

ЛЕКЦИЯ 11.
ТЕМА: СЕТЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА В МЕЛИОРАТИВНОМ
И ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Рассматриваемые вопросы

1. Основные определения и понятия сетевого моделирования.
2. Формы и приоритеты сетевых моделей.
3. Элементы сетевых моделей и их характеристика.
4. Правила и техника построения топологии (структуры) сетевых моделей.
5. Временные параметры сетевых моделей и способы их расчета.
6. Методы и способы корректировки сетевых моделей по времени.

1. Основные определения и понятия сетевого моделирования

Сетевое моделирование в строительстве основано на теории графов. Множество точек на плоскости, соединенных между собой направленными либо не направленными отрезками прямых линий, называется математическим графом.

Каждый граф состоит из следующих элементов:

- точки на плоскости – называются *вершинами графа*;
- направленный отрезок прямой линии;
- соединение вершины – называется *дугой графа*;
- не направленный отрезок прямой линии, соединенной вершинами, – называется *ребром графа*.

Математический граф, у которого все вершины соединены дугами, называется *ориентированным графом*, или *математической сетью*.

Графическое изображение предполагаемого хода выполнения запланированных работ на объекте в виде ориентированного математического графа называется *сетевой моделью организации этих работ*.

2. Формы и приоритеты сетевых моделей

Сетевые модели существуют в двух формах:

- стрелка-работа (вершина-события);
- стрелка-связь (вершина-работа).

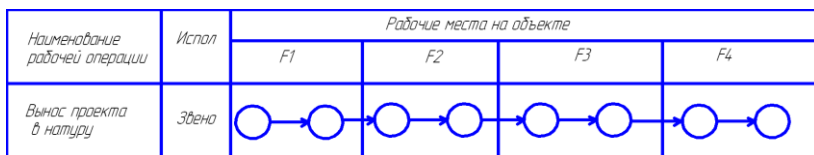
Стрелка-работа – на моделях этой формы каждая работа изображается в виде дуги графа.

Стрелка-связь – на этих моделях каждая работа изображается в виде вершины графа.

Любая форма сетевой модели может разрабатываться с различными приоритетами:

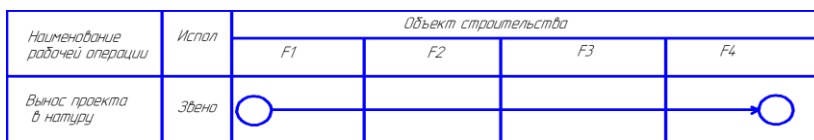
стрелка-работа – приоритет работа. На моделях этого вида изображается каждая запланированная работа на объекте.

Если сетевая модель разработана с приоритетом работ, то в такой модели показывается каждая из запланированных работ независимо от того, какой исполнитель будет ее выполнять;



стрелка-связь – приоритет исполнителей. На моделях этого вида изображается комплекс работ, которые выполняет один исполнитель на объекте.

Если сетевая модель разработана с приоритетом исполнителя, то в такой модели одной работой сменяются все работы, выполняемые одним исполнителем в рамках одной рабочей операции.



Сетевые модели обладают следующими *достоинствами*:

- высокая достоверность результатов моделирования (70...90 %);
- модели этих форм являются динамичными моделями – это значит, что любые изменения в ходе выполнения работ на объекте не вызывают необходимости пересмотра топологии или структуры самой модели;
- модели данного вида позволяют определить главные, основные работы объекта, а остальные классифицировать по степени их влияния на расчетную продолжительность строительства объекта;
- модели данного вида позволяют рассчитать численное значение временных параметров, которые необходимо знать при принятии управленческих решений на объекте строительства.

Сетевые модели обладают следующими *недостатками*:

- невозможность совмещать во времени процесс сетевого моделирования и построения календарного плана производства работ;
- для построения сетевых моделей необходимо знать специальные правила и технику построения сетевых моделей.

3. Элементы сетевых моделей и их характеристика

Сетевые модели в форме стрелка-работа состоят из следующих элементов.

Работа – это рабочая операция, выполняемая одним исполнителем на каждом рабочем месте рассматриваемого объекта.

Любая работа обязательно требует затрат времени и ресурсов. В сетевых моделях работа изображается в виде сплошной горизонтальной стрелки произвольной длины, направленной всегда слева направо.

События – это факт начала или окончания запланированных работ на объекте, необходимый и достаточный для начала или окончания последующих работ.

В сетевых моделях каждая запланированная работа имеет два события, которые изображаются в виде кружка произвольного диаметра в начале и конце стрелки, изображающей работу (рис. 11.1).



Рис. 11.1. Изображение работы и событий в сетевых моделях

В начале стрелки изображается так называемое начальное событие работы (НС), которое символизирует начало выполнения данной работы на объекте. В конце стрелки изображается так называемое конечное событие работы (КС), которое символизирует факт полного окончания данной работы на объекте.

Начальное событие первой работы на рассматриваемом объекте, не имеющее предшествующих «работ», «ожиданий» и «зависимостей», называется исходным событием сетевой модели (ИССМ). У любой модели такое событие может быть только одно.

Конечное событие последней работы на объекте, не имеющее последующих «работ», «ожиданий» и «зависимостей», называется завершающим событием сетевой модели (ЗССМ). У любой модели такое событие может быть только одно (одноцелевая сетевая модель).

Ожидание – это перерывы между запланированными работами, регламентированные различными причинами и обстоятельствами.

Ожидание требует затрат времени, но не требует затрат ресурсов. В зависимости от причин и обстоятельств, вызывающих необходимость перерывов между «работами», можно выделить несколько видов «ожиданий».

Технологические ожидания (ТО) – это перерывы между работами, которые регламентируются принятой технологией строительства объекта.

При строительстве открытой проводящей осушительной сети с использованием специальных технологических схем (ТС-1; ТС-2; ТС-6 и т. п.) принятая технология строительства предусматривает наличие в сетевой модели следующих ТО: например, между устройством пионерных траншей и выполнением проектных каналов (ТС-2) или доработкой (левой или правой) русла пионерных траншей до проектных параметров каналов (ТС-6) – 22...30 раб. дн.

Соблюдение указанных перерывов («ожиданий») гарантирует качество строительства открытой сети.

Природно-климатические ожидания (ПКО) – это перерывы между работами, которые регламентируются природно-климатическими условиями района и объекта строительства.

Применительно к мелиоративному и водохозяйственному строительству этот вид ожиданий может иметь место в следующих случаях:

– невозможность выполнения работ из-за «распутицы». «Распутица» – это промежуток времени, когда несущая способность грунта не обеспечивает проходимость мелиоративно-строительных машин по объекту – 8...12 раб. дн.;

– невозможность выполнения некоторых видов работ из-за нахождения грунта в мерзлом состоянии (для его разработки требуется специальная технология);

– невозможность выполнения некоторых видов работ из-за высокого положения уровня грунтовых вод на объекте, которое, в свою очередь, негативно сказывается на проходимости и производительности применяемых машин.

Организационные ожидания (ОО) – это перерывы между работами, которые регламентируются организационными (производственными) условиями строительства объекта.

К числу таких «ожиданий» можно отнести:

– перерывы между «работами», необходимые для проведения плановых технических обслуживаний и текущих ремонтов машин, запланированных для выполнения работ на объекте;

– перерывы между «работами», необходимые для замены рабочего оборудования машин, выполняющих эти работы.

