

Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Уральский государственный университет путей сообщения
Кафедра «Путь и железнодорожное строительство»

А. Ю. Шаров
Л. Ф. Юшаков

**ОРГАНИЗАЦИЯ, ПЛАНИРОВАНИЕ
И УПРАВЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ
СТРОИТЕЛЬСТВОМ И ТЕХНИЧЕСКИМ
ОБСЛУЖИВАНИЕМ**

Екатеринбург
УрГУПС
2016

Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Уральский государственный университет путей сообщения
Кафедра «Путь и железнодорожное строительство»

А. Ю. Шаров
Л. Ф. Юшаков

ОРГАНИЗАЦИЯ, ПЛАНИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ СТРОИТЕЛЬСТВОМ И ТЕХНИЧЕСКИМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ

Методические рекомендации
к выполнению лабораторных работ по дисциплине
«Организация, планирование и управление железнодорожным
строительством и техническим обслуживанием»
для студентов специальности 23.05.06 «Строительство
железных дорог, мостов и транспортных тоннелей»
очной и заочной форм обучения

Екатеринбург
УрГУПС
2016

УДК 625.1
Ш26

Шаров, А. Ю.

Ш26 Организация, планирование и управление железнодорожным строительством и техническим обслуживанием : методические рекомендации / А. Ю. Шаров, Л. Ф. Юшаков. – Екатеринбург : УрГУПС, 2016. – 53, [3] с.

Методические рекомендации составлены для студентов строительного и заочного факультетов, изучающих дисциплину «Организация, планирование и управление железнодорожным строительством и техническим обслуживанием», раздел «Организация, планирование и управление железнодорожным строительством».

Приведены основные теоретические данные по темам работ, методика и порядок их выполнения, требования к оформлению и защите работы.

Предназначены для студентов очной и заочной форм обучения по специальности 23.05.06 «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей»

УДК 625.1

Опубликовано по решению редакционно-издательского совета университета

Авторы:

А. Ю. Шаров, канд. техн. наук, доцент кафедры «Путь и железнодорожное строительство» УрГУПС

Л. Ф. Юшаков, канд. техн. наук, доцент

Рецензент:

Ю. В. Горелов, канд. техн. наук, заведующий кафедрой «Мосты и транспортные тоннели», УрГУПС

© Уральский государственный университет
путей сообщения (УрГУПС), 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1. Лабораторная работа 1. Определение по ЕНиР норм, расценок и поправочных коэффициентов	10
2. Лабораторные работы 2–4. Оптимизация распределения земляных масс.....	13
3. Лабораторные работы 5, 6. Расчет и оптимизация графиков поточного строительства.....	33
4. Лабораторные работы 7–9. Сетевое моделирование строительства	43
Библиографический список	53

ВВЕДЕНИЕ

Большое значение при организации, планировании и управлении железнодорожным строительством имеет правильное определение сроков производства и объема работ, которые связаны с долей сметной стоимости, идущей на оплату труда. Кроме того, при аккордной оплате труда объем работ участвует в расчете нормативного времени выполнения работ, сокращение которого стимулируется премией. Затраты на премирование заложены в смету по статье «Прочие работы и затраты». Все это говорит о том, что правильное определение объема работ обеспечивает правильное расходование денежных средств.

В то же время, сокращение сроков работ, как правило, связывается с увеличением ресурсов, привлекаемых к строительству, и в целом это верно, однако при поточной организации работ может сложиться такая специфическая ситуация, когда именно уменьшение числа рабочих в каком-либо потоке приведет к сокращению срока строительства. Это становится возможным в том случае, когда внутри графика есть поток с высоким темпом работ, а смежные с ним потоки имеют низкий темп.

Особое значение для оптимизации сроков выполнения работ, трудозатрат, технического оснащения и т.д. имеют сетевые модели.

Сетевые модели полезны при планировании и реализации сложных проектов и позволяют выделить наиболее напряженный (критический) путь работ и резервы времени, пользуясь которыми можно осуществлять корректирование срока строительства, численности рабочих, потребления материалов и конструкций, расходования денежных средств, что позволяет решить поставленную задачу.

Настоящие методические указания предназначены для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Организация, планирование и управление железнодорожным строительством и техническим обслуживанием железнодорожного пути».

В соответствии с учебным планом и рабочей программой дисциплины студенты выполняют лабораторные работы, целью которых является расширение и закрепление знаний по технологии и механизации строительных работ, полученных в лекционном курсе, формирование компетенций ОК-5, ОПК-10, ПК-22 и приобретение определенных умений и навыков.

Лабораторные работы проводятся в специализированной аудитории, оснащенной компьютерами, мультимедийными средствами для показа слайдов, презентаций, видеофильмов и т.п.

До проведения лабораторной работы преподаватель формирует в образовательной среде Blackboard Learn задание по подготовке к работе, в котором указывается тема, литература для подготовки, необходимый теоретический материал и условия задачи по теме занятия.

Студент обязан подготовиться к занятию, проработав теоретический материал по теме работы. Без теоретической подготовки студент к занятию не допускается.

Если студент пропустил лабораторное занятие по уважительной причине, то допускается к отработке пропущенной работы в течение семестра в специально отведенное кафедрой время.

Если лабораторное занятие пропущено без уважительной причины, студент обязан проделать работу в течение ближайших двух недель.

Студент, самовольно ушедший с занятия, считается пропустившим занятие без уважительной причины.

На лабораторные занятия принцип свободного посещения не распространяется.

Во время лабораторных занятий студенты обязаны активно участвовать в работе, не допускать разговоров на посторонние темы, хождения по лаборатории.

После проведения лабораторной работы студент оформляет отчет и представляет его в печатном (письменном) виде или в электронном виде в образовательной среде Blackboard Learn. По результатам проверки представленной работы преподаватель оценивает ее в соответствии с критериями оценки.

Отчеты по лабораторным занятиям должны быть представлены в сроки, установленные учебным графиком. Студенты, пропустившие и не отработавшие лабораторные занятия, а также не защитившие отчетов по результатам занятий, не допускаются к промежуточной аттестации.

Требования к содержанию отчетов по лабораторным занятиям:

– отчет должен соответствовать тематике занятия;

– отчет должен содержать теоретическую и практическую части. Практическая часть подтверждает теоретические выводы и включает в себя решение задач в соответствии с темой занятия;

– отчет может содержать как текстовый, так и графический материал, дополняться иллюстрациями в виде фотографий, рисунков, схем и т.д.;

– при формировании отчета студент должен проявить творческий, самостоятельный подход к изложению материала, умение выразить своё мнение по теме отчета;

– не допускается механическое переписывание материала учебника или лекций;

– в отчете допускается цитирование первоисточников со ссылками на номер работы, указанный в списке используемой литературы, и страницу

Требования к оформлению отчетов по лабораторным занятиям:

– объём отчета – до 10 страниц машинописного текста стандартного формата А4; на страницах отчета необходимо оставлять поля для замечаний преподавателя;

– страницы отчета нумеруются, титульный лист является первой страницей отчета (номер страницы на титульном листе не проставляется); на второй странице даётся цель лабораторного занятия, его план; далее следуют теоретическая часть и решение практических задач; все иллюстрации и таблицы должны быть пронумерованы, каждую иллюстрацию необходимо снабжать подрисуночной надписью, таблицы с заголовками должны быть помещены в тексте после абзацев, содержащих ссылки на них;

– тексты цитат заключаются в кавычки и сопровождаются сноской;

– в конце отчета приводится список использованной литературы и иных источников информации в алфавитном порядке;

– небрежность в изложении и оформлении не допускается.

Выполнению лабораторных работ должно предшествовать самостоятельное изучение студентом рекомендованной литературы и других источников информации.

Ответы на теоретические вопросы должны отражать необходимую и достаточную компетенцию студента, содержать краткие и четкие формулировки, убедительную аргументацию, доказательность и обоснованность выводов, быть логически выстроены.

Решения практических задач должны сопровождаться краткими, но исчерпывающими пояснениями (аргументами).

Отчеты должны быть представлены на проверку преподавателю не позднее, чем за 20 дней, а защищены не позднее, чем за 10 дней до начала экзаменационной сессии. Отчет, выполненный и оформленный без соблюдения требований или не полностью, к защите не допускается и возвращается студенту для его выполнения в соответствии с темой.

До начала сессии студент обязан защитить отчеты по всем лабораторным работам, указанным в РПД дисциплины.

