

ДЕПАРТАМЕНТ ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО  
АВТОНОМНОГО ОКРУГА - ЮГРЫ

-----  
ГОУ ВПО «СУРГУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА-ЮГРЫ»

---

---

Кафедра экономики и управления

Е.В. Заведеев

**ПРИМЕНЕНИЕ СЕТЕВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И  
УПРАВЛЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ  
НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**Учебно-методическое пособие**

Сургут  
Издательский центр СурГУ  
2009

УДК 658.012.4 : 622.3 (072)

ББК 65.304.13 – 2я73

3 - 136

Заведеев, Е. В. Применение сетевого планирования и управления на предприятиях нефтяной и газовой промышленности : учебно-методическое пособие. / Е. В. Заведеев ; Сургут. гос. ун-т. – Сургут : ИЦ СурГУ, 2009. – 64 с.

Учебно-методическое пособие раскрывает основное содержание сетевого планирования и управления как одного из наиболее эффективных методов в современной инструментарии организации и планирования производства на предприятиях. Изучение теоретических основ и выработка практических навыков использования данных методов, занимает важное место в процессе формирования необходимых для будущей деятельности компетенций и навыков специалиста по направлению 080502.65 «Экономика и управление на предприятии (по отраслям)».

Пособие соответствует требованиям Государственного образовательного стандарта, в нем раскрываются научные основы использования сетевых методов планирования и управления при организации производственных процессов, в том, числе и применительно к деятельности нефтегазодобывающих предприятий. Рассмотрены основные понятия СПУ, правила и методики построения сетевых графиков, методы расчета временных параметров и алгоритмы их оптимизации.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Сургутского государственного университета

**Рецензент** Ю.В. Кузнецов, кандидат экономических наук, профессор, заведующий кафедрой экономики и управления.

© Заведеев Е.В., 2009

© Сургутский государственный университет, 2009

# Оглавление

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>4</b>
<b>1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И СУЩНОСТЬ СЕТЕВЫХ МЕТОДОВ ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ (СПУ) .....</b>	<b>6</b>
1.1. ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ СПУ .....	6
1.2. ПРАВИЛА И МЕТОДИКИ ПОСТРОЕНИЯ СЕТЕВЫХ ГРАФИКОВ .....	9
1.3. МЕТОДЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ СЕТЕВОГО ГРАФИКА .....	29
1.3.1. Аналитический метод .....	30
1.3.2. Графический метод .....	32
1.3.3. Табличный метод .....	34
1.3.4. Расчет временных параметров работ с помощью ЭВМ .....	36
1.4. ОПТИМИЗАЦИЯ СЕТЕВОГО ГРАФИКА .....	40
1.5. СОСТАВЛЕНИЕ КАЛЕНДАРНЫХ И ЛЕНТОЧНЫХ ГРАФИКОВ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ (ОПЕРАТИВНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЗАДАНИЯ) ...	43
1.6. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СЕТЕВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ В НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ .....	47
<b>2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВЫХ/КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ .....</b>	<b>48</b>
2.1. ТЕМАТИКА И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ КУРСОВОЙ/КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ .....	48
2.2. СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ/КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ .....	52
2.3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСОВОЙ/КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ .....	53
2.4. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОЙ/КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ ...	54
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>56</b>
<b>ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К КУРСОВОЙ/КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ .....</b>	<b>57</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Основной задачей процесса организации производства является рациональное сочетание и соединение во времени и в пространстве всех элементов производственной системы для достижения заданных целей с наименьшими материальными, трудовыми и финансовыми затратами.

Данная задача определяет важность изучения сетевого планирования и управления (СПУ) как одного из наиболее эффективных методов организации производства как экономической науки.

Сетевые методы планирования и управления включают в себя сравнительно простые инструменты руководства сложными многоэтапными комплексами работ, позволяющие в любых, даже самых критических ситуациях, принимать наиболее оптимальные решения.

В основе сетевого планирования и управления лежит построение упрощенных графических моделей (сетевых графов), с помощью которых с достаточной степенью адекватности можно четко и наглядно описать любой комплекс взаимосвязанных работ.

При построении таких моделей каждая работа рассматривается как процесс достижения определенного результата, требуемого для выполнения последующих работ, либо являющегося составной частью общего результата всего комплекса. При этом ни одна работа не может быть начата до тех пор, пока не будут получены все необходимые для ее выполнения результаты (т.е. не будут закончены все предшествующие ей работы), а весь комплекс может считаться выполненным только после того как будут завершены все работы, входящие в его состав.

Данный подход позволяет для любого комплекса работ составить такой календарный график выполнения, при котором каждая работа будет начинаться именно тогда, когда будут созданы все необходимые для этого предпосылки, а заканчиваться в тот момент, когда тоже самое произойдет относительно следующих за ней работ. Это дает возможность уменьшения общей продолжительности выполнения комплекса работ, за счет сокращения непроизводительных потерь рабочего времени, а также оптимизации численности персонала и величины задействованных при этом ресурсов.

В текущем управлении использование сетевых моделей дает возможность оперативной корректировки первоначальных планов в

случае возникновения изменений, которые могут негативно повлиять на ход выполнения работ.

Эффект, достигаемый за счет использования систем сетевого планирования и управления, обусловлен в первую очередь внесением строгих логических элементов в процессы разработки планов, что позволяет привлечь для их анализа и синтеза современный математический аппарат и средства вычислительной техники.

В силу своей универсальности сетевые методы планирования и управления нашли широкое применение во всех отраслях промышленности.

Основными задачами данного учебного пособия являются:

1. Помощь студентам в изучении теоретических основ сетевого планирования и управления.
2. Разъяснение на конкретных примерах основных положений методики строительства сетевых графиков, расчета временных параметров сетевых графиков и алгоритмов их оптимизации.
3. Разработка комплексного задания для самостоятельной работы студентов, которое можно использовать как исходные данные для курсовых или контрольных работ по организации производства.

# 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И СУЩНОСТЬ СЕТЕВЫХ МЕТОДОВ ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ (СПУ)

## 1.1. Основные термины СПУ

Системы, основанные на использовании так называемых сетевых графиков или моделей и электронно-вычислительной техники, впервые появились в США в период 1956-1957 гг. Это были система СРМ (Critical Path Method) – метод критического пути и система PERT (Program Evolution and Review Technique) – техника обзора оценки программ. Система СРМ первоначально применялась при организации строительных работ, а система PERT – при создании баллистических ракет «Поларис», предназначенных для оснащения атомных подводных лодок американского военно-морского флота. Некоторое время система PERT держалась в секрете, но впоследствии метод решено было опубликовать. После этого первыми его применили ремонтно-строительные организации при капитальном ремонте крупного завода. В настоящее время эта система применяется в большинстве стран мира. Именно в ней впервые были подробно сформулированы основные понятия сетевого метода планирования и управления, получившие в нашей стране название СПУ. [5]

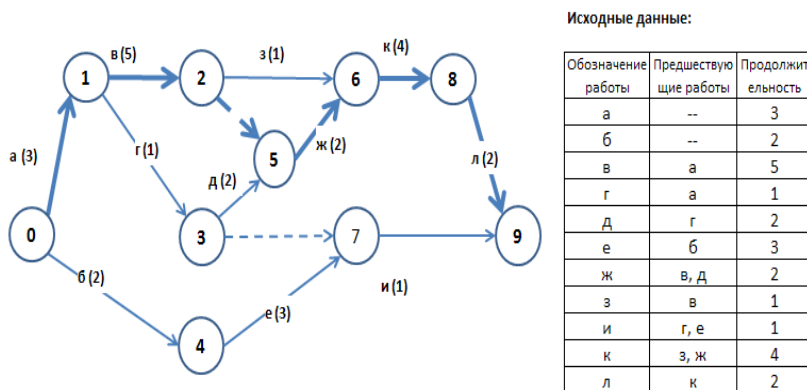
Успешное применение метода PERT и его модификаций в планировании различных разработок способствовало его распространению по многим странам. Этот метод нашел широкое применение в планировании технической подготовки производства, научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, строительстве крупных сооружений, капитальном ремонте зданий, сооружений, оборудования и т.д.

В бывшем Советском Союзе сетевые методы планирования и управления впервые нашли применение в строительстве Бурштынской ГРЭС и Черкасского завода искусственного волокна, сооружении второй очереди блока цехов тяжелой химаппаратуры Уралхиммашзавода, строительстве комплекса Лисичанского химкомбината, монтаже блюминга-автомата на Урале, ремонте двух мартеновских печей на металлургическом заводе им. Ф. Дзержинского в Приднепровье, капитальном ремонте технологического оборудования на Кировградском медеплавильном комбинате и Среднеуральском медеплавильном заводе. [5]

В общем случае под сетевыми методами планирования и управления понимают совокупность расчётных методов, а также организационных и управленческих приёмов, обеспечивающих моделирование, анализ и динамическую перестройку планов выполнения сложных комплексов работ и разработок с помощью сетевого графика (сетевой модели).

При этом под сетевым графиком (СГ) подразумевают графическое изображение определенного комплекса работ, отражающее их логическую последовательность, взаимосвязь и длительность. График – это модель процесса, на которой можно проводить эксперименты и выяснять к каким изменениям результирующего показателя приведет то или иное изменение исходных параметров модели.

Пример сетевого графика изображен на рис. 1.



**Рис. 1. Пример сетевого графика**

Сетевой график состоит из направленных **стрелок** (обозначений работ) и **кружков** (обозначений событий).

Термин «**работа**» в СПУ имеет несколько значений:

1) *действительная работа* – процесс выполнения каких-либо действий, приводящий к достижению определенного результата, протяжённый во времени и требующий затрат трудовых, материальных и финансовых ресурсов. Действительные работы на СГ отображаются сплошными стрелками. На рис. 1 такими работами являются работы, представленные в исходных данных: **а, б, в, ..., л**.

2) *ожидание* – процесс, не требующий затрат труда, но обладающий определенной протяжённостью во времени (например, процесс сушки после покраски, твердения бетона и т.п.). На сетевом графике работы «ожидание» как и действительные работы, обозначаются сплошными стрелками.

3) *зависимость или фиктивная работа* – логическая связь между двумя или несколькими работами, не требующая затрат труда, материальных ресурсов или времени. Она указывает, что начало одной работы требует результатов другой. Продолжительность фиктивной работы принимается равной нулю. Обозначается такая работа пунктирной линией. На рис. 1 к таким работам относятся: работа, соединяющая кружки 2 и 5, и работа, соединяющая кружки 3 и 7.

**Событие** – это факт или момент завершения какого-либо процесса, отражающий отдельный этап выполнения комплекса. При этом оно может являться либо частным результатом отдельной работы, либо совокупным результатом нескольких работ.

На сетевом графике можно выделить три вида событий:

- *исходное событие* – это событие означающее начало выполнения комплекса и не имеющее предшествующих работ (чаще всего нумеруется цифрой 0 – см. рис. 1);

- *завершающее событие* – событие, означающее завершение комплекса работ и достижение его конечной цели. Такое событие не имеет следующих за ним работ (на рис.1 это событие №9);

- *промежуточное событие*, или просто событие – результат одной или нескольких работ, предоставляющий возможность начать работы, которые для своего начала требуют этого результата. Любое промежуточное событие имеет двойственный характер: для всех непосредственно предшествующих ему работ оно является конечным, а для всех непосредственно следующих за ним – начальным.

Событие не имеет продолжительности и свершается как бы мгновенно.

Каждое событие, включаемое в сетевую модель, должно быть полно, точно и всесторонне определено. Его формулировка должна включать в себя результаты выполнения всех непосредственно предшествующих ему работ.

Любая работа сетевого графика соединяет между собой два события (кружка): непосредственно предшествующее данной работе (являющееся для нее начальным событием) и непосредственно следующее за ней (являющееся для нее конечным событием).

Код работы состоит из кодов ее начального и конечного событий, например, работа «ж» на графике, изображенном на рис. 1 кодируется цифрами (5, 6). Наименование работы, ее номер, продолжительность и другие параметры, на графике располагаются рядом или над стрелкой, обозначающей данную работу. На графике на



рис.1 возле каждой стрелки, приведено ее обозначение (определенная буква) и продолжительность (число, представленное в скобках).

**Продолжительность работы** – это время, необходимое для ее выполнения. Чаще всего продолжительность определяется делением трудоемкости работы (объем работы в человеко-часах, человеко-днях или пр.) на численность, задействованного на ней персонала. Трудоемкость работ устанавливается на основании действующих нормативов или по экспертным оценкам специалистов.

**Путь** – это непрерывная последовательность работ и событий на сетевом графике. Длина пути определяется суммой продолжительности составляющих его работ.