В сетевых моделях «ожидания» изображаются в виде сплошных стрелок произвольной длины, ориентированных в любом направлении. Над стрелкой указывается вид «ожидания», а под стрелкой – продолжительность перерыва.

Зависимость (фиктивные работы) – это обусловленность возможности начала или окончания запланированных работ на объекте какими-либо обстоятельствами.

Зависимости не требуют ни затрат времени, ни затрат ресурсов. В строительном производстве к таким обстоятельствам, обуславливающим возможность начала или окончания «работ», чаще всего относят:

– плановое и высотное расположение рабочих мест, на которых будут выполняться рассматриваемые работы;

– направление движения исполнителей рассматриваемых работ согласно принятой организационной схеме их работы;

– степень зависимости рассматриваемых работ в условиях данного объекта;

– принятые методы организации рассматриваемых работ в условиях данного объекта.

В зависимости от того, какие обстоятельства обуславливают возможность начала или окончания рассматриваемых работ на объекте, можно выделить несколько видов зависимостей.

Технологические зависимости (ТЗ) – обуславливают возможность последовательного метода организации зависимых или полузависимых работ, принадлежащих к одной или разным рабочим операциям.

Наличие ТЗ между «работами» обуславливает возможность начала последующей работы только после полного окончания предшествующей. О том, какая из двух работ последующая, а какая предшествующая, необходимо судить на основании принятой организационной схемы работы исполнителей на объекте (планируемая оптимальная очередность выполнения работ).

Организационные зависимости (ОЗ) – обуславливают возможность последовательного метода организации зависимых работ, принадлежащих к разным рабочим операциям, но выполняемых одним исполнителем.

Наличие ОЗ между «работами» обуславливает возможность начала каждой последующей работы только после полного окончания предыдущих работ.

Временные зависимости (ВЗ) – обуславливают возможность параллельного метода организации полузависимых и независимых работ, принадлежащих к одной или разным рабочим операциям и выполняемых разными исполнителями.

Наличие ВЗ между «работами» обуславливает возможность их одновременного начала или окончания на рассматриваемом объекте.

Таким образом, чтобы определить, какой вид зависимости можно использовать в сетевой модели, необходимо предварительно принять метод организации рассматриваемых работ на объекте. Возможны только два варианта методов организации: последовательный или параллельный. Для того чтобы принять конкретный вариант, необходимо определить, к какой группе по степени зависимости относятся рассматриваемые работы. Всего выделяют три группы работ: «зависимые», «независимые» и «полузависимые».

Выполнение полузависимых работ возможно с использованием как последовательного, так и параллельного метода их организации. Выбор конкретного метода зависит от направления движения исполнителей этих работ:

- если направления совпадают, применяют параллельный метод их организации;
- если направления противоположны, применяют последовательный метод их организации.

В сетевых моделях зависимости изображаются в виде прерывистой стрелки произвольной длины, ориентированной в любом направлении. Над стрелкой указывается вид зависимости.

4. Правила и техника построения топологии (структуры) сетевых моделей

Для разработки и составления топологии (структуры) сетевой модели организации производства работ на объекте необходимо знать:

- а) технологическую последовательность выполнения запланированных работ на каждом рабочем месте объекта;
- б) количество запланированных работ для каждой рабочей операции;
- в) плановое расположение рабочих мест на объекте и схемы планового расположения выемок и отвалов грунта;

г) организационную схему работы принятых исполнителей работ на объекте;

д) возможные методы организации выполнения запланированных работ на объекте;

е) специальные правила построения топологии сетевых моделей.

Далее рассмотрим специальные правила построения топологии сетевых моделей.

Правило использования ТО (рис. 11.2). Если на объекте между запланированными работами предусмотрены ТО, то в сетевой модели с их помощью соединяются: начальные события этих работ; конечные события этих работ; начальные и конечные события работ.

Если параллельным методом организуется выполнение независимых работ, то с помощью ТО соединяются только начальные или только конечные события этих работ. Если параллельным методом организуется выполнение полузависимых работ, то с помощью ТО соединяются начальные и конечные события этих работ.

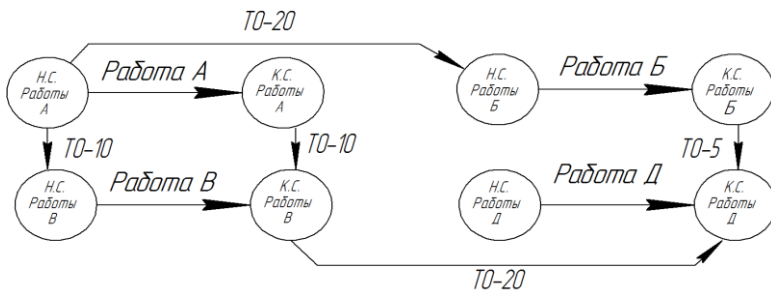


Рис. 11.2. Правило использования ТО

Технологическое ожидание показывает необходимое смещение во времени между началами или окончаниями работ, между которыми предусмотрен технологический перерыв.

Правило использования ПКО и ОО (рис. 11.3). Если между запланированными работами на объекте предусмотрены природно-климатические или организационные перерывы, то в сетевых моделях с помощью ПКО и ОО соединяют конечные и начальные события этих работ, между которыми предусмотрены эти перерывы.

Правило использования ТЗ и ОЗ (рис. 11.4). Если запланированные работы на объекте необходимо выполнять последовательным методом их организации, то в сетевых моделях с помощью ТЗ или ОЗ соединя-

ют конечные и начальные события работ, которые планируется выполнять этим методом.

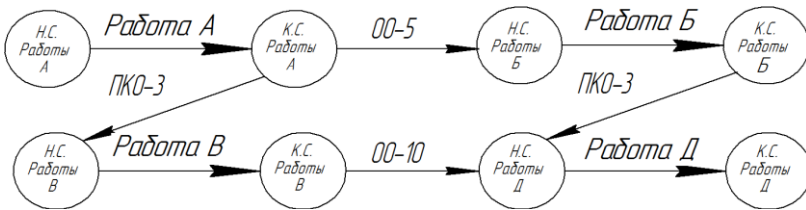


Рис. 11.3. Правило использования ПКО и ОО

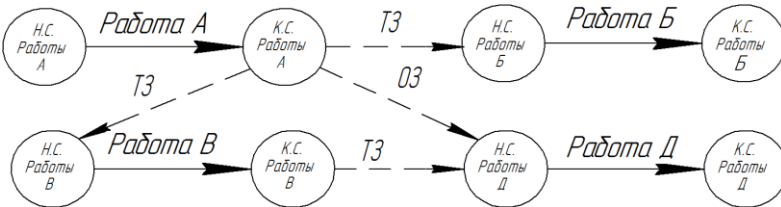


Рис. 11.4. Правило использования ТЗ и ОЗ

Правило использования ВЗ (рис. 11.5). Если запланированные работы на объекте необходимо выполнить с использованием параллельного метода их организации, то в сетевых моделях с помощью ВЗ соединяют начальные события этих работ; конечные события этих работ; начальные и конечные события работ.

