех же алгоритмов, которые описаны выше. Отличия связаны с необходимостью учета: возможных «конфликтов» ЛПР за общедоступные ресурсы в пуле; использования «матрицы доступности ресурсов в пуле для ЛПР»; «физического перемещения таких ресурсов как персонал и оборудование из одного пространственного местоположения в другое (в основном – при «задействовании» этих ресурсов в проектах разных ЛПР); обеспечение «полноты» использования ресурсов и пр. По крайней мере, часть указанных постановок требует специальных алгоритмов, направленных на «согласование» действий ЛПР.

Поэтому целесообразно рассмотреть некоторые дополнительные подходы к планированию реализации совокупности «проектов» группой ЛПР.

(1) Ранжируем ЛПР по приоритетности групп проектов, которыми они должны управлять. Затем планирование проектов осуществляется последовательно – в порядке убывания приоритетности ЛПР. Каждый из них при этом может использовать оставшиеся «свободные» ресурсы из общего пула. Недостаток алгоритма – у ЛПР с низкими приоритетами часть проектов может оказаться не обеспеченными ресурсами. Более того, для «низкоприоритетных ЛПР» большую часть проектов вообще не удастся реализовать. Таким образом, могут быть предпочтительны алгоритмы, позволяющие «регулировать» распределение общих ресурсов и рисков между ЛПР с учетом некоторого «баланса интересов» между ЛПР

(2) Если ранжировать проекты всех ЛПР по степени приоритетности и осуществлять их отбор в СР последовательно, то алгоритмические решения будут фактически одинаковы как в случае одного ЛПР, так и нескольких. При этом «общая приоритетность» конкретного проекта может устанавливаться не только по критерию типа максимальной разности для «ПЭ минус затраты», а в виде некоторой функции, учитывающей «локальную приоритетность» проекта для конкретного ЛПР и приоритета самого ЛПР.

(3) Использование агентных технологий [11, 12, 15, 17] для планирования отбора решений (проектов) в СР позволяет отразить «конкуренцию» (борьбу) за ресурсы общего доступа. Это может быть, в частности, конкуренция между отдельными проектами при планировании одним ЛПР и/или конкуренция между ЛПР за доступные ресурсы из общего пула и «квоты на риски». Поэтому целесообразны «совокупности агентов» и направления (методы) организации их взаимодействия должны отличаться для случаев одного ЛПР и группы ЛПР.

Особенностью агентных технологий является частичная или полная автономность действий агентов (фактически – программных модулей), т.е. возможность «самостоятельно» выбора ими каких-то «решений/действий» – без прямого участия ЛПР.

В случае одного ЛПР при выборе СР (совокупности проектов) целесообразно использовать такие агенты. (1) «Агент-супервизор» ЛПР, который обеспечивает инициацию и завершение деятельности других агентов, получает и обрабатывает «сигналы» от них, самостоятельно «принимает решения» в случае конфликтов интересов между агентами на основе заданных правил и/или выдает соответствующие запросы ЛПР и др. Этот агент находится на более высоком иерархическом уровне по сравнению с остальными. При этом предполагается, что взаимодействие всех описываемых далее агентов друг с другом осуществляется через «агент-супервизор». Такое решение выглядит наиболее логичным, но оно не является единственно возможным. (2) Агент управления включением (и, возможно, исключением) решений (проектов) в формируемую СР для ЛПР. (3) Агенты «захвата» для проектов ресурсов из пула, предназначенного только для этого ЛПР. Целесообразно использовать отдельные агенты для следующих типов ресурсов: трудовые; применение оборудования (механизмов); использование расходных материалов; потребности в энергоносителях, электро- и тепловой энергии; финансовые ресурсы; ресурсы времени. (4) Агент контроля «сумм ресурсов» по всем проектам, включаемым в СР. (5) Агент «захвата» рисков из «квот рисков». (6) Агент контроля сумм рисков по отдельным проектам и их совокупности, включаемой в СР для данного ЛПР.

Если используется идеология «мягких ограничений», то агенты контроля ресурсов и рисков могут не «отбраковывать» варианты СР, а «пересчитывать» затраты по проектам, оценки их эффективности и рентабельности.

Агентные технологии могут также использоваться и при контроле реализации совокупности проектов, их динамическом управлении по ходу выполнения. При этом может корректироваться ранее выбранная СР. Однако эта тематика выходит за рамки настоящей статьи.

Если рассматривается группа ЛПР, управляющих проектами с частично или полностью общим пулом доступных ресурсов и/или «квотами рисков», то помимо «агентов-супервизоров» для каждого ЛПР дополнительно потребуется «агент-супервизор группы ЛПР», обеспечивающий согласование «интересов» отдельных ЛПР. Таким образом, иерархическая структура агентов будет уже трехуровневой: «агент-супервизор группы ЛПР»; «агенты-супервизоры отдельных ЛПР»; «функциональные агенты», описанные ранее.

