БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кристофидес Н.* Теория графов. Алгоритмический подход. – М.: Мир, 1978. – 432 с.
2. *Zimmermann H.J. Fuzzy* Set Theory and Its Applications, (2th edition). – Boston/Dordrecht/London: Kluwer Academia Publishers, 1991. – 435 p.
3. *Bershtein L.S., Bozhenuk A.V.*: Fuzzy graphs and fuzzy hypergraphs. In: Dopico, J., de la Calle, J., Sierra, A. (eds.) Encyclopedia of Artificial Intelligence, Information SCI, Hershey, New York (2008). – P. 704-709.
4. *Murty K.G.* Network programming, Prentice Hall, 1992.
5. *Малышев Н.Г., Берштейн Л.С., Боженюк А.В.* Нечеткие модели для экспертных систем в САПР. – М.: Энергоатомиздат, 1991.
6. *Боженюк А.В., Рогушина Е.М., Розенберг И.Н.* Подход к нахождению максимального потока в нечеткой транспортной сети // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 5 (118). – С. 83-88.
7. *Ху Т.* Целочисленное программирование и потоки в сетях. – М.: Мир, 1974. – 520 с.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.А. Петраков.

Боженюк Александр Витальевич – Научно-технический центр «Информационные технологии» федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: avb002@yandex.ru; 347922, г. Таганрог, Октябрьская пл., 4; тел.: 88634681937; зав. отделом; д.т.н.; профессор.

Герасименко Евгения Михайловна – инженер.

Розенберг Игорь Наумович – ОАО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт инженеров железнодорожного транспорта» (НИИАС); e-mail: I.kudreyko@gismps.ru; 109029, г. Москва, ул. Нижегородская, 27, стр. 1; тел.: 84959677701; зам. генерального директора; д.т.н.

Bozhenyuk Alexander Vitalievich – Scientific and Technical Center "*INTECH*" of Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education «Southern Federal University»; e-mail: avb002@yandex.ru; 4, Oktyabrskaya square, Taganrog, 347922, Russia; phone: +78634310866; head of department; dr. of eng. sc.; professor.

Gerasimenko Eugenia Michailovna – engineer.

Rozenberg Igor Naymovich – Public corporation “Research and development institute of railway engineers”; e-mail: I.kudreyko@gismps.ru; 27/1, Nizhegorodskaya, Moscow, 109029, Russia; deputy director; dr. of eng. sc.

УДК 658.51

В.А. Петраков, А.С. Сомов

МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УПРАВЛЕНИИ ПРОЕКТОМ

Приведена процедура синтеза и оптимальная стратегия построения социотехнической системы управления проектом из условия достижения ею заданных свойств. Для выполнения проекта это соответствует выбору ресурса, который необходимо направить на проектирование с тем, чтобы достичь эффективных решений по совокупности основных свойств: качество, стоимость, время исполнения и сложность. Приведена постановка задачи многокритериальной оптимизации и пример ее решения для проекта небольшой сложности. Построена математическая модель, определяющая связь времени выполнения работ с затратами. Такая модель позволила найти эффективное управление ресурсами, направленное на достижение минимальных затрат при определенной продолжительности проекта.

Социотехническая система; эффективное решение; управление проектом; процедура синтеза; многокритериальная оптимизация.

V.A. Petrakov, A.S. Somov

MODELS AND ALGORITHMS OF DECISION MAKING IN THE PROJECT MANAGEMENT

The article provides a synthesis procedure and optimal strategy for the design of a project control sociotechnological system satisfying particular properties. For the project realization it means choosing the resource which needs to be used in the design for achieving effective solutions based on such properties as: quality, cost, time and complexity. The formulation of the multicriterion optimization problem and an example of solving such problem for the low complexity degree project are provided. A mathematical model which determines indirection between program execution time and cost has been developed. This model allows to find an efficient recourse management aimed at cost minimization with a particular project duration.

Sociotechnological system; effective solution; project control; techniques synthesis; multicriterion optimization.

Процесс управления проектом будем понимать как взаимодействие фрагментов (человек–машина), обладающих своим «естественным» самодвижением. Их интеграция в единую систему представляет собой по форме процесс организации и управления техникой и технологиями, или социотехническую систему (СТС) [1]. Такое представление наиболее полно, на наш взгляд, отвечает особенностям проектирования как системы действия во времени. Действительно, управление проектом можно представить в виде системы формирования самого проекта, как объекта управления со своими свойствами, и синтез необходимых для реализации проекта профессиональных компетенций непосредственно исполнителя, т.е. проект становится в этом случае генератором необходимых для его реализации знаний проектировщика.

Рассмотрим процедуру синтеза стратегий управления в такой системе из условия достижения ею заданных свойств. Для выполнения проекта это соответствует выбору ресурса, который надо направить на проектирование с тем, чтобы достичь эффективных решений по совокупности основных свойств проекта (качество, стоимость, время исполнения и сложность).

