

И.Ю. БЕЛОБРОВА,  
ДонНТУ

## МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Важным направлением совершенствования механизма управления инновационной деятельностью предприятий является исследование эффективности реализации одной из важнейших функций инновационного менеджмента – планирования. С точки зрения процесса менеджмента, планирование представляет собой разработку целей и путей их достижения. С другой стороны, с точки зрения системного подхода к менеджменту, планирование можно рассматривать как самостоятельную подсистему, включающую определенные инструменты и методы, базирующуюся на правилах, использующую информацию с целью подготовки и обеспечения выполнения планов.

Анализ существующих видов планирования инноваций с точки зрения выбора и обоснования основных направлений совершенствования этого процесса на предприятии позволил сделать вывод, что наиболее важную роль играет их классификация в соответствии с содержанием процесса планирования. Она выражается в разработке планов трех видов: продуктово-тематических, технико-экономических, объемно-календарных.

Задача продуктово-тематического планирования состоит в определении основных направлений научно-технического развития, выборе тематики НИОКР, формировании перспективной программы выпуска инновационного продукта или реализации инновационных мероприятий. Процесс продуктово-тематического планирования включает три стадии: формирование продуктово-тематических предложений, оценка

предложений и отбор тематики, выполнение плана. На первой стадии продуктово-тематического планирования на основе маркетинговых исследований формируется продуктово-рыночный портфель, предложения по тематике инновационной деятельности, а также разрабатываются принципиально новые решения в области техники. Вторая стадия связана с оценкой предложений и отбором наиболее актуальной и перспективной тематики с учетом рыночной ситуации, тенденций развития инновационной сферы, возможностей и интересов организации. На третьей стадии продуктово-тематического планирования осуществляется реализация планов. Выполнение продуктово-тематических планов обеспечивается в процессе *календарного планирования* (КП).

Таким образом, календарное планирование можно рассматривать, с одной стороны, как самостоятельный вид планирования инноваций с точки зрения содержания процесса планирования, а с другой – как часть, а точнее, продолжение продуктово-тематического планирования в части его заключительного этапа. В связи с этим представляется необходимым проанализировать особенности календарного планирования с точки зрения его рационализации для повышения эффективности планирования инноваций в целом.

Сложность задачи календарного планирования заключается в оперировании большим количеством параметров, имеющих разную природу. Среди них можно выделить следующие:

- последовательность включения объектов в производственную программу организации;

- интенсивность выполнения проектных работ;

- взаимосвязь работ (возможность их совместного выполнения и наличие технологических перерывов).

Изменение любого из этих параметров в значительной степени влияет на продолжительность технической подготовки заказа (проекта), формирование графиков потребления трудовых ресурсов. При этом наиболее важной является задача совмещения планово-календарных работ. Важно отметить, что выполнение каждого заказа (проекта) ведется в уникальных условиях, то есть каждый раз различными силами и средствами, которыми на сегодняшний день располагает организация. Следует также иметь в виду возможные ограничения на финансирование, которые значительно варьируются от проекта к проекту. Таким образом, полученный календарный план необходимо в значительной степени перестраивать, применительно к деятельности конкретной организации.

Попыткой избавиться от указанных недостатков с помощью формализации процедуры совмещения планово-календарных работ было предложение метода, который оперирует коэффициентами совмещения работ [1]. Известны два вида коэффициентов совмещения:

- коэффициент совмещения по началу работ ( $K_n$ );

- коэффициент совмещения по окончанию работ ( $K_o$ ).

Коэффициент совмещения по началу работ определяет, какая часть предыдущей работы должна быть выполнена к началу последующей. Коэффициент совмещения по окончанию работ показывает, какая часть последующей работы должна остаться после завершения предыдущей (рис. 1). Величина коэффициента совмещения может варьироваться в пределах от 0 до 1. Она определяется экспертно в зависимости от ряда объективных факторов, среди которых трудоемкость работ, состав и количество специалистов, методы автоматизации процессов проектирования, требования техники безопасности и др. [1, 2, 3].

