

## МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СИСТЕМЫ ДИСУПИР

Топка В.В., Гуляев С.В., Цвиркун А.Д.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва, Россия

topka3@mail.ru, svgul@inbox.ru, tsvirkun@ipu.ru

*Аннотация.* Рассматриваются вопросы создания информационно-вычислительной системы, которая сочетает в себе черты традиционных систем управления проектами с представлением структуры планируемого проекта, преимущественно разработки сложных технических систем, в виде информационных диаграмм на основе известной методики SADT. Интеграция двух аспектов разработки технических систем – проектирования и календарного планирования, в рамках одной информационной системы, с общей базой данных, согласованным отображением реального процесса при помощи многооконного интерфейса, непосредственно доступного одному пользователю имеет несомненные преимущества. Рассмотрена двухкритериальная задача планирования проекта при ограничении на его показатель надёжности в конъюнктивной модели проекта при неточных исходных данных. Схема оптимизации включает минимизацию по двум последовательно применяемым критериям, реализуя вариант лексикографического метода упорядочивания, в результате чего получено решение двухкритериальной задачи планирования проекта

*Ключевые слова:* информационная система, интегрированная модель проекта, риск проекта, надёжность проекта, оптимизация, двухкритериальная задача управления проектом.

### Введение

Отличительной особенностью описываемой системы, которая названа – диалоговая интегрированная система управления и проектирования исследований и разработок (ДИСУПИР) и предназначена, в основном, для инновационных проектов по созданию сложных технических систем, является подход к управлению рисками проекта. Проблема анализа и количественного описания проектных рисков в данном подходе рассматривается как задача определения показателей надёжности (кумулятивной вероятности технического успеха) работ и проекта в целом. Которая в условиях предлагаемого описания сводится, тем самым, к постановке и решению задач оптимизации параметров проекта: продолжительность - стоимость -показатель надёжности.

Показатель надёжности проекта – это количественная характеристика проекта, связывающая, вероятность его реализации (достижения заданных ТТХ проекта) со временем – продолжительностью работ и их календарным планом, стоимостью – затратами и бюджетом проекта, а также теми или иными ресурсами, характеризующими процесс выполнения проекта.

Оценка надёжности имеет решающее значение для управления рисками, связанными с отказом системы, и по этой причине, она является одним из основных шагов в проектировании автоматизированной системы. Тем не менее, методы оценки надёжности, которые эксплуатируются в настоящее время, не соответствуют достигнутому уровню сложности таких промышленных систем. Неэффективность существующих методов приводит к разработке и появлению метода Safe – SADT [1] (safe structured analysis and design technique - метод безопасного структурного анализа и проектирования), основанного на имитационном подходе. В настоящем докладе представлена оптимизационная модель управления проектом, с учетом показателя надёжности работ, заданным детерминированной структурой с конъюнктивной логикой.

### 1. Модель управления инновационным проектом

Основной недостаток известных графических технологий заключается в том, что они разрабатывались для удобного отображения информации о проекте, а не для удобства составления (планирования) и управления проектом.

Эта и другие причины вызвали необходимость разработки нового графического метода планирования и управления процессом проектирования сложных технических систем и создания соответствующего программного комплекса, реализующего этот метод, который основан на двух моделях, тесно взаимосвязанные между собой. Назначение первой из них – функциональной модели - предоставить пользователю удобный графический интерфейс для формирования проекта и формализации связей между работами. Цель другой – календарной модели – предоставить пользователю удобную возможность календарного и ресурсного планирования и контроля состояния проекта.

Интегрированная модель управления инновационным проектом [2-5] позволяет описать множество всех работ проекта в пространстве трех переменных: продолжительность – стоимость – показатель надежности и включает:

- обоснование применения 2-параметрического распределения Вейбулла для моделирования показателя надёжности проекта;
- разработка численных процедур оптимизации параметров проекта в пространстве время-стоимость-показатель надёжности, в том числе и при неточно заданных исходных данных;
- решение двухкритериальной задачи планирования проекта при ограничении на показатель его надёжности;
- построение дискретной модели управления портфелем проектов;
- программную реализацию численных алгоритмов оптимизации продолжительности, стоимости и показателя надежности в разработанных моделях инновационного проекта.