Требования к выполнению и защите лабораторной работы

Требования	Балл			
	10	15	20	25
Изучить материалы темы, выделить главное и второстепенное и установить логическую связь между элементами темы	Выделяет главное и второстепенное в рассмотренном материале, не может установить логическую связь между элементами	Выделяет основные моменты, но путает главное и второстепенное нарушает логическую связь между элементами,	Выделяет главное и второстепенное, допуская незначительные ошибки, устанавливает логическую связь между элементами, но нарушает ее в изложении материала	Полностью ориентируется в материале, выделяет главное и второстепенное, устанавливает логическую взаимосвязь между элементами, соблюдает ее при изложении материала
Выполнить расчеты в соответствии с темой занятия, оценить результаты расчетов и сформулировать выводы	Расчеты выполнены не в полном объеме	Расчеты выполнены в полном объеме, но содержат ошибки, которые студент не может исправить самостоятельно, не может выделить главную информацию, оценить результаты расчетов и сделать выводы	Расчеты выполнены в полном объеме, но содержат незначительные ошибки, которые студент исправляет после замечаний преподавателя, умеет акцентировать главную информацию, оценивает результаты расчетов, делает выводы, но недостаточно в них уверен	Расчеты выполнены в полном объеме без ошибок и замечаний, самостоятельно и уверенно выделяет главную информацию, оценивает результаты расчетов, делает выводы, принимает проектные решения
Оформить отчет и предоставить к установленному сроку	Минимальное соответствие требованиям	Содержание соответствует требованиям, имеются незначительные ошибки. Оформление не в полной мере соответствует требованиям	Содержание соответствует требованиям, имеются незначительные ошибки. Оформление в полной мере соответствует требованиям	Содержание соответствует требованиям, ошибки отсутствуют. Оформление в полной мере соответствует требованиям

Защитить результаты работы	Даны неполные ответы на поставленные вопросы, допущены существенные ошибки в теоретическом и практическом материале; сформированность умений не показана	Даны неполные ответы на поставленные вопросы, логика и последовательность изложения имеют некоторые нарушения, допущены несущественные ошибки в изложении теоретического материала и трактовке результатов расчетов; сформированность умений показана слабо,	Даны полные, развернутые ответы на поставленные вопросы, показано умение выделять существенные и несущественные моменты материала; однако были допущены неточности в терминах, выводах и т.п.	Даны полные, развернутые ответы на поставленные вопросы; показана совокупность осознанных знаний по теме работы.
----------------------------	--	--	---	--

Таблица 2

Критерии оценки выполнения лабораторных работ

Балл	Критерии оценивания	Оценка
100– 81	Расчеты выполнены полностью, выводы сделаны, проектные решения приняты, оформление и содержание отчета соответствует требованиям, в представленном отчете обоснованно получено правильное выполненное задание, отчет защищен	Работа зачитывается
80–60	Расчеты выполнены полностью, но нет достаточного обоснования или при верном решении допущена незначительная ошибка, не влияющая на правильную последовательность рассуждений, отчет защищен	Работа зачитывается после дополнительного собеседования
Менее 60	Задание не выполнено	Работа возвращается студенту на исправление

1. Лабораторная работа 1

Определение по ЕНиР норм, расценок и поправочных коэффициентов

Цель работы – получение с помощью ЕНиР необходимых данных для проектирования производства работ и оплаты труда (нормы времени и расценки), а также определение объема работ в соответствии с требованиями ЕНиР [2].

Время выполнения работы: 2 часа.

Теоретическая часть включает общие сведения о нормах времени, нормах выработки, нормах затрат труда, нормали.

При выполнении работы приходится использовать понятия, применяемые в техническом и тарифном нормировании, поэтому для их усвоения необходимо прочитать соответствующий раздел учебника [4] и знать следующее:

1. Определение нормы затрат труда и нормы времени, указать на связь между ними.
2. Определение сдельной расценки и тарифной ставки, указать на связь между ними.
3. Сущность сдельной формы оплаты труда.
4. Почему не всегда применяется сдельная оплата труда.
5. Условия, при которых целесообразно использовать аккордную форму оплаты труда.

Исходными данными для выполнения работы служат:

- альбом рабочих чертежей здания железнодорожного транспорта (архитектурно-строительная часть);
- вид работ;
- район строительства;
- месяц выполнения работ.

В ходе выполнения работы следует определить:

- особенности расчета объема работ;
- объем работ;
- норму времени;
- расценку;

- особенности выполнения работ;
- поправочный коэффициент, учитывающий особенности выполнения работ;
- «зимний» коэффициент.

В альбоме рабочих чертежей прежде всего следует ознакомиться с пояснительной запиской, чтобы иметь общее представление об объекте и заложенных в проект особенностях технологии работ или конструкции объекта. Такие сведения необходимы для определения нормы и расценки. В пояснительной записке может быть указан, например, тип крана, применяемого при монтаже, или то, что кладка стен ведется с расшивкой [3].

Определению объема работ должно предшествовать ознакомление с особенностями расчета этого объема, изложенными в технической части ЕНиР, где, например, должно быть указано, включается или нет объем перемычек в объем кирпичной кладки. Кроме того, объем должен определяться в измерителе, указанном в ЕНиР, а не произвольно взятом. После того, как определен измеритель, по рабочим чертежам рассчитывается объем работ.

Правильное определение объема работ имеет важное значение, так как он связан с долей сметной стоимости, идущей на оплату труда. Кроме того, при аккордной оплате труда объем работ участвует в расчете нормативного времени выполнения работ, сокращение которого стимулируется премией. Затраты на премирование заложены в смету по статье «Прочие работы и затраты». Все это говорит о том, что правильное определение объема работ обеспечивает правильное расходование денежных средств.

На основе сведений, почерпнутых из пояснительной записки проекта и технической части ЕНиР, производится определение нормы времени и расценки по соответствующему параграфу и таблице ЕНиР [2].

Надо учитывать, что нормы и расценки, содержащиеся в таблицах ЕНиР, отражают наиболее распространенные условия работы и для того, чтобы можно было использовать их для проектирования производства работ или оплаты труда, необходимо определить поправочные коэффициенты. Они учитывают как особенности технологии работ, так и сезон их выполнения и район ведения строительно-монтажных работ. Поправочные коэффициенты, учитывающие особенности выполнения работ, например, стесненность условий работы или тип применяемого крана, определяется по технической части ЕНиР, содержащейся в каждом сборнике. «Зимний» коэффициент (табл. 1.2) определяется по

приводимым ниже данным из общей части к сборникам ЕНиР [2]. Для этого надо определить группу работ, к которой относится задаваемая вам работа, и температурную зону (табл. 1.1), к которой относится район ведения строительного-монтажных работ.

Распределение строительных и монтажных работ по группам (частичный перечень) для начисления поправочных коэффициентов к нормам времени и расценкам следующее:

1-я группа:

- земляные и буровзрывные работы – разработка немерзлых и скальных грунтов;
- изоляционные работы – все разновидности;
- отделочные работы – все разновидности;
- столярные работы – все разновидности.

2-я группа:

- каменные работы.

3-я группа:

- кровельные работы (все виды устройства покрытий и навеска труб);
- монтаж строительных конструкций;
- сварочные работы, выполняемые при монтажных работах.

Таблица 1.1

Температурные зоны по областям, краям и автономиям
(частичный перечень)

Наименование областей, краев, автономий	Температурная зона
Кировская область	4
Курганская область	4
Горьковская область	4
Свердловская область	5
Якутия	6
Тульская область	3

Таблица 1.2

Усредненные поправочные коэффициенты («зимние») к нормам
времени и расценкам

Температурные зоны	Месяцы	Поправочные коэффициенты для групп работ		
		1	2	3
1	Январь, февраль	1,05	1,07	1,08
2	Декабрь	1,06	1,09	1,12
	Январь, февраль	1,08	1,11	1,14
	Март	1,05	1,07	1,10
3	Ноябрь	1,06	1,09	1,13
	Декабрь, март	1,08	1,12	1,17
	Январь, февраль	1,13	1,20	1,25
4	Ноябрь	1,08	1,13	1,17
	Декабрь, март	1,10	1,15	1,20
	Январь, февраль	1,16	1,28	1,38
5	Ноябрь	1,10	1,15	1,20
	Декабрь, март	1,12	1,17	1,22
	Январь, февраль	1,18	1,30	1,40
6	Октябрь, апрель	1,07	1,10	1,13
	Ноябрь, март	1,17	1,30	1,40
	Декабрь, январь, февраль	1,25	1,45	1,60

Правильность принятых решений защищается при собеседовании с преподавателем и надо быть готовым к ответу на любой из пяти поставленных выше вопросов.

2. Лабораторные работы 2–4

Оптимизация распределения земляных масс

Цель работы – получение навыков распределения земляных масс и использования экономико-математического моделирования при решении оптимизационных задач.

Время выполнения работы: 6 часов.

Теоретическая часть включает общие сведения о методах и способах линейного программирования, методах распределения земляных масс.

Экономико-математическое моделирование позволяет найти оптимальное решение многих задач организации строительства, когда методом перебора по-

лучить наилучшее решение практически невозможно, но это не означает, что опыт и интуиция проектировщика при этом не требуются.

Опыт проектирования и основанная на нем интуиция позволяют принимать в достаточной мере хорошие решения, а в особо сложных случаях интуиция просто незаменима.

Большое значение приобретает выбор адекватной реальным условиям модели, квалифицированная подготовка исходных данных, установление ограничений. Чрезвычайно важно оценить возможность практического применения полученного решения.

При возведении земляного полотна одной из основных задач является достижение минимальной стоимости земляного полотна.

С помощью экономико-математической модели (транспортной задачи линейного программирования) оптимальным образом прикрепляются потребители грунта к его поставщикам и устанавливается объем перемещаемого грунта. На этой основе при известном сроке сооружения земляного полотна определяется состав парка ведущих машин.

Поставленную задачу можно решить с помощью пакета Excel из Microsoft Office.

2.1. Подготовка исходных данных для решения задачи

На основании исходных данных вычерчивается спрямленный продольный профиль, на котором нумеруются все поставщики R и потребители грунта P (рис. 2.1). При назначении поставщиков грунта следует предусмотреть все возможные варианты сооружения земляного полотна. Вариантность решения не должна ограничиваться – невыгодные варианты будут отвергнуты в процессе решения. Разумеется, заведомо нерациональные перевозки можно запретить.