Предыдущая работа

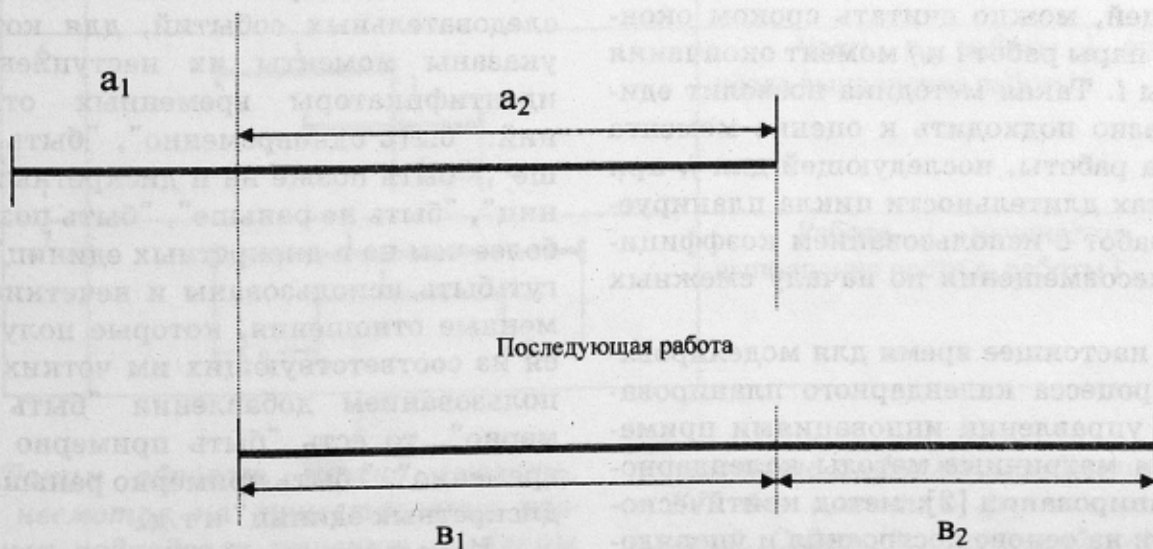


Рис. 1. Коэффициенты несовмещения работ по началу и по окончанию

Полученные коэффициенты совмещения могут быть использованы для четких количественных расчетов при определении взаимосвязи между отдельными планово-календарными работами:

$$K_n = \frac{a_i}{a_i + a_j}, \quad (1)$$

где  $K_n$  – коэффициент совмещения по началу,

$$K_o = \frac{b_i}{b_i + b_j}, \quad (2)$$

где  $K_o$  – коэффициент совмещения по окончанию.

Как следует из выражений (1) и (2), значения коэффициентов зависят от величины несовмещаемых частей смежных работ. Чем меньше степень совмещения, тем ближе к единице значение коэффициента, и, наоборот, повышение уровня совмещения приводит к понижению соответствующего коэффициента. Поэтому, представляется, что более точное отображение сути этого коэффициента возможно при использовании термина "коэффициент несовмещения".

При формировании календарного плана могут осуществляться следующие варианты взаимной увязки работ (табл. 1).

При этом, в случае 7 (см. табл. 1), когда окончание последующей работы наступает раньше, чем окончание предыдущей, можно считать сроком окончания пары работ  $i$  и  $j$  момент окончания работы  $i$ . Такая методика позволит единообразно подходить к оценке момента начала работы, последующей для  $j$ , при расчетах длительности цикла планируемых работ с использованием коэффициента несовмещения по началу смежных работ.

В настоящее время для моделирования процесса календарного планирования в управлении инновациями применяются матричные методы календарного планирования [2]; метод критического пути на основе построения и упорядочения сетевого графика [3, с. 208]. Использование компьютерных средств замещает трудоемкие графоаналитические

вычисления вручную, что обуславливает простоту реализации этого метода.

При совмещенном выполнении работ хорошо зарекомендовал себя способ обобщенных сетевых моделей (ОСМ). Последние могут строиться как в терминах "событий", так и в терминах "работ" [4].

Определенный интерес представляет вариационная постановка задачи КП [1], решение которой может быть получено с помощью метода максимума А.С. Понтрягина [5].

Наряду со своими достоинствами данные подходы обладают и рядом существенных недостатков. Прежде всего, для определения коэффициентов совмещения необходимо проводить большой экспертный опрос с привлечением высококлассных специалистов каждый раз, когда необходимо построить календарный план. С другой стороны, даже самые квалифицированные эксперты затрудняются в однозначном количественном определении коэффициентов совмещения между работами [6, 7].