В данной системе моделей разработанные алгоритмы календарного, ресурсно-стоимостного планирования и оптимизации показателя надежности работают с одной базой данных и для каждой работы проекта сообщают ее вектор ресурсов, все временные параметры и соответствующую этим ресурсам и продолжительности вероятность успешного выполнения (показателя надежности) работы и оценку гарантированного показателя надёжности проекта. Программная система реализована на базе интегрированной функционально-календарной модели. Которая основана на изоморфном отображении функциональной модели, построенной в виде IDEF0-диаграмм, в календарную модель, построенную в виде диаграммы Ганта. Причём обе модели изображают дополняющие друг друга два аспекта традиционной детерминированной сетевой модели инновационного проекта с конъюнктивной логикой, в представлении работа – вершина. Разработанная комплексная система математических моделей, снабженная соответствующими исходными данными о параметрах и допустимых значениях переменных вместе с разработанными оптимизационными алгоритмами совместного ресурсно-календарно-надежностного планирования представляет собой информационно-вычислительную систему для целей управления временем, стоимостью при параметрически заданном показателе гарантированной надёжности в сложных крупномасштабных проектах и долгосрочных целевых программах, а также для количественного анализа надежности в технических системах машиностроения, радиоэлектроники, приборостроения, энергетики и транспорта.

Разрабатываемая система ДИСУПИР позволяет формировать оптимальный ресурсно – стоимостной план и оптимальное расписание работ в зависимости от допустимой оценки гарантированного показателя надежности выполнения проекта, а также максимизировать оценку показателя надёжности проекта при заданной стоимости работ и их продолжительности.

Диалоговая интегрированная система управления и проектирования исследований и разработок - ДИСУПИР (Рис.1) состоит из модуля формирования функциональной модели проекта, инструментального программного комплекса - Планировщик, снабженного библиотекой оптимизационных процедур, редактора календарной модели и генератора отчетов.

## 2. Функциональные возможности ДИСУПИР

В библиотеке процедур ДИСУПИР управление инновационным проектом осуществляется путём решения задач календарного планирования с ограниченными ресурсами - *RCPSP* (Resource Constrained Project Scheduling Problem) с учётом показателя надёжности работ и проекта в целом. Основной из них является задача максимизации показателя надёжности проекта

а) с дизъюнктивной логикой: 
$$\left\{ \max_{u \in U} \min_{1 \leq i \leq m} \prod_{j \in \mu_i} p_j(u_j) \mid T \leq t^0, C \leq c^0 \right\}$$

определяющая *максимальный критический путь по показателю надёжности*; и

б) с конъюнктивной логикой: 
$$\left\{ \max_{u \in U} \prod_{j=1}^n p_j^{d_j}(u_j) \mid T \leq t^0, C \leq c^0 \right\}.$$