Необходимость «согласования» интересов различных ЛПР существенна в основном при ограниченности (недостаточности) объемов ресурсов и «квот на риски», находящихся в общем пуле ресурсов. Такое согласование: должно осуществляться «агентом-супервизором группы ЛПР»; может учитывать различия в приоритетах между ЛПР (если эти приоритеты заданы); может носить компромиссный характер.

Таким образом, исходя из всего вышесказанного, можно сделать следующие выводы.

1. Проблема выбора оптимальных СР рассмотрена применительно к двум классам задач, имеющим сходный математический аппарат для описания критериев выбора и ограничений.

2. Для задач определения СР в условиях ограничений по ресурсам (включая сроки реализации) и рискам возможны различные математические постановки, позволяющие формализовать выбор оптимальных вариантов.

3. При выборе оптимальных СР кроме ресурсов и рисков дополнительно целесообразно учитывать такие показатели проектов, как рентабельность и качество, включать ограничения по ним в математические постановки.

4. Проанализирована вычислительная эффективность использования различных процедур (алгоритмов) выбора оптимальных решений одним ЛПР и несколькими ЛПР, использующими частично или полностью общие ресурсы.

5. Показано, что при большом количестве планируемых «проектов» методы «полного перебора вариантов» целесообразно заменять на более эффективные в вычислительном отношении алгоритмы.

Список литературы

1. Анфилов А. С. Системный анализ показателей, связанных с оценкой и управлением ИТ-инфраструктурой организации / А. С. Анфилов, Ю. М. Брумштейн, М. В. Иванова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2011. – № 2 (14). – С. 25–32.

2. Брумштейн Ю. М. Анализ направлений и эффективности проектных решений, связанных с обеспечением комфортности среды обучения в вузах / Ю. М. Брумштейн, Н. В. Ермолин, Ю. Ю. Аксенова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2009. – № 4 (8). – С. 73–79.

3. Брумштейн Ю. М. Оценки экономической эффективности проектов защиты от подтопления в вероятностных условиях / Ю. М. Брумштейн // Вопросы экономических наук. – 2004. – № 4 (8). – С. 268–270.

4. Бурков В. Н. Модели и методы мультипроектного управления / В. Н. Бурков, О. Ф. Квон, Л. А. Цитович. – Москва : Институт проблем управления (Препринт), 1997. – 62 с.

5. Долматов А. Математические основы риск-менеджмента / А. Долматов. – Москва : Экзамен, 2007. – 320 с.

6. Королев В. Ю. Математические основы теории риска / В. Ю. Королев, В. Бенинг, С. Шоргин. – Москва : Физматлит, 2011. – 620 с.

7. Костин И. А. Особенности состава проектов реализуемых в ССУЗах, методов и программных средств информационной поддержки их планирования и реализации / И. А. Костин, Ю. М. Брумштейн // Вопросы управления в социально-экономических процессах и информационной среде : мат-лы всерос. науч. конф. (Астрахань, 12 мая 2011 г.). – Астрахань : Издатель: Сорокин Роман Васильевич, 2011. – С. 189–194.

8. Круи М. Основы риск-менеджмента / М. Круи, Д. Гадай, Р. Марк. – Москва : Юрайт, 2011. – 400 с.

9. Мазур И. И. Управление проектами / И. И. Мазур, В. Д. Шапиро, Н. Г. Ольдерогге. – Москва : Омега-Л, 2004. – 664 с.

10. Матвеев А. А. Модели и методы управления портфелями проектов / А. А. Матвеев, Д. А. Новиков, А. В. Цветков. – Москва : ПМСОФТ, 2005. – 206 с.

11. Ризванов Д. А. Применение многоагентных технологий для решения задачи распределения ресурсов в условиях чрезвычайных ситуаций / Д. А. Ризванов // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2012. – Т. 16, № 6. – С. 220–225.

12. Скобелев П. О. Мультиагентные технологии для управления распределением производственных ресурсов в реальном времени / П. О. Скобелев, А. В. Иващенко, М. В. Андреев, И. О. Бабанин // Механика, управление и информатика. – 2011. – № 5. – С. 110–122.

13. Смирнов Д. Разработка и сопровождение проектов. Microsoft Project 2003 / Д. Смирнов. – Москва : Триумф, 2004. – 352 с.

14. Gray Clifford F. Project management. The managerial process / Clifford F. Gray, Eric W. Larson. – MacGraw-Hill International Editions, 2000.

15. Karsaev O. Technology of agent based decision making system development / O. Karsaev // Lecture Notes in Computer Science. – 2005. – Vol. 3505 LNAI. – P. 108–122.

16. Kerzner H. Project management: a system approach to planning, scheduling and controlling / H. Kerzner. – John Wiley & Sons Inc., 1998.