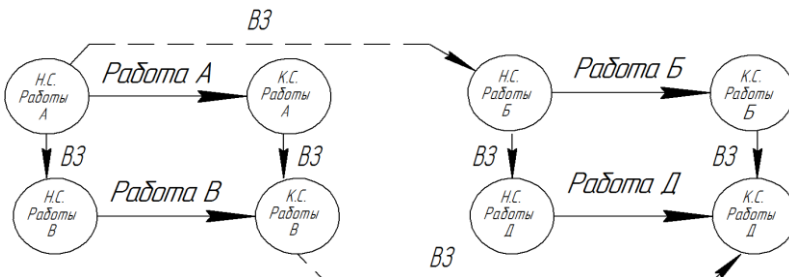


Рис. 11.5. Правило использования ВЗ

Если параллельным методом организуется выполнение независимых работ, то с помощью ВЗ соединяются только начальные или только конечные события этих работ. Если параллельным методом органи-

зуется выполнение полузависимых работ, то с помощью ВЗ соединяются начальные и конечные события этих работ.

Правило недопустимости «циклов» (рис. 11.6).

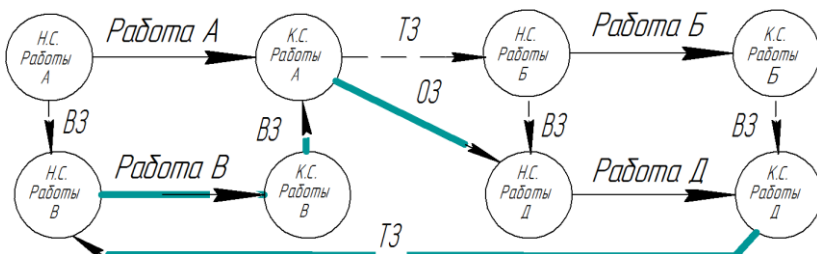


Рис. 11.6. Правило недопустимости «циклов»

Цикл – это любая непрерывная последовательность «работ», «ожиданий» и «зависимостей», возвращающаяся в то событие модели, откуда она вышла.

Цикл, который начинается в НС «работы В», проходит через «работу В», затем переходит на ВЗ, соединяющую КС «работы В» с КС «работы А». Затем цикл проходит по ОЗ, соединяющей КС «работы А» с НС «работы Д», проходит по «работе Д» и по ТЗ, соединяющей КС «работы Д» с НС «работы В», т. е. цикл состоит из двух работ (В и Д) и трех «зависимостей», одна из которых возвращает цикл в исходное положение (НС работы В).

Наличие «циклов» свидетельствует о том, что при составлении топологии сетевой модели нарушены технологические последовательности выполнения работ либо нарушены правила использования ТО, ПКО, ОО, ТЗ, ОЗ и ВЗ. Наличие «цикла» делает модель нерасчетной, т. е. у такой модели невозможно определить численное значение временных параметров работ.

Правило недопустимости «тупиков» и «хвостов» (рис. 11.7).

Тупик – это конечное событие одной из работ модели, не имеющее последующих «ожиданий» и «зависимостей», но не являющееся завершающим событием этой модели (ЗССМ).

Хвост – это начальное событие одной из работ модели, не имеющее предшествующих «ожиданий» и «зависимостей», но не являющееся исходным событием этой модели (ИССМ).

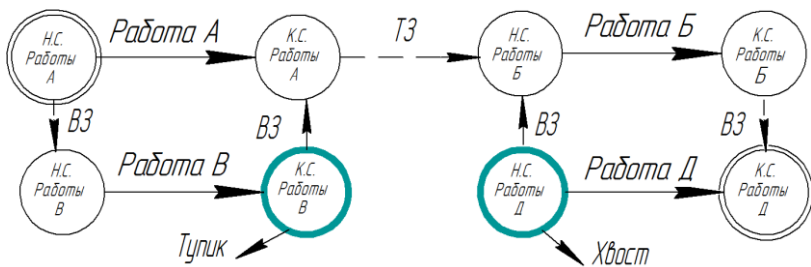


Рис. 11.7. Правило недопущения «тупиков» и «хвостов»

НС «работы А» является исходным событием сетевой модели (ИССМ), а КС «работы Д» – завершающим событием сетевой модели (ЗССМ). КС «работы В» не имеет последующих «ожиданий» и «зависимостей», но оно не является ЗССМ для данной модели. Значит, это и есть «тупик». НС «работы Д» не имеет предшествующих «ожиданий» и «зависимостей», но оно не является ИССМ для данной модели. Значит, это и есть «хвост».

Наличие «тупиков» или «хвостов» свидетельствует о том, что при разработке топологии сетевой модели не учтены и не показаны все существующие «ожидания» или «зависимости» между работами.

Наличие в модели «тупиков» или «хвостов» делает сетевую модель нерасчетной.

Правило «кодирования» сетевой модели (рис. 11.8). В сетевой модели каждая «работа», «ожидание» и «зависимость» должны иметь собственный неповторимый код. Код «работы» состоит из номеров его «начального» и «конечного событий». Коды «ожиданий» и «зависимостей» состоят из номеров тех событий, которые они соединяют согласно вышеизложенным правилам. При этом первая цифра кода не может быть больше второй цифры. Следовательно, чтобы установить коды «работ», «ожиданий» и «зависимостей», необходимо правильно пронумеровать все события рассматриваемой модели. Нумерация сетевой модели должна производиться по следующему алгоритму:

- на модели находят и обозначают двойным кружком исходное и завершающее события сетевой модели (ИССМ и ЗССМ);
- нумерация должна производиться от исходного к завершающему событию сетевой модели;
- первый порядковый номер присваивается исходному событию сетевой модели (ИССМ);
- на модели вычеркиваются все стрелки («работы», «ожидания» и «зависимости»), выходящие из пронумерованного события;

– следующий порядковый номер получает то событие модели, в которое входят только вычеркнутые стрелки. Если претендентов на следующий порядковый номер несколько, то их последовательно нумеруют сверху вниз и слева направо;

– последний порядковый номер обязательно должно получить завершающее событие сетевой модели (ЗССМ), он должен быть четным.

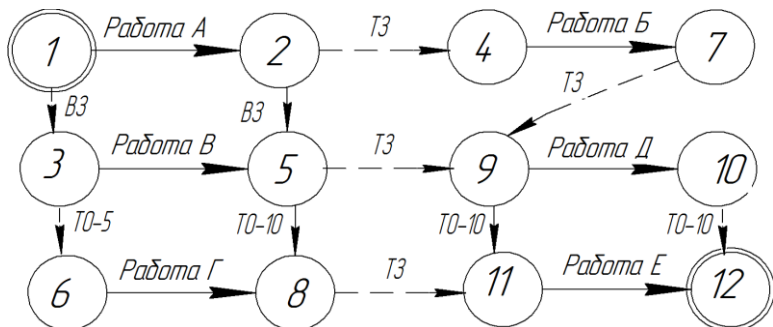


Рис. 11.8. Правило «кодирования» сетевой модели

После «кодирования» у каждой «работы», «ожидания» и «зависимости» появляется свой код. Например, «работа Б» имеет код 4 – 7; «работа Г» – код 6 – 8; «работа Д» – код 9 – 10; технологическое ожидание, соединяющее НС «работ В и Г», имеет код 3 – 6; технологическая зависимость, соединяющая КС «работы Б» и НС «работы Д», имеет код 7 – 9.