Резервы следует закладывать вдоль насыпей с рабочими отметками до 2 м и принимать их объем равным объему насыпей. В принципе резервы можно закладывать и вдоль более высоких насыпей, поскольку оптимальное распределение автоматически выявит целесообразность или нецелесообразность такого решения. Объем грунта в каждом карьере принимается равным объему всех насыпей. Кавальеры должны иметь объем равный объему выемок и, кроме того, иметь дополнительный объем для фиктивного поглощения излишков грунта.

Таким образом, должен быть создан баланс объемов производства и потребления.

В этой задаче все кавальеры могут быть представлены одним общим кавальером с дополнительным объемом для поглощения фиктивных поставок, а все резервы – одним общим резервом.

Пример схемы участка представлен на рис. 2.1. Схема должна быть достаточно полной, обеспечивая все возможные варианты перемещения грунта, и содержать сведения о профильной кубатуре, объемах карьеров, кавальеров и резервов. На основе этой схемы можно создать матрицу связей между поставщиками грунта – выемками, карьерами и резервами и потребителями – насыпями и кавальерами. В связи с тем, что профильная кубатура может быть задана по массивно, для оценки объема насыпи с отметками меньше 2 м можно воспользоваться данными табл. 2.1.

Таблица 2.1

Покилометровая кубатура насыпей

Рабочая отметка, м	Профильная кубатура, тыс. м ³ /км при ширине основной площадки, м		
	5,8	6,5	7,0
0,50	3,9	4,3	4,6
1,0	7,9	8,7	9,2
1,5	12,7	13,8	14,6
2,0	18,2	19,7	20,7

В большинстве случаев для перемещения грунта может быть использовано несколько способов и следует выбрать наиболее эффективный. Для этой цели служит рис. 2.2.

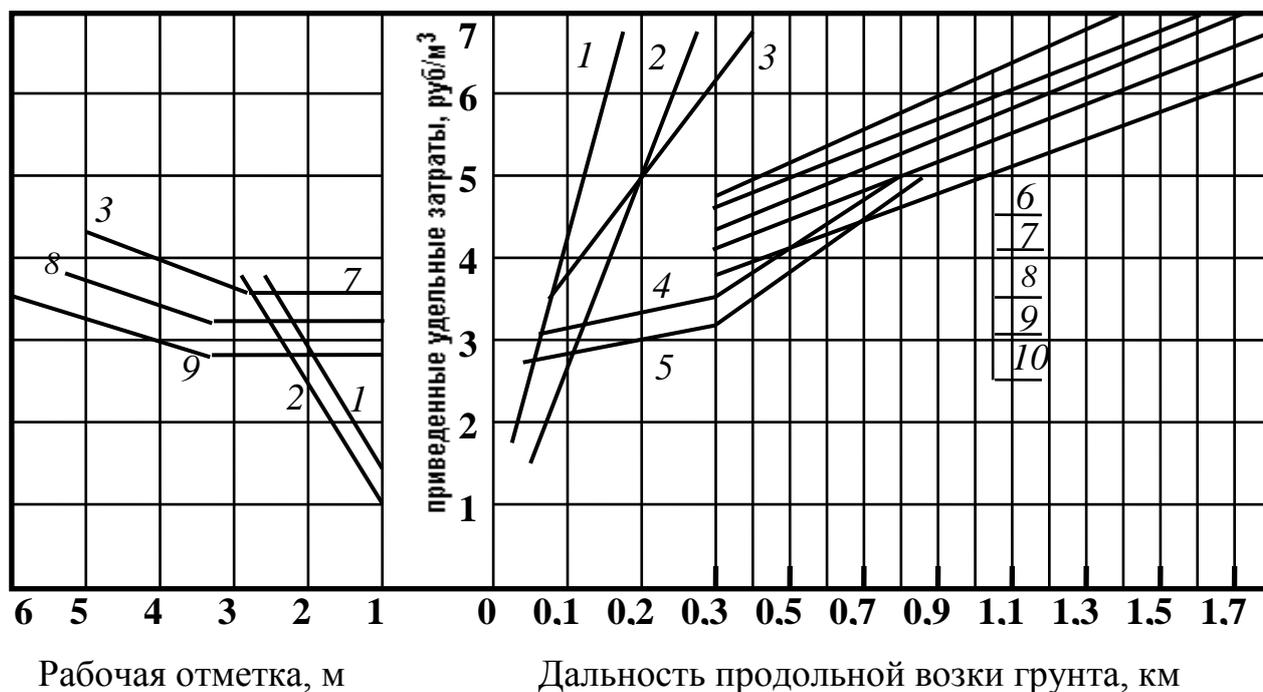


Рис.2.2. Области эффективного применения машин.

1 – бульдозеры с силой тяги 150 кН; 2 – то же, 250 кН; 3 – прицепные скреперы с ковшом 10 м³; 4 и 5 – самоходные скреперы с ковшом 15 и 9 м³; 6–10 – экскаваторы с ковшом 0,65; 1,0; 1,25; 1,6 и 2,5 м³

На основе схемы участка (рис. 2.1) и стоимости сооружения 1 м³ земляного полотна, определяемой по графикам рис. 2.2, вся информация о связях поставщик – потребитель сводится в матрицу, представленную табл. 2.2. Каждая клетка матрицы это возможная связь между поставщиком и потребителем. Эти связи, как и потребители, могут быть реальными и фиктивными. В связи с тем, что изначально заложена избыточность предложения грунта, чтобы не ограничивать возможности решения, излишки грунта формально должны быть куда-то отправлены, а именно – фиктивному потребителю. Таким образом будет достигнут необходимый баланс производства и потребления.

Роль фиктивного потребителя может выполнять кавальер, который в то же самое время является и реальным потребителем, принимая грунт из выемки. Те клетки матрицы (табл. 2.2), которые отображают фиктивные связи карьер – кавальер и резерв – кавальер, содержат показатель стоимости (стоимость сооружения 1 м³ земляного полотна) равный нулю.

Клетки, отображающие заведомо нерациональные с практической точки зрения связи, содержат запрет на перевозку – достаточно большой показатель стоимости, принимаемый без расчета. В табл. 2.2 это, например, клетка R1-P4.

На схеме участка (рис. 2.1) видно, что это перевозка грунта на столь значительное расстояние, что можно легко предложить несколько более выгодных вариантов.

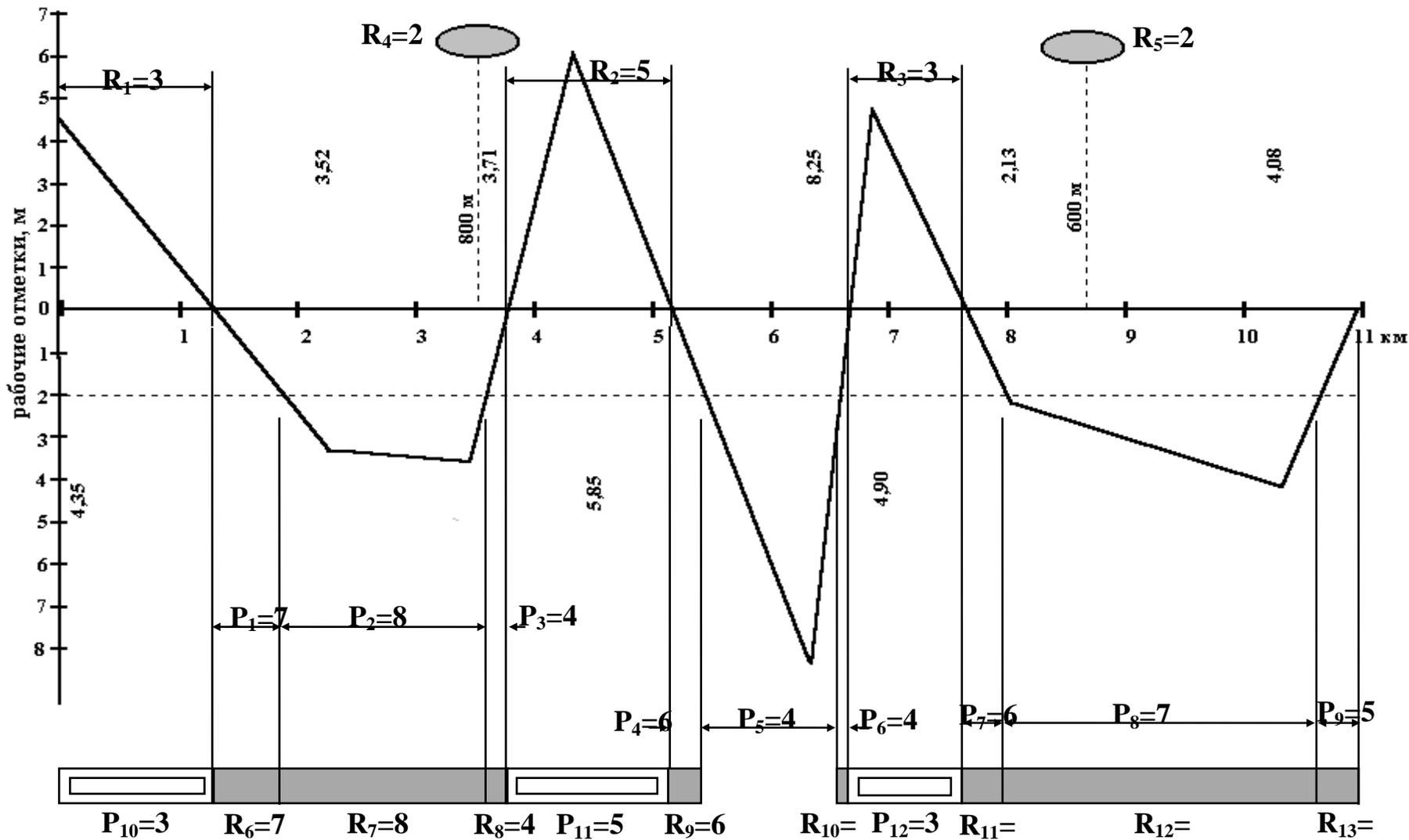


Рис. 2.1. Схема участка сооружения земляного полотна.