Можно выделить несколько видов путей:

- *полные пути* – это пути, ведущие от исходного события к завершающему. Таких путей может быть несколько (обозначаются буквой **L**). Продолжительность полного пути (**t L**) определяется как сумма продолжительностей работ, лежащих на этом пути;

- *предшествующие пути* – ведут от исходного события к рассматриваемому событию, их обозначают **L<sub>1,j</sub>**;

- *последующие пути* – ведут от конечного события данной работы к завершающему событию. Такие пути обозначаются **L<sub>j,k</sub>**;

**Критический путь (L<sub>кр</sub>)** – это полный путь, имеющий наибольшую продолжительность (**t L<sub>кр</sub>**) из всех полных путей. *Продолжительность такого пути определяет продолжительность всего комплекса работ.* Для сетевого графика на рис.1 критический путь проходит через работы **а, в, ж, к, л** и составляет 16 ед. (3+5+2+4+2).

На сетевом графике может быть несколько критических путей. Работы, составляющие критический путь, называются критическими. На графике их обычно выделяют жирной линией.

## 1.2. Правила и методики построения сетевых графиков

Построение сетевого графика заключается в правильном соединении между собой работ-стрелок с помощью событий-кружков. При этом правильность соединения стрелок заключается в следующем.

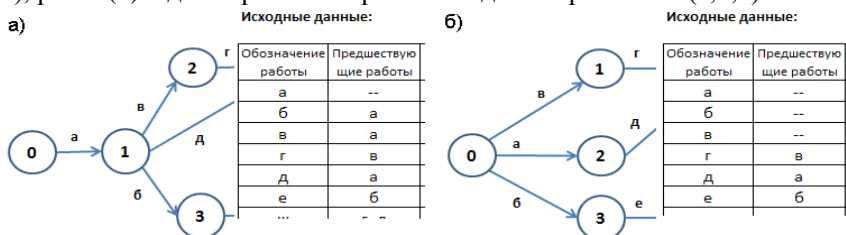
- каждая работа в сетевом графике должна выходить из события, которое означает окончание всех работ, результат которых необходим для ее начала.

- событие, означающее начало определенной работы не должно включать в себя результаты работ, завершение которых не требуется для начала этой работы.

График строится слева направо, и каждое событие с большим порядковым номером должно быть расположено правее предыдущего. Стрелки, изображающие работы, должны располагаться слева направо.

Построение графика начинается с изображения работ, не требующих для своего начала результатов выполнения других работ. Такие работы можно назвать *исходными*, так как все остальные работы комплекса будут выполняться только после их полного выполнения. В зависимости от специфики планируемого комплекса, исходных работ может быть несколько, а может быть только одна. При размещении исходных работ необходимо учитывать, что на сетевом графике, должно быть только одно исходное событие.

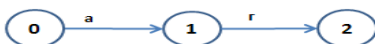
На рис.2 представлены примеры построения начала сетевого графика: рис.2 (а) – для варианта с одной исходной работой (работа а), рис.2 (б) – для варианта с тремя исходными работами (а,б,в).



**Рис. 2. Пример построения начала сетевого графика**

В процессе дальнейшего построения сетевого графика необходимо придерживаться следующих правил.

1. Если работа «г» должна выполняться только после выполнения работы «а», то на графике это изображается в виде последовательной цепочки работ и событий (рис. 3).



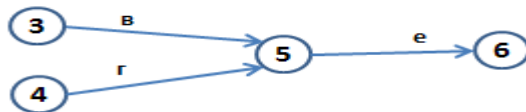
**Рис. 3. Изображение последовательно выполняемых работ**

2. Если для выполнения работ «г» и «е» необходим результат одной и той же работы, например «в», то график должен иметь следующий вид (рис. 4).



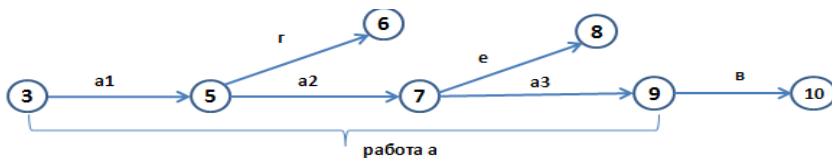
**Рис. 4. Изображение работ выполняемых после одной и той же работы**

3. Если для выполнения одной или нескольких работ (например – «е») необходим результат двух или нескольких работ (например «в» и «г»), то график будет иметь следующий вид (рис. 5).



**Рис. 5. Изображение работы выполняемой после нескольких работ**

4. Если для выполнения одной или нескольких работ (например «г» и «е») необходим результат лишь некоторой части другой работы (например «а»), то эта работа разбивается на части таким образом чтобы первая ее часть (например, «а<sub>1</sub>») выполнялась до получения результата, необходимого для начала первой работы («г»), а вторая и последующие части («а<sub>2</sub>», «а<sub>3</sub>» и т.д. – оставшаяся часть работы «а»), выполнялись параллельно со второй работой («е») и последующими (рис. 6).



**Рис. 6. Изображение работ выполняемых после частичного выполнения работы**

5. Два соседних события могут объединяться лишь одной работой. Для изображения параллельных работ вводятся промежуточное событие и фиктивная работа (рис. 7).

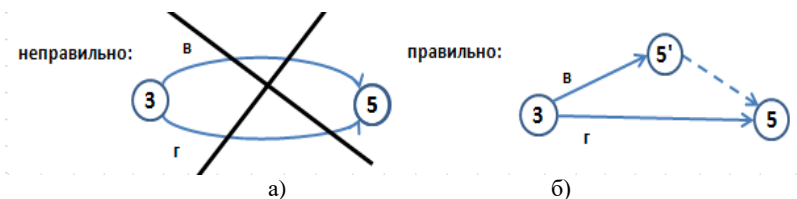


Рис. 7. Изображение работ, имеющих одно начальное и конечное событие

6. Если выполнение какой-либо работы (например, «е») возможно только после получения совокупного результата двух или более параллельно выполняемых работ (например, «в» и «г»), а выполнение другой работы (например, «д») – после получения результата только одной из них (например, «в»), то в сетевом графике необходимо ввести дополнительное событие и фиктивную работу (рис. 8).

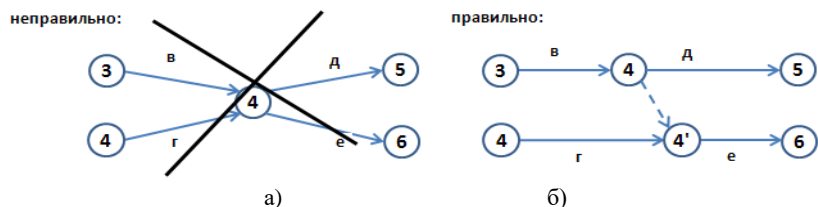


Рис. 8. Использование фиктивной работы

7. В сети не должно быть «*тупиков*», т.е. промежуточных событий, из которых не выходит ни одна работа (например, событие №7 на рис. 9). Также не должно быть «*хвостов*», т.е. промежуточных событий, которым не предшествует хотя бы одна работа (например, событие №2 рис. 9).

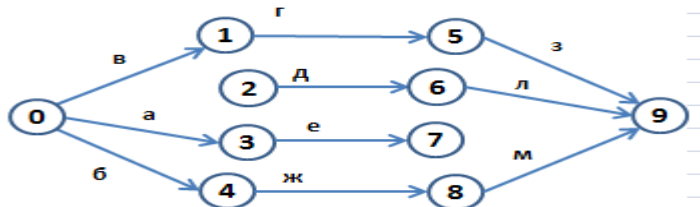
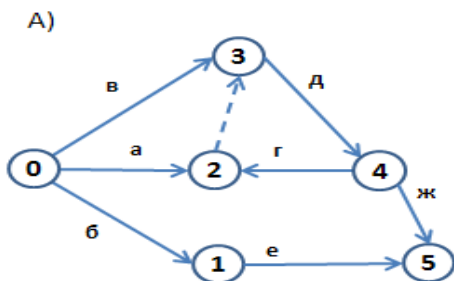


Рис. 9. «Хвосты» и «тупики» на сетевом графике

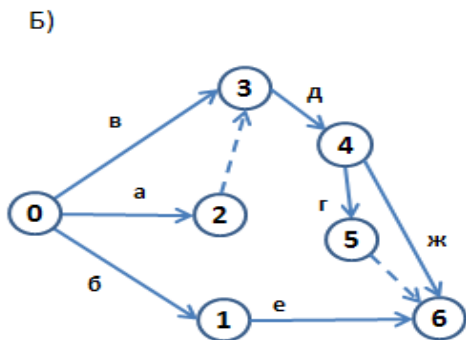
8. В сети не должно быть замкнутых контуров, состоящих из взаимосвязанных работ, создающих замкнутую цепь (например, цепочка работ «д», «г» на рис. 10). Данная ситуация скорее всего свидетельствует об ошибке при составлении перечня работ и определении их взаимосвязей. В таком случае необходимо проанализировать исходные данные и в зависимости от сделанных по итогам анализа выводов, либо перенаправить работу создающую цикл в другое событие (если работам, начинающимся в этом событии, требуется ее результат, или если она является частью общего результата), либо совсем исключить ее из комплекса (если выявлено, что ее результат не требуется). На рис. 11 представлена ситуация, когда работа «г» является частью общего результата.



**Исходные данные:**

Обозначение работы	Предшествующие работы
а	--
б	--
в	--
г	д
д	а, в, г
е	б
ж	д
и	е

**Рис. 10. Пример цикла на сетевом графике**



**Исходные данные:**

Обозначение работы	Предшествующие работы
а	--
б	--
в	--
г	д
д	а, в
е	б
ж	д
и	е

**Рис. 11. Устранение цикла на сетевом графике**

9. Каждая работа в сетевом графике должна определяться однозначно, только ей присущей парой событий – не должно быть событий с одинаковыми номерами. Для правильной нумерации событий поступают следующим образом: нумерация событий начинается с исходного события, которому дается номер 0. Из исходного события (0) вычеркивают все исходящие из него работы, на оставшейся сети вновь находят событие, в которое не входит ни одна работа. Этому событию дается номер 1. Затем вычеркивают работы, выходящие из события 1, и вновь находят на оставшейся части сети событие, в которое не входит ни одна работа, ему присваивается номер 2, и так продолжается до завершающего события. Пример нумерации сетевого графика показан на рис. 12.

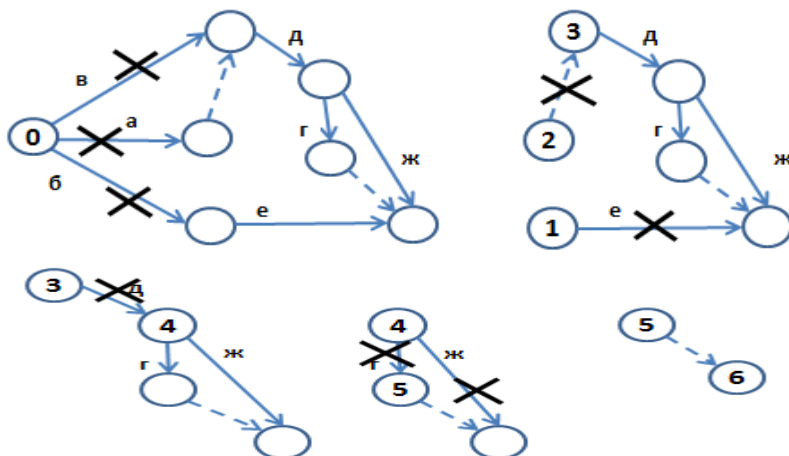
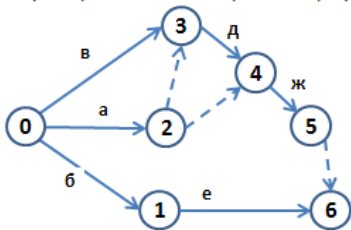


Рис. 12. Порядок нумерации сетевого графика

10. На графике не должно быть фиктивных работ, которые дублируют информацию других работ. Например, работа, соединяющая события №5 и 6 на рис. 13 (а) дублирует работу «ж», работа, соединяющая события №2 и 4 дублирует работу, соединяющую события №2 и 3.

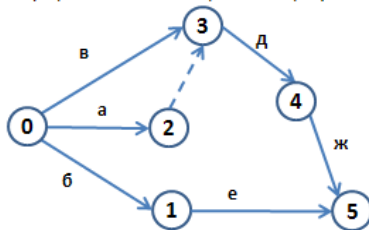
11. Форма графика должна быть простой, без лишних пересечений. Большинство работ следует изображать горизонтальными линиями. Чаще всего графики строят от исходного события к завершающему.