Эти предпосылки обусловили попытку формализации календарного планирования (КП) с помощью аппарата нечетких множеств [8]. Основой исходных данных построения календарного плана в этом случае является набор последовательных событий, для которых указаны моменты их наступления и идентификаторы временных отношений: "быть одновременно", "быть раньше", "быть позже на  $n$  дискретных единиц", "быть не раньше", "быть позже не более чем на  $n$  дискретных единиц". Могут быть использованы и нечеткие временные отношения, которые получаются из соответствующих им четких с использованием добавления "быть примерно", то есть "быть примерно одновременно", "быть примерно раньше на  $n$  дискретных единиц" и т.д.

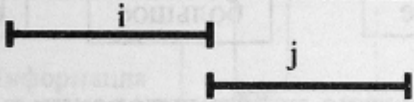
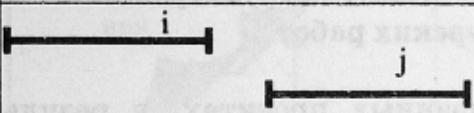
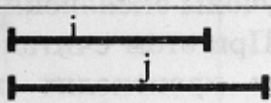
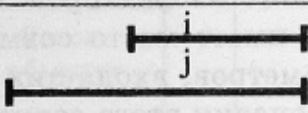
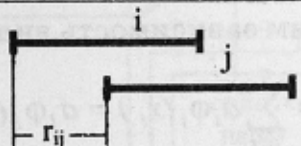
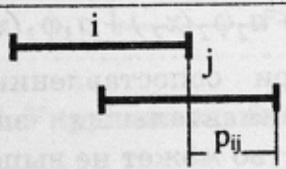
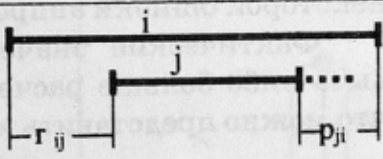
Используя такой метод, можно построить сложные предикаты, характеризующие нечеткие временные зависимости между работами календарного плана.

Следует отметить, что данный метод для своей алгоритмической реализации требует использования большого числа эвристических правил для определения числовых характеристик коэффициентов совмещения работ календарного плана во времени. Это означает, что несмотря на развитый формальный аппарат КП, расчет числовых характеристик

коэффициентов несовмещения работ требует дополнительных исследований, связанных с опросом специалистов в КП. А без числовых характеристик процесса построения календарных планов проектно-конструкторских работ (ПКР) данная модель не может найти практическое применение в управлении инновационной деятельностью.

Таблица 1

## Варианты увязки выполнения смежных работ

№	Виды взаимной увязки работ	Описание
1		Работы $i$ и $j$ выполняются последовательно
2		Работы $i$ и $j$ выполняются последовательно при наличии технологического перерыва
3		Работы $i$ и $j$ начинаются одновременно
4		Работы $i$ и $j$ заканчиваются одновременно
5		Работа $j$ начинается после выполнения части $r_{ij}$ работы $i$
6		Часть $p_{ij}$ работы $j$ остается после выполнения работы $i$
7		Работа $j$ начинается после выполнения части $r_{ij}$ работы $i$

Таким образом, можно сказать, что несмотря на существование различных подходов к решению проблемы совмещения работ календарного плана во времени, эта проблема исследована еще недостаточно. С одной стороны, существующие модели предлагают ис-

пользование информации специалистов в КП без попытки формализации их мнений. С другой, – ряд моделей оперируют только формальными методами и правилами, что затрудняет численный расчет коэффициентов совмещения.

Применение положений теории нечетких множеств позволяет количественно выразить значения нечетких понятий (лингвистических переменных), используемых для определения коэффициента несовмещения работ. Значения  $K_{нс}$  могут быть заданы не только с по-

мощью базовой шкалы, зависящей от мнения конкретного эксперта (рис. 2), но и посредством функции принадлежности некоторого нечеткого множества  $K$ , построенного на основании экспериментальных данных по фактически реализованным проектам.