$$R_4=R_5=P_1+P_2+P_3+P_4+P_5+P_6+P_7+P_8+P_9=238 \text{ тыс. м}^3$$

Условные обозначения:

8 — резерв; — кавальер; — карьер

Таблица 2.2

Матрица связей поставщиков и потребителей

Постав- щики	Потребители										Объе- мы по- ставок
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀ (все кавалъе- ры)	
R₁	5 экс.	7 экс.	50	50	50	50	50	50	50	3,5 скр.	30
R₂	8 экс.	6,5 экс.	4,5 скр.	5 скр.	5,8 экс.	6 экс.	50	50	50	4 скр.	51
R₃	50	50	50	5,6 экс.	5,3 экс.	3,8 скр.	5,7 экс.	8,5 экс.	10,5 экс.	3,7 скр.	36
R₄	8 экс.	6,5 экс.	5,6 экс.	8,2 экс.	9 экс.	9,3 Экс.	50	50	50	0	238
R₅	50	50	50	11 экс.	9,5 экс.	9 Экс.	6,5 экс.	6,3 экс.	7,4 экс.	0	238
R₆ (все ре- зервы)	1,5 бульд.	2,8 скр.	1,5 бульд.	1,5 бульд.	50	1,5 бульд.	1,5 бульд.	3 скр.	1,5 бульд.	0	190
Объемы потреб- ления	7	86	4		48	4	6	72	5	545	783

Свободное место в каждой ячейке для последующей записи объемов работ

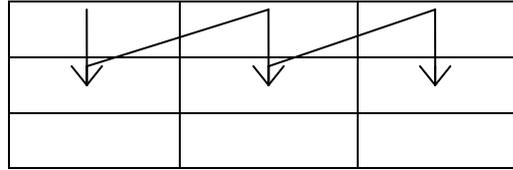
В остальных клетках матрицы содержатся сведения о ведущей машине и стоимости сооружения 1 м^3 земляного полотна. Центр клетки желательно оставить свободным, чтобы после решения можно было записать объем грунта.

Правый столбец матрицы содержит сведения о ресурсах поставщиков, а нижняя строка – об объемах потребления. Уже было отмечено, что кавальер одновременно является реальным и фиктивным потребителем, поэтому его общий объем может быть найден как разность между общим объемом производства и суммарным потреблением грунта всеми другими потребителями P1 – P9, то есть $738 - (7+86+4+6+48+4+6+72+5) = 545$.

Отметим одну важную особенность оптимизации распределения земляных масс. Она заключается в том, что возможность формальной постановки задачи позволяет не задумываться о наличии нерациональных маршрутов перевозки грунта и, не устанавливая запреты, определить показатели стоимости для всех связей (клеток) матрицы. Главное – создать максимально возможное число вариантов связей. Начинающий проектировщик может сделать это не задумываясь. Зато опытный проектировщик сократит как размер матрицы, так и объем своей работы.

Теперь надо записать целевую функцию, отражающую сущность решения, и ограничения по производству и потреблению грунта, то есть баланс по строкам и столбцам матрицы. Все эти данные можно записать в любом месте электронной таблицы и потом сообщить программе, где эти сведения находятся. Из практических соображений, принимая во внимание, что на экране дисплея число строк электронной таблицы значительно больше числа столбцов, предпочтительней записывать исходную информацию по столбцам, так как одновременно будет виден большой ее объем. Отведем для целевой функции и ограничений столбец *A*, а для клеток матрицы – столбец *C*. В ячейках столбца *C* будет записан результат решения.

Каждой клетке матрицы должна соответствовать определенная ячейка столбца *C* электронной таблицы Excel. Условимся читать нашу матрицу сверху вниз по столбцам.



Для нашей матрицы размером 6×10 будут отведены ячейки с $C1$ по $C60$. Ячейка $C1$ будет соответствовать клетке матрицы $R1-P1$, а клетке $R6-P10$ будет соответствовать ячейка $C60$. Можно сказать, что матрица разворачивается в один столбец электронной таблицы.

Целевая функция отражает стоимость сооружения земляного полотна и в процессе решения должна достичь минимального значения. Решение выполняется при соблюдении ограничений, которые, как и целевая функция, являются вычисляемыми величинами. Запись вычисляемых величин начинается со знака равенства.

Целевая функция в нашем примере имеет следующий вид:
 $=5 * C1 + 8 * C2 + 50 * C3 + 8 * C4 + 50 * C5 + 1.5 * C6 + 7 * C7 + 6.5 * C8 + 50 * C9 + 6.5 * C10 + 50 * C11 + 2.8 * C12 + 50 * C13 + 4.5 * C14 + 50 * C15 + 5.6 * C16 + 50 * C17 + 1.5 * C18 + 50 * C19 + 5 * C20 + 5.6 * C21 + 8.2 * C22 + 11 * C23 + 1.5 * C24 + 50 * C25 + 5.8 * C26 + 5.3 * C27 + 9 * C28 + 9.5 * C29 + 50 * C30 + 50 * C31 + 6 * C32 + 3.8 * C33 + 9.3 * C34 + 9 * C35 + 1.5 * C36 + 50 * C37 + 50 * C38 + 5.7 * C39 + 50 * C40 + 6.5 * C41 + 1.5 * C42 + 50 * C43 + 50 * C44 + 8.5 * C45 + 50 * C46 + 6.3 * C47 + 3 * C48 + 50 * C49 + 50 * C50 + 10.5 * C51 + 50 * C52 + 7.4 * C53 + 1.5 * C54 + 3.5 * C55 + 4 * C56 + 3.7 * C57 + 0 * C58 + 0 * C59 + 0 * C60.$

При этом не должно смущать то, что при записи формулы при переходе из строки в строку могут возникнуть самые неожиданные разрывы. Как, например, в 3 и 4 строках записанной выше целевой функции.

Ограничения:

$$\begin{aligned}
 &= C1 + C7 + C13 + C19 + C25 + C31 + C37 + C43 + C49 + C55 \\
 &= C2 + C8 + C14 + C20 + C26 + C32 + C38 + C44 + C50 + C56 \\
 &= C3 + C9 + C15 + C21 + C27 + C33 + C39 + C45 + C51 + C57 \\
 &= C4 + C10 + C16 + C22 + C28 + C34 + C40 + C46 + C52 + C58 \\
 &= C5 + C11 + C17 + C23 + C29 + C35 + C41 + C47 + C53 + C59 \\
 &= C6 + C12 + C18 + C24 + C30 + C36 + C42 + C48 + C54 + C60 \\
 &= C1 + C2 + C3 + C4 + C5 + C6 \\
 &= C7 + C8 + C9 + C10 + C11 + C12
 \end{aligned}$$

} ограничения по поставщикам

$$\begin{array}{l}
=C13+C14+C15+C16+C17+C18 \\
=C19+C20+C21+C22+C23+C24 \\
=C25+C26+C27+C28+C29+C30 \\
=C31+C32+C33+C34+C35+C36 \\
=C37+C38+C39+C40+C41+C42 \\
=C43+C44+C45+C46+C47+C48 \\
=C49+C50+C51+C52+C53+C54 \\
=C55+C56+C57+C58+C59+C60
\end{array}
\left. \vphantom{\begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{array}} \right\} \begin{array}{l} \text{ограничения по} \\ \text{потребителям} \end{array}$$

Максимальное число таких ограничений может равняться 500, что будет соответствовать матрице размером 250×250 ячеек. Практически это означает, что оптимальное решение можно получить в целом для участка работы механизированной колонны.

Кроме этого, ограничением является то, что объем грунта величина неотрицательная по физическому смыслу задачи и при целочисленных объемах производства и потребления в приведенном примере можно задать, чтобы результат решения был получен в целых числах:

- $C1:C60 \geq 0$
- $C1:C60$ целое

Эти ограничения хотя и являются частью исходных данных, тем не менее, не записываются в ячейки электронной таблицы, а вводятся впоследствии через окно «Добавление ограничения».

2.2. Ввод исходных данных

Порядок ввода исходных данных [1].

1. Включить компьютер.
2. Открыть Excel (появится таблица).
3. Поместить курсор с помощью мыши или клавиш в ячейку A1, щелкнуть левой кнопкой мыши и ввести целевую функцию.