Принято, что первая цифра кода обозначается буквой i , а вторая цифра – буквой j . Неправильная кодировка сетевой модели делает модель нерасчетной. Кроме того, предлагаемый алгоритм нумерации событий сетевой модели позволяет выявить ранее допущенные ошибки, связанные с нарушением правила недопустимости «циклов» и правила недопустимости «тупиков» и «хвостов».

Техника разработки и составления топологии сетевой модели.

Разработку топологии сетевой модели удобнее осуществлять в табличной форме. Это позволяет наглядно представить увязку организуемых работ во времени и пространстве. Форма таблицы (табл. 1) позволяет соблюдать установленную технологическую последовательность выполнения запланированных рабочих операций на объекте на каждом рабочем месте.

Таблица 1. Топология сетевой модели организации производства работ

№ п. п.	Наименование рабочей операции	Исполнители работ на объекте			Модели организации работ на рабочих местах
		Марка	Количество	Номер	

В таблице каждой рабочей операции и каждому исполнителю выделяется отдельная строка.

Техника составления предусматривает приведенную ниже очередность разработки топологии сетевой модели (табл. 2).

Таблица 2. Пример топологии сетевой модели организации производства работ

№	Название рабочей операции	Исполнители работ на объекте		Номер	Модели организации работ		
		Марка	Кол-во		Канал 1	Канал 2	Канал 3
4	Устройство русел ПК	ЭО-3223	2	№4			
				№5			
5	Разравнивание отвалов (левая берма)	ДЗ-110	1	№5			
6	Разравнивание отвалов (правая берма)	ДЗ-110	1	№6			

1. В таблице в соответствующих строках и колонках изображаются все запланированные работы.

2. Над каждой изображенной работой указывается очередность ее выполнения (согласно принятой организационной схеме работы исполнителей на объекте).

3. Под каждой изображенной работой с помощью стрелок показывается предлагаемое направление движения исполнителя при выполнении рассматриваемой работы (согласно принятой организационной схеме работы исполнителей на объекте).

4. Осуществляется горизонтальная увязка организуемых работ во времени и пространстве.

Горизонтальная увязка требует выполнения следующих действий:

- определить, к какой группе относится рассматриваемая работа;
- определить возможный метод организации работ на объекте строительства;
- определить, с помощью каких зависимостей можно обусловливать принятый метод их организации;
- определить правила использования зависимостей.

Например, рабочая операция «Устройство проектных каналов» содержит три работы, но эти работы выполняются двумя исполнителями: ЭО-3223 № 4 и ЭО-3223 № 5. Две работы, выполняемые ЭО-3223 № 5, будут зависимыми, очередность их определена, в сетевой модели изображаем ТЗ₃₋₅. ЭО-3223 № 4 выполняет только одну работу. Поэтому на данном объекте эта работа и первая работа, выполняемая ЭО-3223 № 5, относится к группе независимых, для выполнения которых используется параллельный метод их организации. В сетевых моделях этот метод изображается с помощью ВЗ, соединяющих неполные либо конечные события этих работ. В представленном примере это будет ВЗ₁₋₂.

Пятую и шестую рабочие операции выполняет один исполнитель (ДЗ-110 № 6). Эти операции содержат пять работ. Горизонтальную увязку этих работ необходимо выполнять совместно. Эти работы относятся к группе зависимых, т. е. для их выполнения необходимо использовать последовательный метод организации. Последовательность их выполнения определена организационной схемой. Работы относятся к разным рабочим операциям, поэтому для горизонтальной увязки их во времени и пространстве необходимо использовать два вида «зависимостей»: ТЗ и ОЗ. В представленном примере работу 1 и работу 2 соединяет с помощью ОЗ₈₋₉, работы 2 и 3 – ОЗ₁₀₋₁₁, работы 3 и 4 – ТЗ₁₂₋₁₃, работы 4 и 5 – ОЗ₁₄₋₁₅.

Аналогичным образом осуществляется горизонтальная увязка во времени и пространстве всех остальных работ для каждой запланированной рабочей операции.

5. Осуществляется вертикальная увязка организуемых работ во времени и пространстве.

Вертикальная увязка требует выполнения следующих действий:

- определить, к какой группе относится рассматриваемая работа;
- определить возможный метод организации работ на объекте строительства;
- определить, с помощью каких зависимостей можно обусловливать принятый метод их организации;
- определить правила использования зависимостей.

Например, для канала 1.

Между работами, связанными с устройством проектных русел каналов (рабочая операция № 4), и работами, предусматривающими выравнивание экскаваторных отвалов (рабочие операции № 5 и № 6), технологией предусматривается ТО-2. В сетевой модели это требование гарантируется наличием следующих ТО-2: ТО-2₁₋₁₁, ТО-2₃₋₁₂, ТО-2₂₋₆, ТО-2₄₋₈, ТО-2₅₋₁₃ и ТО-2₇₋₁₄ и т. д.

Примечание. Для удобства объяснения техники составления топологии сетевой модели в приведенных примерах горизонтальной и вертикальной увязок работ во времени и в пространстве использовались коды «работ», «ожиданий» и «зависимостей». Реально кодирование сетевой модели возможно только после полного завершения составления топологии этой модели.

5. Временные параметры сетевых моделей и способы их расчета

Основные временные параметры работ в сетевой модели, позволяющие принимать оперативные управленческие решения в ходе строительства объекта, перечислены ниже.

1. Время раннего начала работ на объекте T_{i-j}^{PH} или время раннего свершения события сетевой модели T_{i-j}^{PC} .

2. Время позднего окончания работ на объекте $T_{i-j}^{ПО}$ или время позднего свершения события сетевой модели T_{i-j}^{PC} .

3. Полный резерв времени работы $R_{i-j}^П$ – количество рабочего времени, на которое можно увеличить расчетную продолжительность работы (t_{i-j}) или сместить ее время раннего начала T_{i-j}^{PH} , не изменяя при этом расчетной продолжительности строительства объекта.

4. Свободный резерв времени работы R_{i-j}^{c-p} – количество рабочего времени, на которое можно увеличить расчетную продолжительность работы (t_{i-j}) или сместить ее время раннего начала T_{i-j}^{PH} , не изменяя при этом времени раннего начала всех последующих работ.

5. Свободный резерв времени работы R_{i-j}^{c-n} – количество рабочего времени, на которое можно увеличить расчетную продолжительность работы (t_{i-j}) или сместить ее время позднего начала T_{i-j}^{PM} , не изменяя при этом времени позднего начала всех последующих работ.

6. Потенциал события $T_i^П$ – величина, которая показывает, сколько рабочего времени остается от момента свершения рассматриваемого события до окончания строительства объекта.

7. Продолжительность «критического» пути сетевой модели ($L_{кр}$) – это максимальная суммарная продолжительность «работ» и «ожиданий», лежащих на полном пути от исходного до завершающего события сетевой модели.

Полный путь – это любая непрерывная последовательность «работ», «ожиданий» и «зависимостей» от ИССМ до ЗССМ. У любой сетевой модели множество полных путей. Каждый из них характеризуется своей длиной, т. е. суммарной продолжительностью «работ» и «ожиданий», лежащих на этом пути («зависимости» не имеют продолжительности). Самый длинный – полный путь, называется критическим. Длина критического пути определяет расчетную продолжительность строительства объекта.