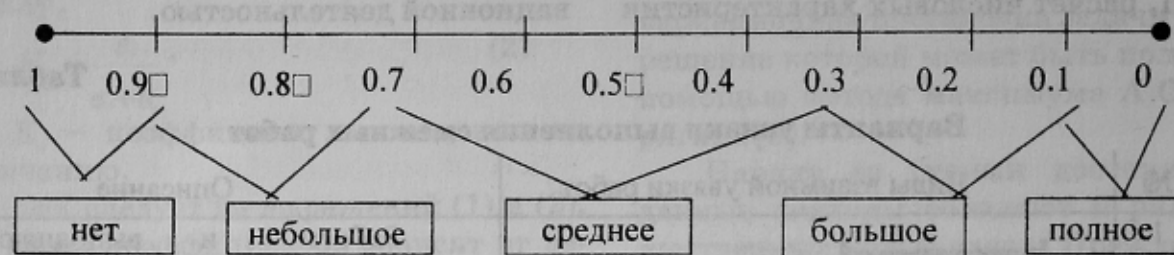


Рис. 2. Степень совмещения проектно-конструкторских и опытно-конструкторских работ

Укрупненная блок-схема расчета коэффициента несовмещения представлена на рис. 3. Для реализации этого алгоритма, во-первых, необходимо определить факторы, которые влияют на степень совмещения зависимых работ.

Пусть для определения взаимосвязи между смежными работами  $l$  и  $k$  используется коэффициент несовмещения  $K_{нс}$ . Эти коэффициенты зависят от набора факторов  $X_i$   $i=1, \dots, N$ :

- трудоемкости предшествующей и последующей работ ( $Q_1, Q_2$ );
- количества специалистов на соответствующих работах ( $N_1, N_2$ );
- сложности выполняемых работ ( $D_1, D_2$ ).

Зависимость  $K_{нс}$  от параметров  $\{X_i\}$  для каждой пары смежных работ может быть представлена в следующем виде:

$$K = a\varphi(x) \quad (3)$$

Поскольку значения  $K_{нс}$  изменяются от 0 до 1, то в качестве функций  $\varphi_i(x)$  могут выступать экспоненты, логарифмы, полиномы. Для того, чтобы получить в явном виде функцию  $\varphi_i(x)$  была проанализирована исходная информация о двадцати двух фактически реали-

зованных проектах, в результате чего были получены экспоненциальные зависимости. При этом считалось, что изменение  $K_{нс}$  происходит под влиянием лишь одного из факторов. Однако, фактически, имеет место совместное влияние параметров, входящих в множество  $X_i$ . Для оценки этого совместного влияния строим зависимость вида:

$$K = \sum_{i=1}^n a_i \varphi_i(x_i) = a_1 \varphi_1(x_1) + a_2 \varphi_2(x_2) + a_3 \varphi_3(x_3) \quad (4)$$

При сопоставлении расчетных и экспериментальных значений точное равенство может не выполняться за счет некоторой ошибки аппроксимации  $\xi$ .

Фактические значения  $K_{нс}$  могут быть либо больше расчетного значения, что можно представить как разность

