

**КОМБИНИРОВАННОЕ ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ –
ОСНОВА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ РАЗРАБОТКИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ**

А. А. Ивушкин, М. В. Шипунов, В. В. Грачев, Л. П. Мышляев

**COMBINED SIMULATION AS THE BASIS FOR SOLVING
THE TASKS OF AUTOMATED COMPLEXES DEVELOPMENT**

A. A. Ivushkin, M. V. Shipunov, V. V. Grachev, L. P. Myshlyayev

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований по проекту № 10-07-00193-а.

В статье приводятся постановки, методы и результаты решения задач выработки план-графиков создания автоматизированных комплексов и натурно-модельного исследования эффективности стимулирующих функций. Показано, что использование квадратичной и кусочно-линейной функций стимулирования позволяет уменьшить сроки и затраты проектирования на 10 %.

The article presents the formulation, methods and results of solving the tasks of schedules production for automated systems creation and field-modeling studies of the enabling functions effectiveness. It is shown that the use of quadratic and piece linear incentive functions helps reduce design time and costs by 10 %.

Ключевые слова: *автоматизированный комплекс, план-график, стимулирующая функция, натурно-модельное исследование.*

Keywords: *automated complex, schedule, incentive function, full-scale-model study.*

Существенное, в три-четыре раза, сокращение сроков создания крупных автоматизированных комплексов, повышение требований к их технико-экономическим показателям, увеличивающаяся сложность систем автоматизации и необходимость их включения в работу с момента начала пуско-наладки технологического оборудования побудило к поиску новых подходов к планированию, разработке и внедрению этих комплексов [5, с. 273 – 276].

Используемые в настоящее время методы и нормы, созданные в 80 – 90-х годах прошлого века, оказались малоэффективными в новых социально-экономических условиях. Это объясняется, главным образом, тем, что в этих документах не учитываются современные технологии и методы, постоянно и быстро обогащаемый опыт строительства, а также отсутствует должное внимание к вопросам стимулирования [2].

Необходимо развитие и дополнение традиционных методов решения задач разработки автоматизированных комплексов с использованием комбинированного имитационного моделирования [3, 7], представлений теории активных систем [8], поисковых оптимизационных процедур [1, 4, 6], планирования эксперимента. Имитационное натурно-математического моделирование позволяет, основываясь на информации об уже созданных комплексах, более полно выявлять неиспользованные резервы, адекватно учитывать реальные ситуации и, как правило, получать лучшие результаты.

Исходя из этого, актуальна проблема развития методов и алгоритмов ускорения создания автоматизированных комплексов. В рамках этой общей цели можно выделить наиболее важные задачи:

– разработка методов и алгоритмов выработки план-графиков создания автоматизированных комплексов,

– исследование влияния законов стимулирования на сроки и эффективность выполнения проектов.

Постановки решения этих задач сделаны в следующем виде.

1. Постановка задачи выработки план-графиков создания автоматизированных комплексов

Дано. 1. Фактически реализованные траектории $Y(t)$ освоения средств для проектирования и строительства промышленного комплекса на интервале $t \in [T_H, T_K]$, где T_H, T_K – время начала и окончания проектирования, строительства и освоения автоматизированного комплекса до вывода его на проектные показатели.

2. Вектор \hat{W} предстоящих условий проектирования и строительства и возможные диапазоны стимулирования $\{S \{ \hat{S}^{\min}, \hat{S}^{\max} \} \}$.

3. Пересчетные зависимости влияния изменений внешних условий $\Delta W = W - \widehat{W}$ и стимулов $\Delta St = St - \widehat{St}$ на изменения длительности выполнения отдельных видов работ.

4. Алгоритмы деформации и экстраполяции $F^3[\cdot]$ динамики многомерных нестационарных временных последовательностей Z

$$Z^3(t + \theta) = F^3[Z(t - \ell)], \quad (1)$$

где θ и ℓ – величины интервалов экстраполяции и памяти.

5. Критерий оптимизации $Q(T_H, T_K)$, характеризующий затраты на проектирование, строительство и доход от реализации продукции.

Требуется. Построить оптимальный план освоения ресурсов, проектирования и строительства промышленного комплекса, а также отдельных видов работ.