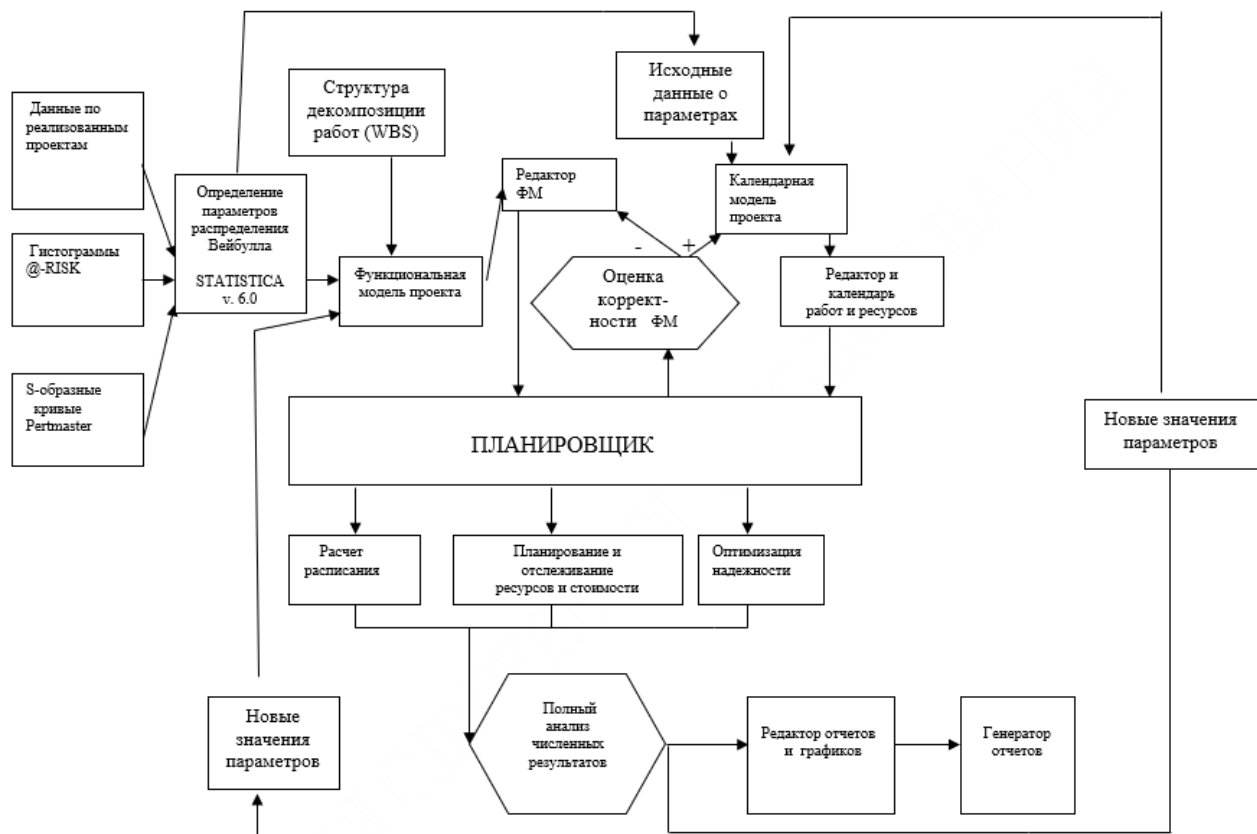


Рис.1. Принципиальная схема системы ДИСУПИР

Среди множества оптимизационных задач в библиотеке процедур ДИСУПИР [2-5] представляет интерес [2,3] двухкритериальная  $J = (J_1(u, t) \succ J_2(u))$  (время, стоимость) задача планирования проекта при ограничении  $P$  на его показатель надёжности в конъюнктивной модели проекта. Схема оптимизации включает минимизацию по двум последовательно применяемым критериям, реализуя вариант лексикографического метода упорядочивания, в результате чего будет получено решение (см. Таблицу1) двухкритериальной задачи планирования проекта. Рассматриваемая задача по первому критерию (времени) имеет вид:

$$J_1(u, t) = \max_{1 \leq i \leq m} \sum_{j \in \mu_i} a_{ij} t_j \rightarrow \inf_{(u, t) \in U},$$

$$U = \begin{cases} \prod_{j=1}^n [1 - \exp(-b_j u_j^{\alpha_j})]^{d_j} \geq P, \\ \sum_{j=1}^n c_j u_j \leq C, \\ s_j u_j = -r_j t_j + h_j, \quad j = 1:n, \end{cases}$$

где  $U$  – допустимое множество задачи,  $0 < P < 1$  – заданное ограничение на показатель надёжности проекта,  $C > 0$  – суммарная стоимость работ проекта. Здесь  $u \geq 0$ ,  $\alpha$  – параметр зависимости (параметр формы):  $\alpha > 0$ ,  $\alpha \neq 1$ ;  $b > 0$   $d_j = 1, 2, \dots$  некоторые известные величины;  $s, r \in R_+^n$ ,  $h \in R^n$  – параметры линейной аппроксимации. Далее возникает задача по второму критерию – задача минимизации стоимости проекта, где переменные, на которых достигается минимум первого критерия (времени проекта), фиксированы, а оставшиеся служат переменными минимизации по второму критерию:

$$J_2(u) = \sum_{j=1}^n c_j u_j \rightarrow \inf_{u \in U^2 \supseteq U_*^1},$$

$$U_*^1 = \{j | j \in \mu_{i^*}\}, u_j = \text{фиксир.}, j \in U_*^1,$$

$$U'' = \begin{cases} \sum_{j \in \mu_{i^*}} a_{ij} \left( -\frac{s_j}{r_j} u_j + \frac{h_j}{r_j} \right) = t_0^*, & i^* \in I^*, \\ \sum_{j \in \mu_i} a_{ij} \left( -\frac{s_j}{r_j} u_j + \frac{h_j}{r_j} \right) \leq t_0^*, & i \in I \setminus I^* \\ f^2(u) = \ln P - \sum_{j=1}^n d_j \ln [1 - \exp(-b_j u_j^{\alpha_j})] \leq 0, \\ j = 1:n; \quad u_j = \text{фиксир. для } j \in U_*^1, \end{cases}$$

Если в допустимом множестве задачи  $U^0$  определяется в случае как первой, так и второй задачи многогранным множеством, выделенным соответствующими линейными ограничениями, то итерации регуляризованного метода линеаризации при каждом фиксированном  $k \geq 0$  имеют вид известной задачи квадратичного программирования. В которой условия Куна–Таккера можно переписать в виде линейной задачи дополнителности. При некоторых предположениях [3] относительно матрицы, учитывающей ограничения и целевую функцию задачи, алгоритм дополнительного ведущего преобразования Лемке за конечное число шагов приводит к решению линейной задачи дополнителности, а следовательно, и нахождению точки Куна – Таккера задачи квадратичного программирования, а тем самым – к решению исходной однокритериальной задачи. А поскольку схема оптимизации включает минимизацию по двум последовательно применяемым критериям, реализуя вариант лексикографического метода упорядочивания, то в результате будет получено решение двухкритериальной задачи планирования проекта.

