

## Математическое обеспечение управления инновационными проектами на базе сетевого моделирования

### Management Software innovative projects on the basis of network modeling

Каренов Р.С.

*Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова (E-mail: Karenov\_r@inbox.ru)*

Жоспарланған мақсатқа қол жеткізумен байланысты міндеттер немесе шаралар жиынтығы ретіндегі жобаларды басқару қажеттігі көрсетілген. Ганттың графигі көмегімен жобаны жоспарлау және оның орындалуын бақылау мүмкіндігі жөнінде айтылған. Жобаның жүзеге асуы үдерісін графиктік кескіндеу ретіндегі желілік матрицаның сипаттамасы берілген. Желілік модельдің негізгі элементі болып табылатын желілік графиктің параметрлерін есептеу әдістемесі ұсынылған. Ірі ауқымды жобаларды жоспарлаудың және олардың жүзеге асуын үйлестірудің негізгі тәсілдері бөлініп көрсетілген. Сындарлы жол тәсілі бойынша күнтізбелік жоспарлаудың әдістемелік принциптері қарастырылған. Жобаларды басқару үшін негіз болатын сындарлы жол тәсілінің артықшылықтары көрсетілген.

Necessity of management by projects as a set of problems or actions connected with achievement of the planned purpose is shown. Possibility of planning and control over execution of the project by means of the schedule of Ganta is illustrated. The characteristic to a network matrix as to a graphic representation of processes of realization of the project is given. The design procedure of parameters of the network schedule which is a basic element of network model is offered. The main methods of planning and coordination of performance of large-scale projects are allocated. Methodical principles of scheduling on a method of a critical way are considered. Advantages of a method of a critical way as bases for a management of projects are reveal.

#### *Необходимость управления проектами*

В рыночной экономике инновации выступают как средство в конкурентной борьбе, повышают имидж производителя. Инновация (от англ. *innovation* — изменение, обновление) представляет собой конечный, материализованный результат инновационной деятельности, полученный от вложения капитала в открытие, изобретение, новый метод удовлетворения общественных потребностей. Инновационная деятельность — это деятельность по созданию, доведению научно-технических идей, изобретений, разработок до результата, который можно практически использовать и распространять. Цели управления инновационной деятельностью — генерирование, инициирование, контролирование новых идей, создание условий для разработки и вывода инновационной продукции на рынок [1; 3].

Создание инноваций связано с особым видом управления — управлением проектами (проектный менеджмент) [2–4]. Проектный менеджмент уходит корнями в практическое управление крупными конструкторскими проектами. Например, создание прокатного стана на металлургическом заводе, строительство моста новой конструкции, запуск первого спутника и т.д. Это системный, структурированный подход к работе в условиях неопределенности.

Проект — это совокупность задач или мероприятий, связанных с достижением запланированной цели, которая обычно имеет уникальный и неповторяющийся характер [5].

Под инновационным проектом понимается сложная система взаимообусловленных и взаимосвязанных по ресурсам, срокам и исполнителям мероприятий, направленных на достижение конкретных инновационных целей на приоритетных направлениях развития науки и техники. Другими словами, инновационный проект представляет собой намечаемый к планомерному осуществлению, объединенный единой целью и приуроченный к определенному времени комплекс работ и мероприятий по созданию, производству и продвижению на рынок новых высокотехнологичных продуктов с указанием исполнителей, используемых ресурсов и их источников.

Таким образом, понятие «инновационный проект» может рассматриваться в трех аспектах:

- а) как совокупность мероприятий для достижения инновационных целей;
- б) как процесс осуществления инновационной деятельности;
- в) как пакет документов, обосновывающих и описывающих эти мероприятия.

Эти три аспекта подтверждают значение инновационного проекта как формы организации и целевого управления инновационной деятельностью [6].

Жизненный цикл инновационного проекта охватывает все стадии его воплощения — от появления замысла, проведения НИОКР, подготовки производства и непосредственного производства продукции до ее реализации.

#### *Планирование и контроль за исполнением проекта с помощью графика Ганта*

Руководитель проекта отвечает за три аспекта его реализации: сроки, расходы и качество результата. В соответствии с общепринятым принципом управления проектами считается, что эффективное управление сроками работ является ключом к успеху по всем трем показателям. Там, где сроки выполнения проекта серьезно затягиваются, вероятным становится значительный перерасход средств и возникновение серьезных проблем с качеством работ. Поэтому во всех основных методах управления работами по проектам основной акцент делается на календарном планировании работ и контроле соблюдения календарного графика.

На предприятиях перед органами планирования ставится задача сокращения технической подготовки с целью ускорения реализации проекта; сокращения затрат на осуществление технической подготовки; повышения качества работ и плановой дисциплины исполнителей.

Для этих целей используются различные формы и методы календарного планирования: строятся линейные, матричные и сетевые графики.

Линейный (ленточный) график (так называемый график, или диаграмма, Ганта) применяется тогда, когда вопрос или проблему разрабатывает небольшое количество исполнителей и контролируется малое количество событий. Линейный календарный график строится так, что с целью сокращения сроков технической подготовки изделия (машины) используется метод параллельного и параллельно-последовательного ведения работ, при котором, например, второй этап начинается раньше, чем заканчивается первый, а третий этап — раньше, чем заканчивается второй и т.д. Для этого используются не окончательные, а предварительные данные предыдущих этапов с последующей их корректировкой [7, 8].

Параллельное выполнение работ, которые относятся к различным этапам, не ухудшает качества проекта, поскольку при создании нового изделия всегда используется значительное количество готовых стандартных и унифицированных узлов и деталей и существенно различается время на подготовку оригинальных поддетальных компонентов проекта. Поэтому совершенно оправданно переходить к следующему этапу подготовки, когда предыдущий этап выполнен не по всем, а по отдельным узлам и деталям.