А) неправильное построение графика:



а)

Б) правильное построение графика:



б)

**Рис. 13. Неправильное использование фиктивных работ**

Сначала сетевой график строят в черновом варианте, при этом главное – не внешний вид сети, а логическая последовательность выполнения работ. Затем проводится графическое упорядочение сети для уменьшения числа взаимно пересекающихся работ.

Описанная выше методика построения сетевых графиков обладает рядом недостатков:

- До построения графика достаточно сложно выявить ошибки в исходных данных.
- Отсутствуют четкие критерии формулировки событий, и не всегда явной является необходимость введения фиктивных работ.
- До построения сетевого графика невозможно определить, сколько в нем будет событий и фиктивных работ. Это делает невозможным на начальных этапах определить размеры графика.
- При первоначальной прорисовке стрелок сложно определить, куда их лучше направить и какую длину они должны иметь.
- Процессы формулировки и нумерации событий в значительной степени носят субъективный характер.
- Формализация описанных выше процедур представляет определенные трудности, что значительно усложняет разработку адекватных алгоритмов построения графиков с помощью ЭВМ.
- При планировании комплексов с большим количеством работ строительство сетевых графиков в ручном режиме практически невозможно.

Нами предлагается более системный подход к построению сетевых графиков, в значительной степени устраняющий указанные недостатки. Предлагаемая методика состоит из 4-х этапов.

## Этап 1. Проверка исходных данных

Исходные данные необходимо проверить на наличие замкнутых циклов и дублирующих фиктивных работ (см. правила 8 и 10).

Для осуществления такой проверки по каждой работе комплекса необходимо составить перечень всех предшествующих работ от исходных до непосредственно предшествующих. Данный перечень необходимо проверить на соблюдение следующих условий.

1. В нем не должно быть самой проверяемой работы. Несоблюдение этого условия свидетельствует о наличии в исходных данных замкнутого цикла.

2. Работы, которые непосредственно предшествуют проверяемой работе, не должны встречаться в списке предшествующих работ у других непосредственно предшествующих этой работе работ. Несоблюдение данного условия свидетельствует о дублировании зависимостей (см. правило №10).

Проверку исходных данных удобнее всего осуществлять путем последовательного заполнения специальной таблицы (табл. 1).

Рассмотрим данный этап на конкретном примере (исходные данные приведены в столбцах 1 и 2 табл. 1)

Заполнение данной таблицы начинается с одновременного заполнения столбцов №1 и 2. Сначала в первую свободную ячейку первого столбца записывается номер работы, затем в соответствующую ячейку второго столбца записывается номер предшествующей ей работы. Если у работы несколько предшествующих работ, то каждая следующая работа записывается в строке ниже.

После заполнения первых двух столбцов производится одновременное заполнение столбцов 3 и 4. При этом сначала для рассматриваемой работы полностью заполняются ячейки непосредственно предшествующих работ столбца 3 путем переписывания содержания ячеек из столбца 4, соответствующих данным работам. Далее в ячейку столбца 4, соответствующую рассматриваемой работе переписываются все работы, встречающиеся в ячейках столбца 3 данной работы, и дописывается ее обозначение.

Если в ходе заполнения таблицы обнаруживается, что работа ссылается сама на себя, т.е. обозначение работы из столбца 1, повторяется в одной из соответствующих ей ячеек столбца 3, то требуется осуществить действия по устранению циклов (см. правило 8). В рассматриваемом примере (табл. 1) такая ситуация наблюдается для работы «е» – участок сети соответствующий предшествующей этой работе «з» со-



держит работу «е» (в таблице выделены жирным курсивом). В данном случае, можно предположить, что данная зависимость является ошибочной и просто исключить работу «з» из списка работ, непосредственно предшествующих работе «е».

Если при заполнении таблицы обнаруживается, что участок сети одной из непосредственно предшествующих какой-либо работе работ (соответствующие ячейки столбца 3) содержит ссылку на одну из других непосредственно предшествующих ей работ (соответствующие ячейки столбца 2), то это означает наличие дублирующей связи и требует исключения повторяющейся работы из списка непосредственно предшествующих работ. В табл. 1 дублирующая зависимость обнаруживается у работы «к». Предшествующая ей работа «в» (выделена жирным курсивом в столбце 2) встречается среди предшествующих работ работы «з» (столбец 3). Такая же ситуация наблюдается также и у работ «л», «м» и «н». Обнаруженные дублирующие зависимости подлежат исключению.

Очищенные от ошибок исходные данные представлены в табл. 2. (1-й и 2-й столбцы)

Таблица 1

### Проверка исходных данных комплекса работ

Обозначение работ	Непосредственно предшествующие работы	Все работы, предшествующие работам из столбца №2	Все работы, предшествующие работам из столбца №1
1	2	3	4
а	--	--	а.
б	--	--	б.
в	а.	а.	а.в.
г	а.	а.	а.г.
д	б.	б.	а.б.г.д.
	г.	а.г.	
е	в.	а.в.	а.в.г.е.
	г.	а.г.	
	<b>з</b>	а.в.г. <b>з.</b>	
ж	в.	а.в.	а.б.в.г.д.ж.
	д.	а.б.г.д.	
з	е.	а.в.г.е.	а.в.г.е.з.

Обозначение работ	Непосредственно предшествующие работы	Все работы, предшествующие работам из столбца №2	Все работы, предшествующие работам из столбца №1
1	2	3	4
<b>и</b>	е.	а.в.г.е.	а.в.г.е.и.
<b>к</b>	з.	а.в.г.е.з.	а.в.г.е.з.к.
	<b>в.</b>	а.в.	
<b>л</b>	и.	а.в.г.е.и.	а.в.г.е.з.и.к.л.
	к.	а.в.г.е.з.к.	
	<b>в.</b>	а.в.	
<b>м</b>	и.	а.в.г.е.и.	а.в.г.е.з.и.к.м.
	к.	а.в.г.е.з.к.	
	<b>в.</b>	а.в.	
<b>н</b>	з.	а.в.г.е.з.	а.в.г.е.з.н.
	<b>в.</b>	а.в.	
<b>о</b>	ж.	а.б.в.г.д.ж.	а.б.в.г.д.ж.о.
<b>п</b>	м.	а.в.г.е.з.и.к.м.	а.в.г.е.з.и.к.м.н.п.
	н.	а.в.г.е.з.н.	
<b>р</b>	л.	а.в.г.е.з.и.к.л.	а.в.г.е.з.и.к.л.м.н.р.
	м.	а.в.г.е.з.и.к.м.	
	н.	а.в.г.е.з.н.	

## Этап 2. Выявление необходимости введения фиктивных работ

Фиктивные работы вводятся в том случае, когда невозможно правильно отобразить взаимосвязи между действительными работами с использованием только сплошных стрелок (см. правило № 6).

При выполнении этого этапа, прежде всего, составляется матрица взаимосвязей между работами, которая имеет вид табл. 2. В этой матрице на пересечении строки, соответствующей определенной работе комплекса и столбцов, соответствующих работам, предшествующим этой работе, проставляется единица, или «+», или любой другой знак.

Далее составленную матрицу необходимо упорядочить таким образом, чтобы все единицы были максимально сконцентрированы возле центральной диагональной линии.

Таблица 2

## Матрица взаимосвязей между работами

№ ра- бот	Номера предше- ствующих работ	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к	л	м	н	о	п	р
<b>а</b>																	
<b>б</b>																	
<b>в</b>	а.	1															
<b>г</b>	а.	1															
<b>д</b>	б.г.		1		1												
<b>е</b>	в.г.			1	1												
<b>ж</b>	в.д.			1		1											
<b>з</b>	е.						1										
<b>и</b>	е.						1										
<b>к</b>	з								1								
<b>л</b>	и.к.									1	1						
<b>м</b>	и.к.									1	1						
<b>н</b>	з.								1								
<b>о</b>	ж.							1									
<b>п</b>	м.н.												1	1			
<b>р</b>	л.м.н.											1	1	1			

Сначала следует упорядочить строки матрицы. Для этого в первую очередь переписывают строки, не содержащие «1» (в примере – это строки, соответствующие работам «а» и «б»), затем строки, содержащие «1» в крайнем левом столбце (в примере – это строки, соответствующие работам «в» и «г»), затем строки, содержащие «1» в следующем крайнем левом столбце (строки работы «д») и т.д. Если строка, содержащих «1» в следующем крайнем левом столбце несколько, то в первую очередь переписывают ту строку, в которой следующие единицы расположены ближе к первой «1». В рассматриваемом примере потребовалось переместить строку, соответствующую работе «о» между строк «и» и «к», строку работы «н» к строке «к» и строку «р» выше строки «п». Результат представлен в табл. 3.

Далее упорядочиваются столбцы матрицы. Упорядочивание столбцов производится аналогично упорядочиванию строк – сначала переписываются столбцы, содержащие «1» в самой верхней строке, затем столбцы, содержащие «1» в следующей верхней строке, затем в

следующей и т.д. до конца. В рассматриваемом примере потребовалось переместить только столбец «г» на два столбца влево (табл. 4).

Таблица 3

Матрица взаимосвязей между работами

№ работ	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к	л	м	н	о	п	р
а																
б																
в	1															
г	1															
д		1		1												
е			1	1												
ж			1		1											
з							1									
и							1									
о								1								
к									1							
н									1							
л										1	1					
м										1	1					
р												1	1	1		
п													1	1		

Для того, чтобы правильно сформулировать события сетевого графика необходимо преобразовать матрицу таким образом, чтобы все связи работ (по срокам и столбцам) были «независимыми».

«Независимыми» будем называть обособленные связки работ, расположенных в одной или нескольких строках, которые не пересекаются со связками работ из других строк. В табл. 4, к обособленным «независимым» связкам работ относятся следующие: «в.г.» (строки) - «а» (столбец), «з.и.»-«е», «о»-«ж», «к.н.»-«з», «л.м.»-«и.к.».

К пересекающимся «зависимым» связкам работ относятся: «д»-«б.г.», (пересекается со связкой работ «е»-«г.в.» по столбцу «г»), «ж»-«в.д.» (пересекается со связкой работ «е»-«г.в.» по столбцу «в»), «р»-«л.м.н.» (пересекается со связкой работ «п»-«м.н.» по столбцам «м.н.»)

Устранение пересечений между связками работ осуществляется путем перенесения «1», расположенных непосредственно на пересечении связей, в столбцы дополнительно добавленных фиктивных работ. Добавляемым фиктивным работам присваивается обозначение, соответствующее обозначениям работ из столбцов, которых переносятся «1», с добавлением определенного индекса (1, 2, 3 ...). Каждый добавленный столбец должен быть продублирован добавлением соответствующей строки. В добавленных строках «1» проставляются в столбцах предшествующих действительных работ.

В рассматриваемом примере в столбцы фиктивных работ необходимо перенести «1» из ячеек, соответствующих следующим связкам работ: «д»-«г», «е»-«г», «е»-«в», «ж»-«в» и «р»-«м.н.». В табл. 4 эти ячейки выделены фоном и жирными границами.

Таблица 4

### Матрица взаимосвязей между работами

№ работ	а	б	г	в	д	е	ж	з	и	к	л	м	н	о	п	р
а																
б																
в	1															
г	1															
д		1	<b>1</b>													
е			<b>1</b>	<b>1</b>												
ж				<b>1</b>	1											
з						1										
и						1										
о							1									
к								1								
н								1								
л									1	1						
м									1	1						
р											1	<b>1</b>	<b>1</b>			
п												1	1			

Таким образом для рассматриваемого примера, на данном этапе выявлена необходимость введения пяти фиктивных работ: «г1», «г2», «в1», «в2» и «м.н.1». Упорядоченная матрица с введенными фиктивными работами представлена в табл. 5.

В некоторых случаях введение фиктивных работ может вызвать появление новых пересекающихся связей. Поэтому после добавления в матрицу взаимосвязей фиктивных работ ее обязательно нужно проверить на наличие пересекающихся связей работ. Если такие пересечения обнаружены, все описанные выше действия необходимо повторить уже для новой матрицы.

Таблица 5

Матрица взаимосвязей между работами

№ работ	а	б	в1	г	в	в2	г1	д	г2	е	ж	з	и	к	мн1	л	м	н	о	п	р
а																					
б																					
в	1																				
г	1																				
д		1	1																		
г1				1																	
г2				1																	
в1					1																
в2					1																
е						1	1														
ж								1	1												
з										1											
и										1											
о											1										
к												1									
н												1									
л													1	1							
м													1	1							
р															1	1					
п																	1	1			
мн1																	1	1			

Как видно из табл. 5, в рассматриваемом примере, после добавления фиктивных работ и проведения необходимых преобразований, все пересекающиеся связи работ стали «независимыми», а новых пересечений не появилось.