Помимо временных параметров работ сетевых моделей возможно рассчитать временные параметры самих сетевых моделей. К числу этих параметров относятся:

1. Коэффициент сложности модели:

$$K_c = (N_p + N_o + N_z) / N_c,$$

где N_p – количество работ в модели;

N_o – количество ожиданий всех видов в модели;

N_z – количество зависимостей всех видов;

N_c – количество событий сетевой модели.

Если коэффициент меньше двух, то такая модель называется несложной, а если больше – сложной.

2. $L_{кр}$ – длина критического пути – самый длинный по протяженности путь от исходного до завершающего события сетевой модели. Определяется на основании расчета и принимается равной расчетной продолжительности строительства.

3. НКП (направления критического пути) – это последовательное перемещение тех событий сетевой модели (от исходного до завершающего), через которые проходит критический путь. В сетевой модели может быть несколько НКП.

4. $T_{p,oi}^{\min}$, $T_{p,oi}^{\max}$ – минимальная и максимальная расчетная продолжительность выполнения i -й рабочей операции на объекте. Эти величины определяют минимально возможную и максимально возможную расчетную продолжительность любой рабочей операции, не влияющей на длину критического пути сетевой модели.

5. $R_{p,oi}$ – резерв времени i -й рабочей операции на объекте.

$$R_{p,oi} = T_{p,oi}^{\max} - T_{p,oi}^{\min} \geq 0.$$

6. $T_{p,on}^{\min}$, $T_{p,on}^{\max}$ – минимальная и максимальная расчетная продолжительность работы i -й машины на объекте строительства (независимо от

того, какие рабочие операции выполняет эта машина), это мини-мально возможная и максимально возможная расчетная продолжительность работ рассматриваемой машины на объекте, не влияющая на длину пути сетевой модели.

7. $R_{p.n}$ – резерв времени работы i -й машины на объекте.

$$R_{p.n} = T_{p.n}^{\max} - T_{p.n}^{\min} \geq 0.$$

8. $T_{p.j}^{\min}$, $T_{p.j}^{\max}$ – минимальная и максимальная расчетная продолжительность рабочего процесса на i -м рабочем месте объекта, это мини-мально возможная и максимально возможная расчетная продолжительность рассматриваемого рабочего процесса, не влияющая на длину критического пути сетевой модели.

9. $R_{p.j}$ – резерв времени i -го рабочего процесса.

$$R_{p.j} = T_{p.j}^{\max} - T_{p.j}^{\min} \geq 0.$$

В зависимости от коэффициента сложности в сетевых моделях применяют два основных способа расчета временных параметров. Для несложных моделей рекомендуется использовать ручной (секторный) способ расчета параметров.

Для этого способа принята следующая система записи результата расчета (рис. 11.9).

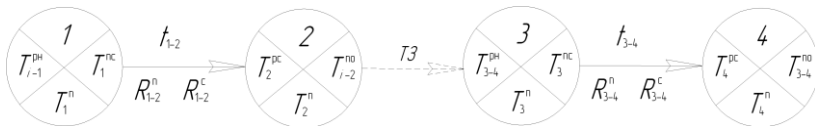


Рис. 11.9. Форма записи результатов при секторном способе расчета временных параметров сетевой модели

Каждое событие сетевой модели делится на четыре сектора:

- в левом секторе записывается T_{i-j}^{PH} или T_i^{PC} ;
- в правом секторе записывается T_{i-j}^{NO} или T_i^{PC} ;
- в нижнем секторе записывается T_i^N над стрелкой, изображающей работу, и ее расчетная продолжительность (t_{i-j}) согласно варианту В_{*i*} (исходные данные).

Если работу на объекте выполняет несколько машин, то ее расчетная продолжительность на каждом участке определяется путем деле-

ния расчетной продолжительности работы по варианту В_i на число машин. Это касается только работ, принадлежащих к рабочим операциям, выполнение которых запланировано за пределами данного объекта (рабочие операции № 5 и № 6);

– под стрелкой, изображающей работу, через точку с запятой записывается $R_{i,j}^n$ и $R_{i,j}^c$.

Алгоритм расчета секторным способом. Для расчета временных параметров составленная топология сетевой модели должна быть представлена в форме таблицы (табл. 3). События должны быть вычерчены в увеличенном размере, позволяющем разделить их на четыре сектора. В модели должны быть выделены ИССМ и ЗССМ. В верхнем секторе каждого события необходимо записать его номер согласно выполненной кодировке. Над каждой стрелкой, изображающей «рабо-ту», необходимо записать ее расчетную продолжительность (t_{i-j}).

Все «ожидания» в сетевой модели должны иметь продолжительность согласно приведенным выше рекомендациям.

Первый шаг алгоритма – определение величин T_{i-j}^{PH} или T_i^{PC} , которые записывают в левый сектор каждого события. Расчет производится от ИССМ к ЗССМ в порядке возрастания номеров события. В левом секторе первого события (ИССМ) записывается «ноль». Для последующих событий (в очередности 2, 3, 4, 5 и т. д.) значение T_{i-j}^{PH} или T_i^{PC} , вычисляется по формуле

$$T_{i-j}^{PH} (T_i^{PC}) = \max \left\{ T_{h-i}^{PH} (T_h^{PC}) + t_{h-i} \right\}$$

Например (табл. 11.3):

$$1) T_{3-5}^{PH} (T_3^{PC}) = \max \left\{ T_{1-3}^{PH} (T_1^{PC}) + t_{1-3} \right\} = 0 + 12 = 12;$$

$$2) T_{13-14}^{PH} (T_{13}^{PC}) = \max \left\{ T_{5-13}^{PH} (T_5^{PC}) + t_{5-13} \right\} = \max \left\{ 12 + 10 = 22 \right\} = 38.$$

Необходимо учитывать, что все виды «зависимостей» имеют нулевую продолжительность, но обязательно должны учитываться при расчете временных параметров работ.

В результате расчета в левом секторе события 16 (ЗССМ) записывается $T_{16}^{PC} = 49$ раб. дн. Это планируемая расчетная продолжительность строительства объекта в рабочих днях.