Параллельное и параллельно-последовательное выполнение всех работ сокращает сроки технической подготовки и освоения новой проекции. В результате совмещения разных этапов проектирования общий цикл подготовки сокращается, что видно из ленточного (линейного) графика (графика, или диаграммы, Ганта) подготовки производства новой машины (инновационного проекта) (табл. 1).

При сокращении сроков и затрат на техническую подготовку и освоение производства конструктивно и технологически сложной продукции особое значение придается экспериментальным, опытным и испытательным базам, на которых проверяются и дорабатываются применительно к промышленным условиям подготовленные в лабораториях процессы. Опытная проверка новых образцов изделий, их частей, технологии — обязательное условие повышения качества технических проектов производства.

Для текущего планирования, контроля и учета сроков и затрат технической подготовки в условиях серийного и массового производства составляются карточки на каждую деталь (агрегат, инструмент и др.). В карточках указываются плановые сроки начала и окончания работ, исполнители, фактические сроки, стоимость подготовки по каждой детали (агрегату, инструменту и др.). Карточки могут храниться в специальном шкафу или в памяти ЭВМ. При ручной обработке карточек их фрагменты дублируются в каждом подразделении предприятия, выполняющем определенную часть работ. При машинной обработке создается база данных, к которой подключаются ее пользователи.

Т а б л и ц а 1

**Ленточный (линейный) график (график Ганта) технической подготовки новой машины (инновационного проекта)**

Этапы подготовки	Исполнитель	Календарные сроки подготовки		
		2010 г.	2011 г.	2012 г.
		Месяцы		
		I II III ... XII	I II III ... XII	I II III ... XII
Разработка технического задания	Отдел главного конструктора	■		
Эскизный проект	«-»	■		
Технический проект	«-»		■	
Рабочий проект	«-»		■	
Изготовление опытного образца	Экспериментальный цех		■	
Испытание и доводка опытного образца	Отдел главного конструктора, экспериментальный цех		■	
Проектирование технологических процессов	Отдел главного технолога		■	
Проектирование технологической оснастки	«-»		■	
Изготовление и закупка технологической оснастки	Инструментальный цех, отдел снабжения			■
Наладка и выверка технологических процессов	Цехи завода, отдел главного технолога			■
Выпуск первой партии новой машины	Все отделы и цехи завода			■

*Сетевая матрица как графическое изображение процессов осуществления проекта*

Как видно из таблицы 1, график Ганта — это диаграмма, изображающая задания в виде отрезков на временной шкале. Длина отрезка соответствует сроку задания. Весь проект представляется в форме календаря, что позволяет использовать его для контроля и показа процента выполнения задания.

Разновидностью графика Ганта являются сетевые матрицы, для составления которых определяются следующие характеристики:

- состав и содержание отдельных работ по проекту;
- ресурсное обеспечение;
- последовательность выполнения работ с учетом максимально возможного запараллеливания работ;
- исполнители каждой работы (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

**Перечень работ для построения сетевой матрицы (матричного графика)**

№ предшествующей работы	№ данной работы	Содержание данной работы	Ориентировочная продолжительность, дни	Исполнитель

Сетевая матрица представляет собой графическое изображение процессов осуществления проекта, где все работы (управленческие, производственные и т.д.) показаны в определенной технологической последовательности и взаимосвязи. Сетевая матрица совмещается с календарно-масштабной сеткой времени: горизонтали характеризуют структурное подразделение или должностное лицо, выполняющее ту или иную работу; вертикали — отдельные работы по осуществлению проекта с учетом временного фактора [9; 137].

Сетевые матрицы рекомендуется использовать на всех стадиях жизненного цикла проекта для представления всего процесса его осуществления в наглядной форме, правильного распределения ответственности, эффективного использования имеющихся ресурсов и сокращения сроков реализации проекта.

*Методика расчета параметров сетевого графика по сетевой модели*

Как показывает практика, линейные (ленточные) графики технической подготовки производства имеют некоторые недостатки: трудности планирования по операциям, невозможность перестроения графика, нечеткость регламентации взаимосвязи выполнения работ отдельными исполнителями, невозможность четкого анализа и прогнозирования дальнейшего хода работ. Эти недостатки привели к использованию в организации производства сетевых графиков, обладающих следующими преимуществами [10–12]:

- четкое регламентирование состава работ, последовательное их выполнение и взаимосвязь по исполнителям;
- наглядность взаимосвязи разных событий и работ и возможность быстрой перестройки графика в связи с отклонением от запланированных сроков;
- возможность учета мнений разных специалистов;
- использование вероятностных нормативов для решений общей задачи.

Вообще при управлении инновационными проектами имеется ряд ключевых вопросов, на которые нужно дать ответы:

1. Сколько времени уйдет на выполнение проекта?
2. Есть ли вероятность отклонения от этой оценки?
3. Когда отдельные действия должны начинаться и заканчиваться?
4. Какие действия являются критическими при определении времени окончания проекта?
5. Какова гибкость прочих действий?

Эти вопросы могут быть проанализированы с помощью сетевых моделей, которые являются комплексом графических и расчетных методов, организационных мероприятий и контрольных приемов, обеспечивающих моделирование, анализ и динамическую перестройку выполнения сложных проектов, работ и алгоритмов.