### Этап 3. Формулировка событий сетевого графика

Формулировка событий заключается в том, что для каждого события определяются все входящие в него работы и все исходящие. Кроме того, каждому событию должен быть присвоен определенный порядковый номер.

Формулировку событий можно осуществить на основе упорядоченной матрицы взаимосвязей, в которой все связки работ являются «независимыми», как в табл. 5. Такие связки (выделены жирными границами) однозначно определяют все события сетевого графика.

Сначала формулируется исходное событие сетевого графика. Так как у начального события сетевого графика предшествующие работы отсутствуют то в первую ячейку первого столбца табл. 6 записывается «-». Далее в матрице взаимосвязей работ выбираются такие строки, у которых ни в одном столбце нет «1». Например, для табл. 5 к таким строкам относятся строки работ «а» и «б». Указанные обозначения переписываются в первую ячейку второго столбца табл. 6.

Далее в матрице взаимосвязей работ выбирают первую связку работ. Например, для табл. 5 – это связка «в.г.»-«а» – означающая, что работы «в» и «г» начинаются после работы «а». Следовательно, у второго события входящей работой, является работа «а», а выходящими работы «в» и «г». Работа «а» записывается во вторую ячейку первого столбца **таблицы 6**, а «в» и «г» во вторую ячейку второго столбца.

Далее выбирается следующая связка работ – «д»-«б.в1» – означающая, что работа «д» начинается после окончания работ «б» и «в1». Соответственно в третью ячейку первого столбца **таблицы 6** записываются работы «б» и «в1», а в третью ячейку второго столбца «д».

Аналогично формулируются все события, соответствующие связкам работ в матрице взаимосвязей, и заполняются все строки.

Входящими работами завершающего события являются работы в столбцах у которых ни по одной строке нет знака «1». Для табл. 5 – это работы: «о», «п», «р».

Формулировка всех событий для рассматриваемого примера представлена в табл. 6.

Для того чтобы правильно пронумеровать события их необходимо отсортировать таким образом, чтобы все работы комплекса (первый столбец табл. 5) сначала появлялись в столбце исходящих из события работ, а затем в столбце входящих в событие работ. Например в табл. 6 данное правило нарушается для работ «в1» и «мн1».

Для того, чтобы график получился более упорядоченным такую сортировку лучше начинать с последнего события.

Для этого в первую строку таблицы аналогичной табл. 6 переписывается формулировка последнего события. В следующую строку переписывается формулировка события, являющегося исходящим для первой работы входящей в последнее событие, ниже переписывается формулировка события, являющегося исходящим для второй работы входящей в последнее событие и т.д.

Таблица 6

### Формулировка событий

Номера входящих в событие работ	Номера исходящих из события работ
--	а.б.
а	в.г.
б.в1.	д.
г	г1.г2.
в	в1.в2.
в2.г1.	е
д.г2.	ж
е	з.и.
ж	о
з	к.н.
и.к.	л.м.
мн1.л.	р
м.н.	п.мн1.
о.п.р.	--

Для рассматриваемого примера первой работой входящей в последнее событие является работа «о», второй работа «п», третьей работа «р». Соответственно во вторую строку таблицы необходимо переписать формулировку события – «ж»-«о», в третью – «м.н.»-«п.мн1», в четвертую – «мн1.л.»-«р» (табл. 7)



## Начало сортировки событий

Номера входящих в событие работ	Номера исходящих из события работ
о.п.р.	--
ж	о
м.н.	п.мн1.
мн1.л.	р

После того как записаны формулировки событий означающих начало работ, входящих в последнее событие, необходимо проверить правильность последовательности их появления. Например, в табл. 7 порядок появления работ нарушен – работа «**мн1**» сначала появляется в столбце исходящих работ, а затем в столбце входящих. Для исправления данной ошибки строка с событием «**м.н.**»-«**п.мн1**» зачеркивается и переписывается ниже строки с событием «**мн1.л.**»-«**р**» (табл. 8).

Далее в нижнюю строку таблицы переписывается формулировка события означающего начало первой работы, входящей в событие сформулированное во второй строке таблицы («**ж**»-«**о**»), затем тоже самое делается для всех работ по порядку входящих в событие, записанное в третьей строке таблицы («**мн1.л.**»-«**р**»), затем четвертой, пятой и т.д. до тех пор пока, либо не будут переписаны все работы комплекса, либо не возникнет ошибка в порядке появления работ. Например, для рассматриваемого примера, ошибка в порядке появления работ, возникла после записи события означающего начало работы «**г**» (в данном случае работа «**а**» появляется сначала в столбце исходящих работ, а затем в столбце входящих – см. табл. 8). Для исправления ошибки событие «**-**»-«**а.б.**» было вычеркнуто и переписано в нижней строке.

Аналогичным образом сортируются все события. Для рассматриваемого примера итоговая сортировка представлена в табл. 9.

Так как сортировка осуществлялась в обратном порядке, так, что самое первое событие оказалось в конце, нумерация событий осуществляется от последней строки к первой (см. табл.9).

Таблица 8

## Начало сортировки событий

Номера входящих в событие работ	Номера исходящих из события работ
о.п.р.	--
ж	о
<del>м.н.</del>	<del>п.мн1.</del>
мн1.л.	р
м.н.	п.мн1.
д.г2.	ж
и.к.	л.м.
з	к.н.
б.в1.	д.
г	г1.г2.
е	з.и.
—	<del>а.б.</del>
в	в1.в2.
а	в.г.
--	а.б.

Таблица 9

## Нумерация событий

Номера событий	Номера входящих в событие работ	Номера исходящих из события работ
13	о.п.р.	--
12	ж	о
11	мн1.л.	р
10	м.н.	п.мн1.
9	д.г2.	ж
8	и.к.	л.м.
7	з	к.н.
6	б.в1.	д.
5	е	з.и.
4	в2.г1.	е
3	в	в1.в2.
2	г	г1.г2.
1	а	в.г.
0	--	а.б.

## Этап 4. Построение сетевого графика

Для того чтобы еще до построения графика знать на каком примерно расстоянии от начального события, должно располагаться каждое событие комплекса, необходимо распределить все события по уровням отдаления от начала графика.

Такое распределение осуществляется в последнем столбце таблицы, имеющей форму табл. 10.

В ячейке 4-го столбца таблицы, соответствующей событию №0 проставляется цифра 1 (1-й уровень). В ячейке соответствующей событию №1 проставляется цифра 2 (2-й уровень).

Далее возможны два варианта:

**1.** Если среди входящих работ рассматриваемого события присутствуют исходящие работы какого-либо события, относящегося к уровню, к которому относится предыдущее событие, то рассматриваемое событие необходимо отнести к следующему уровню. Например, для события № 2 (см. табл. 10) входящей работой является работа «г». Эта же работа присутствует в списке исходящих работ 2-го уровня, к которому относится событие №1. Следовательно, событие №2 необходимо отнести к следующему уровню (3-му).

**2.** Если среди входящих работ рассматриваемого события нет таких, которые являются исходящими для событий предыдущего уровня, то рассматриваемое событие необходимо отнести к этому же уровню. Например, для события № 3 (см. табл. 10) входящей работой является работа «в». В списке исходящих работ 3-го уровня, к которому относится событие №2, этой работы нет, следовательно, событие №3 необходимо также отнести к 3-му уровню.

Аналогичным образом производится распределение всех событий комплекса по уровням отдаленности от начала графика. Для рассматриваемого примера такое распределение представлено в табл. 10.

Для строительства графика лист бумаги делится на количество частей, равное полученному количеству уровней. Уровни отделяются светлыми пунктирными линиями и подписываются сверху графика.

Сначала строится черновой вариант графика. Для этого все события размещаются на соответствующих каждому из них уровнях. Размещение на уровне, на данном этапе, производится произвольно, так чтобы примерно соблюдался шахматный порядок.

Работы строятся путем соединения событий с помощью сплошных или пунктирных стрелок в соответствии с той формулировкой, которая определена для каждого события в табл. 10.

Таблица 10

**Распределение событий по уровням отдаления от начала графика**

<b>Номера событий</b>	<b>Номера входящих в событие работ</b>	<b>Номера исходящих из события работ</b>	<b>Номер уровня</b>
0	--	а.б.	1
1	а	в.г.	2
2	г	г1.г2.	3
3	в	в1.в2.	3
4	в2.г1.	е	4
5	е	з.и.	5
6	б.в1.	д.	5
7	з	к.н.	6
8	и.к.	л.м.	7
9	д.г2.	ж	7
10	м.н.	п.мн1.	8
11	мн1.л.	р	9
12	ж	о	9
13	о.п.р.	--	10

После того как в соответствии с исходными данными соединены все события и построен черновой график производится его упорядочивание для минимизации количества пересечений между работами. Упорядочивание осуществляется путем перемещения отдельных событий вверх или вниз по линии, означающей границу соответствующего уровня.

Чистовой вариант сетевого графика для рассматриваемого примера представлен на рис. 14.

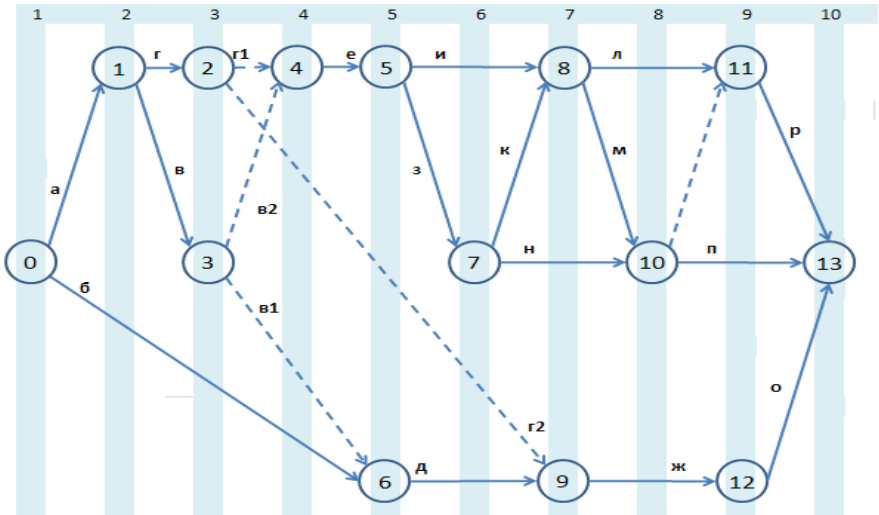
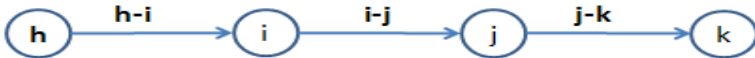


Рис. 14. Окончательный вариант сетевого графика

### 1.3. Методы расчета параметров сетевого графика

При расчете параметров сетевого графика используется следующее кодирование элементов



$i$  – код начального события данной работы;  $j$  – код конечного события данной работы;  $i-j$  – код данной работы;  $h-i$  – код работы, предшествующей работе  $i-j$ ;  $h$  – код события, предшествующего работе  $i-j$ ;  $k$  – код события, последующего данной работе;  $j-k$  – код работы, последующей работе  $i-j$ .  $Y, C$  – коды соответственно начального и конечного событий.

На сетевом графике рассчитывают следующие параметры:

- $t_{pi}$  – ранний срок свершения события  $i$ ;
- $t_{ni}$  – поздний срок свершения события  $i$ ;
- $P_i$  – резерв времени события  $i$ ;
- $t_{pi\ ij}$  – раннее начало работы  $i,j$ ;
- $t_{po\ ij}$  – раннее окончание работы  $i,j$ ;
- $t_{ni\ ij}$  – позднее начало работы  $i,j$ ;
- $t_{no\ ij}$  – позднее окончание работы  $i,j$ ;
- $P_{ij}$  – полный резерв времени работы  $i,j$ ;

$P_{c\ ij}$  – свободный резерв времени работы  $i, j$ ;

$t\ L$  – продолжительность пути.

Указанные параметры могут быть рассчитаны тремя методами: аналитическим, графическим или табличным. Более подробно рассмотрим аналитический и графический методы.

### 1.3.1. Аналитический метод

Расчет параметров осуществляется по следующим формулам:

1) **Ранний срок свершения события  $t_{pj}$**  – время, необходимое для выполнения всех предшествующих этому событию работ. Так как предшествующие работы лежат на предшествующих путях, то  $t_{pj}$  – это длительность максимального предшествующего пути.

$$t_{pj} = t\ L(Y \div j)_{\max}, \text{ или по другому: } t_{pj} = (t_{pi} + t_{ij})_{\max} \quad (1)$$

Наиболее ранний срок свершения исходного события принимается равным нулю.