Второй шаг алгоритма – расчет величин $T_{i-j}^{\text{по}}$ или $T_{i-j}^{\text{пс}}$, которые записываются в правый сектор каждого события. Расчет производится от ЗССМ к ИССМ в порядке убывания номеров события (в очередности 16, 15, 14 и т. д. до 1). В правом секторе события 16 ЗССМ записываются значения левого сектора этого события, т. е. принимается, что

$$T_{\text{ЗССМ}}^{\text{рс}} = T_{\text{ЗССМ}}^{\text{пс}}$$

Для расчета $T_{i-j}^{\text{по}}$ или $T_{i-j}^{\text{пс}}$ используется следующая формула:

$$T_{i-j}^{\text{по}} (T_i^{\text{пс}}) = \min \left\{ T_{j-k}^{\text{по}} (T_k^{\text{пс}}) - t_{j-k} \right\}$$

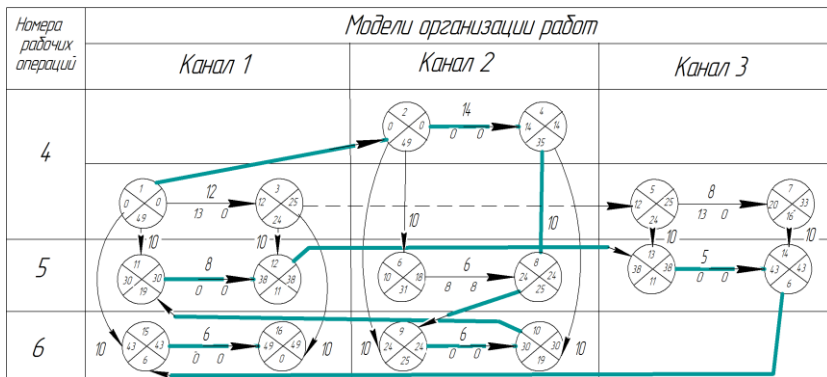
Например (табл. 11.3):

$$1) T_{15-16}^{\text{по}} (T_{15}^{\text{пс}}) = \min \left\{ T_{15-16}^{\text{по}} (T_{16}^{\text{пс}}) - t_{15-16} \right\} = \min \{ 49 - 6 = 43 \} = 43 \text{ раб. дн.};$$

$$2) T_{5-7}^{\text{по}} (T_5^{\text{пс}}) = \min \left\{ \begin{array}{l} T_{5-7}^{\text{по}} (T_7^{\text{пс}}) - t_{5-7} \\ T_{5-13}^{\text{по}} (T_{13}^{\text{пс}}) - t_{5-13} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 33 - 8 = 25 \\ 38 - 10 = 28 \end{array} \right\} = 25 \text{ раб. дн.}$$

При расчете $T_{i-j}^{\text{по}}$ или $T_{i-j}^{\text{пс}}$ необходимо обязательно учитывать, сколько «работ», «ожиданий» и «зависимостей» выходит из рассматриваемого события, и для каждой из них рассчитывается искомая разница.

Таблица 3. Результаты расчета временных параметров работ сетевой модели



Контроль правильности расчета:

– в правом секторе события 1 (ИССМ) обязательно должно получиться нулевое значение: $T_1^{nc} = 0$.

– для любого события сетевой модели значение правого сектора не может быть меньше значения левого сектора: $T_i^{nc} \geq T_i^{pc}$.

Третий шаг алгоритма – расчет величин T_i^n , которые записываются в нижний сектор каждого события. Расчет производится от ЗССМ к ИССМ в порядке убывания номеров событий (в очередности 16, 15, 14 и т. д. до 1). Потенциал ЗССМ принимается равным нулю, т. е. $T_{16}^n = 0$.

Для расчета необходимо использовать следующую формулу:

$$T_i^n = \max \{ T_j^n + t_{i-j} \}$$

Например (см. табл. 11.3):

$$1) T_{15}^n = \max \{ T_{16}^n + t_{15-16} \} = \max \{ 0 + 6 = 6 \} = 6 \text{ раб. дн.};$$

$$2) T_5^n = \max \left\{ \begin{array}{l} T_7^n + t_{5-7} \\ T_{13}^n + t_{5-13} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 16 + 8 = 24 \\ 11 + 10 = 21 \end{array} \right\} = 24 \text{ раб. дн.}$$

Контроль правильности расчета:

– потенциал ИССМ должен равняться планируемой расчетной продолжительности строительства, т. е.

$$T_{\text{ИССМ}}^n = T_{\text{ЗССМ}}^{pc} = T_{\text{ЗССМ}}^{nc}.$$

В приведенном примере

$$T_1^n = T_{16}^{pc} = T_{16}^{nc} = 49 \text{ раб. дн.}$$

Четвертый шаг алгоритма – расчет величин полного резерва времени «работ» и «ожиданий» сетевой модели. Расчет производится в любой последовательности, при этом необходимо использовать формулу

$$R_{i-j}^n = T_{i-j}^{no} (T_j^{nc}) - T_{i-j}^{ph} (T_i^{pc}) - t_{i-j}.$$

Например (см. табл. 11.3):

$$R_{11-12}^n = T_{11-12}^{no} (T_{12}^{nc}) - T_{11-12}^{ph} (T_{11}^{pc}) - t_{11-12} = 38 - 30 - 8 = 0.$$

Контроль правильности расчета:

– значение R_{i-j}^n не может быть отрицательным, т. е. $R_{i-j}^n \geq 0$.

Пятый шаг алгоритма – расчет величин свободного резерва времени «работ» и «ожиданий» сетевой модели. Расчет производится в любой последовательности, при этом необходимо использовать формулу

$$R_{i-j}^c = T_{j-k}^{\text{пн}} (T_j^{\text{пс}}) - T_{i-j}^{\text{пн}} (T_i^{\text{пс}}) - t_{i-j};$$

$$R_{i-j}^{c, \text{п}} = T_{j-k}^{\text{пн}} (T_j^{\text{пс}}) - T_{i-j}^{\text{пн}} (T_i^{\text{пс}}) - t_{i-j}.$$

Например (см. табл. 11.3):

$$R_{13-14}^c = T_{14-15}^{\text{пн}} (T_{14}^{\text{пс}}) - T_{13-14}^{\text{пн}} (T_{13}^{\text{пс}}) - t_{13-14} = 43 - 38 - 5 = 0;$$

$$R_{13-14}^{c, \text{п}} = T_{14-15}^{\text{пн}} (T_{14}^{\text{пс}}) - T_{13-14}^{\text{пн}} (T_{13}^{\text{пс}}) - t_{13-14} = 43 - 38 - 5 = 0.$$

Контроль правильности расчета:

– значение R_{i-j}^c не может быть отрицательным, т. е. $R_{i-j}^c \geq 0$;

– значение R_{i-j}^c не может быть больше значения R_{i-j}^n , т. е.

$$R_{i-j}^c \leq R_{i-j}^n.$$

После приведенных расчетов величин временных параметров на сетевой модели выделяют (утолщенными линиями) все «работы» и «ожидания», у которых оба резерва времени равны нулю, т. е. $R_{i-j}^n = R_{i-j}^c = 0$.

Эти работы на данном объекте являются главными (критическими), которые требуют первоочередного внимания от производителя работ.

Чтобы определить направление «критического» пути сетевой модели, необходимо выделить те «зависимости», которые соединяют конечные и начальные события выделенных главных (критических) работ. В приведенном примере критический путь сетевой модели проходит через следующие события:

$$\text{НКП} = 1 - 2 - 4 - 8 - 9 - 10 - 11 - 12 - 13 - 14 - 15 - 16;$$

$$L_{\text{кр}} = 14 + 10 + 6 + 8 + 5 + 6 = 49 \text{ раб. дн.}$$

Временные параметры сетевой модели с коэффициентом сложности больше двух рекомендуется рассчитать табличным способом с помощью компьютерной программы.

Алгоритм расчета с помощью компьютера.