Сетевые модели можно классифицировать так [1,50,51]:

- по характеру отображения (сетевые модели, построенные по принципу «работа-дуга», и сетевые модели, построенные по принципу «работа-вершина»);
- по степени охвата проекта (сводные и частные);
- по степени детализации (укрупненные и детализированные);
- по количеству независимых целей (одно- и многоцелевые);
- по размеру (малые — до 1 тыс. работ, средние — от 1 до 10 тыс. работ, большие — свыше 10 тыс. работ);
- по степени неопределенности оценок параметров работ (с детерминированными оценками и со случайными оценками);
- по виду сетевого графа (сети общего вида и сети типа «дерево»);
- по структуре (детерминированные и стохастические).

Наибольшее практическое применение в управлении проектами нашли детерминированные сети, где однозначно определены структура проекта и конечная цель. В них отсутствуют альтернативные операции, однозначно определена топология сети. Стохастические сети учитывают возможность альтернативных вариантов выполнения работ, возможность получения разных конечных целей. Характерной чертой такого рода моделей являются возможность и вероятность альтернативных решений. Саму модель можно представить «деревом» со случайными ветвями. Стохастические модели, являясь дальнейшим развитием детерминированных моделей, обладают расширенной логикой, способствующей более полному отражению характера проекта, которому обычно присущ элемент неопределенности. Обработка такого рода моделей требует использования многих достаточно разработанных методов теории ветвящихся случайных процессов. Размерность стохастических моделей значительно выше детерминированных. Логических операций при анализе таких сетей больше.

Сетевая модель обладает свойством адаптивности, а также может быть использована для предвидения, поскольку на ней можно осуществить поиск оптимальных (или близких к ним) решений или

же спрогнозировать возможность (или невозможность) достижения целей проекта к определенным срокам при изменении конкретных условий.

Процесс управления с помощью сетевой модели можно разбить на следующие основные этапы:

- формулирование цели управления;
- построение модели;
- анализ модели;
- составление плана работ;
- получение и передача информации о выполнении работ;
- сравнение реального и планового графиков выполнения работ и принятие соответствующих управленческих решений.

По мнению специалистов [13], можно дать следующие важные определения.

Сетевое моделирование — это один из методов системного подхода к управлению сложными динамическими системами с целью обеспечения определенных оптимальных показателей. В основе сетевого моделирования лежит изображение планируемого комплекса работ в виде графа.

Граф — это схема, состоящая из заданных точек (вершин), соединенных определенной системой линий. Отрезки, соединяющие вершины, называются ребрами (дугами) графа.

Теория графов оперирует понятием пути, под которым понимается такая последовательность ребер, когда конец каждого предыдущего ребра совпадает с началом последующего, т.е. конечная вершина каждой предыдущей дуги совпадает с начальной вершиной следующей дуги [14–16].

Основным элементом сетевой модели является сетевой график — это ориентированный граф без контуров, ребра которого имеют одну или несколько числовых характеристик.

Как правило, на основе сетевых графиков осуществляется планирование (прогнозирование) крупных строительных объектов, сложных проектов, мероприятий по созданию и освоению новой техники и технологии (рис. 1).

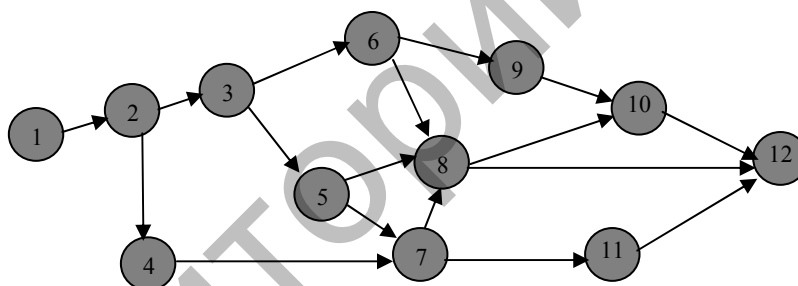


Рис. 1. Фрагмент сетевого графика разработки проекта нового изделия

Сетевой график состоит из двух элементов: работ и событий. События — это начало или окончание каждого вида работ, которые можно четко зафиксировать в начальной и конечной их стадиях. Начальным (исходным) событием называется момент начала первых работ, связанных с подготовкой и реализацией запланированного мероприятия. При этом исходят из того, что до начального события никаких событий по данному мероприятию не предпринималось. Конечное, завершающее событие характеризуется достижением поставленной цели. Сетевой график в таком случае отражает логическую последовательность событий, способствующих достижению поставленной цели.

Исходные и промежуточные события, связанные между собой работами, осуществляются в целях достижения конечного события, которым заканчивается данная работа. На рисунке 1 события обозначены кружками с указанными в них цифрами, а работа — стрелкой, соединяющей последовательно связанные события. Продолжительность работы обозначается числом единиц времени, которое указывается над стрелкой (обычно это число дней или месяцев); под стрелкой часто указываются затраты на проведение работы (тыс. тенге; человеко-дни).

Если для перехода от одного события к другому не требуется затрат средств и времени, а на графике необходимо изобразить взаимную связь этих событий, то их соединяют без указания затрат или пунктирной линией. Такая работа называется условной. Полный путь в сетевом графике — это непрерывная последовательность взаимосвязанных работ и событий (от начального до конечного).

Все события и работы, входящие в график, должны быть перечислены и включены в таблицу в порядке их последовательности. Тщательная проверка должна исключать возможность пропуска отдельных работ или событий или их дублирование.

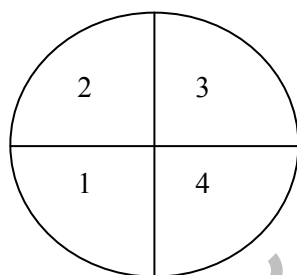
Помимо полного пути в сетевом графике определяется критический путь — наиболее длинный или наиболее уязвимый путь последовательных работ и событий (от начального до конечного).