2) **Поздний срок свершения события  $t_{ni}$**  – срок, превышение которого вызовет аналогичную задержку завершающего события. Следовательно, после свершения события должно оставаться достаточно времени для выполнения всех работ последующих за этим событием. Так как, время необходимое для выполнения всех последующих работ равно продолжительности максимального последующего за этим событием пути, то поздний срок свершения события – это разность между продолжительностью критического пути и продолжительностью максимального последующего пути.

$$t_{ni} = t\ L_{кр} - t\ L(i \div C)_{\max} \text{ или } t_{ni} = (t_{nj} - t_{ij})_{\min} \quad (2)$$

3) **Резерв события** – максимальное время, на которое можно задержать событие, не вызывая задержки наступления завершающего события – определяется как разность между ранним и поздним сроками свершения данного события:

$$P_i = t_{ni} - t_{pi} \quad (3)$$

События критического пути не располагают резервами времени.

4) **Ранний срок начала работы  $t_{pij}$**  наибольшая суммарная продолжительность работ от исходного события до определяемой работы – совпадает с ранним сроком свершения предшествующего события.

$$t_{pij} = t_{pi} \quad (4)$$

5) **Ранний срок окончания работы**  $t_{poij}$  равен сумме раннего срока свершения предшествующего события и продолжительности работы.

$$t_{poij} = t_{pi} + t_{ij} \quad (5)$$

6) **Поздний срок начала работы**  $t_{nnij}$  это наиболее поздний из допустимых моментов начала данной работы, при котором еще возможно выполнение всех последующих работ в установленный срок, определяется как разность ее позднего окончания и продолжительности:

$$t_{nnij} = t_{nj} - t_{ij} \quad (6)$$

7) **Поздний срок окончания работы**  $t_{noij}$  – равен позднему началу последующей работы  $j,k$ , и позднему сроку последующего события.

$$t_{noij} = t_{nj} \quad (7)$$

8) **Полный резерв времени работы** – это максимальное время, на которое можно задержать начало работы или увеличить ее продолжительность, не вызывая задержки наступления завершающего события. Определяется как разность между поздним сроком свершения конечного события данной работы и суммой продолжительности работы и раннего срока свершения начального для данной работы события:

$$P_{n\ ij} = t_{L_{kp}} - t_{L(Y \div C)_{max}^{ij}} = t_{nj} - (t_{pi} + t_{ij}) \quad (8)$$

Если на работе использовать ее полный резерв, то у других работ, лежащих на максимальном пути, проходящем через эту работу, резервы исчезнут. У работ, не лежащих на максимальном пути, проходящем через эту работу, резерв уменьшится на величину полного резерва.

9) **Свободный резерв времени работы** – это максимальное количество времени, на которое можно перенести окончание работы без изменения раннего начала последующих работ. Он определяется как разность ранних сроков последующего и предшествующего событий и продолжительности работы:

$$P_{c\ ij} = t_{pj} - t_{pi} - t_{ij} \quad (9)$$

Работы критического пути не располагают резервами.

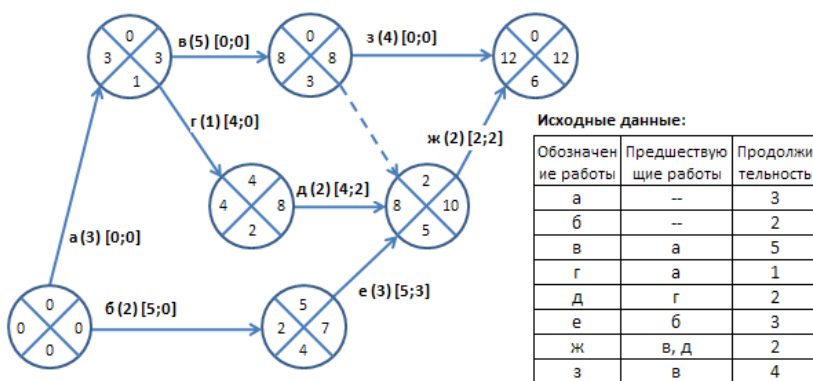
**Резерв пути** – это разница между продолжительностью критического пути и продолжительностью любого другого пути:

$$P L = t L_{кр} - t L \quad (10)$$

Чем короче путь по сравнению с критическим, тем больше у него полный резерв времени, который показывает, насколько в сумме может быть увеличена продолжительность всех работ, принадлежащих данному пути, без существенного изменения общего срока выполнения всего комплекса работ. Критический путь резервами не располагает.

### 1.3.2. Графический метод

Данный метод предусматривает расчет параметров непосредственно на сетевом графике. Для этого все кружки (события) делятся на 4 сектора (рис. 15). В нижних секторах проставляются коды событий; в левых секторах в процессе расчета записываются ранние сроки свершения событий ( $t_{pi}$ ); в правых – поздние сроки свершения событий ( $t_{mi}$ ); в верхних секторах – резервы свершения событий ( $P_i$ ).



**Рис. 15.** Пример расчета сети графическим способом

Расчет ранних сроков свершения событий ведется слева направо, начиная с исходного события, и заканчивается завершающим событием. При этом ранний срок свершения исходного события принимается равным нулю ( $t_{pi} = 0$ ).



Ранний срок свершения  $j$ -го события определяется по формуле (1). Если в  $j$ -е событие входит одна работа, то  $t_{pj} = t_{pi} + t_{ij}$  (например, для события №2  $t_{p2} = 0 + 2 = 2$ ). Если  $j$ -му событию предшествует несколько работ, то  $t_{pj} = \max(t_{pi} + t_{ij})$ . Например, для события №5 максимальное значение равно 8 ( $t_{p5} = \max(t_{p3} + t_{3-5}; t_{p2} + t_{2-5}; t_{p4} + t_{4-5}) = (8 + 0; 4 + 2; 2 + 3 = 8)$ ).

Таким образом, расчет ведется до завершающего события. Ранний срок свершения последнего события определяет продолжительность критического пути и срок выполнения всего комплекса работ.

*Расчет поздних сроков свершения событий* ведется справа налево, начиная с завершающего события и заканчивается исходным.

Поздний срок свершения завершающего события совпадает с ранним сроком его свершения. Например,  $t_{p6} = t_{p6} = 12$  (рис. 15). Это значение записывается в правом секторе завершающего события.

Поздний срок свершения  $i$ -го события определяется по формуле (2). Это значение записывается в правом секторе  $i$ -го события. Если из  $i$ -го события выходит несколько работ, то выбирается минимальное значение. Например, для события №3 минимальное значение равно 8 ( $t_{p3} = \min(t_{p6} - t_{3-6}; t_{p5} + t_{3-5}) = (12 - 4; 10 - 0 = 8)$ ) (рис. 15).

Таким образом, расчет ведется до исходного события.

*Резервы времени на свершение событий* определяются по формуле (3) и записываются в верхний сектор события (кружка).

После расчета ранних и поздних сроков свершения событий по формулам (8) и (9) рассчитываются полные и свободные резервы работ. Полученные значения записываются в квадратных скобках возле обозначения и продолжительности работы (см. рис. 15).

Все события, которые не имеют резервов времени ( $P_i = 0$ ), лежат на критическом пути. Однако если работа соединяет два события не имеющих резервов это не обязательно свидетельствует о том, что она относится к критическому пути. Однозначным свидетельством принадлежности работы к критическому пути является отсутствие у нее полного резерва.

В рассматриваемом примере (рис. 15) критический путь проходит через работы «а» - «в» - «з». Его длительность составляет 12 (3 + 5 + 4), что совпадает с ранним сроком последнего события.

### 1.3.3. Табличный метод

Для расчета параметров сетевого графика этим методом составляется таблица, число строк в которой соответствует числу работ. Таблица включает в себя следующие столбцы:

1. Обозначение работы;
2. Обозначения непосредственно предшествующих работ;
3. Обозначения непосредственно следующих работ;
4. Продолжительность выполнения работы;
5. Раннее время начала выполнения работы;
6. Позднее время начала выполнения работы;
7. Раннее время окончания выполнения работы;
8. Позднее время окончания выполнения работы;
9. Полный резерв времени работы;
10. Свободный резерв времени работы;
11. Независимый резерв времени работы.

Таблица 11

#### Расчет параметров сетевого графика табличным методом

Работа	непосредственно предшествующие работы	непосредственно следующие работы	$t_{ij}$	$t_{рн ij}$	$t_{пн ij}$	$t_{ро ij}$	$t_{по ij}$	$P_{н ij}$	$P_{с ij}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	–	D, E	4	0	0	4	4	0	0
B	–	H, I, J	7	0	7	7	14	7	7
C	–	F, G	2	0	20	2	22	20	0
D	A	M	8	4	18	12	26	14	14
E	A	H, I, J	10	4	4	14	14	0	0
F	C	K, L	7	2	22	9	29	20	8
G	C	N	6	2	25	8	31	23	11
H	B, E	M	12	14	14	26	26	0	0
I	B, E	–	6	14	30	20	36	16	16
J	B, E	K, L	3	14	26	17	29	12	0
K	F, J	–	4	17	32	21	36	15	15
L	F, J	N	2	17	29	19	31	12	0
M	D, H	–	10	26	26	36	36	0	0
N	G, L	–	5	19	31	24	36	12	12

Исходная информация, связанная с описанием топологии сетевой модели, содержится в столбцах (1), (2) и (4).

Суть табличного метода расчета временных параметров сетевой модели состоит в последовательном заполнении остальных столбцов данной таблицы.

Алгоритм табличного метода предусматривает выполнение следующих последовательных шагов. [1]

### **ШАГ 1. Определение индексов непосредственно следующих работ.**

Рассматриваем работу с индексом [i]. Непосредственно следующие за ней работы – это те работы, для которых работа [i] является непосредственно предшествующей. Следовательно, индексы непосредственно следующих работ – это индексы тех работ, у которых в столбце (2) содержится индекс работы [i].

### **ШАГ 2. Определение раннего времени начала и раннего времени окончания работ.**

Определение раннего времени начала и раннего окончания работ, т.е. заполнение столбцов (5) и (7) таблицы должно осуществляться одновременно, т.к. время начала одних работ зависит от времени окончания других.

Заполнение указанных столбцов осуществляется последовательно от начала сетевой модели к ее концу, т.е. сверху вниз. При этом действуют следующие правила:

- Раннее время окончания рассматриваемой работы равно раннему времени ее начала (из столбца (5)) плюс продолжительность работы (из столбца (4)).
- Раннее время начала выполнения работы равно 0, если данной работе непосредственно не предшествует ни одна из работ сетевой модели, или равно максимальному раннему времени окончания среди всех непосредственно предшествующих ей работ (из столбца (7)).

Продолжительность критического пути равна максимальному значению в столбце (7).

### **ШАГ 3. Определение позднего времени окончания и позднего времени начала работ.**

Определение позднего времени окончания и позднего начала работ, т.е. заполнение столбцов (6) и (8) таблицы должно осуществляться также одновременно, т.к. время начала одних работ зависит от времени окончания других.

Заполнение указанных столбцов осуществляется последовательно от конца сетевой модели к ее началу, т.е. снизу вверх. При этом действуют следующие правила:

- Позднее время начала рассматриваемой работы равно позднему времени ее окончания (из столбца (8)) минус продолжительность работы (из столбца (4)).
- Позднее время окончания выполнения работы равно продолжительности критического пути, если за данной работой нет ни одной непосредственно следующей работы (из столбца (3)) сетевой модели, или равно минимальному позднему времени начала среди всех непосредственно следующих за данной работой работ (из столбца (6)).

**Шаг 4. Определение полного резерва времени выполнения работы.**

Полный резерв времени работы [i] находится как разность значений ее позднего и раннего времени окончания (соответственно, столбцы (8) и (7)), либо как разность значений ее позднего и раннего начала выполнения (соответственно, столбцы (6) и (5)).

**Шаг 5. Определение свободного резерва времени выполнения работы.**

Свободный резерв времени работы [i] определяется как разность между значением раннего времени начала любой из непосредственно следующих за ней работ и суммой раннего времени начала работы [i] и ее продолжительности.

### ***1.3.4. Расчет временных параметров работ с помощью ЭВМ***

Методология применения СПУ достаточно хорошо проработана и широко освещена в научной литературе. Однако применение данных методов для комплексов, состоящих более чем из пятидесяти работ, является трудоемким и требует использования ЭВМ и специальных прикладных программ (ПП). Количество же таких программных продуктов, в настоящее время, является ограниченным. Большинство из них реализованы как дополнительные модули в рамках корпоративных информационных систем крупных компаний и не распространяются на свободном рынке как самостоятельный продукт.

Наиболее доступными и универсальными ПП, позволяющими эффективно решать задачи календарного планирования и управления ресурсами, являются Microsoft Project и Spider Project. Однако данные ПП имеют высокую стоимость, требуют навыков работы с ними и боль-

ше подходят для крупных организаций, осуществляющих одновременно несколько проектов, включающих несколько сотен этапов.