Следует отметить, что емкость ячейки электронной таблицы ограничена 256 знаками (по литературным данным), а при большой матрице целевая функция будет состоять из большего числа знаков. Выход из этого

положения следующий: целевая функция разделяется на несколько частей приемлемого размера и каждая часть со своим знаком равенства вводится в отдельную ячейку. После этого в той ячейке, которая должна содержать целевую функцию, следует дать ссылки на те ячейки, где содержатся части целевой функции. Например, если части целевой функции записаны в ячейки $E1$, $E2$ и $E3$, то формула в целевой ячейке выглядит так: $=E1+E2+E3$ [1].

Можно поступить и по-другому – вводить данные до тех пор, пока программа сама не сообщит о переполнении ячейки, а оставшуюся часть целевую функции ввести в другую ячейку, а в целевой ячейке указать ссылки на ячейки, где содержатся части целевой функции. В некоторых случаях этот способ может оказаться предпочтительным. В приведенном примере целевая функция содержит 425 знаков, но программа это не отвергла. Это свидетельствует о некоторой неопределенности фактической емкости ячейки. Надо иметь в виду, что сообщение о переполнении появляется, по-видимому, не после первого избыточного знака и величину этого избытка нельзя определить на глаз. Поэтому создается некоторая неопределенность, когда вы захотите вырезать часть введенного материала и скопировать в другую ячейку. В связи с этим способ с предварительным делением целевой функции выигрывает за счет планового начала.

4. Щелкнуть левой кнопкой мыши в ячейке $A3$ и ввести первое ограничение, в ячейку $A4$ – второе и так далее.

5. В ячейки с $C1$ по $C60$ (применительно к нашему примеру) вводятся нули, то есть создается исходное состояние до решения. Чтобы это сделать быстро, надо ввести в ячейку $C1$ ноль, поставить курсор на точку в правом нижнем углу выделения ячейки, курсор при этом превратится в черный крест, и, нажав левую кнопку мыши, сместить этот крест вниз до ячейки $C60$. Вся область с $C1$ по $C60$ будет заполнена нолями.

Подведем краткий итог того, что сделано: в ячейки столбца A введены данные о том, из каких ячеек должна извлекаться информация для расчета целевой функции и ограничений. Что следует делать далее, и какова величина ограничений для решения поставленной задачи, нами не задано, поэтому нам необходимо выполнить ряд дополнительных действий.

2.3. Решение поставленной задачи

Для решения поставленной задачи необходимо выполнить следующие действия в программе Microsoft Excel 7.0 [1].

1. После ввода данных открыть меню «Сервис».
2. В нем открыть «Надстройки».
3. Поставить галочку около «Поиск решения».
4. Нажать ОК (после этого будет загружена программа поиска решения).
5. Снова открыть меню «Сервис», в нем открыть «Поиск решения» (эти действия приведут к открытию окна диалога, через которое мы должны прописать путь, что надо делать и откуда брать информацию).

Есть два способа указания адресов в окне диалога:

– прямой ввод адреса в соответствующее поле окна. Необходимые адреса ячеек вводятся со специальным знаком. Так, например, адрес ячейки A1 должен быть записан в виде \$A\$1. Знак \$ указывает на неизменяемость адреса;

– установка курсора в поле окна и щелчок мышью в той ячейке, адрес которой должен быть указан в этом поле. Этот способ предпочтительней, так как вместо ввода как минимум четырех знаков требуется один щелчок мышью.

6. Сначала вводим адрес ячейки с целевой функцией – \$A\$1, затем указание, что она должна минимизироваться.

7. После этого в окошечке Изменяя ячейки указывается диапазон ячеек, в которых происходят изменения – для нашего примера это будет \$C\$1:\$C\$60.

Есть два способа указания адресов в окне диалога:

– если курсор находится в поле для записи, выделить мышью при нажатой левой кнопке все необходимые ячейки;

– пометить мышью первую ячейку диапазона, нажать клавишу Shift и, удерживая ее, пометить мышью последнюю ячейку диапазона (порядок пометки значения не имеет).

Затем записываем конкретные значения ограничений по тем адресам, где они записаны в общем виде как формулы. Диалоговое окно «Поиск» решения содержит поле «Ограничения» для записи ограничений.

8. Щелкнуть мышью в поле «Ограничения», чтобы там образовалась рамка выделения.

9. Нажать кнопку «Добавить», вызывающее вспомогательное окно «Добавление ограничения», которое облегчает написание ограничений, так как содержит все необходимые знаки отношений.

10. Поместить курсор в поле «Ссылка на ячейки» и записать там одним из двух способов адрес ячейки, где содержится расчетная формула. В нашем случае первое ограничение вида $=C1+C7+C13+C19+C25+C31+C37+C43+C49+C55$ находится в ячейке $A3$ и его адрес будет записан как $A\$3$. Затем в этом же окне «Добавление ограничения» в поле «Ограничения» нажать кнопку со стрелкой и в появившемся списке выбрать необходимый знак отношения и щелкнуть на нем кнопкой мыши (для приведенного ограничения это знак равенства). Затем надо поместить курсор в следующую часть поля «Ограничения» и прямым вводом набрать нужное число. Для приведенного ограничения это 30.

11. Нажать кнопку «Добавить». В результате это ограничение зафиксируется и будет внесено в общий список ограничений, который можно просмотреть в поле «Ограничения» диалогового окна «Поиск решения». После нажатия кнопки «Добавить» снова появится незаполненное окно «Добавление ограничения», в котором снова надо проделать все операции по назначению величины ограничения. Последними ограничениями должны быть $\$C\$1:\$C\$24 \geq 0$ и $\$C\$1:\$C\60 целое. Так как адрес для этих ограничений содержит сведения о диапазоне ячеек, то он должен быть или помечен или введен непосредственно в поле, как уже описывалось выше. После записи последнего ограничения следует нажать не кнопку «Добавить», а кнопку «ОК». Это будет означать окончание записи всех ограничений и выход в окно «Поиск решения». В поле «Ограничения» этого окна будет список всех введенных ограничений, которые необходимо проверить и при обнаружении ошибок исправить. Избежать ошибок при вводе помогут отметки введенных адресов в ваших записях.

12. После проверки правильности ввода информации в окне «Поиск решения» надо нажать кнопку «Выполнить».

После расчета откроется окно «Результаты поиска решения». Выберите тип отчета «Результаты» и нажмите ОК. Под электронной таблицей в строке с перечнем листов появится отдельный лист с надписью Отчет по результатам. Лист отчета будет вставлен перед тем листом электронной таблицы, на котором вы записывали исходные данные. Щелкните по ярлычку листа мышью и в открывшемся листе отчета будут представлены результаты расчета. Фрагмент отчета представлен ниже.

Если матрица велика, то отчет представляет собой многостраничный документ, распечатывать который в полном объеме нет необходимости. Основные сведения – объемы работ – содержатся в разделе «Изменяемые ячейки». Другой раздел отчета «Ограничения» дублирует сведения об объемах работ и показывает выполнение ограничений (перед распечаткой необходимо установить, сколько страниц распечатывать).

13. Включить кнопку стандартной панели инструментов «Предварительный просмотр» или включить его через меню «Файл». В режиме предварительного просмотра видны номера страниц созданного отчета. Найдите номер страницы, на которой заканчивается перечень изменяемых ячеек, запомните его.

14. Включите принтер и, не выходя из режима предварительного просмотра, нажмите кнопку «Печать».

В появившемся диалоговом окне «Печать» укажите в поле «Печатать необходимый для распечатки диапазон» (пример распечатки приведен ниже).

Целевая ячейка будет содержать минимальную стоимость сооружения земляного полотна.

Из распечатанного отчета объемы работ необходимо перенести в матрицу (табл. 2.3) по столбцам сверху вниз.

Таким образом, получено оптимальное решение с указанием какими машинами выполняется тот или иной объем работ.

2.4. Отчет по результатам расчета

Microsoft Excel 7.0 Отчет по результатам

Рабочий лист: [Опт.расч..xls] Лист1

Отчет создан: 27.05.2018 11:10

Целевая ячейка (Мин)

Ячейка	Имя	Исходно	Результат
\$A\$1		0	1006.9

Изменяемые ячейки

Ячейка	Имя	Исходно	Результат
\$C\$1		0	0.999999994
\$C\$2		0	0
\$C\$3		0	0
\$C\$4		0	0
\$C\$5		0	0
\$C\$6		0	6.000000006
\$C\$7		0	0
\$C\$8		0	25
\$C\$9		0	0
\$C\$10		0	0
\$C\$11		0	0
\$C\$12		0	61
\$C\$13		0	0
\$C\$14		0	4
\$C\$15		0	0
\$C\$16		0	0
\$C\$17		0	0
\$C\$18		0	0
\$C\$19		0	2.74347E-09
\$C\$20		0	5.999999997
\$C\$21		0	0
\$C\$22		0	0
\$C\$23		0	0
\$C\$24		0	0
\$C\$25		0	0
\$C\$26		0	15.99999999
\$C\$27		0	32.00000001

\$C\$28	0	0
\$C\$29	0	0
\$C\$30	0	0
\$C\$31	0	1.71566E-09
\$C\$32	0	3.42689E-09
\$C\$33	0	3.999999995
\$C\$34	0	0
\$C\$35	0	0
\$C\$36	0	0
\$C\$37	0	0
\$C\$38	0	0
\$C\$39	0	0
\$C\$40	0	0
\$C\$41	0	0
\$C\$42	0	6
\$C\$43	0	0
\$C\$44	0	0
\$C\$45	0	0
\$C\$46	0	0
\$C\$47	0	0
\$C\$48	0	72
\$C\$49	0	0
\$C\$50	0	0
\$C\$51	0	0
\$C\$52	0	0
\$C\$53	0	0
\$C\$54	0	5
\$C\$55	0	29
\$C\$56	0	0
\$C\$57	0	0
\$C\$58	0	238
\$C\$59	0	238
\$C\$60	0	40