Исследуемую задачу можно рассматривать как многокритериальную, и синтез управления проектом в этом случае нужно вести как нахождение ресурса, направленного на достижение эффективного решения, при этом становится векторный критерий $I(v)=(I_1(v), I_2(v))$, где $I_1(v)$ – стоимость проекта, $I_2(v)$ – время его реализации при определенно достигаемом качестве $I(v)$, $v(t)$ – ресурс.

Постановка задачи. Пусть объект проектирования описывается векторным дифференциальным уравнением

$$\dot{x} = f(x(t), v(t), t), \tag{1}$$

определенным в некоторой области $N(x(t), v(t))\geq 0$ пространства вектора состояния $\boldsymbol{x}(x_1,x_2,\dots x_n)$ и ресурса $\boldsymbol{v}(v_1, v_2,\dots v_m)$, $t\in[t_0,T]$.

Пусть задан класс допустимых ресурсов $\boldsymbol{v}$ для вектора $\boldsymbol{v}(v_1,v_2,\dots v_m)$, принимающего свои значения в области $N\geq 0$, а также задан векторный функционал

$$I(v) = F(x(t), v(t), t) \tag{2}$$

с компонентами

$$I_i(v) = F_i(x(t), v(t), t)\ (i = 1,\dots,n). \tag{3}$$

Для вектора $x(t)$ заданы концевые значения

$$x(t_0) = x_0, \qquad x(T) = \boldsymbol{x_T}, \tag{4}$$

где число T не является фиксированным.

Пусть на компоненты векторного функционала (3) наложены ограничения:

$$|I_i(v)-I_{i0}|\leq M_i \quad (I = 1,\dots,n), \tag{5}$$

где $M_i \geq 0$ – заданные числа, а I_{i0} – оптимальные значения скалярных функционалов (3), определенные с помощью известных методов [1].

Предположим, что нижний участок поверхности (множество допустимых управлений, или область компромиссов), образованный концами не улучшаемых векторов, найден. Назовем его не улучшаемой поверхностью. Пусть ***К*** – множество точек этой поверхности.

Введем следующие утверждения:

1. Будем говорить, что проект реализуем в области допустимых компромиссов, если существуют такие ресурсы $v^*(t) \in \boldsymbol{V}$, что

$$I(v^*)=(I_1(v^*),\ldots, I_n(v^*)) \in X, \tag{6}$$

где

$$X = \{(I_1, \ldots, I_n): \ |I_i - I_{i0}| \leq M_i (i = 1,\ldots n) \}.$$

2. Для того чтобы выполнялось первое утверждение, необходимо и достаточно, чтобы

$$Y = K \cap X \neq \varnothing.$$

Множество $V_0^* \subset V^*$ назовем областью оптимальных стратегий, если каждый элемент $v_0^* \in \boldsymbol{V_0}^*$ оптимизирует векторный функционал (2) в смысле

$$I(v_0^*) \in Y.$$

Определим задачу многокритериальной оптимизации. Пусть нам удалось получить динамическую модель объекта в форме уравнения в пространстве состояний (1). Найдены граничные условия (3), а также определен векторный функционал в виде (2) и (3) с ограничениями (5) на компоненты и класс допустимых управлений $\boldsymbol{V}$. Требуется определить область $\boldsymbol{V_0}^*$ оптимальных стратегий распределения ресурса.

Рассмотрим частный случай сформулированной задачи.

Пусть векторный функционал $\boldsymbol{I(v)}$ есть функционал вида (1).

Пусть требуется минимизировать $I_1(v)$ и максимизировать $I_2(v)$. Для нахождения точек не улучшаемой кривой поступим следующим образом. К граничным условиям задачи добавим условие $I_2(v) = I_{2T}$. $I_{2T} \in [I_2^{(10)}, I_{20}]$ – заранее нефиксированное число. Решая теперь задачу минимизации $I_1(v)$, получим ресурсы $\tilde{v}\ (t, I_{2T})$, при которых точки $(I_1(\tilde{v}), I_{2T}) \in \boldsymbol{K}$. В простых случаях удается получить аналитическую зависимость $I_1=\varphi(I_2)$. В более сложных необходимо применять компьютерные технологии. После нахождения множества **К** необходимо убедиться, что система совместна, т.е. проект реализуем в области допустимых компромиссов.

$$I_1 = \varphi(I_2)\ ; \ |I_i - I_{i0}| \leq M_i \qquad (i = 1,2).$$

Область оптимальных стратегий управления ресурсом определяется следующим выражением:

$$V_0^* = \{ \tilde{v}\ (\mathbf{t}, \mathbf{I_{2T}}) : \mathbf{I_1}(\tilde{v}) - \mathbf{I_{10}} \leq \mathbf{M_1}.\ \mathbf{I_{2T}} \in [\mathbf{I_{20}} - \mathbf{M_2}, \mathbf{I_{20}}]\}.$$

Пусть функцией цели оптимизации ресурса определен векторный функционал (1). Рассматривая работы с точки зрения сетевого планирования в неопределенных условиях, необходимо оценить математическое ожидание (m) и дисперсию (s) продолжительности выполнения работ [6].