Сетевые методы позволяют составить наиболее рациональный план работы, установить строгую последовательность и очередность в выполнении всех необходимых операций и действий.

Методика расчета сетевого графика по сетевой модели предусматривает расчет следующих параметров:

- а) ранние сроки свершения события ( $T_{ip}$ );
- б) поздние сроки свершения события ( $T_{in}$ );
- в) резерв времени свершения событий ( $T_{ipb}$ ).

При расчете модели каждый элемент делится на четыре сектора:



где 1 — номер события; 2 — ранний срок свершения события; 3 — поздний срок свершения события; 4 — резерв времени свершения события.

Ранний срок исходного события равен нулю ( $T_j^p = 0$ ). Ранний срок свершения каждого последующего события ( $T_j^p$ ) определяется суммой продолжительности работ, ведущих к данному событию ( $t_j$ ):

$$T_j^p = \sum_{j=1}^n t_j, \quad (1)$$

где  $n$  — количество работ, предшествующих данному событию.

Если данному ( $j$ -му) событию предшествует несколько работ, то принимается максимальный срок выполнения работ ( $T_j^p \rightarrow \max$ ).

Поздний срок свершения конечного события ( $T_j^n$ ) равен раннему сроку свершения этого события ( $T_j^p$ )

$$T_j^n = T_j^p. \quad (2)$$

Поздний срок свершения каждого последующего события ( $T_j^n$ ) определяется вычитанием из позднего срока последующего  $j$ -го события продолжительности работы, ведущей к данному событию. Если за  $j$ -м событием несколько работ, то принимается минимальный срок их выполнения  $T_j^n \rightarrow \min$ .

Резерв времени  $i$ -го события определяется вычитанием из позднего срока свершения события раннего срока

$$P_i^{ps} = T_j^n - T_j^p. \quad (3)$$

Если  $P_i^{ps} = 0$ , то событие находится на критическом пути.

Критический путь складывается из работ с максимальной продолжительностью. Он может быть оптимизирован за счет перераспределения ресурсов и сокращения сроков выполнения работ, находящихся на критическом пути.

Рассмотрим пример расчета сетевого графика по сетевой модели. Исходные данные приводятся в таблице 3.

Содержание и продолжительность выполнения работ по организации экспериментального производства

Содержание работы	Код работы	Продолжительность работы по вариантам, дней
Разработка технических условий на аппарат	1–2	5
Разработка конструкций аппарата	1–3	8
Определение поставщиков узлов	1–4	10
Оформление заказа на покупные узлы	2–4	4
Разработка чертежей	3–4	9
Приемка узлов	2–6	11
Изготовление опытного образца	4–6	5
Разработка технологии изготовления нового оборудования	3–5	12
Проектирование модели	4–5	4
Испытание опытного образца	4–7	9
Корректировка параметров модели	5–7	5
Изготовление модели аппарата	6–7	6

Построенный на основании этих данных сетевой график технической подготовки производства (ТПП) приводится на рисунке 2.

Требуется оптимизировать процесс организации работ по ТПП с целью сокращения продолжительности их выполнения на 4 дня.

Решение проводится в следующей последовательности:

1. Определим номер события, последовательность и продолжительность выполнения работ.
2. Установим ранний срок свершения каждого события.

Ранний срок свершения первого события равен нулю. Ранний срок свершения второго события равен продолжительности работы от события 1 до события 2 (5 дней). Ранний срок свершения события 3 равен продолжительности работы от события 1 до события 3 (8 дней).

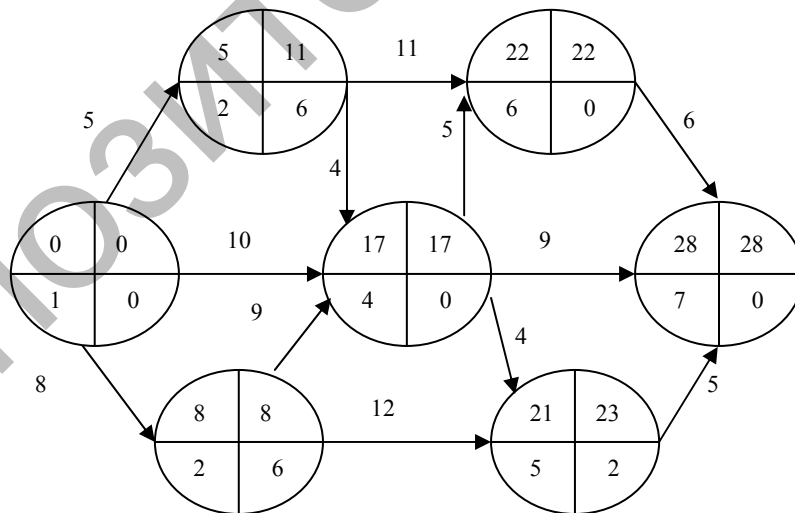


Рис. 2. Сетевой график организации технической подготовки производства до оптимизации

Чтобы определить ранний срок события 4 ( $T_4^p = 4$ ), вычислим все варианты продолжительности выполнения работ, предшествующих данному событию:  $T_4^p = 5 + 4 = 9$  дней,  $T_4^p = 10$  дней,  $T_4^p = 8 + 9 = 17$  дней и примем максимальную продолжительность — 17 дней.

Для определения раннего срока свершения событий 5, 6 и 7 также найдем все варианты продолжительности выполнения работ и установим максимальную величину.