Ограничения

Ячейка	Имя	Значение	Формула	Состояние	Разница
\$A\$3		7	\$A\$3=7	связанное	0
\$A\$4		86	\$A\$4=86	связанное	0
\$A\$5		4	\$A\$5=4	связанное	0
\$A\$6		6	\$A\$6=6	связанное	0
\$A\$7		48	\$A\$7=48	связанное	0

\$A\$8	4	$\$A\$8=4$	связанное	0
\$A\$9	6	$\$A\$9=6$	связанное	0
\$A\$10	72	$\$A\$10=72$	связанное	0
\$A\$11	5	$\$A\$11=5$	связанное	0
\$A\$12	545	$\$A\$12=545$	связанное	0
\$A\$13	30	$\$A\$13=30$	связанное	0
\$A\$14	51	$\$A\$14=51$	связанное	0
\$A\$15	36	$\$A\$15=36$	связанное	0
\$A\$16	238	$\$A\$16=238$	связанное	0
\$A\$17	238	$\$A\$17=238$	связанное	0
\$A\$18	190	$\$A\$18=190$	связанное	0
\$C\$1	0.999999994	$\$C\$1 \geq 0$	не связан.	0.999999994
\$C\$2	0	$\$C\$2 \geq 0$	связанное	0
\$C\$3	0	$\$C\$3 \geq 0$	связанное	0

Отчет, созданный программой, выведен не до конца по соображениям, изложенным выше. То, что содержится на этой странице, служит для показа того, от чего мы отказываемся при выводе отчета на печать. Фактически должно быть распечатано то, что содержится на двух предшествующих страницах (без таблицы «Ограничения»).

Таблица 2.3

Оптимальный вариант прикрепления потребителей к поставщикам

Постав- щики	Потребители										Объемы по- ставок	
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀ (все кавалье- ры)		
R₁	5 <i>1</i> экс.	7 экс.	50	50	50	50	50	50	50	50	3,5 <i>29</i> скр.	30
R₂	8 экс.	6,5 <i>25</i> экс.	4,5 <i>4</i> скр.	5 <i>6</i> скр.	5,8 <i>16</i> экс.	6 экс.	50	50	50	50	4 скр.	51
R₃	\	50	50	5,6 экс.	5,3 <i>32</i> экс.	3,8 <i>4</i> скр.	5,7 экс.	8,5 экс.	10,5 экс.	3,7 скр.	36	
R₄	8 экс.	6,5 экс.	5,6 экс.	8,2 экс.	9 экс.	9,3 экс.	50	50	50	0	238	238
R₅	50	50	50	11 экс.	9,5 экс.	9 Экс.	6,5 экс.	6,3 экс.	7,4 экс.	0	238	238
R₆ (все ре- зервы)	1,5 <i>6</i> бульд.	2,8 <i>61</i> скр.	1,5 бульд.	1,5 бульд.	50	1,5 бульд.	1,5 бульд.	3 скр.	1,5 бульд.	0	<i>40</i>	190
Объемы потреб- ления	7	86	4	6	48	4	6	72	5	545	783	

2.5. Анализ полученного решения

Анализируя результаты решения задачи, рассмотренные в примере (табл. 2.3), рассмотрим участок насыпи P_1 (столбец P_1). Общий объем работ в 7 тыс.м³ складывается из следующего: 1 тыс.м³ грунта, отсыпаемого при экскаваторной разработке из выемки R_1 и 6 тыс.м³ – при бульдозерной разработке из резерва.

На основе проводимого анализа возникает сомнение в целесообразности применения двух способов отсыпки одной насыпи при таком явном неравенстве объемов работ.

Основной объем выемки R_1 – 29 тыс. м³ разрабатывается в кавальер при стоимости разработки 3,5 руб./м³ и только 1 тыс. м³ при стоимости более высокой – 5 руб./м³. следовательно, наиболее эффективным и целесообразным решением будет перемещение этой 1 тыс. м³ в кавальер, так как это обошлось бы дешевле, чем везти этот грунт в насыпь.

Итог: в матрице надо переместить единицу из клетки R_1 – P_1 в клетку R_1 – P_{10} .

Принимая такое решение закономерно возникает вопрос – откуда восполнить этот объем грунта насыпи P_1 ? Наиболее эффективный вариант – добавить эту 1 тыс.м³ грунта из резерва, то есть переместить единицу из клетки R_6 – P_{10} в клетку R_6 – P_1 . Таким образом, мы сохранили баланс по строкам R_1 и R_6 и столбцам P_1 и P_{10} .

Проведя изменения, мы должны провести оценку, насколько мы ухудшили оптимальное решение.

Последовательность проведения оценки:

- 1) разрабатывать выемку R_1 в кавальер на $5 - 3,5 = 1,5$ руб./м³ выгодней, чем разрабатывать в насыпь;
- 2) отсыпать насыпь P_1 из резерва дороже, чем фиктивно разрабатывать резерв в кавальер, то есть совсем не разрабатывать, на $1,5 - 0 = 1,5$ руб./м³;
- 3) в нашем случае получилось (чисто случайно!), что удешевление в одном случае равно удорожанию в другом и оптимальность решения сохранилась.

При выполнении землеройно-транспортных работ с использованием современной высокопроизводительных и эффективных землеройно-транспортных машин любые перемещения объемов работ в матрице вызовут общее увеличение стоимости постройки земляного полотна, однако необходимость корректировки может диктоваться соображениями устранения чересполосицы различных методов выполнения земляных работ и, следовательно, создания более благоприятных технологических условий.

2.6. Определение объемов работ для ведущей машины

Задача технологии производства работ при возведении земляного полотна состоит в том, чтобы обеспечить наилучшее соответствие применяемой техники способу производства работ, что может быть достигнуто при детально отработанной, стабильной, определённой по времени, затратой ресурсов и достигаемому эффекту последовательности операций. Такие последовательности называют технологическими процессами.

При окончательном определении объемов работ для ведущей машины, после корректировки решения в табл. 2.3 следует выполнить определение рабочей кубатуры для всех ведущих машин. Это может быть сделано по принципу «сколько грунта разрабатывается» или по принципу «сколько грунта отсыпается».

Если известна продолжительность выполнения работ, то можно определить число ведущих машин всех видов и получить рекомендуемую структуру парка машин, позволяющую минимизировать стоимость сооружения земляного полотна.

3. Лабораторные работы 5, 6

Расчет и оптимизация графиков поточного строительства

Цель работы – получение навыков построения графиков поточного строительства и их оптимизации.

Время выполнения работы: 4 часа.

Теоретическая часть включает общие сведения о графиках организации строительных работ, понятие поточного строительства, достоинства и недостатки, методы расчета и оптимизации графиков.

3.1. Расчет графиков

Одной из основных задач при организации работ по строительству железных дорог является сокращение сроков работ. В этой работе будет выполняться расчет графика с неритмичными потоками, который отражает наиболее распространенную ситуацию в строительстве. При этом ритмы внутри потоков и между ними различны.

Расчет заключается в последовательной увязке между собой смежных потоков.

При этом рекомендуется придерживаться следующих правил:

- работы каждого потока следуют одна за другой без разрывов;
- работы смежных потоков не накладываются друг на друга ни на одной захватке;
- между работами смежных потоков хотя бы на одной захватке должен быть нулевой интервал.

Для расчета ритмы записывают в матрице, представленной в табличной форме (табл. 3.1).

Расчет начинается с первого столбца (потока, цикла). Сперва определяются сроки начала и окончания каждой работы, начиная с условного нуля. При расчете в каждой клетке матрицы будет содержаться следующая информация (рис. 3.1).

Для устранения невязок надо найти среди них минимальную отрицательную невязку и на ее абсолютную величину увеличить сроки начала и окончания всех работ второго потока. После этого потоки будут увязаны и на основе новых сроков работ можно переходить к увязке второго и третьего потоков.

Порядок увязки первых двух потоков представлен на рис. 3.2.