17. Zattar I. C. A multi-agent system for the integration of process planning and scheduling using operation-based time extended negotiation protocols / I. C. Zattar, J. C. E. Ferreira, J. G. G. Rodrigues, C. H. B. De Sousa // International Journal of Computer Integrated Manufacturing. – 2010. – Vol. 23, № 5. – P. 441–452.

References

1. Anfilov A. S., Brumshteyn Yu. M., Ivanova M. V. Sistemnyy analiz pokazateley, svyazannykh s otsenkoy i upravleniem IT-infrastrukturoy organizatsii [The system analysis of the indicators connected with an assessment and management of IT-infrastructure of the organization]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2011, no. 2 (14), p. 25–32.
2. Brumshteyn Yu. M., Yermolin N. V., Aksenova Yu. Yu. Analiz napravleniy i effektivnosti proektnykh resheniy, svyazannykh s obespecheniem komfortnosti sredy obucheniya v vuzakh [The analysis of the directions and efficiency of the design decisions connected with ensuring comfort of the environment of training in higher education institutions]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2009, no. 4 (8), p. 73–79.
3. Brumshteyn Yu. M. Otsenki ekonomicheskoy effektivnosti proektov zashchity ot podtopleniya v veroyatnostnykh usloviyakh [Estimates of economic efficiency of projects for protection against flooding in probabilistic conditions]. *Voprosy ekonomicheskikh nauk* [Journal of Economic Sciences], 2004, no. 4 (8), pp. 268–270.
4. Burkov V. N., Kvon O. F., Tsitovich L. A. *Modeli i metody multiproektnogo upravleniya* [Models and methods of multiproject management]. Moscow, Institute of Control Sciences (Preprint), 1997. 62 p.
5. Dolmatov A. *Matematicheskie osnovy risk-menedzhmenta* [Mathematical bases of risk management]. Moscow, Examination, 2007. 320 p.
6. Korolev V. Yu., Bening V., Shorgin S. *Matematicheskie osnovy teorii riska* [Mathematical bases of the risk theory]. Moscow, 2011. – 620 p.
7. Kostin I. A., Brumshteyn Yu. M. Osobennosti sostava proektov realizuemykh v SSUZakh, metodov i programmnykh sredstv informatsionnoy podderzhki ikh planirovaniya i realizatsii [Features of structure of projects realized in secondary special educational institutions, methods and software of information support of their planning and realization]. *Voprosy upravleniya v sotsialno-ekonomicheskikh protsessakh i informatsionnoy srede: materialy vserossiyskoy nauchnoy konferentsii: Proceedings of the All-Russian Scientific Conference* [Management problems in social and economic processes and information environment]. (Astrakhan, May 12, 2011). Astrakhan, Publisher: Sorokin Roman Vasilyevich, 2011, pp. 189–194.
8. Krui M., Gaday D., Mark R. *Osnovy risk menedzhmenta* [Bases of risk-management]. Moscow, 2011. 400 p.
9. Mazur I. I., Shapiro V. D., Olderogge N. G. *Upravlenie proektami* [Project management]. Moscow, Omega-L, 2004. 664 p.
10. Matveev A. A., Novikov D. A., Tsvetkov A. V. *Modeli i metody upravleniya portfelyami proektov* [Models and methods of project portfolio control]. Moscow, 2005. 206 p.
11. Rizvanov D. A. Primenenie mnogoagentnykh tekhnologiy dlya resheniya zadachi raspredeleniya resursov v usloviyakh chrezvychaynykh situatsiy [Application of multi-agent technologies for the solution of resources distribution problem in the conditions of emergency situations]. *Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviatsionnogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Ufa State Aviation Technical University], 2012, Vol. 16, № 6, pp. 220–225.
12. Skobelev P. O., Ivashchenko A. V., Andreev M. V., Babanin I. O. Multiagentnye tekhnologii dlya upravleniya raspredeleniem proizvodstvennykh resursov v realnom vremeni [Multi-agent technologies for production resources distribution management in real time]. *Mekhanika, upravlenie i informatika* [Mechanics, management and informatics], 2011, no. 5, pp. 110–122.
13. Smirnov D. *Razrabotka i soprovozhdenie proektov. Microsoft Project 2003* [Development and maintenance of projects. Microsoft Project 2003]. Moscow, Triumph, 2004. 352 p.
14. Gray Clifford F., Larson Eric W. *Project management. The managerial process*. MacGraw-Hill International Editions, 2000.
15. Karsaev O. Technology of agent based decision making system development. *Lecture Notes in Computer Science*, 2005, Vol. 3505 LNAI, pp. 108–122 .
16. Kerzner H. *Project management: a system approach to planning, scheduling and controlling*. John Wiley & Sons Inc., 1998.
17. Zattar I. C. Ferreira J. C. E. Rodrigues J. G. G. G., De Sousa C. H. B. Multi-agent system for the integration of process planning and scheduling using operation-based time extended negotiation protocols. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 2010, vol. 23, no. 5, pp. 441–452.