3. Поздний срок свершения конечного события (7) равен раннему сроку:  $T_{j=7}^n = T_{j=7}^p = 28$  дней.

Поздний срок свершения каждого последующего события определяется сокращением предыдущего события на его продолжительность:  $T_{j=6}^n = 28 - 6 = 22$  дня и  $T_{j=5}^n = 28 - 5 = 23$  дня.

Поздний срок свершения события 4 имеет следующие значения:  $T_{j=4}^n = 22 - 5 = 17$  дней,  $T_{j=4}^n = 23 - 4 = 19$  дней и  $T_{j=4}^n = 28 - 9 = 19$  дней.

Принимается минимальная продолжительность:  $T_{j=4}^n = 17$  дней.

4. Определим резерв времени по каждому событию. Для этого из позднего срока свершения события вычтем ранний срок.

Резерв времени события 2:  $T_{j=2}^{p6} = 11 - 5 = 6$  дней.

Резерв времени события 5:  $T_{j=5}^{p6} = 23 - 21 = 2$  дня.

5. Установим критический путь с максимальной продолжительностью работ.

На критическом пути находятся работы 1 — 3, 3 — 4, 4 — 6 и 6 — 7. Длина критического пути равна  $8 + 9 + 5 + 6 = 28$  дней.

По условию задачи требуется сократить расчетную продолжительность выполнения работ на 4 дня. Для оптимизации сетевой модели сократим сроки выполнения работ, находящихся на критическом пути (1–3 и 3–4), на 2 дня и соответственно на эту величину увеличим продолжительность работ, имеющих резервы времени (1–2 и 4–5). Построим новую сетевую модель, в которой максимальная продолжительность выполнения работ составит 24 дня. Критический путь показывают работы, у которых резервы времени равны нулю (1–3, 3–4, 4–5, 5–7). Длина критического пути равна  $6 + 7 + 6 + 5 = 24$  дня.

Для проекта, содержащего несколько десятков работ, нахождение критического пути возможно осуществлять вручную. Для управления крупными проектами, где число работ превышает сотни и тысячи, — широкое использование получили автоматические средства обеспечения управления проектами (Project for Windows). Например, методика PRINCE (Проекты в контролируемых средах) используется правительством Великобритании в области информационных технологий.

Сетевой график после оптимизации представлен на рисунке 3.

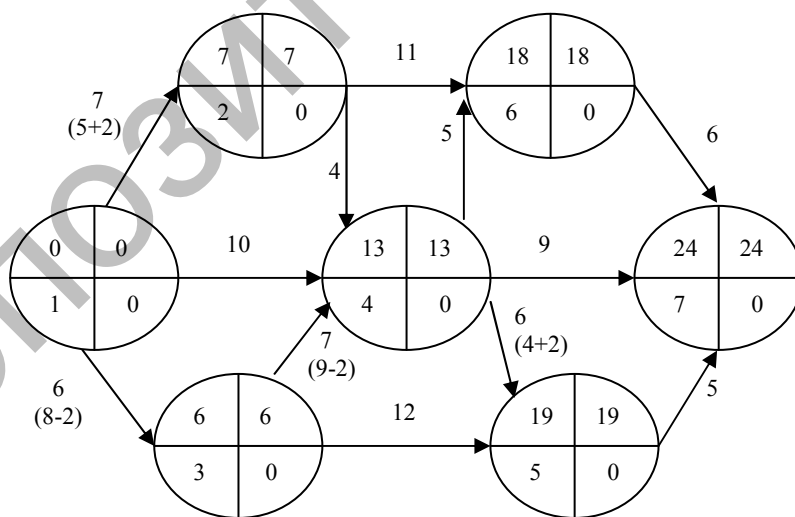


Рис. 3. Сетевой график организации технической подготовки производства после оптимизации

*Организационный инструментарий управления проектом*

Для того чтобы справиться с присущими каждому проекту трудностями и неопределенностью, руководитель должен разбить проект на отдельные стадии и определить риск. Затем в каждой стадии формируется перечень заданий.

Задание — это обязательная часть работы, которая должна быть выполнена заранее установленным образом и в заранее оговоренные сроки. Для простоты проверки оно должно быть небольшим (возможно, не более 10 человеко-часов). Многие задания имеют, скорее, тенденцию саморазвиваться, чем саморегулироваться, поэтому для каждого задания необходимо определить следующее [5; 256, 257]:

- уникальность задания;
- срок выполнения (дни, часы и т.д.), изменяемая и жестко установленная продолжительность выполнения работ;
- даты начала и завершения;
- планируемые (в соответствии с первоначальным планом);
- ожидаемые (в соответствии с последующими изменениями в плане);
- реальные;
- необходимые ресурсы выполнения работ (пространственные, технические, технологические, людские, финансовые и т.д.) и их уникальность, доступность и альтернативность использования для других работ и проектов;
- связь с другими заданиями (предшествующие и последующие задания).

Существует два основных метода планирования и координации выполнения крупномасштабных проектов:

1. PERT (program evaluation and review technique — метод оценки и просмотра программы).
2. CPM (critical path method) — метод критического пути.

Метод CPM был разработан Dupont Corporation в 1950-х гг., чтобы помочь составить план капитального ремонта завода корпорации. PERT был разработан примерно в то же время Министерством ВМФ США для составления плана проекта разработки ракеты Polaris.

В этих методах проекты рассматриваются как совокупность некоторых взаимосвязанных процессов (видов деятельности, этапов или фаз выполнения проекта), каждый из которых требует определенных временных и других ресурсов.

В методах CPM и PERT проводится анализ проектов для составления временных графиков распределения фаз проектов.