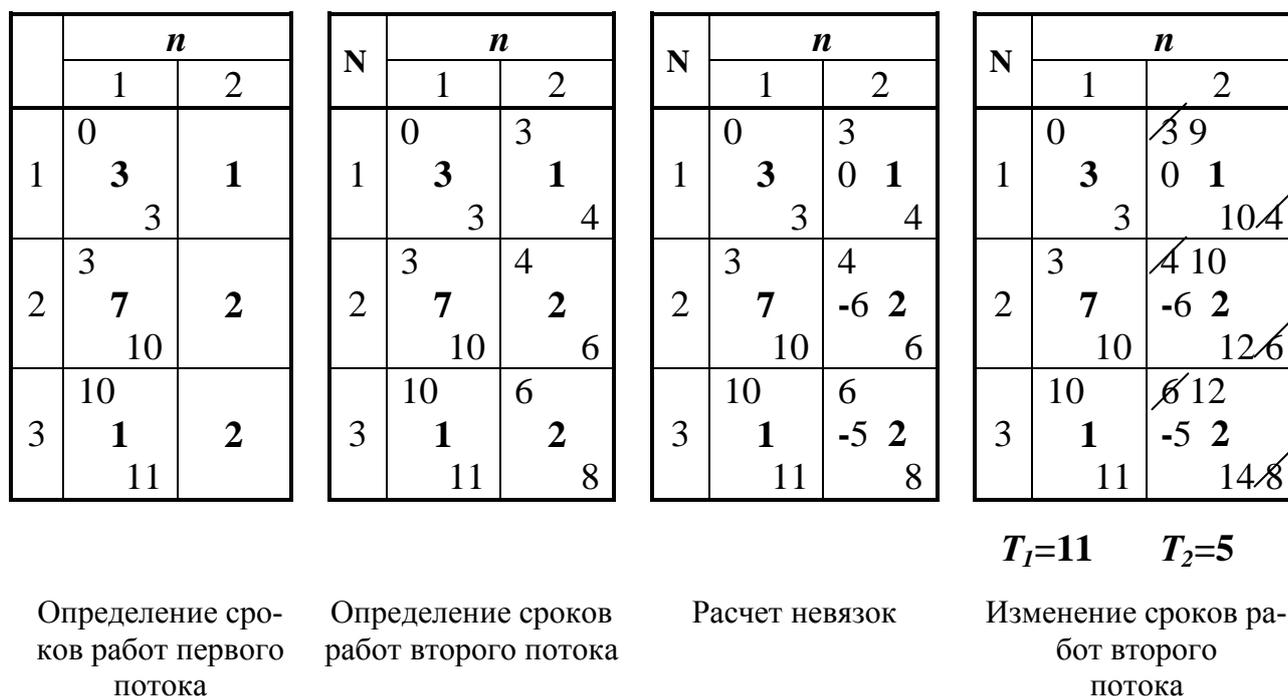


Рис. 3.2. Увязка потоков

Особое внимание следует обратить на то, что потоки увязываются попарно, не определяйте сроки работ сразу во всей матрице.

После увязки всех потоков матрицу следует вычертить снова с увязанными сроками и ритмами. В этой матрице, так же, как и невязки, определяются интервалы. Чем меньше сумма интервалов, тем лучше используется общий срок строительства. Степень совершенства графика поточного строительства оценивается коэффициентом плотности:

$$K_{\text{пл}} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^N t_{i-j}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^N t_{i-j} + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^N \Delta_{i-(i+1)-j}}, \quad (3.1)$$

где t_{i-j} – ритм;

$\Delta_{i-(i+1)-j}$ – интервал между смежными потоками на объекте j .

В работах по постройке группы объектов можно выделить последовательность таких работ, которые в идеальном случае в сумме составляют общий срок строительства и не имеют между собой интервалов. Это будет самый напряженный путь в матрице или на графике и любая задержка в ходе работ приведет к увеличению срока всего строительства.

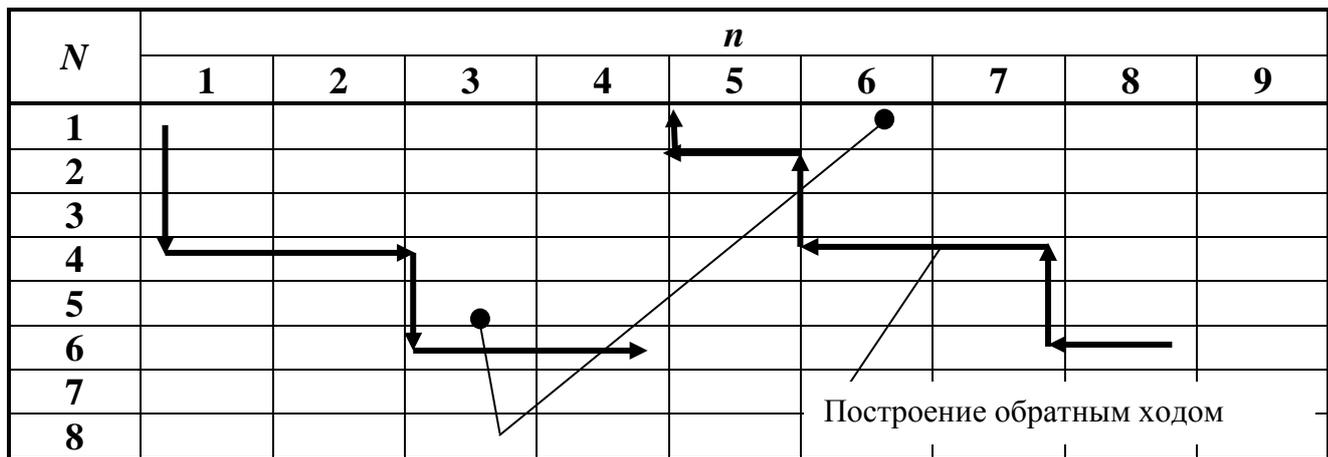
Такой путь называется критическим, производитель работ должен знать работы критического пути и обеспечивать их своевременное выполнение всеми мерами организационного и материально-технического характера.

Не всегда бывает путь с нулевой суммой интервалов и в таком случае критическим путем будет путь с минимальной суммой интервалов. При проектировании графика этот путь должен быть найден.

В матричной модели графика надо найти такую последовательность клеток от начала строительства до его окончания, чтобы между каждой парой смежных клеток был по возможности нулевой интервал, а в сумме на всем пути – нулевой или минимально возможный. Следует помнить, что в пределах каждого столбца (потока) интервалы нулевые по условиям расчета, но при этом по столбцу можно перемещаться только вниз, то есть по ходу времени. Таким образом, задача сводится к тому, чтобы найти между потоками нулевые интервалы и последовательно соединить их, однако естественная последовательность расположения интервалов по диагонали матрицы крайне редка.

Методика нахождения критического пути представлена на рисунке 3.3 и заключается в следующем:

- от начала строительства пройти по клеткам матрицы с нулевой суммой интервалов как можно дальше;
- от окончания строительства против хода времени сделать то же самое.



Клетки с одинаковыми сроками окончания и начала работ

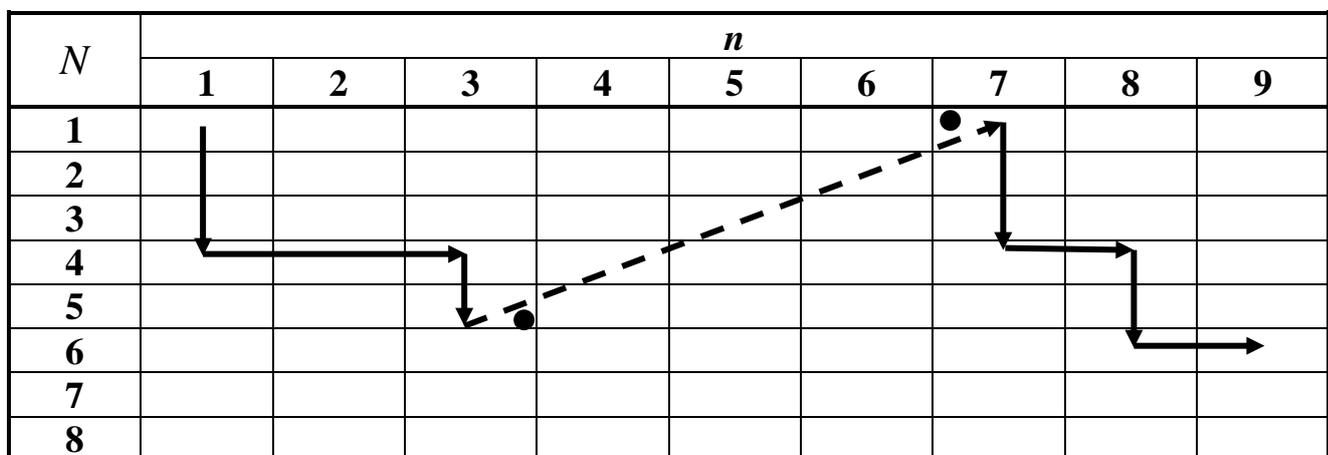


Рис. 3.3. Графическое пояснение для нахождения положения критического пути

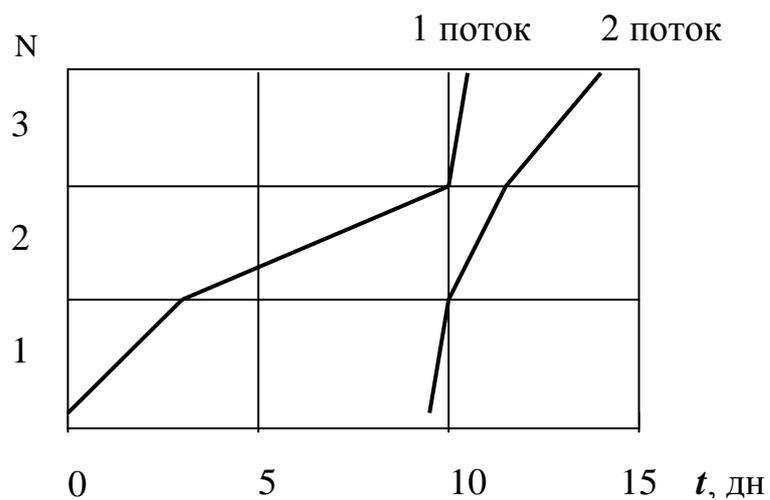


Рис. 3.4. Фрагмент графика выполнения работ в форме циклограммы

Таким образом, будут получены два отрезка критического пути, не соединенные в средней части матрицы. Эти отрезки критического пути отсекут две области матрицы – на рисунке 3.3 они выделены серым цветом.