Для расчета временных параметров сетевой модели необходимо наличие следующих исходных материалов:

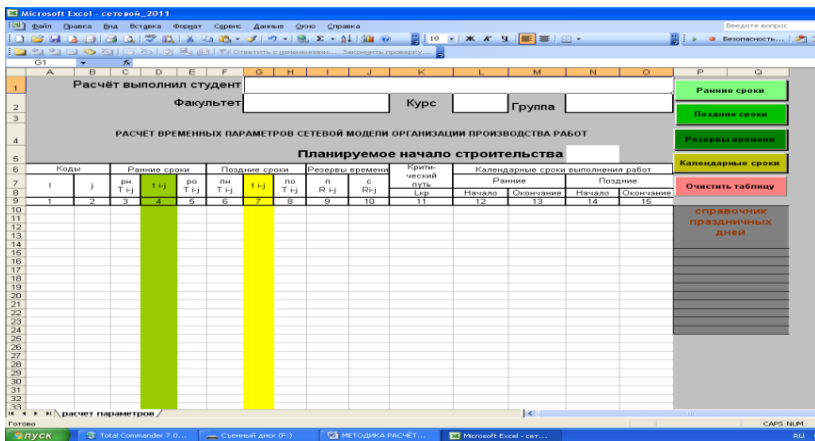
- топология (структура) сетевой модели организации производства работы на объекте с пронумерованными событиями (кодировка модели);
- расчетные продолжительности выполнения на объекте всех за-планированных работ (t_{i-j} , раб. дн.);
- принятые продолжительности всех запланированных ожиданий (перерывов) между работами на объекте, раб. дн.;
- календарная дата начала строительства объекта (число, месяц, год);
- даты праздничных дней того года, в котором запланировано строительство объекта (дата, месяц).

Для расчета временных параметров сетевой модели с помощью ПК можно использовать таблицу Microsoft Excel «Сетевой 2011». Алгоритм использования должен быть следующим.

Шаг 1. Вызывается Total Commander.

Шаг 2. Выбирается таблица Microsoft Excel «Сетевой 2011». При этом действия на экране монитора появляется следующая таблица (табл. 4).

Таблица 4. Microsoft Excel «Сетевой 2011»



Шаг 3. В верхнюю часть таблицы вносят данные об исполнителе (фамилия, имя и отчество студента; факультет, курс, группа).

Шаг 4. В ячейку «Планируемое начало строительства» вносят дату, месяц и год начала строительства объекта.

Шаг 5. В ячейку «Справочник праздничных дней» вносят даты и месяцы всех праздничных дней планируемого года строительства объекта. Для этого используется производственный календарь того года, в котором осуществляется строительство объекта. Выходные дни (субботы и воскресенья) вносить не надо, так как они учитываются автоматически.

Шаг 6. Заполняют колонки 1, 2 и 4 таблицы. Используя топологию (структуру) сетевой модели, в колонки 1 и 2 заносят коды i и j всех «работ», «ожиданий» и «зависимостей», которые входят в топологию сетевой модели, а в колонку 4 одновременно заносят численные значения расчетных продолжительностей работ (t_{i-j}), планируемых продолжительностей «ожиданий» (для «зависимостей» всех видов в колонку 4 заносят 0). При заполнении колонок 1 и 2 необходимо строго придерживаться следующего правила: **заполнение колонок необходимо производить в порядке возрастания номеров событий сетевой модели.**

Начинать необходимо с события с первым порядковым номером. Заносят все «работы», «ожидания» и «зависимости», которые выходят из события № 1 (колонка 1). В колонку 2 заносят номера событий, в которые входят эти «работы», «ожидания» и «зависимости», при этом в первую очередь заносят те события, которые имеют меньший порядковый номер. Например: 1–2; 1–3; 1–11. Затем то же самое выполнить для события № 2 (колонка 1), т. е. 2–4; 2–6; 2–9. Таким образом, необходимо заполнить колонки 1, 2 и 4 для всех «работ», «ожиданий» и «зависимостей», которые включены в топологию модели.

Шаг 7. В правом верхнем углу таблицы необходимо нажать клавиши «Ранние сроки», «Поздние сроки», «Резервы времени» и «Календарные сроки».

При нажатии клавиш «Ранние сроки» и «Календарные сроки» в колонках 3 и 5 появляются величины таких временных параметров, как T_{i-j}^{PH} и T_{i-j}^{PO} , а в колонках 12 и 13 – календарные сроки выполнения запланированных работ на объекте (начало и окончание).

При нажатии клавиш «Поздние сроки» и «Календарные сроки» в колонках 6 и 8 появляются величины таких временных параметров, как T_{i-j}^{PH} и T_{i-j}^{PO} , а в колонках 14 и 15 – календарные сроки выполнения запланированных работ на объекте (начало и окончание), соответствующие поздним срокам их выполнения.

При нажатии клавиши «Резервы времени» в колонках 9 и 10 появляются величины таких временных параметров, как R_{i-j}^n и R_{i-j}^c . При выполнении этой операции одновременно заполняется колонка 11, в которой показываются коды тех «работ», «ожиданий» и «зависимостей» i и j , для которых значения $R_{i-j}^n = R_{i-j}^c = 0$. Эти «работы» и «ожидания» называются критическими, а «зависимости» – существенными. В колонку 7 автоматически переносятся данные колонки 4 при ее заполнении (см. шаг 6).

Шаг 8. Полученную таблицу с результатами расчета временных параметров необходимо сохранить как файл Microsoft Excel и распечатать, выделив те параметры, которые необходимо было рассчитать (табл. 5).

Таблица 5. Результат расчета временных параметров

Расчёт выполнил студент											Сидоров Иван Иванович					
Факультет											Курс		Группа			
РАСЧЁТ ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ СЕТЕВОЙ МОДЕЛИ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ																
Планируемое начало строительства															06.04.2015	
Коды		Ранние сроки			Поздние сроки			Резервы времени			Критический путь	Календарные сроки выполнения работ				
i	j	R_{i-j}^n	t_{i-j}	R_{i-j}^c	R_{i-j}^n	t_{i-j}	R_{i-j}^c	R_{i-j}^n	R_{i-j}^c	Лкр		Ранние		Поздние		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 - 2	06.04.2015	06.04.2015	06.04.2015	06.04.2015	
1	3	0	12	12	13	12	25	13	0	0		06.04.2015	21.04.2015	22.04.2015	08.05.2015	
1	11	0	10	10	20	10	30	20	20	0		06.04.2015	17.04.2015	02.05.2015	15.05.2015	
2	4	0	14	14	0	14	14	0	0	2 - 4	06.04.2015	23.04.2015	06.04.2015	23.04.2015		
2	6	0	10	10	8	10	18	8	0	0	06.04.2015	17.04.2015	15.04.2015	29.04.2015		
2	9	0	10	10	14	10	24	14	14	0	06.04.2015	17.04.2015	23.04.2015	07.05.2015		
3	5	12	0	12	25	0	25	13	0	0	21.04.2015	21.04.2015	08.05.2015	08.05.2015		
3	12	12	10	22	28	10	38	16	16	0	21.04.2015	05.05.2015	13.05.2015	27.05.2015		
4	8	14	10	24	14	10	24	0	0	4 - 8	23.04.2015	07.05.2015	23.04.2015	07.05.2015		
4	10	14	10	24	20	10	30	6	6	0	23.04.2015	07.05.2015	02.05.2015	15.05.2015		
5	7	12	8	20	25	8	33	13	0	0	21.04.2015	02.05.2015	08.05.2015	20.05.2015		
5	13	12	10	22	28	10	38	16	16	0	21.04.2015	05.05.2015	13.05.2015	27.05.2015		
6	8	10	6	16	18	6	24	8	8	0	17.04.2015	27.04.2015	29.04.2015	07.05.2015		
7	14	20	10	30	33	10	43	13	13	0	02.05.2015	15.05.2015	20.05.2015	03.06.2015		
8	9	24	0	24	24	0	24	0	0	8 - 9	07.05.2015	07.05.2015	07.05.2015	07.05.2015		
9	10	24	6	30	24	6	30	0	0	9 - 10	07.05.2015	15.05.2015	07.05.2015	15.05.2015		
10	11	30	0	30	30	0	30	0	0	10 - 11	15.05.2015	15.05.2015	15.05.2015	15.05.2015		
11	12	30	8	38	30	8	38	0	0	11 - 12	15.05.2015	27.05.2015	15.05.2015	27.05.2015		
12	13	38	0	38	38	0	38	0	0	12 - 13	27.05.2015	27.05.2015	27.05.2015	27.05.2015		
13	14	38	5	43	38	5	43	0	0	13 - 14	27.05.2015	03.06.2015	27.05.2015	03.06.2015		
14	15	43	0	43	43	0	43	0	0	14 - 15	03.06.2015	03.06.2015	03.06.2015	03.06.2015		
15	16	43	6	49	43	6	49	0	0	15 - 16	03.06.2015	11.06.2015	03.06.2015	11.06.2015		
Длина критического пути (продолжительность строительства) Лкр =											49	дней				