Основные этапы выполнения этих методов обобщенно можно представить следующим образом. На первом этапе определяются отдельные процессы, составляющие проект, их отношения предшествования (т.е. какой процесс должен предшествовать другому) и их длительность. Далее проект представляется в виде сети, показывающей отношения предшествования среди процессов, составляющих проект. На третьем этапе на основе построенной сети выполняются вычисления, в результате которых составляется временной график реализации проекта.

Методы CPM и PERT, которые разрабатывались независимо друг от друга, отличаются тем, что в методе критического пути длительность каждого этапа проекта является детерминированной, тогда как в системе планирования PERT — стохастической. В настоящее время создано большое число модификаций сетевых методов.

#### *Календарное планирование по методу критического пути*

На сегодняшний день системы управления работами по реализации проектов, в основе которых лежит метод критического пути, признаны во всем мире.

Метод критического пути позволяет рассчитать возможные календарные графики выполнения комплекса работ на основе описанной логической структуры сети и оценок продолжительности выполнения каждой работы, определить критический путь проекта [9; 213, 314].

Пример проекта по строительству гаража послужит иллюстрацией применения метода критического пути для разработки календарного графика работ. В этом случае необходимо выполнить анализ, который проходит четыре этапа.

Этап 1 заключается в определении целей и ограничений проекта. Цели и ограничения проекта обычно связаны с условиями реализации проекта (три стороны реализации — продолжительность, стоимость и качество), наличием производственных ресурсов (таких как рабочая сила и оборудование), а также с другими особыми моментами. Для условий примера о строительстве гаража в качестве цели можно определить скорейшее завершение строительства при следующих ограничивающих условиях:

- стоимость всего проекта не должна превышать 75000 долл.;
- соблюдение технических условий проекта и всех строительных норм является обязательным;

- для возведения гаража имеются лишь двое рабочих;
- некоторые виды работ нельзя выполнять в ненастную погоду.

Этап 2 анализа заключается в определении работ, входящих в проект, и расчете длительности каждой работы или операции. Ожидание того, пока бетонная плита затвердеет, считается операцией, поскольку на это требуется время и начать выполнение других операций до затвердения плиты невозможно.

Чтобы более детально рассмотреть возможности применения метода критического пути для разработки календарного графика работ, проиллюстрируем его, используя пример проекта по строительству гаража (табл. 4).

Т а б л и ц а 4

**Планирование работ по методу критического пути на примере разработки проекта по строительству гаража**

Операции по строительству	Наименование	Расчетная продолжительность, дни
XCV	Выемка грунта под фундамент и плиту пола	1
CNC	Установка опалубки, заливка бетона, затверждение бетона	3
FRM	Возведение каркаса	2
RDK	Укладка фанерной обшивки крыши	1
SNO	Укладка матов и кровли крыши	1
WDW	Установка окон	1
SDO	Наружная обшивка боковых стен	2
EZC	Монтаж электрической проводки и арматуры	?
ADR	Установка автоматических дверей	1
SZF	Подчистка и герметизация бетонного пола	2
PNT	Окраска наружных поверхностей (2 слоя)	2
GTR	Монтаж желобов и водостоков	1
CZN	Окончательная уборка строительной площадки	1

Для правильного составления графика по каждой операции необходимо определить временные параметры наиболее раннего срока:

- начала операции (от начала проекта):
- XCV; CNC; FRM;
- окончания операции (от начала проекта):
- RDK; SNO; WDW; SDO; EZC; ADR; SZF; PNT;

а также:

- поздний срок окончания операции, т.е. крайний срок, когда операцию можно завершить, не задерживая окончания всего проекта, — GTR;
- поздний срок начала операции, т.е. поздний срок окончания минус время, необходимое для выполнения операции, — CZN.

Продолжительность операций может быть указана с использованием следующих оценок:

- a — оптимистическая оценка продолжительности: минимален реальный период времени, в течение которого может быть выполнена операция;
- m — наиболее вероятная оценка продолжительности: наиболее точное предположение периода времени, необходимого для выполнения конкретной операции;
- b — пессимистическая оценка продолжительности: максимально реальный период времени, в течение которого операция должна быть выполнена.

Этап 3 включает анализ отношений очередности операций и составление сетевого графика, отражающего эти отношения. Сетевой график работ по проекту строительства гаража показан на рисунке 4.

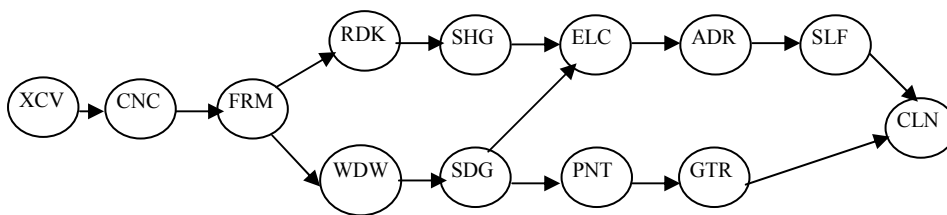


Рис. 4. Сетевой график выполнения проекта по строительству гаража, разработанный по методу критического пути