### 3. Заключение

Таким образом, проблема анализа и количественного описания проектных рисков в предложенном подходе рассматривается как задача определения показателей надежности (кумулятивной вероятности технического успеха) работ и проекта в целом. Которая в условиях предлагаемого описания сводится, тем самым, к постановке и решению задач оптимизации параметров проекта: продолжительность - стоимость - вероятность успеха (показатель надежности).

Таблица 1

Исходные данные							Ответ		
$j =$	$\alpha_j$	$b_j$	$d_j$	$c_j$	$-s_j / r_j$	$h_j / r_j$	$u_j^{\text{нач}}$	$u_j^*$	$t_j^*$
1	1.75	0.50	21	1.00	-1.00	81.00	67.5952	69.6730	11.3270
2	1.98	0.50	4	1.50	-1.60	64.10	33.2999	33.3124	10.8002
3	1.80	1.00	5	1.50	-1.01	51.40	25.1975	24.5889	26.5652
4	2.00	0.70	9	1.50	-1.10	141.60	123.7624	123.6406	5.5953
5	1.70	1.30	2	1.55	-1.05	51.90	7.2129	6.6561	44.9111
6	2.10	1.00	2	1.70	-1.10	51.20	2.9698	2.3104	48.6586
7	2.05	0.20	5	1.70	-1.20	56.30	28.2181	27.5771	23.2075
8	2.07	0.30	4	1.70	-1.50	56.40	21.9704	18.0104	29.3844
9	2.08	0.40	5	1.70	-1.09	71.50	47.4601	47.1260	20.1327
10	2.06	0.50	2	1.80	-1.80	63.80	29.1677	29.0694	11.4750
11	2.02	0.70	3	1.80	-1.03	51.60	13.5762	12.6855	38.5339

Исходные данные								Ответ	
12	2.00	0.60	4	1.85	-1.12	51.00	16.7665	10.8164	38.8856
13	1.97	0.80	5	1.85	-1.00	51.10	33.4120	32.8154	18.2846
14	1.90	0.90	4	1.90	-1.60	51.10	25.6115	25.7159	9.9546
15	1.87	0.30	4	1.90	-1.03	54.10	33.8147	33.2057	19.8981
16	1.85	0.50	4	2.00	-1.00	101.50	87.8050	87.0586	14.4414
17	1.81	0.10	3	2.00	-1.25	151.60	98.5818	99.2495	27.5381
18	1.75	0.20	2	2.00	-1.10	141.70	115.8871	117.2737	12.6989
19	1.79	0.30	2	2.10	-1.08	121.80	108.4497	109.6748	3.3512
20	1.82	0.30	1	2.10	-1.25	161.80	127.9689	129.7171	0.0536
21	1.82	0.40	1	2.10	-1.11	123.80	106.6874	108.0048	3.9147
22	1.78	0.80	1	2.50	-1.50	238.80	157.6327	159.8839	0.0002
23	1.75	0.90	1	2.50	-1.05	51.50	6.3517	3.7554	47.5568
24	1.70	2.00	1	3.00	-1.10	211.60	174.5019	174.8895	19.2215
25	1.70	3.00	1	5.00	-1.10	51.70	17.1135	15.5033	34.6464

$\ln(0.9634)=\ln P = -0.0366$	$T^* = t_{26} = 201.0584$	$C^* = 3129$
-------------------------------	---------------------------	--------------

В Таблице 1 представлены результаты расчетов по имеющимся исходным данным в виде технологической сети проекта, заданной булевой матрицей  $A = (a_{ij})$  путей  $i=1:21$  по вершинам  $j=1:25$  и начальными значениями переменных  $u_j^{\text{нач}}$ , заданными значениями параметров двухкритериальной задачи  $\alpha, b, d, s, r, h$ . В результате последовательной минимизации по двум критериям – времени и стоимости – был получен ответ -  $(u_j^*, t_j^*)$  и итоговые показатели  $T^*$  и  $C^*$ .

## Литература

1. Benard V., Cauffriez L., Renaux D. The Safe-SADT method for aiding designers to choose and improve dependable architectures for complex automated systems // Reliability Engineering and System Safety. 2008. V. 93. P. 179–196.
2. Топка V.V. Minimization of Project Time and Cost under Constrained Reliability Index in the Disjunctive Project Model // Automation and Remote Control. 2012. Vol. 73, No 7. pp. 1173-1180.
3. Топка V.V. Lexicographic Solution of Two Objective Project Planning Problem under Constrained Reliability Index // Journal of Computer and Systems Sciences International. 2014. V. 53. N. 6. pp. 877–895.
4. Топка В.В. Минимизация стоимости проекта большой размерности при ограничении на его показатель надежности и линейных связях между переменными // Труды ИСА РАН. 2014. Т. 64, вып.1-4. С. 19-32.
5. Топка В.В. Расширенная модель инновационного проекта при бинарном взаимодействии его работ // Проблемы управления. 2019. №3. С. 22-29.