Для решения этой задачи разработан метод, сущность которого состоит в формировании эталонных траекторий по результатам уже выполненных проектов, их приведении к базовым условиям с экстраполяцией базовых траекторий, пересчете экстраполированных базовых эталонных траекторий на условия предстоящего проекта.

Реализация метода заключается в выполнении следующих операций.

Во-первых, осуществляется построение эталонных траекторий, в частности, на основе экспертных оценок и пересчетного математического моделирования.

Затем, выявляются условия проектирования и строительства, которые наиболее значимо влияют на нормативы, и для каждого конкретного промышленного комплекса определяются их численные значения. К наиболее значимым отнесены условия: проектная мощность объекта, технические и технологические решения, географические и климатические условия, наличие строительно-монтажных организаций в регионе.

Во-вторых, осуществляется расчетное приведение эталонных траекторий к базовым условиям – получение базовых эталонных траекторий; эталонная траектория подвергается масштабирующим деформациям, и в результате эталонные нормативы принимают конкретные значения для проекта, принятого за базовый.

В-третьих, базовые эталонные траектории экстраполируются на предстоящий период.

И, наконец, в-четвертых, экстраполированные траектории пересчитываются на условия предстоящего проекта путем корректировки по отклонениям условий предстоящего проекта от базового.

Точность решения во многом определяется адекватностью используемых моделей. В общем случае модель можно представить в виде

$$T^H = F[\widehat{W}, W^B, T^B], \quad (2)$$

где T^H, T^B – нормативы соответственно предстоящего и базового проекта; $F[\cdot]$ – динамический оператор преобразования вектора условий предстоящего проекта \widehat{W} , базового проекта W^B и базового норматива T^B .

При практическом применении наиболее приемлема структура так называемой пересчетной модели, которая в одном из вариантов имеет вид

$$T^H = T^B + f[\widehat{W} - W^B], \quad (3)$$

где $f[\cdot]$ – оператор пересчета вариаций \widehat{W} от базового уровня W^B .

В частном случае оператор $f[\cdot]$ может быть представлен в виде линейной модели, в простейшем случае – пересчетным коэффициентом

$$T^H = T^B + \sum_{i=1}^n k_i \cdot (\widehat{W}_i - W_i^B), \quad (4)$$

где k_i – коэффициент пересчета отклонения i -го условия проекта ΔW_i в изменение норматива ΔT_i , n – количество условий создания проекта.

Конкретизация данного метода сделана на примере траекторий освоения финансовых средств при проектировании и строительстве углеобогатительных фабрик. За исходные данные взяты фактические траектории освоения средств при проектировании и строительстве четырех обогатительных фабрик (ОФ), условно ОФ I, ОФ II, ОФ III, ОФ IV (рис. 1).

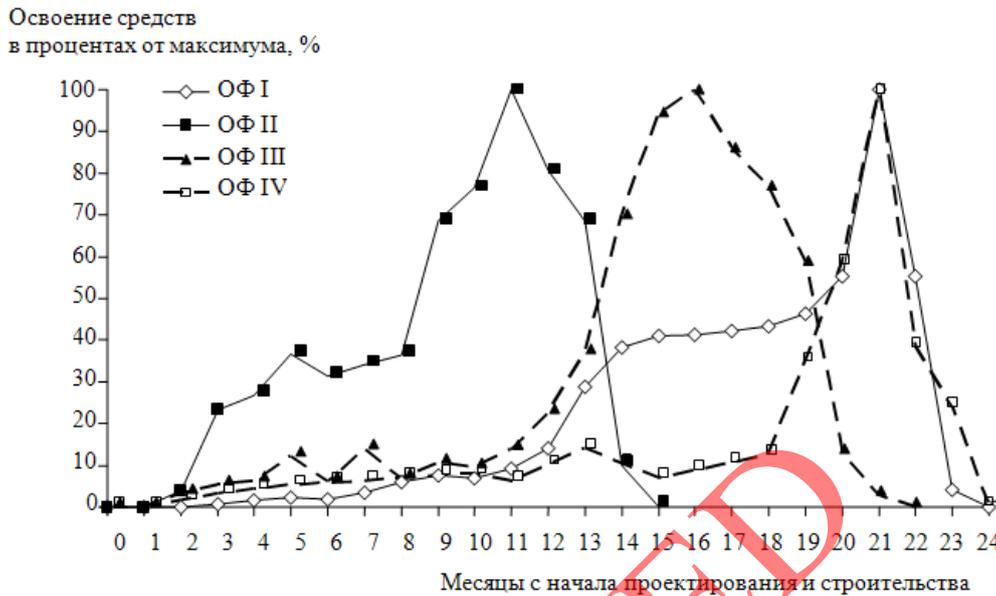


Рис. 1. Траектории фактического освоения средств при проектировании и строительстве OF