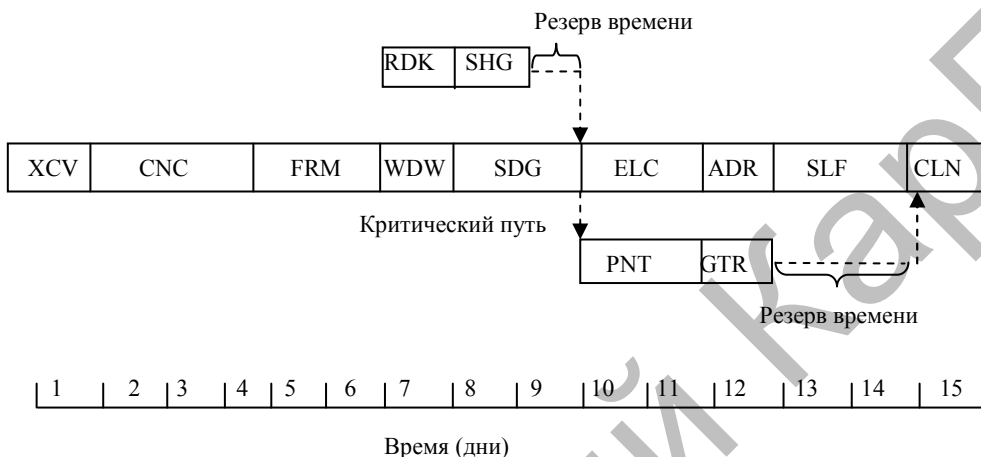


Рис. 5. Сетевой график строительства гаража (фрагмент)

Некоторые операции должны производиться в определенной последовательности, другие можно выполнять параллельно. Отношения очередности в основном определяются техническими причинами. Например, технически невозможно уложить кровлю крыши до тех пор, пока не будет произведена ее обшивка. Вместе с тем в ряде случаев отношения очередности определяются по принципу предпочтительности с учетом качества, эффективности либо требований техники безопасности. Так, электрическую проводку в гараже можно установить сразу после возведения каркаса, но, чтобы избежать попадания дождя на арматуру, лучше подождать с электропроводкой до установки боковых стен и крыши.

Этап 4 предусматривает построение календарного сетевого графика на основе оценок продолжительности операций и полученной сетки. Разбор методики расчетов не входит в наши задачи. Отметим только, что в сетевом графике на рисунке 5, который построен на основе расчетов по проекту строительства гаража, продолжительность работ по проекту составляет 15 дней.

Самая длительная (по срокам) последовательная цепочка операций в проекте — критический путь. Критическим путем на графике, приведенном на рисунке 5, является непрерывная последовательность операций, проходящая через центр графика (XCV и CZN). Длина критического пути определяет продолжительность работ по выполнению проекта. Любые задержки на критическом пути ведут к увеличению сроков работ. Для сокращения продолжительности работ по проекту необходимо сокращать длину критического пути.

Резерв времени имеется только в тех операциях, которые не лежат на критическом пути. Он создает некоторую степень гибкости при календарном планировании таких работ.

*Контроль за выполнением работ*

Для контроля хода работ периодически организуются совещания группы людей, работающих над выполнением проекта. Во время таких совещаний члены группы докладывают о состоянии дел по тем операциям, за выполнение которых они отвечают. Каждый отчет о ходе работ должен содержать информацию о том, сколько времени требуется на завершение той или иной работы. Такое построение докладов нацелено вперед, на перспективу, в отличие от метода, ориентированного в прошлое, когда сообщают данные о проценте выполнения работ.

Информацию о ходе работ сопоставляют с графиком, чтобы определить, нет ли отклонений от календарного плана. В случае запаздывания выполнения каких-либо операций рассматривают различные варианты соблюдения графика, и одно из решений берется за основу для реализации. Аналогичные методы применяются для выявления и корректировки отклонений от сметы или от заданного качества.

Предположим, что совещание проводится в конце пятого дня работы по проекту строительства гаража. Закончены две первые операции (выемка грунта под фундамент и бетонные работы). Начато сооружение каркаса, но для завершения этой операции потребуется еще два дня. Из календарного графика работ по проекту (см. рис. 5) сразу же видно, что к концу пятого дня на выполнение работ по сборке каркаса должен оставаться всего один день. Таким образом, наблюдается запаздывание на один день. Для корректировки возникшего отклонения от графика работ можно прибегнуть к одному из следующих вариантов вхождения в график:

- 1) организовать сверхурочные работы, может быть, даже в выходные дни;
- 2) сократить продолжительность некоторых предстоящих операций (например, монтажа электропроводки или обшивки боковых стен) на один день. Это можно сделать, наняв дополнительных рабочих (если это возможно);
- 3) организовать параллельные работы по операциям, которые первоначально планировалось выполнять последовательно. Например, монтаж электропроводки, может быть, нужно начать до завершения работ по обшивке боковых стен гаража.

Варианты мероприятий по корректировке возникшего отклонения необходимо оценить с точки зрения технической и организационной осуществимости, сметных и прочих возможностей. До окончания совещания необходимо выбрать для реализации один из рассмотренных методов корректировки отклонения.

Достоинства метода критического пути как основы для руководства проектами выходят далеко за рамки предоставляемой им количественной информации. Метод критического пути дает логичную систему координат и точную терминологию для анализа и обсуждения проекта. Использование этого метода ведет к внедрению детального планирования проектов и обеспечивает стандартные форматы для плановой документации. К числу решений, которые принимаются при этом, относятся решения о выборе:

- конкретных операций, которые требуются для выполнения проекта;
- ресурсов, используемых при выполнении каждой операции;
- количества времени, которое должно занимать выполнение каждой операции;
- сроков выполнения каждой из операций.

Соблюдению плана работ по проекту способствует непосредственное участие членов группы, работающей над его выполнением в процессе планирования, их понимание логики и принципов, на основе которых построен данный план. И наконец, надо отметить, что метод критического пути весьма полезен при идентификации возникающих проблем и поиске возможных решений.