По нашему мнению, при планировании комплексов работ в несколько десятков операций вполне можно ограничиться использованием средств широко распространенного редактора электронных таблиц MS Excel.

Нами предлагается несколько модифицированная методика, описанного выше табличного метода расчета параметров, которую достаточно легко можно реализовать в среде электронных таблиц MS Excel.

Особенностью данной методики является то, что при ее использовании нет необходимости строить сетевой график комплекса работ, достаточно знать последовательность их выполнения.

Представленную методику рассмотрим на условном примере (фрагмент исходных данных – рис. 16).

Для лучшего понимания данной методики рекомендуется самостоятельно провести все указанные ниже действия.

№ работ	Наименование работы	Профессии исполнителей	Номер предшествующих работ	Объем работ, чел/дн.	Число исполнителей	Продолжительность, дней
1	определение на местности точки заложения скважины	топографы	0	8	8	=ОКРУГ
13	расчистка и планировка площадки для строительства буровой	бульдозеристы	8,9,10, 4	50	9	6
18	рытье котлована под фундамент	бульдозеристы	13, 14	50	9	6
21	монтаж буровой установки	монтажники	16,17,19	30	42	1
23	приемка, проверка, оформление акта о готовности и пр.	представители ВМУ или УБР	5,20,21,22	10	10	1

**Рис. 16. Исходные данные для планирования (фрагмент)**

Прежде всего, необходимо рассчитать сроки свершения работ комплекса. Как уже было сказано ранее, у каждой работы комплекса может быть ранний срок начала, ранний срок окончания, поздний срок начала и поздний срок окончания.

С помощью MS Excel указанные параметры можно рассчитывать используя следующий алгоритм.

На рабочем листе MS Excel формируется матрица взаимосвязи работ. В заголовках строк и столбцов матрицы приводятся номера работ. На пересечении соответствующих строк и столбцов для каждой работы цифрой «1» обозначаются предшествующие работы (рис. 17).

		A	B	C	D	E	I	K	L	M	N	R	S	T	U	W	X	Y	Z	AA
		№ работ:																		
		1	5	7	8	9	10	14	15	16	17	19	20	21	22	23				
№ работ:	Номера предшествующих работ																			
3	1	-																		
5	2	1				1														
14	11	7, 8, 9, 10			1	1	1	1												
24	21	16, 17, 19											1	1	1					
26	23	5, 20, 21, 22		1														1	1	1

**Рис. 17. Матрица взаимосвязи между работами (фрагмент)**

Расчет ранних сроков начала и окончания работ производится с помощью матрицы ранних сроков (рис. 18).

В ячейку B30 записывается значение «0» (начало отсчета). Для того чтобы определить максимальный из возможных сроков начала работы №2, исходя из ранних окончаний предыдущих работ (E31:AA31), в ячейку B31 вбивается формула «=МАКС(E31:AA31)». Далее эта формула копируется и вставляется во все ячейки области «Ранние начала работ» (B31:B52).

В область ячеек «Продолжительность» (C30:C52) вводятся ссылки на соответствующие ячейки исходных данных (рис. 16 - G2:G24).

В ячейку D30 вбивается формула «=C30+B30», которая затем копируется во все ячейки области «Ранние окончания работ» (D30:D52). Полученные в этих ячейках значения необходимо продублировать в области ячеек E28:AA28.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA
1					№ работ:																			
2					1	5	7	8	9	10	14	15	16	17	19	20	21	22	23					
28	№ работ:	Ранние начала работ	Продолжительность	Ранние окончания	1	4	11	17	8	13	21	11	20	27	31	24	32	22	33					
29		Ранние окончания предыдущих работ:																						
30	1	0	1	1																				
40	11	17	1	18			11	17	8	13														
43	14	17	4	21				17	8	13														
52	23	32	1	33		4															24	32	22	

**Рис. 18. Матрица ранних сроков свершения работ (фрагмент)**

В ячейке D52 будет получен срок окончания самой последней работы, который и будет определять продолжительность всего комплекса.

В ячейку E30 вписывается формула «=ЕСЛИ(E4=0;"";E\$28)», которая затем копируется во все ячейки области «Ранние окончания предыдущих работ» (E30:AA52). Эта формула определяет ячейки матрицы взаимосвязи между работами (рис. 17), имеющие значение «1», и вставляет в соответствующие ячейки области «Ранние окончания предыдущих работ» необходимые значения из области ячеек E28:AA28.

Расчет поздних сроков начала и окончания работ производится с помощью матрицы, представленной на рис. 19.

В ячейку D78 записывается ссылка на ячейку D52 (срок свершения всего комплекса – рис. 18), которая будет началом отсчета.

В ячейку E54 вбивается формула «=МИН(E56:E78)». Далее эта формула копируется и вставляется во все ячейки области «Минимальные поздние начала следующих работ» (E54:AA54). Данная формула определяет минимальный из всех возможных поздних сроков начала каждой работы. Полученные в этих ячейках значения необходимо продублировать в области ячеек «D56:D78».

Значения в области ячеек «Поздние начала работ» (B56:B78) определяются путем вычитания продолжительностей работ из их поздних окончаний (для ячейки B56 «=D56-C56»).

В E56 вписывается формула «=ЕСЛИ(E4=0;"";\$B56)», которая копируется во всю область E56:AA78. В результате соответствующим ячейкам этой области присваиваются необходимые значения из B56:B78.

	A	B	C	D	E	I	K	L	M	N	R	S	T	U	W	X	Y	Z	AA
1					№ работ:														
2					1	5	7	8	9	10	14	15	16	17	19	20	21	22	23
54	№	Поздние начала	Продо лжител ьность	Поздние окончан ия работ	1	32	26	17	17	17	23	31	31	31	31	32	32	32	-
55	работ:	работ			Поздние начала следующих работ:														
56	1	0	1	1															
67	12	26	1	27			26	26	26	26									
68	13	17	6	23				17	17	17									
69	14	19	4	23				19	19	19									
73	18	23	6	29							23								
75	20	31	1	32							31								
78	23	32	1	33		32											32	32	32

**Рис. 19. Матрица поздних сроков свершения работ (фрагмент)**

Разность между поздним и ранним сроком начала или окончания работы определяет ее резерв, т.е. время на которое можно задержать ее окончание не вызвав задержку срока выполнения всего комплекса.

#### 1.4. Оптимизация сетевого графика

Успех выполнения сложных комплексов работ зависит, прежде всего, от четкой координации работ во времени, а также от того, насколько правильно и рационально распределены необходимые для достижения поставленной цели материальные, трудовые и финансовые ресурсы.

Поэтому под оптимизацией сетевого графика подразумевается последовательное улучшение сети с целью достижения минимального (директивного) срока выполнения комплекса или распределения всех видов ресурсов, с учетом имеющихся ограничений.

Чаще всего сетевые графики сначала оптимизируются по параметру «время», без учета ограничений, а по достижении заданного срока приступают к корректированию распределения ресурсов.

Очередность корректировки по отдельным видам ресурсов устанавливается в зависимости от значения каждого из них в конкретных условиях. Чаще всего оптимизация ресурсов проводится по следующим критериям:

1. Время – трудовые ресурсы;



2. Время – материальные ресурсы;

3. Время – денежные затраты.

Оптимизация сетевого графика по времени предполагает уменьшение общей длительности выполнения комплекса работ до минимальной величины, или до величины, соответствующей директивно заданному сроку. Так как общая продолжительность комплекса определяется длиной критического пути, то оптимизация по времени предполагает, прежде всего, уменьшение продолжительности критических работ.

Существует несколько путей оптимизации сетевых графиков по времени:

- Увеличение численности персонала при выполнении работ критического пути за счет использования ресурсов работ не критической зоны, располагающих резервами времени;

- Уменьшение продолжительности работ критического пути за счет привлечения дополнительного количества исполнителей, если есть соответствующие ресурсы и позволяет фронт работ;

- Совершенствование применяемой базы временных оценок работ, за счет использования новейших достижений научно-технического прогресса и передового опыта при выполнении подобного вида работ;

- Разработка мер по разделению некоторых работ на более мелкие процессы, по которым возможно параллельное выполнение;

- Выявление возможности изменения технологии выполнения отдельных групп работ для оптимизации топологии сетевого графика.

Все приведенные выше пути оптимизации сетевых графиков, требуют либо привлечения внешних ресурсов, либо внешних директивных воздействий и согласований. Оптимизацию сетевого графика за счет внутренних резервов предполагает только первый путь. Остановимся на нем более подробно.

Определение количества персонала, которое можно перевести с работ имеющих резервы времени на работы критического пути возможно тремя способами:

1. Подбор оптимального количества персонала на критической и не критической работе путем последовательного пересчета параметров сетевого графика для нескольких возможных вариантов.

2. Подбор оптимального количества персонала на каждой из работ комплекса с помощью ЭВМ.

3. Использование специальных уравнений, позволяющих приближенно определить количество персонала, которое необходимо перевести с работ, имеющих резервы, на критические работы для формирования на обеих группах работ оптимальной численности.

В рамках задач настоящего учебного пособия подробного рассмотрения требует 3-й способ.

Прежде всего, выбирается пара родственных работ, выполнение которых требует исполнителей одной и той же профессии. Одна из этих работ должна быть критической, другая должна иметь резерв времени.

Введем следующие обозначения:

$Q_{ij}$  – трудоемкость работы **i-j** (объем работ);

$I_{ij}$  – число исполнителей задействованных на работе **i-j**;

$t_{ij}$  – продолжительность работы **i-j**.

Тогда:  $t_{ij} = Q_{ij} / I_{ij}$ ,

Обозначим за  $x$  – число исполнителей, которое необходимо перевести с некритической работы на критическую, за  $y$  – число дней, на которые сократится критическая работа.

Тогда, для того, чтобы задействовать резерв времени, имеющийся у некритической работы ( $P_{\Pi ij}$ ) необходимо решить систему уравнений с двумя неизвестными:

$$\left\{ \begin{array}{ll} \frac{Q_{ij}}{I_{ij} + x} = t_{ij} - y; & \text{– для критической работы;} \\ \frac{Q_{ij}}{I_{ij} - x} = t_{ij} + P_{\Pi ij} - y & \text{– для некритической работы,} \end{array} \right.$$

В результате сокращения длительности одних работ и увеличения длительности других, при сохранении той же топологии, получают новую сеть, требующую пересчета всех временных параметров.

По мере оптимизации графика на нем возникают новые критические пути. В перспективе все пути могут стать критическими. Однако следует учитывать, что при лишении резервов у большинства работ, малейшие сбои в установленном календарном плане, могут вызвать задержки сроков выполнения всего комплекса.

### 1.5. Составление календарных и ленточных графиков выполнения работ (оперативно-производственного задания)

В общем случае составление календарного плана выполнения работ подразумевает заполнение таблицы, имеющей вид табл. 12. Колонки 1-4 данной таблицы заполняются рассчитанными ранее сроками начала и окончания работ. Колонка 5 для каждой работы заполняется путем отсчета по календарю от даты начала всего комплекса работ, количества дней равного раннему сроку начала этой работы. Например, ранее начало работы 3 равно 4-м дням, комплекс работ начинается 01.04.09 соответственно 3-я работа начинается 04.04.09 (01.04.09+4дня). Если работы выполняются только в рабочие дни, при отсчете дней по календарю необходимо пропускать выходные и праздничные дни.

Аналогичным образом заполняется и колонка 6.

Таблица 12

Календарный план работ (фрагмент)

№ работ	Ранние сроки начала работ, дней <sup>1</sup>	Ранние сроки окончания работ, дней	Поздние сроки окончания работ, дней	Дата начала	Дата окончания
1	2	3	4	5	6
1	1,00	1,00	1,00	01.04.09	01.04.09
2	2,00	9,00	12,00	02.04.09	13.04.09
3	4,00	10,00	14,00	04.04.09	14.04.09
...	...	...	...	...	...

При большом количестве работ и значительной продолжительности комплекса, составление календарных планов с помощью такого подхода представляет значительные трудности. Еще сложнее таким образом составить более наглядный для руководства работами ленточный график. Нами предлагается методика, позволяющая осуществлять данные процессы с помощью редактора электронных таблиц MS Excel.

<sup>1</sup> При составлении календарного плана, к ранним срокам начала каждой работы необходимо прибавить единицу, так как работа начинается на следующий день после завершения всех предшествующих ей работ.

Рассмотрим данную методику на конкретном примере. На рабочем листе MS Excel создается таблица, аналогичная таблице 6 (рис. 20).

Колонки таблицы 6 с первой по четвертую заполняются расчетными значениями сроков начала и окончания работ. Если эти сроки также рассчитаны с помощью MS Excel, то заполнение этих колонок можно осуществить с помощью создания связи между соответствующими ячейками.