Шаг 9. После работы с данными таблицы их можно удалить, используя клавишу «Очистить таблицу».

Шаг 10. Определяется и записывается направление критического пути сетевой модели. Используя данные колонки 11, последовательно выписывают коды критических «работ», «ожиданий» и существенных «зависимостей»:

$$\text{НКП} = 1 - 2 - 4 - 8 - 9 - 10 - 11 - 12 - 13 - 14 - 15 - 16;$$

$$L_{\text{кр}} = 14 + 10 + 6 + 8 + 5 + 6 = 49 \text{ раб. дн.}$$

Полученный вариант критического пути необходимо сравнить с длиной пути, полученного при расчете секторным способом, они должны быть одинаковые.

Результаты расчета временных параметров являются исходными данными для построения календарного плана производства работ на объекте.

На основании проведенных расчетов определяем расчетную продолжительность рабочих операций на объекте. Для этого необходимо знать:

- коды работ, принадлежащие к рассматриваемым рабочим операциям;
- величины временных параметров этих работ (время раннего начала, время раннего окончания, время позднего окончания (см. табл. 11.5).

Расчет производится по следующему алгоритму:

Шаг 1. В рассматриваемой рабочей операции выбираем минимальное раннее начало работ, принадлежащих к этой операции, и помечаем соответствующим знаком.

Шаг 2. Выбираем максимальное раннее окончание из рассматриваемых работ и тоже их помечаем.

Шаг 3. Минимально возможная расчетная продолжительность рассматриваемой рабочей операции будет равна разности раннего окончания и раннего начала работ.

Шаг 4. Для найденных работ находим максимальное значение позднего окончания.

Шаг 5. Определяем максимально возможную продолжительность рабочих операций.

Шаг 6. Находим максимальную продолжительность. Для этого находим разницу между минимальным и максимальным значениями.

Шаг 7. Определяем полный резерв времени рабочих операций.

Результаты расчетов представлены в табл. 6.

Далее определяем расчетные продолжительности запроектированных сооружений на объекте (т. е. каналов).

Для этого необходимо знать:

- коды работ, которые необходимо выполнить, чтобы построить каждый канал;
- временные параметры.

Таблица 6. Определение расчетной продолжительности рабочих операций

№ п. п.	Наименование рабочих операций	Коды работ		Временные параметры			Продолжительность работ		
		<i>i</i>	<i>j</i>	T_{i-j}^{PH}	T_{i-j}^{PO}	T_i^{PO}	T_i^{min}	T_i^{max}	R_i^H
4	Устройство русел	1	3	0	12	25	20	33	13
		2	4	0	14	14			
		5	7	12	20	33			
5	Разравнивание отвалов ПК (левая берма)	6	8	10	16	24	33	33	0
		11	12	30	38	38			
		13	14	38	43	43			
6	Разравнивание отвалов ПК (правая берма)	9	10	24	30	30	25	25	0
		15	16	43	49	49			

Расчет продолжительности строительства каналов ведем по аналогичному алгоритму, представленному выше.

Результаты расчета заносим в табл. 7.

Таблица 7. Расчет продолжительности рабочих процессов

№ п. п.	Наименование сооружений объекта	Коды работ		Временные параметры			Продолжительность работ		
		<i>i</i>	<i>j</i>	T_{i-j}^{PH}	T_{i-j}^{PO}	T_i^{PH}	T_i^{min}	T_i^{max}	R_i^H
1	Канал 1	1	3	0	12	25	49	49	0
		11	12	30	38	38			
		15	16	43	49	49			
2	Канал 2	2	4	0	14	14	30	30	0
		6	8	10	16	24			
		9	10	24	30	30			
3	Канал 3	5	7	12	20	33	31	31	0
		13	14	38	43	43			

Возможно также определить расчетную продолжительность работы на объекте каждого комплекта машин. Принцип расчета такой же, как представлен выше.

6. Методы и способы корректировки сетевых моделей по времени

Корректировка по времени. Рекомендуется первоначально кор-ректировать сети по критерию «время», а затем по отдельным видам ресурсов. Корректировка по времени имеет цель сократить общую продолжительность работ, т. е. длину критического и других путей до величины, обеспечивающей ввод объектов в заданные сроки.

Корректировка предполагает только критические «работы» объекта и те «ожидания», которые лежат на критическом пути, т. е. «работы» и «ожидания», у которых оба резерва равны нулю.

Для корректировки применяются разные методы:

1) корректировка по времени без изменения топологии сетевой модели.

Для данного метода можно применять следующие способы:

– увеличение (если это возможно) коэффициента сменности работы машин, выполняющих критические «работы» на объекте. Это способ позволяет корректировать расчетную продолжительность выполнения работ на объекте;

– использование для выполнения критических «работ» на объекте более высокопроизводительных машин;

– сокращение до минимума продолжительности технологических «ожиданий», которые лежат на критическом пути.

Если способы первого метода не дают ожидаемого результата, то необходимо использовать второй метод;

2) корректировка по времени с частичным изменением топологии сетевой модели.

Для данного метода можно применять следующие способы:

– перенесение ранее принятых границ участков работы тех машин, которые на объекте выполняют критические «работы»;

– пересмотр ранее принятой очередности выполнения критических «работ» на объекте. Планировать первую очередность выполнения критических «работ» на объекте, а потом всех остальных для каждого машинокомплекта;

– пересмотр ранее принятых направлений движения машин, выполняющих критические «работы» на объекте, если это возможно и даже если они не будут оптимальны.

Если способы и второго метода не дают ожидаемого результата, то необходимо использовать третий метод;

3) корректировка по времени с полным изменением топологии сетевой модели.

Для данного метода можно применять следующие способы:

– привлечение для выполнения критических «работ» на объект дополнительных машин, не предусмотренных расчетов;

– изменение технологии строительства объекта за счет исключения некоторых рабочих операций (если это возможно).