## References

1. *Vasilieva L.N., Muravieva E.A.* Methods of innovative activity management: the Manual. — М.: KNORUS, 2005. — 320 p.
2. *Beguli F.* Projects management / Trans. from English. — М.: the FAIR-PRESS, 2004. — 208 p.
3. *Klifford F. Grej, Eric U. Larson.* Projects management: Practical manual / Trans. from English. — М.: Business and Service, 2003. — 528 p.
4. *Païpe S.* Design management: an intensive course / Trans. from German. — М.: Business and Service, 2005. — 192 p.
5. *Bovin A.A., Cherednikova L.E., Iakimovich V.A.* Innovations in the organization management: the Manual. — М.: the Omega-I, 2009. — P. 242.
6. *Akmaeva R.I.* Innovative management: the Manual. — Rostov on Don: the Phoenix, 2009. — P. 174, 175.
7. *Enterprise economy: the Textbook / Under the editorship of O.I.Volkova.* — М.: INFRA TH, 1999. — 416 p.
8. *Mazur I.I., Shapiro V. D., Olderogge N.G.* Projects management: the Manual. — М.: the Omega-I, 2005. — 664 p.
9. *Design management: the Educational-consulting course.* — М.: GU «MIVT-CENTER»; Laboratory of Base Knowledge, 2007. — 287 p.
10. *Ahudja X.* Network management methods in designing and manufacture / Trans. from English. — М.: Mir, 1979. — 639 p.
11. *Razumov I.M., Belova L.D., Ipatov M. I., Proskurjakov A.V.* Network activity in planning: the Manual. — М.: the Higher school, 1981. — 168 p.

12. Prohorkin S.F., Kulibanov V.S. Network activity in building management. — L.: Lenizdat, 1974. — 184 p.
13. Ivashenko A.G., Nikonova J.I., Sizov A.O. Innovative management: the Manual. — M.: KNORUS, 2009. — P. 201.
14. Berezina L.U. Graphs and their application: the Manual for teachers. — M.: Nauka, 1979. — 143 p.
15. Harari F. Graph theory: trans. from English. — M.: World, 1973. — 300 p.
16. Kristofides N. Graph theory. The algorithmic approach / Trans. from English. — M.: the Mir, 1978. — 432 p.

УДК 517.51

## Теорема Боаса для обобщенного пространства Лоренца $\Lambda_p(\omega)$

### Boas theorem for generalized Lorentz spaces $\Lambda_p(\omega)$

Копежанова А.Н., Нурсултанов Е.Д.

Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, Астана (E-mail: Kopezhanova@yandex.ru)

$\lambda_p(\omega)$  дискретті жалпыланған Лоренц кеңістігіндегі Фурье коэффициенттері үшін функциялардың регулярлық жүйесі бойынша ортогоналдық қатарлардың интегралдық қасиеттері зерттеледі.  $\Lambda_p(\omega)$  жалпыланған Лоренц кеңістіктерінде Боас теоремасы,  $\Lambda_p(\omega)$  кеңістігі үшін Харди-Литтлвуд түріндегі жаңа теңсіздіктер алынды.

The integral properties of orthogonal series both for the regular system and for the Fourier coefficients of the discrete generalized Lorentz spaces  $\lambda_p(\omega)$  are studied. Boas theorem for the generalized Lorentz spaces  $\Lambda_p(\omega)$  is obtained. Besides, in given work are received new inequality of the type Hardi-Littlvud for space  $\Lambda_p(\omega)$ .

Хорошо известна теорема Харди-Литтлвуда (см. [1, 2]).

*Теорема А.* Пусть  $1 < p < \infty$ ,  $p' = p / (p - 1)$ . Если  $a = \{a_k\}_{k=1}^{\infty}$  — монотонно невозрастающая, стремящаяся к нулю последовательность,  $f(x) \sim \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos \pi k x$ , то для того, чтобы  $f \in L_p[0, 1]$ , необходимо и достаточно, чтобы

$$\sum_{k=1}^{\infty} k^{p-2} |a_k|^p < \infty. \quad (1)$$

Этот результат обобщен на пространство Лоренца и более общие симметричные пространства в работах [3–7]. А в 1974 году Л.-Е.Перссон, обобщил для более общих пространств Лоренца  $\Lambda_p(\omega)$  когда  $\Phi = \{e^{2\pi i k x}\}_{k=-\infty}^{+\infty}$  — тригонометрическая система (см. [8–11]).

*Теорема В.* Пусть  $p > 0$ ,  $\Phi = \{e^{2\pi i n t}\}_{n=-\infty}^{+\infty}$  — тригонометрическая система и  $\omega$  — неотрицательная функция на  $[0, \infty)$ . Если существует  $\delta > 0$ , удовлетворяющее условиям:  $\omega(t)t^{-\delta}$  — возрастающая функция и  $\omega(t)t^{-1+\delta}$  — убывающая функция, и если  $a_1 \geq a_2 \geq a_3 \geq \dots \rightarrow 0$  и  $f(x) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos 2\pi n x$ , то для

того, чтобы  $\left( \int_0^1 \left( f^*(t) t \omega\left(\frac{1}{t}\right) \right)^p \frac{dt}{t} \right)^{\frac{1}{p}} < \infty$ , необходимо и достаточно, чтобы  $\left( \sum_{n=1}^{\infty} (a_n^* \omega(n))^p \frac{1}{n} \right)^{\frac{1}{p}} < \infty$ , где

$\{a_n^*\}_{n=1}^{\infty}$  — невозрастающая перестановка последовательности  $\{a_n\}_{n=1}^{\infty}$  — коэффициентов Фурье функции  $f$  по системе  $\Phi$ .