При формировании эталонной траектории учитывали равномерность финансирования, наличие кадрового обеспечения организаций исполнителей, форс-мажорные обстоятельства. Таким образом, из множества фактических траекторий выбрана та, которая была наименьшим образом подвергнута искажениям из-за организационных изменений во время проектирования и строительства – траектория OF II. В дальнейшем она была “очищена” от различного рода выбросов, нормирована на диапазон 0÷1 и принята за эталонную траекторию. “Очищенная” траектория OF II послужила одновременно и базовой траекторией, так как именно условия OF II приняты за базовые.

Траектории фактического освоения средств (рис. 1) имеют качественно одинаковую структуру, и количественно они зависят в основном от следующих факторов:

- проектная мощность OF;
- уровень сложности технологического процесса (количество технологических стадий и агрегатов);
- геологические и климатические условия места строительства;
- степень развитости инфраструктуры в регионе;
- функция стимулирования исполнителей.

Для этих факторов был проведен пересчет базовой эталонной траектории на условия предстоящего проекта – планируемой к строительству OF V. Структура пересчетной модели взята в виде (4), а численные значения коэффициентов модели представлены в таблице 1.

Таблица 1

Пересчетные коэффициенты модели (4)

Пересчетный коэффициент	Обозначение	Значение
1. Коэффициент пересчета отклонения по проектной мощности OF, мес. / млн. тонн в год по рядовому углю	k_1	5,0
2. Коэффициент пересчета отклонения по уровню сложности технологического процесса, мес. / балл	k_2	1,8
3. Коэффициент пересчета отклонения по геологическим и климатическим условиям места строительства, мес. / балл	k_3	1,5
4. Коэффициент пересчета отклонения по степени развитости инфраструктуры в регионе, мес. / балл	k_4	-2,0
5. Коэффициент пересчета изменений стимулирования на изменение длительности проекта для квадратичной функции, % от базового норматива	k_5	-10

Условия проектирования и строительства всех OF приведены в таблице 2.

Условия проектирования и строительства ОФ

Условие проектирования и строительства ОФ	Обозначение	Диапазон изменения	Введенные в эксплуатацию ОФ				Планируемая ОФ
			I	II (базовая ОФ)	III	IV	
1. Проектная мощность ОФ, млн. тонн в год по рядовому углю	W_1	0-15	3	2,5	2,4	1,5	3,0
2. Уровень сложности технологического процесса, в баллах	W_2	1-10	5	4	5	3	5
3. Геологические и климатические условия места строительства, в баллах	W_3	1-5	3	4	4	5	5
4. Степень развитости инфраструктуры в регионе, в баллах	W_4	1-5	3	4	5	4	5
5. Функция стимулирования исполнителей	W_5	Набор функций стимулирования	С- тип	С- тип	С- тип	С- тип	Квадратичная

В результате получена расчетная траектория освоения финансовых средств предстоящего проекта – ОФ V, которая представлена на рисунке 2.