Процедура построения и разметки сетевого графа в случае со случайной продолжительностью работ ничем не отличается от той, что используется с детерминированной продолжительностью. Продолжительность критического пути $t_{кр}$ также будет иметь две оценки – ожидаемую и погрешность. Ожидаемая равна сумме ожидаемых $t_{кр}$, а погрешность определяется их дисперсиями. Ожидаемая $t_{кр}$ и ее дисперсии занесены в табл. 1. При вычислении используется известная методика [2]. Здесь A – получение технического задания; B – разработка схемы газоснабжения; C – сбор исходных данных; D – разработка проекта; E- согласование; F– прохождение экспертизы.

Таблица 1

Оценки математического ожидания и дисперсии работ

Работа	Ожидаемая продолжительность, m	Дисперсия продолжительности, s
A	0,6	0,08
B	7,4	0,04
C	2,4	0,04
D	5,4	0,04
E	1,8	0,16
F	2,7	0,01

Критический путь сетевого графика составляют работы A-B-C-D-E-F. Ожидаемая $t_{кр}$ равна 21,3мес. Так как $t_{кр}$ равна ожидаемому, то проект будет длиться 21,3 месяца. Дисперсия критического пути составляет 0,37.

На основе полученных оценок можно рассчитать все характеристики проекта, но они будут выступать как средние. При достаточно большом объеме работ можно утверждать, а при малом объеме предполагать, что общая продолжительность работ, в том числе и критического пути имеет нормальный закон распределения со среднем значением, равным сумме средних значений пути продолжительности составляющих его работ, а также дисперсии, равной сумме дисперсий этих работ [2].

Занесем математическое ожидание и дисперсию на каждом этапе работы в табл. 2.

Таблица 2

Связь работ со сроками и затратами

Работа		Нормальные сроки		Сжатые сроки		Единичное приращение (д. ед.)
Текущие	Предшествующие	t	Затраты (д. ед.)	t	Затраты (д. ед.)	
A	-	1	-	0,033	-	-
B	A	8	300	7	325	25
C	A, B	3	50	2	100	50
D	C	6	4200	4	4500	150
E	D	3	50	1	100	25
F	E	3	400	3	400	-

При вероятностном задании в условиях неопределенности возможно решить две дополнительные задачи:

1. Определить вероятность того, что продолжительность $t_{кр}$ не превысит заданное допустимое время (T).
2. Определить максимальный срок выполнения всего комплекса работ (T) при заданной вероятности (P).

Первую задачу можно решить путем вычисления интеграла Лапласа Ф(z) [6]: $P\ (t_{кр}<T) = 0{,}5 + 0{,}5\ Ф(z)$; где z – нормированное отклонение случайной величины, которое находится по формуле

$z = (T - t_{кр}) / S_{кр}$; $S_{кр}$– среднеквадратичное отклонение, вычисляемое как корень квадратный из дисперсии $t_{кр}$, и определяется величиной $s_{кр} = 0{,}53$, а вероятности продолжения работ $P\ (t_{кр}< 22) = 0{,}68$ и $P\ (t_{кр}< 23) = 0{,}95$.

Следовательно, вероятность того, что весь комплекс работ по проекту будет выполнен не более чем за 22 месяца, составляет 0,68, вероятность выполнения того же проекта за 23 месяца составляет 0,95.

Вторая задача решается с использованием выражения (6), являющейся обратной к первой задаче:

$$T = m * L_{кр} + z\, s_{кр}\,. \tag{7}$$

Предположим, что необходимо узнать время выполнения работы при заданном уровне вероятности 0,9. Значение z выбирается из таблицы стандартного нормального распределения [7]. При использовании выражения (7) получаем: T = 21,54, а это означает, что максимальный срок завершения проекта при вероятности 0,9 составляет 22,2 месяца. В таком случае можно положить, что оптимальный срок завершения проекта без учета его стоимости составляет I_{20}= 23 мес. Будем считать допустимым увеличение (уменьшение) срока его выполнения на 1 мес., т.е. в соответствии с [2] $|I_2(v) - I_{20}| \le M_2$, где M_2=1 мес.

Построим математическую модель, определяющую связь между временем выполнения работ и затратами. Такая модель позволит найти эффективное управление ресурсами, направленное на достижение минимальных затрат при определенной продолжительности проекта.