$$\sum_{i=1}^n a_i \varphi_i(x_i) - \xi; \quad (5)$$

либо меньше, тогда

$$\sum_{i=1}^n a_i \varphi_i(x_i) + \xi. \quad (6)$$

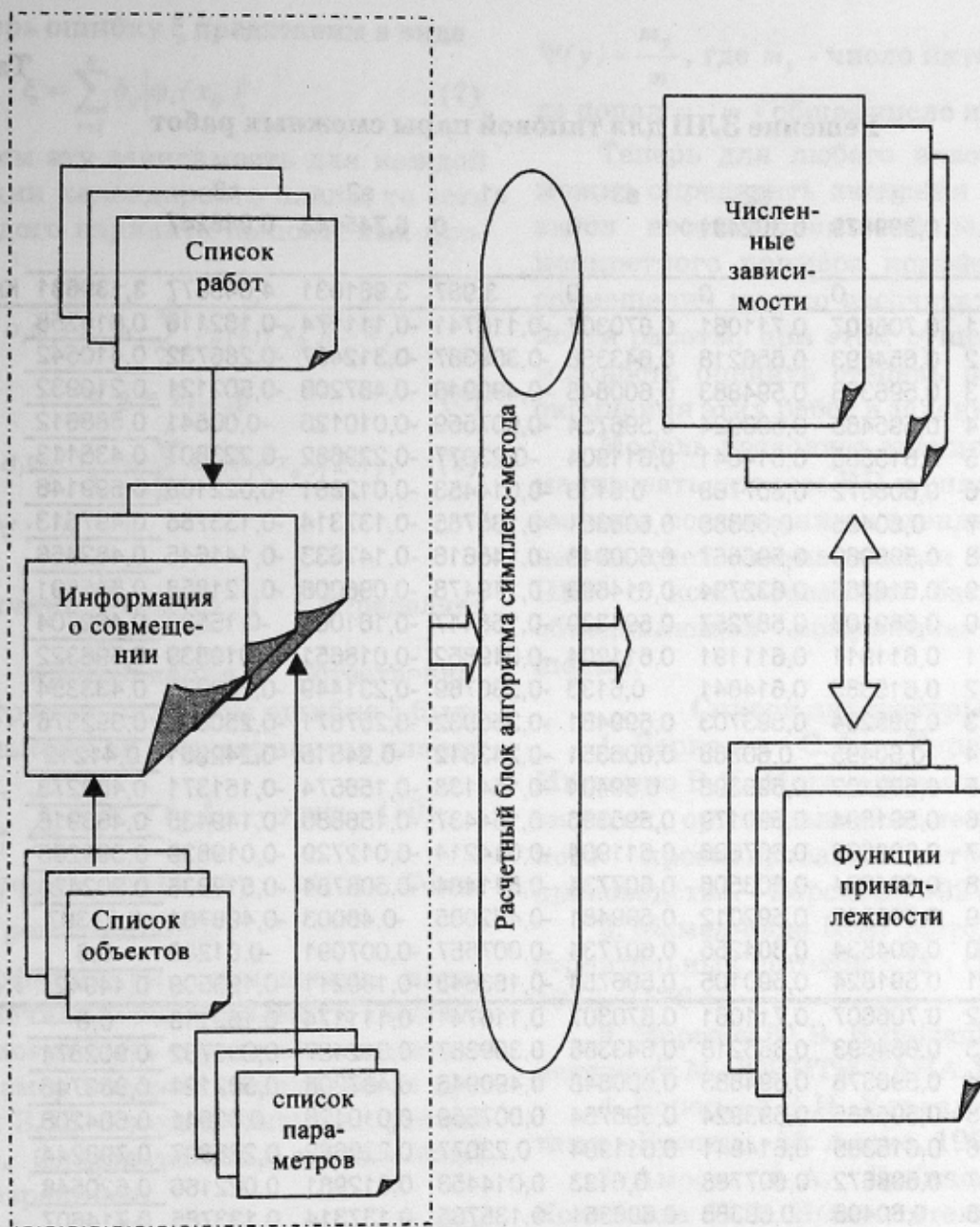


Рис. 3. Укрупненная блок-схема расчета коэффициента  $K_{nc}$

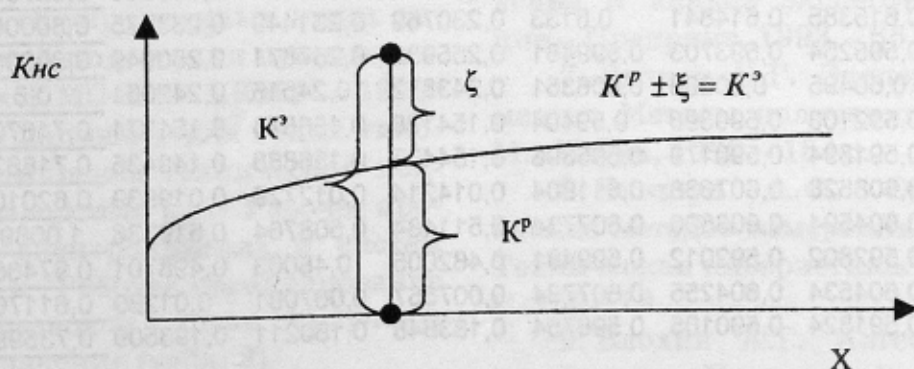


Рис. 4. Сопоставление расчетных и экспериментальных значений  $K_{nc}$

Таблица 2

## Решение ЗЛП для типовой пары смежных работ

ЭлПр-Кабр	а1	а2	а3	в1	в2	в3		
Значение	0,699879	0,302491	0	0	0,745443	0,046247		
нижн.гр.								
Коэф.,Ф	0	0	0	3,987	3,961031	4,045877	3,139831	Кнсэ
1	0,706607	0,711061	0,670307	-0,116741	-0,111174	-0,162116	0,619258	0,8
2	0,654693	0,656218	0,643366	-0,309387	-0,312437	-0,286732	0,410542	0,5
3	0,596378	0,594883	0,600848	-0,490946	-0,487208	-0,502121	0,210932	0,4
4	0,595465	0,593924	0,596754	-0,007559	-0,010126	-0,00541	0,588612	0,6
5	0,615385	0,614841	0,611904	-0,23077	-0,229682	-0,223807	0,435113	0,5
6	0,608672	0,607788	0,6133	-0,014453	-0,012981	-0,022166	0,599146	0,6
7	0,60495	0,60388	0,606351	-0,135785	-0,137314	-0,133785	0,497513	0,7
8	0,598069	0,596657	0,600848	-0,145616	-0,147633	-0,141645	0,482456	0,7
9	0,616365	0,632794	0,614699	-0,119478	-0,096008	-0,121858	0,545591	0,7
10	0,589108	0,587257	0,591339	-0,158417	-0,161061	-0,15523	0,462704	0,7
11	0,611911	0,611191	0,611904	-0,019852	-0,018651	-0,019839	0,598322	0,6
12	0,615385	0,614841	0,6133	-0,230769	-0,231449	-0,233375	0,433354	0,8
13	0,595254	0,593703	0,599481	-0,255932	-0,257871	-0,250649	0,392376	0,8
14	0,60495	0,60388	0,606351	-0,243812	-0,24515	-0,242061	0,41212	0,8
15	0,592103	0,590398	0,59404	-0,154138	-0,156574	-0,151371	0,469273	0,7
16	0,591894	0,590179	0,595396	-0,154437	-0,156888	-0,149435	0,468916	0,7
17	0,608528	0,607638	0,611904	-0,014214	-0,012729	-0,019839	0,599295	0,6