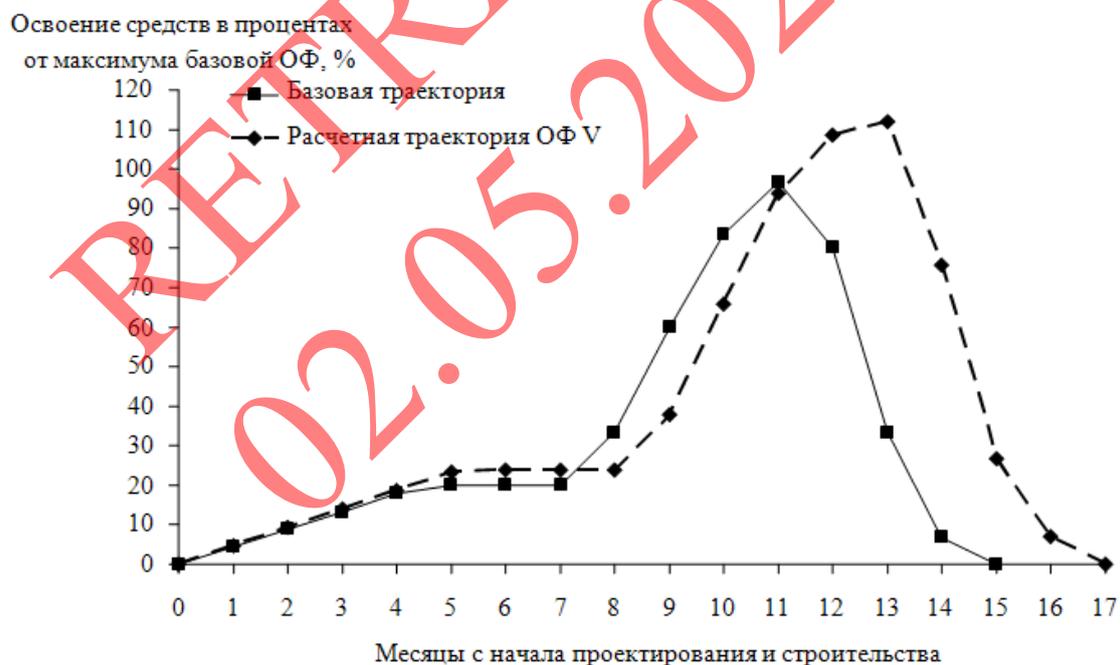


Рис. 2. Базовая и расчетная траектории предстоящего проекта – ОФ V

Аналогичным образом вырабатывали нормативные траектории и для отдельных видов работ и объектов, в частности, для электромонтажных и пуско-наладочных работ систем автоматизации.

Выработанные нормативные траектории принимались за основу при разработке сетевых графиков проектирования и строительства углеобогатительных фабрик. При этом применяли известные процедуры се-

тевого планирования в объединении с процедурами симплексного поиска при решении оптимизационных задач.

2. Постановка задачи натурно-модельного исследования эффективности стимулирующих функций.

Дано. 1. Набор структур стимулирующих функций $St_{i,j}(T)$ для выполнения операций:

а) линейная функция

$$St_{1,j} = a \cdot T_j + b, \quad (5)$$

б) кусочно-линейная функция

$$St_{2,j} = \begin{cases} a_1 \cdot T_j + b_1, & \text{при } T_j^{min} \leq T_j \leq T_{1,j}; \\ a_2 \cdot T_j + b_2, & \text{при } T_{1,j} < T_j \leq T_{2,j}; \\ a_3 \cdot T_j + b_3, & \text{при } T_{2,j} < T_j \leq T_j^H, \end{cases} \quad (6)$$

где $T_{1,j} = \frac{1}{3}(T_j^H - T_j^{min})$, $T_{2,j} = \frac{2}{3}(T_j^H - T_j^{min})$,

в) квадратичная функция

$$St_{3,j} = a \cdot T_j^2 + b \cdot T_j + c; \quad (7)$$

г) обратно пропорциональная функция

$$St_{4,j} = \frac{a}{T_j}, \quad (8)$$

где a, b, c – параметры функции, T_j – длительность выполнения j -й операции, T_j^{min} – минимальное время выполнения j -й операции, T_j^H – номинальное (в частности, фактическое) время выполнения j -й операции.

2. Данные о фактически реализованных проектах, включающие:

- сетевой график проектирования и строительства;
- номинальную стоимость C_j^H и номинальное время выполнения T_j^H операций;
- базовую структуру функции стимулирования $St_j^B(T)$, в частности, константу, С-типа [9];
- ограничения на длительность выполнения операций

$$T_j^{min} \leq T_j \leq T_j^H; \quad (9)$$

- ограничения на величину стимулирования при выполнении операций

$$0 \leq St_j \leq St_j^{max}, \quad (10)$$

где St_j^{max} – максимально возможное стимулирование j -й операции проекта;

- структуру функции дохода от функционирования предприятия после его вывода на проектные показатели $V(t)$.

3. Процедуры пересчетного моделирования, включающие:

- натурные данные о характеристиках выполненных проектов;
- пересчетные модели, позволяющие пересчитывать вариации исходных данных в изменение выходных целевых переменных;
- операции формирования модельных исходных и расчетных показателей.