Пусть проект состоит из тех же 6-ти работ (табл.2).

Каждая работа может выполняться за разное время – от верхнего «нормального» срока при некоторых «нормальных» затратах до меньшего «сокращенного» срока при соответствующих более высоких затратах. Если предполагается, что компромиссное соотношение между временем и затратами для каждой работы является линейным, то затраты при промежуточных продолжительностях работы, лежащих между нормальными и сокращенными сроками, определяются с помощью единичного приращения затрат для каждой работы.

Рассмотрим работу С – на выполнение текущей работы за 2 месяца вместо трех, затратим 150 денежных единиц (50 + (3–2) 100).Стоимость всего проекта составит 5000 денежных единиц (рис. 1). Примем во внимание, что неправильное решение, согласно которому ускоряется выполнение работ, не лежащих на критическом пути, не приводит к сокращению продолжительности проекта. Однако при этом стоимость проекта возрастает до величины 5425 д. единицы. Таким образом, уменьшать сроки выполнения проекта нужно путем сжатия времени проектирования с минимально возможным увеличением общей стоимости проекта.

В рассмотренном примере общая стоимость проекта определяется суммой прямых затрат на выполнение каждой из работ. Между верхним и нижним значениями стоимости проекта при продолжительности 24 месяца возможны несколько других значений в зависимости от сокращения срока некритических работ. В рассмотренном примере линия минимальных прямых затрат построена методом проб и ошибок. Однако когда рассматриваются проекты с сотнями и тысячами работ, такая технология поиска решения оказывается проблематичной. В таких случаях целесообразно проводить вычисления минимальных затрат $I_1(v)$ при любом возможном значении продолжительности проекта методом динамического программирования [3], позволяющим достаточно быстро определить кривую минимальных затрат. Это возможно и в тех случаях, когда соотношения между временем и затратами являются нелинейными. Таким образом, определена функция $I_1 = \varphi(I_2)$ и в соответствии с [4] для рассматриваемого проекта $|I_1(v) - I_{10}| \le M_1$, где M_1 = 5425 ед.

С тем, чтобы принять заключение о реализуемости проекта в области допустимых компромиссов, необходимо убедиться, что система $I_1 = \varphi(I_2)$; $|I_i - I_{i0}| \le M$ (i = 1,2) совместна.

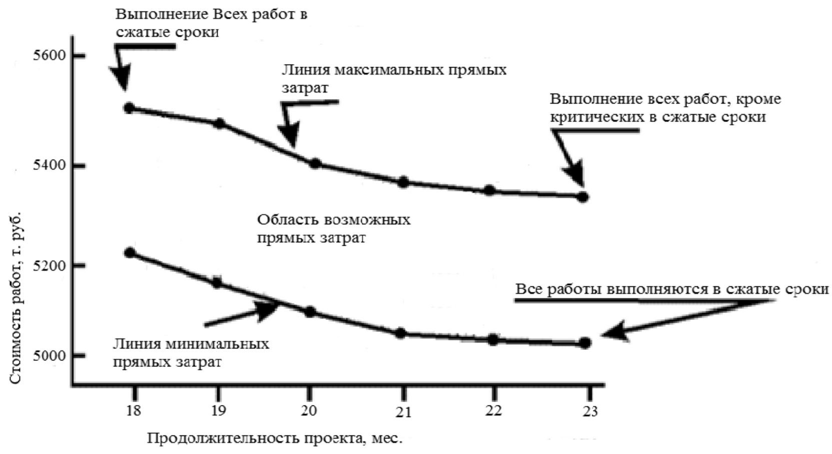

Рис. 1. Область эффективных решений

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Беллман Р.* Динамическое программирование. – М.: Иностранная литература, 1960. – 400 с.
2. *Петраков В.А., Сомов А.С., Петракова А.В.* Оптимизация управления в социотехнической системе // Известия вузов Северо-Кавказкий регион.
3. *Скляров А.И., П.В. Любченко и др.* Технологический процесс проектирования. Рубрикатор проектных операций. Изд-во СевкавНИПИАгропром, 1989. – С. 114.
4. Стандартные таблицы распределений. URL: http://www.statsoft.ru/home/textbook/ modules/sttable.html.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор С.Л. Беляков.

Петраков Владимир Александрович – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: kaf_sau@mail.ru; 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Мильчакова, 10; тел.: 88632696991; д.т.н.; профессор.

Сомов Александр Сергеевич – аспирант.

Vladimir Alexandrovich Petrakov — Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education «Southern Federal University»; e-mail: kaf_sau@mail.ru; 10, Mil'chakova, Rostov-on-Don, 344090, Russia; phone: +78632696991; dr. of eng. sc.; professor.

Alexander Sergeevich Somov – postgraduate student.