18	0,604594	0,603506	0,607734	-0,511484	-0,508764	-0,519336	0,202425	0,4
19	0,592802	0,592012	0,599481	-0,482005	-0,48003	-0,498701	0,21307	0,4
20	0,604534	0,604255	0,607734	-0,007557	-0,007091	-0,01289	0,6	0,6
21	0,591824	0,590105	0,596754	-0,183648	-0,180211	-0,193509	0,449421	0,5
22	0,706607	0,711061	0,670307	0,116741	0,111174	0,162116	0,8	0,8
23	0,654693	0,656218	0,643366	0,309387	0,312437	0,286732	0,902871	0,5
24	0,596378	0,594883	0,600848	0,490946	0,487208	0,502121	0,983746	0,4
25	0,595465	0,593924	0,596754	0,007559	0,010126	0,00541	0,604208	0,6
26	0,615385	0,614841	0,611904	0,23077	0,229682	0,223807	0,798244	0,5
27	0,608672	0,607788	0,6133	0,014453	0,012981	0,022166	0,620548	0,6
28	0,60495	0,60388	0,606351	0,135785	0,137314	0,133785	0,714607	0,7
29	0,598069	0,596657	0,600848	0,145616	0,147633	0,141645	0,715662	0,7
30	0,616365	0,632794	0,614699	0,119478	0,096008	0,121858	0,7	0,7
31	0,589108	0,587257	0,591339	0,158417	0,161061	0,15523	0,717185	0,7
32	0,611911	0,611191	0,611904	0,019852	0,018651	0,019839	0,627964	0,6
33	0,615385	0,614841	0,6133	0,230769	0,231449	0,233375	0,800003	0,8
34	0,595254	0,593703	0,599481	0,255932	0,257871	0,250649	0,800015	0,8
35	0,60495	0,60388	0,606351	0,243812	0,24515	0,242061	0,8	0,8
36	0,592103	0,590398	0,59404	0,154138	0,156574	0,151371	0,716708	0,7
37	0,591894	0,590179	0,595396	0,154437	0,156888	0,149435	0,716639	0,7
38	0,608528	0,607638	0,611904	0,014214	0,012729	0,019839	0,620107	0,6
39	0,604594	0,603506	0,607734	0,511484	0,508764	0,519336	1,00897	0,4
40	0,592802	0,592012	0,599481	0,482005	0,48003	0,498701	0,974866	0,4
41	0,604534	0,604255	0,607734	0,007557	0,007091	0,01289	0,611765	0,6
42	0,591824	0,590105	0,596754	0,183648	0,180211	0,193509	0,735993	0,5