4. Критерий эффективности выполнения проекта $Q(\Delta t)$, отражающий затраты и доход от создания промышленного комплекса

$$Q(\Delta t) = V(\Delta t) - St(\Delta t), \quad (11)$$

где Δt – время изменения длительности выполнения проекта, $V(\Delta t)$ – доход предприятия за время Δt , $St(\Delta t)$ – затраты на стимулирование по сокращению длительности проекта на Δt .

Требуется:

1. Разработать алгоритм определения эффективности стимулирующих функций.
2. Исследовать эффективность стимулирующих функций $St_{i,j}(T)$ из заданного набора по критерию $Q(\Delta t)$.

Для решения задачи натурно-модельного исследования эффективности стимулирующих функций разработан алгоритм оценки влияния стимулирующих функций на изменение эффективности выполнения проекта, структурная схема которого представлена на рисунке 3.

Программная реализация алгоритма осуществлена в среде Microsoft Project 2010 Professional и Microsoft Excel 2010 на языке VBA.

Результаты расчетов для выбранного набора стимулирующих функций представлены на рисунке 4, откуда следует вывод, что наилучшими являются квадратичная и кусочно-линейная функции стимулирования.

Основные выводы

Эффективным средством выработки план-графиков выполнения проектов по созданию крупных автоматизированных комплексов может служить имитационное натурно-математическое моделирование предшествующих проектов.

К числу определяющих факторов, влияющих на сроки выполнения отдельных работ и проектов в целом, относится стимулирование исполнителей работ. Предпочтительными из числа относительно простых и содержательно понятных функций стимулирования являются квадратичная и кусочно-линейная функции, применение которых дает возможность уменьшить сроки и затраты на выполнение проекта до 10 %.

Литература

1. Модер, Дж. Метод сетевого планирования в организации работ: пер. с англ. / Дж. Модер, С. Филлипс. – Л.: Издат, 1966.
2. Новиков, Д. А. Механизмы стимулирования в организационных системах / Д. А. Новиков. – М.: ИПУ РАН, 2003. – 147 с.
3. Натурно-математическое моделирование в системах управления: учебное пособие / В. П. Авдеев, С. Р. Зельцер, В. Я. Карташов [и др.] – Кемерово: КемГУ, 1987. – 84 с.
4. Фельдбаум, А. А. Основы теории оптимальных автоматических систем / А. А. Фельдбаум. – М.: Физматгиз, 1963. – 552 с.
5. Планирование длительности выполнения проекта на основе ретроспективного анализа / Л. П. Мышляев, В. В. Грачев, А. А. Ивушкин, А. П. Бражников // Системы управления и информационные технологии. – 2007. – № 2.2 (28).
6. Дамбраускас, А. П. Симплексный поиск / А. П. Дамбраускас. – М.: Энергия, 1979. – 175 с.
7. Системы автоматизации на основе натурно-модельного подхода: монография: в 3 т. – Т. 2: Системы автоматизации производственного назначения / под ред. Л. П. Мышляева. – Наука, 2006. – 483 с., ил.
8. Новиков, Д. А. Теория управления организационными системами / Д. А. Новиков. – М.: Московский психолого-социальный институт, 2005. – 584 с.

Информация об авторах:

Ивушкин Анатолий Алексеевич – доктор технических наук, генеральный директор ОК «Сибшахтстрой», т. 8(3843) 72-26-22, office@sshhs.ru.

Ivushkin Anatoliy Alexeevich – Doctor of Technical Sciences, Executive Director of Sibshahtstroy company.

Шипунов Михаил Владимирович – начальник отдела систем управления производством ООО «Научно-исследовательский центр систем управления», т. 8(3843) 78-43-44, mihail.shipunov@nicsu.sibsiu.ru.

Shipunov Mikhail Vladimirovich – Head of the Department of production management systems at the Research centre for management systems.

Грачев Виталий Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации и информационных систем, Сибирский государственный индустриальный университет, т. 8(3843)78-43-44, witgr@ngs.ru.

Grachev Vitaliy Viktorovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Automation and Information Systems of Siberian State Industrial University.

Мышляев Леонид Павлович – доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе и инновационному развитию, Сибирский государственный индустриальный университет, т. 8(3843) 46-58-83, sec_nr@sibsiu.ru.

Myshlyaev Leonid Pavlovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-rector for Science and Innovations at Siberian State Industrial University.