Далее формируется ленточный график выполнения работ (область ячеек H2:T23 – рис. 20). Для этого справа от области ячеек, содержащей данные табл. 12, выделяется область для размещения графика. Под этой областью формируется три строки:

«**Календарь**» - в первой ячейки данной строки вписывается предполагаемая дата начала работ (обязательно необходимо использовать формат Даты). В остальные ячейки строки вставляется формула прибавляющая единицу (1 день) к значению предыдущей ячейки.

«**Рабочие / нерабочие дни**» - в данной строке в ячейках соответствующих рабочим дням ставится цифра «1», в ячейках соответствующих выходным и праздникам ставится «0».

«**Количество рабочих дней нарастающим итогом**» - в первую ячейку строки вставляется цифра «1», в остальные ячейки – формула, прибавляющая к значению предыдущей ячейки соответствующее значение из строки «Рабочие / нерабочие дни».

Длина строк определяется полученной продолжительностью всего комплекса работ. Если продолжительность комплекса работ является слишком большой, то ленточный график необходимо разделить на несколько частей.

Для формирования ленточного графика в ячейку H2 вписывается формула, имеющая следующий вид:

=ЕСЛИ(И(H\$27>=\$B2;H\$27<=\$C2);H\$25;ЕСЛИ(И(H\$27>=\$C2;H\$27<=\$D2);"Рез.";"")).

где:

H\$27 – ячейка из строки «Количество рабочих дней нарастающим итогом» содержащая расчет количества дней, в течение которых ведутся работы на соответствующую дату.

\$B2 – ячейка, содержащая значение раннего срока начала соответствующей работы (из табл. 12).

\$C2 – ячейка, содержащая значение раннего срока окончания соответствующей работы (из табл. 12).

H\$25 – ячейка из строки «Календарь», в которой определена дата, соответствующего ячейке дня.

\$D2 – ячейка, содержащая значение позднего срока окончания соответствующей работы (из табл.12).

Далее эта формула копируется во все ячейки области ленточного графика (в примере H2:AS24). Формула проверяет попадает ли текущий день с начала работ (область ячеек «Кол-во рабочих дней нарастающим итогом») в промежуток между ранним сроком начала и ранним сроком окончания соответствующей работы. Если попадает, то ячейке присваивается значение равное текущей дате (H\$25), если нет, то формула проверяет входит ли этот день в период резерва по этой работе (даты между поздним и ранним сроками окончания работы). Если входит, то ячейке присваивается значение "Рез.", в противном случае значение "" (пусто).

Далее ко всем ячейкам области ленточного графика необходимо применить условное форматирование (*Меню «Формат» → «Условное форматирование»*). Те ячейки, которые содержат даты, необходимо выделить форматом, отличающимся от остальных ячеек (это могут быть границы или заливка).

Колонка «Дата начала» (табл. 12) рассчитывается путем нахождения минимального значения (формула «=МИН()») в строке соответствующей работы области ячеек ленточного графика. Например, для 1-й работы на **Рис. 20** дата начала находится по формуле «=МИН(H2:AS2)».

Колонка «Дата окончания» (табл. 12) рассчитывается аналогично колонке «Дата начала», только используется формула «=МАКС()».

Далее в столбцы календарного графика, соответствующие выходным дням вставляются ячейки с обозначением выходного дня, например с буквой «В».



## **1.6. Области применения сетевого планирования и управления в нефтяной и газовой промышленности**

В нефтяной промышленности сетевые графики впервые были применены в 1965 г. для планирования и управления строительством буровых установок в вышкомонтажных цехах объединения Грознефть.

Применение СПУ на буровых и нефтедобывающих предприятиях позволяет: сократить продолжительность строительства объектов и снизить стоимость работ; повышать квалификацию рабочих; ликвидировать простои; повысить материальную заинтересованность и эффективность использования технических средств и материально-сырьевых ресурсов.

Анализ применения методов критического пути и систем управления, использующих эти методы, показывает, что с учетом специфики нефтяной промышленности областями наиболее эффективного применения СПУ является планирование, контроль и оперативное управление следующими видами работ:

- разработка новых видов бурового и нефтепромыслового оборудования (НИОКР, опытное производство), в выполнении которых принимает участие организации и предприятия различных ведомств;
- работы по обустройству месторождений и строительству различных нефтепромысловых сооружений;
- планирование и оперативное управление комплексным развитием нефтедобывающих районов;
- в индивидуальном или мелкосерийном производстве специфического нефтегазового оборудования (например, платформ для морской добычи нефти);
- планирование и оперативный контроль за выполнением мероприятий на буровых и нефтедобывающих предприятиях;
- планирование и организация работ по материально-техническому обеспечению буровых и нефтедобывающих предприятий.

Кроме того, применение данных методов может дать значительный эффект в комплексном планировании работы буровых и нефтедобывающих предприятий, расчетах необходимого количества трудовых и материальных ресурсов для осуществления плановых заданий. Также они могут с успехом применяться в нормировании и научной организации труда, а в сочетании с вычислительной техникой позволяют выравнивать «пики» потребности в рабочей силе за счет систематических сдвигов сроков работ и исследования в каждом положении равномерности потребления рабочей силы.

## **2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВЫХ/КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ**

### **2.1. Тематика и исходные данные курсовой/контрольной работы**

С учетом содержания дисциплины «Организация производства на предприятиях нефтяной и газовой промышленности» программой учебного пособия в качестве темы курсовой/контрольной работы предусмотрено комплексное задание по составлению плана строительства буровой установки с помощью методов СПУ.

Выбор именно этого направления деятельности связан с тем, что процесс возведения буровой установки – это сложный комплекс тесно взаимосвязанных между собой разнородных производственных операций, выполняемых большим количеством специалистов широкого спектра профессий. При этом эффективное выполнение этого комплекса возможно только при четкой координации деятельности исполнителей, задействованных на каждой отдельной операции. Именно методы сетевого планирования и управления позволяют достичь такой координации наилучшим образом.

Все работы, связанные с возведением буровой установки можно объединить в три достаточно крупные группы:

- подготовительные работы к строительству,
- вышкомонтажные работы и строительство наземных сооружений буровой,
- подготовительные работы к бурению.

Составление плана строительства буровой установки в реальной практике – это сложный процесс, требующий учета большого количества факторов и осуществляемый целыми коллективами работников планово-экономических и производственно-технических отделов вышкомонтажных организаций совместно со специалистами основного производства буровых предприятий.

Для лучшего понимания основных положений именно системы сетевого планирования и управления, студентам предлагается использовать несколько упрощенные исходные данные. Такой упрощенный, наиболее общий, состав работ каждой группы представлен в табл. 13.



Таблица 13

## Примерный состав работ по возведению буровой установки

Обозначение работы	Наименование работы	Профессии исполнителей
<b>Подготовительные работы к возведению буровой установки (БУ)</b>		
а.	Определение на местности точки заложения скважины	Топографы
б.	Выкорчевка леса	Бульдозеристы
в.	Расчистка площадей для строительства подъездного пути	Бульдозеристы
г.	Строительство подъездного пути	Дорожники
д.	Подвод электроэнергии	Электрики
е.	Подвоз монтажной бригады	Водители
ж.	Сооружение временного лагеря для монтажной бригады	Монтажники
з.	Организация снабжения водой быт. и произв. объектов	Сварщики
и.	Наладка связи	Электрики
к.	Подвоз материалов для строительства жилого поселка	Водители
л.	Монтаж конструкций жилого поселка	Монтажники
м.	Расчистка и планировка площадки для строительства БУ	Бульдозеристы
н.	Организация снабжения электроэнергией бытовых и производственных объектов	Электрики
<b>Вышкомотажные работы и строительство наземных сооружений буровой</b>		
о.	Рытье котлована под фундамент буровой установки	Бульдозеристы
п.	Монтаж склада ГСМ	Монтажники
р.	Монтаж мастерских и складских помещений	Монтажники
с.	Обустройство стоянки для спец. техники	Дорожники
т.	Прокладка водопровода	Сварщики
у.	Подвоз вышки и привышечных сооружений	Водители
ф.	Сборка вышки и монтаж наземных сооружений БУ	Монтажники
х.	Сооружение фундамента буровой установки	Монтажники
ц.	Монтаж амбара для хранения бурового раствора	Монтажники
ч.	Монтаж буровой установки	Монтажники
ш.	Подвоз бригадного хозяйства	Водители
щ.	Подвоз буровой бригады	Водители
<b>Подготовительные работы к бурению и приемка буровой</b>		
ы.	Оснастка талевой системы	Подготовительная бригада
э.	Оснащение буровой элементами малой механизации, инструментами и приспособлениями	
ю.	Размещение бурового, слесарного, и пр. инструмента и инвентаря	
я.	Обкатка дизелей и проверка бурового оборудования	

<b>Обозначение работы</b>	<b>Наименование работы</b>	<b>Профессии исполнителей</b>
аа.	Проверка правильности монтажа оборудования и опробование его без нагрузки	
бб.	Проверка состояния подъездных путей	Приемочная комиссия
вв.	Проверка состояния фундамента, приемных мостков, стеллажей, лестниц, площадок, ограждений и пр.	
гг.	Проверка состояния электрооборудования и пр.	
дд.	Формирование разрешения электроннадзора на подключение буровой к сети	
ее.	Проверка противопожарной безопасности	

Каждая работа комплекса может быть начата только после того, как будут получены все требуемые для ее начала результаты, т.е. будут завершены все предшествующие ей работы. При этом конкретная последовательность выполнения отдельных работ, а также возможность совмещения их во времени, определяются типом и мощностью строящейся буровой установки, а также природно-климатическими, горно-геологическими и организационными условиями проведения работ, которые зависят, от назначения, глубины и территориального расположения планируемой к бурению скважины. Кроме того, в зависимости от поставленных задач и конкретных условий деятельности, часть, представленных в таблице работ, в реальном плане выполнения комплекса могут отсутствовать.

С учетом сказанного, на основе примерного перечня работ, формируются исходные данные к курсовой или контрольной работе по вариантам. Отличия между вариантами состоят в предполагаемом различии условий ведения работ и соответственно в разной для каждого варианта последовательности выполнения отдельных операций.

Выбор варианта исходных данных осуществляется в зависимости от первых букв фамилии, имени и отчества студента. Для первой группы работ вариант исходных данных выбирается из таблицы в прил. 1 в зависимости от первой буквы фамилии студента, для второй группы работ из таблицы в прил. 2 в зависимости от первой буквы имени студента и для третьей группы работ из таблицы в прил. 3 в зависимости от первой буквы отчества студента. Данные об объемах работ каждого вида, а также о численности, задействованных в выполнении комплекса исполнителей являются одинаковыми для всех вариантов и представлены в прил. 4 и 5.

Выбранные данные объединяются в таблицу исходных данных (пример, которой приведен в табл. 14). Численность исполнителей в столбце 5 выставляется произвольно, но так, чтобы общая численность исполнителей одной специальности, задействованных на всех работах, не превышала численности исполнителей каждой специальности, указанной в прил. 5.

Таблица 14

**Исходные данные к выполнению работы** (пример для студента с инициалами А.В.Д.)

Обозначение работы	Наименование работы	Обозначение предшествующих работ	Объем работы, чел./дн	Численность исполнителей, чел.
1	2	3	4	5
<b>Подготовительные работы к возведению буровой установки (вариант А, Б)</b>				
г.	Строительство подъездного пути	--	182	12
д.	Подвод электроэнергии	--	40	6
е.	Подвоз монтажной бригады	д, ж	26	6
ж.	Сооружение временного лагеря для проживания монтажной бригады	г	156	18
з.	Организация снабжения водой бытовых и производственных объектов	е, л	104	8
л.	Монтаж жилого поселка	д, ж	260	10
м.	Расчистка и планировка площадки для строительства буровой установки	л, н	156	10
н.	Организация снабжения электроэнергией бытовых и производственных объектов	д	65	6
<b>Вышкомонтажные работы и строительство наземных сооружений (вариант В, Г)</b>				
р.	Монтаж мастерских и складских помещений	м, з	130	10
у.	Подвоз вышки и привышечных сооружений	з	156	8
ф.	Сборка вышки и Монтаж наземных сооружений буровой установки	у, ц	130	10

Обозначение работы	Наименование работы	Обозначение предшествующих работ	Объем работы, чел./дн	Численность исполнителей, чел.
1	2	3	4	5
ц.	Монтаж амбара для хранения бурового раствора	м	143	10
ч.	Монтаж буровой установки	ф	156	8
ш.	Подвоз бригадного хозяйства	р	130	10
щ.	Подвоз буровой бригады	ц, ч	52	5
<b>Подготовительные работы к бурению и приемка буровой (Д, Е)</b>				
ы.	Оснастка талевой системы	ч	13	6
аа.	Проверка правильности монтажа оборудования и опробование его без нагрузки	ы	8	3
вв.	Проверка состояния фундамента, приемных мостков, стеллажей, лестниц, площадок, ограждений и пр.	ч, ы	12	3
гг.	Проверка состояния электрооборудования и пр.	щ	8	2
дд.	Формирование разрешения электронадзора на подключение буровой к сети	гг, вв, р	9	2
ее.	Проверка противопожарной безопасности	дд	10	2

## 2.2. Содержание курсовой/контрольной работы

Курсовая/контрольная работа должна включать следующие разделы:

### Введение

1. Сущность системы сетевого планирования и управления, ее преимущества и область применения (теоретическая часть)

2. Планирование комплекса работ, связанных с подготовкой к строительству и строительством буровой установки с применением системы сетевого планирования и управления (практическая часть)

2.1. Построение сетевого графика выполнения комплекса

2.2. Расчет параметров сетевого графика

2.3. Оптимизация сетевого графика по времени

2.4. Составление календарного плана выполнения работ (оперативно-производственного задания)

Заключение

Список использованной литературы.