Теперь ошибку  $\xi$  представим в виде

$$\xi = \sum_{i=1}^n b_{ij} |\varphi_i(x_{ij})| \quad (7)$$

и запишем эту зависимость для каждой реализации календарного плана, то есть для каждого варианта выполнения проекта  $j$ :

$$\sum_{i=1}^n a_i \varphi_i(x_{ij}) - \sum_{i=1}^n b_{ij} |\varphi_i(x_{ij})| \leq k_j, \quad \forall j = 1, \dots, p \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^n a_i \varphi_i(x_{ij}) + \sum_{i=1}^n b_{ij} |\varphi_i(x_{ij})| \geq k_j, \quad (9)$$

где  $a_i - \forall; b_{ij} \geq 0$ .

Величина  $\sum_{i=1}^n b_{ij} |\varphi_i(x_{ij})|$  определяет ошибку приближения. Естественно, нужно стремиться, чтобы ошибка  $\xi$  была минимальной для всех вариантов плана:

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n b_{ij} |\varphi_i(x_{ij})| \longrightarrow \min. \quad (10)$$

Получили ЗЛП (8) - (10). Тогда  $(a_i, b_{ij})$  - решение ЗЛП.

Коэффициенты совмещения являются конечными величинами, а следовательно, могут быть ограничены интервалами, размер которых определяется при решении ЗЛП и может быть как угодно большой. Следовательно, данная ЗЛП всегда разрешима.

Обработка 22 проектов позволила определить неявные множества  $K_{нс}$  по каждой паре смежных работ. В качестве исходной информации были использованы данные об укрупненных видах работ технической подготовки производства продукции ПМО ЗАО "НКМЗ" в 1999-2001 гг. Так, например для таких типовых работ комплекса технической подготовки производства, как "Рабочее проектирование электропривода и систем управления" и "Рабочее проектирование кабельных разводов" были получены следующие значения (табл. 2).

Для любой точки  $y \in K$  можно определить функцию принадлежности [9]

$\Psi(y) = \frac{m_y}{m}$ , где  $m_y$  - число интервалов куда попал  $y$ ,  $m$  - общее число интервалов.

Теперь для любого нового проекта можно определить значения коэффициентов несовмещения. Определив для конкретного примера коэффициент несовмещения можно рассчитать длительности работы, при этом существует возможность оценить степень вероятности окончания этих работ в заданные сроки.

Модель позволяет значительно формализовать процесс КП и снизить трудоемкость составления календарных планов за счет автоматизации КП НИР и ПКР с использованием базы знаний, объединяющей коэффициенты совмещения.

#### Список литературы

1. Баркалов С.А., Курочка П.Н., Мищенко В.Я. Моделирование и автоматизация организационно-технологического проектирования строительного производства. - Воронеж, 1997. - 120 с.
2. Мамед-Заде К.А. Методы расчета строительных потоков. - М.: Стройиздат, 1975. - 176 с.
3. Морозов Ю.В. Инновационный менеджмент: М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000.-446 с.
4. Воропаев В.И. Управление проектами в России. - М: Аланс, 1995. - 225 с.
5. Амосов А.А., Дубинский Ю.А., Копченова Н.В. Вычислительные методы для инженеров. - М.: Высшая школа, 1994. - 544 с.
6. Бурков В.Н., Панкова Л.А. Получение и анализ экспертной информации.- Препринт, 1993. - 65 с.
7. Литвак Б.Г. Экспертная информация: Методы получения и анализа. - М.: Наука, 1982. - 184 с.
8. Блишун А.Ф. Сравнительный анализ методов измерения нечеткости// Техническая кибернетика. - 1988. - №5.- С. 152-173.
9. Блохин А.Г. Алгебра нечетких множеств. - Известия Академии наук. Теория и системы управления, 1998. - №5. - С. 88-95.