Теоретическая глава *курсовой работы* должна составлять 20-25 страниц и включать в себя краткие, но достаточно исчерпывающие ответы на следующие вопросы:

1. История возникновения и развития методов СПУ.
2. Теория графов как основа графических методов планирования и организации.
3. Сущность и основные понятия СПУ. Сетевой граф и его элементы.
4. Виды сетевых графов.
5. Порядок и правила построения сетевых графов.
6. Методы расчета параметров сетевых графов.
7. Виды и способы оптимизации сетевых графов (оптимизация по времени, по числу исполнителей, по затратам и др.).
8. Преимущества и недостатки СПУ.
9. Назначение и область применения методов СПУ.

Теоретический раздел *контрольной работы* должен составлять 10-15 страниц и включать в себя краткие ответы на вопросы №1, 3, 5, 6 и 8.

Практическая часть курсовой/контрольной работы разрабатывается на основе исходных данных в соответствии с установленным для студента вариантом.

Общий объем курсовой работы должен составлять 35-40 стр., контрольной работы 20-25 страниц.

### **2.3. Методические указания по выполнению практической части курсовой/контрольной работы**

При выполнении практической части работы необходимо:

1. Построить сетевой график возведения буровой установки в соответствии с исходными данными конкретного варианта. При этом должны учитываться правила и рекомендации, описанные в разделе 1.2. Обязательным этапом является проверка исходных данных.

В построенном графике необходимо пронумеровать события и дать им формулировку. Информацию представить в таблице, имеющей следующую форму:

### **Формулировка событий комплекса работ по подготовке к строительству и строительству буровой установки**

№ события	Формулировка события (результаты входящих в событие работ)	Обозначения входящих работ	Обозначения исходящих работ

2. Графическим методом рассчитать все параметры сетевого графика, описанные в разделе 1.3. Результаты расчетов представить в табличной форме.

3. Выявить критический путь.

4. Произвести оптимизацию сетевого графика, по возможности максимально сократив продолжительность выполнения всего комплекса работ. Для этого с учетом рекомендаций раздела 1.4., необходимо скорректировать первоначальное распределение трудовых ресурсов (см. табл.16) для достижения оптимальной численности персонала на критических и некритических работах.

5. Построить окончательный вариант сетевого графика.

6. Применительно к окончательному варианту графика необходимо определить календарные сроки выполнения работ (при условии, что события будут свершаться в ранние сроки) и составить оперативно-производственное задание, имеющее следующую форму.

#### **Оперативно-производственное задание**

№ п/п	Наименование работ	Код работ	Плановая дата начала работы	Плановая дата окончания работы	Плановая продолжительность работы, дн.	Свободный резерв работы, дн.

#### **2.4. Требования к оформлению курсовой/контрольной работы**

Заголовки оглавления должны точно повторять заголовки в тексте работы. Сокращать или давать им другую формулировку не допускается.

Во введении приводится актуальность темы работы, указывается ее цель, задачи, предмет, объект и основное содержание. Даются сведения об объеме работы, количестве иллюстративных материалов.

Содержание основной части работы должно соответствовать разделам 2.2. и 2.3. данного пособия.

В работе необходимо использовать графики, диаграммы и блок-схемы, выполнять требующиеся расчеты на ЭВМ.

В заключении указывают, что цель работы достигнута и приводятся основные выводы и результаты, полученные в ходе решения поставленных во введении задач. Приводятся наиболее значимые цифры.

Страницы работы нумеруют, начиная с оглавления, включая таблицы, графики и приложения. Номер страницы ставится посередине листа.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефремов В.С. Проектное управление: модели и методы принятия решений [Электронный ресурс] / В.С. Ефремов. – режим доступа: <http://www.cfin.ru/press/management/1998-6/11.shtml>.
2. Замятин А.П. Графы и сети: Учеб. пособие. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2004.-160с.
3. Кофман А., Дебазей Г. Сетевые методы планирования: применение системы ПЕРТ и ее разновидностей при управлении производственными и научно-исследовательскими проектами. Пер. с франц. – М.: Прогресс, 1968.
4. Красс, М. С. Основы математики и ее приложения в экономическом образовании: учебник / М. С. Красс, Б. П. Чупрынов. – 3-е изд., испр. – М.: Дело, 2002. – 688 с.
5. Новицкий, Н. И. Сетевое планирование и управление производством: учеб.-практ. пособие / Н. И. Новицкий. – М.: Новое знание, 2004. – 159 с.
6. Туровец, О. Г. Организация производства на предприятии: учеб. пособие. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 207 с.
7. Филипс Д., Гарсиа-Диас А. Методы анализа сетей. Пер. с англ. – М.: Мир, 1984.
8. Шапкин, А. С. Математические методы и модели исследования операций: учебник / А. С. Шапкин, Н. П. Мазаева – 2-е изд. – М.: Дашков и Ко, 2005. – 400 с.



# ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К КУРСОВОЙ/КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ

## Приложение 1

### Варианты последовательности выполнения работ по подготовке к возведению буровой установки

Обозначение работы	Обозначения предшествующих работ (по вариантам в зависимости от первой буквы Фамилии студента)												
	А, Б	В, Г	Д, Е	Ж, З	И, К	Л, М	Н, О	П, Р	С, Т	У, Ф	Х, Ц, Ч	Ш, Щ, Ы,	Э, Ю, Я
а.	нет <sup>2</sup>	-- <sup>3</sup>	--	--	нет	нет	нет	нет	нет	нет	--	нет	нет
б.	нет	нет	нет	нет	--	и	--	нет	--	нет	нет	нет	нет
в.	нет	нет	нет	нет	нет	нет	--	нет	нет	--	а	нет	--
г.	--	а	а	а	и	и	--	--	--	в	в	--	--
д.	--	а	--	--	б	и	в	и	--	--	в	--	г
е.	д, ж	нет	г, ж	г, ж	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	г	г
ж.	г	а	а	а	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	а	нет
з.	е, л	ж, л	г, е	е, ж	г	г	г	г	б	в	а	е, л	в, е
и.	нет	нет	нет	нет	б	--	нет	--	--	нет	нет	нет	нет
к.	нет	нет	нет	нет	г, д	б, г	б, г	г, и	г, б	нет	нет	нет	нет
л.	д, ж	г, д	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	г	нет	г	нет
м.	л, н	л	ж, н	е, н	з, н	з, н	к	к	к, з	г	г, н, в	н	з, е
н.	д	д	г, д	а, д	д, и	д, и	д, к	к, д	и	в, д	д, з	а, г	д, г

<sup>2</sup> «нет» - означает, что для рассматриваемого варианта данная работа в комплексе работ отсутствует.

<sup>3</sup> « -- » - означает, что данной работе не требуются результаты каких-либо других работ и соответственно у нее не предшествующих работ.

*Приложение 2*

**Варианты последовательности выполнения вышкомонтажных работ  
и работ по строительству наземных сооружений буровой**

Обозначение работы	Обозначения предшествующих работ (по вариантам в зависимости от первой буквы <b>И</b> мени студента)												
	А, Б	В, Г	Д, Е	Ж, З	И, К	Л, М	Н, О	П, Р	С, Т	У, Ф	Х, Ц, Ч	Ш, Щ, Ы,	Э, Ю, Я
О	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	м	нет	з	нет	нет	м
П.	нет	нет	нет	нет	м, д	нет	з, м	нет	нет	нет	м	нет	нет
р.	м, з	м, з	м	м	з	з	м, п	н	з, н	о	н	м	з
с.	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	р	р, у	нет	р, у
Т.	нет	нет	нет	н	нет	нет	нет	нет	р	нет	нет	н, м	нет
у.	м	з	з	з, м	р, н	р, ц	д, п	д, р	т	н	н	р	с
ф.	х	у, ц	х, у	у, т	у	у	у	о	у	д, у	у	у, т	у
Х.	м, н	нет	з, н	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	т	нет
Ц.	нет	м	нет	нет	нет	н, м	нет	з	нет	нет	нет	нет	нет
Ч.	ф, у	ф	х, р	ф	ф	ф	р, ф	ф, ц	м, ф	с, у	ф	ф	о, ф
Ш.	р	р	ф	р, у	п, н	ц	з	ч	д	у	с	р	ч
Щ.	ч, ш	ц, ч	р, ч	ч	ч, ш	ч, ш	ч, ф	р	ч, у	ф	ч, ш	ч	р

*Приложение 3*

**Варианты последовательности выполнения работ по подготовке к бурению и приемке буровой**

Обозначение работы	Обозначения предшествующих работ (по вариантам в зависимости от первой буквы Отчества студента)													
	А, Б	В, Г	Д, Е	Ж, З	И, К	Л, М	Н, О	П, Р	С, Т	У, Ф	Х, Ц, Ч	Ш, Щ, Ъ, Ы	Э, Ю, Я	
Ы.	ч, ш	ч, ш	ч	ч, щ	ч, ш, щ	ш	ш, э, щ	ш	ш, ч	р, ш	ч, щ, ш	щ, ш	ч	
Э.	нет	нет	нет	нет	ы	ч, ш, щ	ч, р	ш, ч	нет	нет	нет	нет	ш, щ	
Ю.	нет	нет	нет	нет	нет	э	э	щ	нет	я, щ	нет	нет	э	
Я.	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	ы	ч	ы	ч	нет	
АА.	ВВ	Ы	Ы	Ы	Ч	Ч	Ю	Э, Ю	Ч	Ч	Ч	Я	Ч	
ББ.	нет	нет	нет	нет	э	нет	нет	нет	р	нет	ш	ч	нет	
ВВ.	Ы	Ш	Ч, Ы	Ы	АА, Ы	АА, ЕЕ	Ы	Ы, Ю, Э	Я, ББ, ЕЕ	Ы, Ю, Я	Я, ББ	Ы, АА, ЕЕ	Ю, АА, ЕЕ	
ГГ.	Щ	Щ	Щ	Ш, Щ	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	
ДД.	ГГ, Р, Д	ГГ, Р, Д	ГГ, ВВ, Р	ГГ, ВВ, Р	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	
ЕЕ.	ДД	ВВ, ДД	ДД	ДД	ВВ	Ы	ВВ, ГГ	ВВ	АА, Ы	ДД	АА, Я	ББ	Э, Ы	

*Приложение 4*

**Трудоемкость каждого вида работ по строительству буровой установки**

<b>Обозначение работы</b>	<b>Объем работы, чел./дн</b>	<b>Обозначение работы</b>	<b>Объем работы, чел./дн</b>	<b>Обозначение работы</b>	<b>Объем работы, чел./дн</b>
а.	20	н.	65	щ.	52
б.	260	о.	156	ы.	13
в.	208	п.	130	э.	16
г.	182	р.	130	ю.	12
д.	40	с.	104	я.	13
е.	26	т.	78	аа.	8
ж.	156	у.	156	бб.	8
з.	104	ф.	130	вв.	12
и.	39	х.	130	гг.	8
к.	130	ц.	143	дд.	9
л.	260	ч.	156	ее.	10
м.	156	ш.	130		

*Приложение 5*

**Данные об имеющейся численности персонала**

<b>Профессия исполнителей</b>	<b>Наличная численность персонала, чел.</b>	<b>Профессия исполнителей</b>	<b>Наличная численность персонала, чел.</b>
Топографы	3	Водители	29
Бульдозеристы	10	Сварщики	8
Дорожники	12	Подготовительная бригада	6
Монтажники	66	Приемочная комиссия	12
Электрики	12		
<b>Итого</b>			<b>158</b>