В каждой из областей критический путь может пройти любым образом и, чтобы связать эти две области, надо в левой области найти такой срок окончания работы, который равнялся бы сроку начала какой-либо работы в правой области или отличался на минимальную величину. Таким образом можно найти положение критического пути в матричной модели.

После увязки потоков, определения интервалов и нахождения положения критического пути в матрице должна быть построена циклограмма с обозначением на ней критического пути.

Фрагмент циклограммы для данных, представленных на рис. 3.2, изображен на рис. 3.4.

Первоначально разработанный вариант графика выполнения работ редко бывает оптимальным, поэтому он должен быть проанализирован и улучшен.

3.2. Сокращение сроков поточного строительства без привлечения дополнительных ресурсов

3.2.1. Уменьшение продолжительности поточного строительства за счет сокращения числа рабочих

Сокращение сроков работ всегда связывается с увеличением ресурсов, привлекаемых к строительству, и в целом это верно, однако при поточной организации работ может сложиться такая специфическая ситуация, когда именно уменьшение числа рабочих в каком-либо потоке приведет к сокращению срока строительства. Это становится возможным в том случае, когда внутри графика есть поток с высоким темпом работ (рис. 3.5.), а смежные с ним потоки имеют низкий темп.

На рис. 3.5 показано, что при увеличении сроков выполнения работ второго потока изменяется увязка потоков с соответствующим сокращением общего срока работ. Если сроки работ второго потока увеличиваются, то соответственно должно быть сокращено число рабочих.

Порядок выполнения работ при условии сокращения общего срока производства работ:

- в матрице с увязанными потоками найти поток с малым периодом, так, чтобы справа и слева от него были потоки с большими периодами;

- вычислить отношение минимального периода смежного потока к периоду данного потока. Так, например, если периоды потоков имеют величины $T_1=7$, $T_2=17$, $T_3=8$, $T_4=18$, $T_5=22$, $T_6=20$, $T_7=10$, то отношение

$$K = \frac{T_2}{T_3} = \frac{17}{8} = 2,1 \rightarrow 2.$$

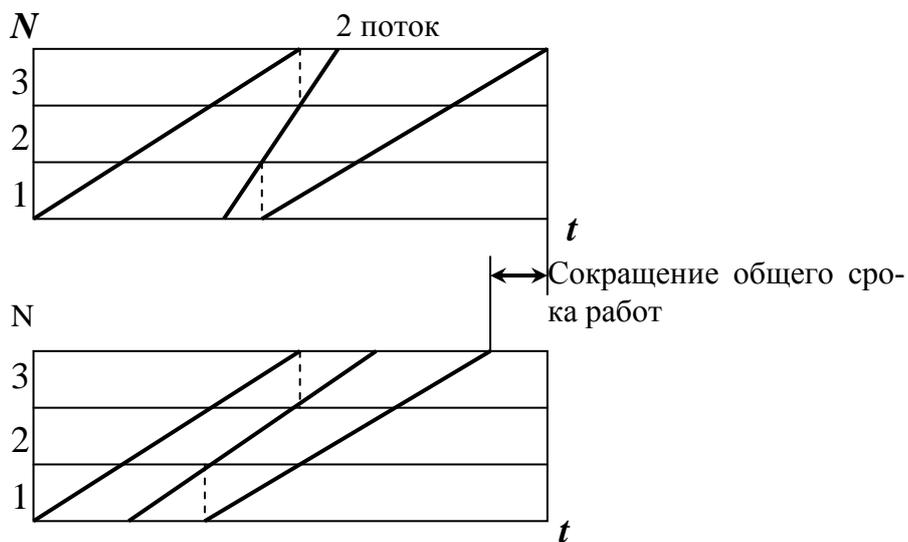


Рис. 3.5. Сокращение общего срока работ за счет уменьшения числа рабочих во втором потоке

- на величину полученного коэффициента умножить все ритмы работ потока с малым периодом и создать новую матрицу, в которой будут изменены продолжительности работ только одного данного потока;

- новой матрице произвести увязку потоков;

- определить интервалы и коэффициент плотности;

- вычертить циклограмму.

Характерную ситуацию, изображенную на рис. 3.5, следует найти в матрице, проанализировав периоды потоков на основе порядка выполнения работы при условии сокращения общего срока работ.

1.2.2. Уменьшение продолжительности поточного строительства за счет изменения очередности постройки объектов

В ряде случаев в строительстве порядок постройки объектов не имеет значения, но при этом каждому варианту последовательности соответствует свой общий срок постройки объектов. Изменение порядка постройки не требует привлечения дополнительных ресурсов, но при этом можно найти такую последовательность строительства, которая обеспечивает минимальный общий срок постройки объектов.

Безусловно, что график должен содержать характерную ситуацию, пример которой представлен на рис. 3.6. На этом графике много пустого места и плотность его мала. Несколько утрируя, можно сказать, что разбегающиеся линии потоков следует сделать некоторым образом сходящимися.

В простом примере (рис. 3.6) вариантов изменения очередности немного, но для сложного графика и соответствующей ему большой матрицы существуют различные процедуры нахождения оптимальной последовательности постройки объектов, обеспечивающей минимальный общий срок строительства. Одна из таких процедур, основанная на соображениях о требуемой геометрии графика и дающая в 80% случаев сокращение сроков строительства, представлена в данной работе.

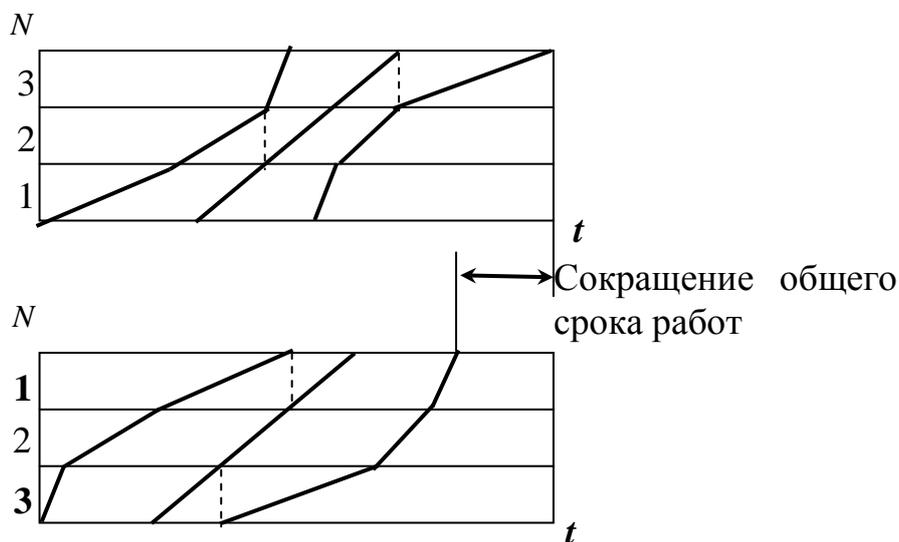


Рис. 3.6. Сокращение общего срока работ за счет изменения очередности постройки объектов с 1 – 2 – 3 на 3 – 2 – 1

На основе исходной матрицы следует определить некоторые характеристики строк. При этом матрица в общем случае делится на две части по вертикали потоком, имеющим наибольший период, в частном случае этот поток может быть первым или последним. После этого построчно определяются суммы ритмов, предшествующих потоку с максимальным периодом – $\Sigma t_{\text{предш}}$, суммы ритмов, следующих за этим потоком – $\Sigma t_{\text{посл}}$, и разности ритмов последнего и первого потоков – $t_n - t_1$. Результаты расчета оформляются в таблице (табл. 3.2).

Эти характеристики строк надо расположить в новой таблице в таком порядке, чтобы $\Sigma t_{\text{предш}}$ возрастали сверху к середине, $\Sigma t_{\text{посл}}$ возрастали снизу к середине, а разности возрастали сверху и снизу к середине или хотя бы с одного конца. Весьма редко можно добиться такой компоновки строк, чтобы выполнялись сразу все три правила, поэтому сначала формируется последовательность по первым двум правилам и, если это не приведет к сокращению срока строительства, то формируется последовательность только в соответствии с третьим правилом.

Процедура создания оптимальной последовательности:

– сначала занимается самая верхняя позиция таблицы 3.3 в соответствии с первым правилом, куда записывается минимальное значение $\Sigma t_{\text{предш}}$. В нашем случае надо выбрать вторую или шестую строку и, учитывая третье правило, следует остановиться на шестой строке;

– теперь занимается нижняя позиция в соответствии со вторым правилом, то есть туда надо записать строку с минимальным $\Sigma t_{\text{посл}}$. Это будет четвертая строка табл. 3.2;

– далее занимаем вторую позицию сверху в табл. 3.3, где $\Sigma t_{\text{предш}}$ должна быть больше 6;

– занимаем вторую позицию снизу в табл. 3.3, где $\Sigma t_{\text{посл}}$ должна быть больше 3;

– следующие шаги выполняются аналогично и, таким образом, приближаемся к средней строке, поочередно используя два первых правила.

Таблица 3.2

Характеристики строк матрицы ритмов

N	Характеристики строк		
	$\Sigma t_{\text{предш}}$	$\Sigma t_{\text{посл}}$	$t_n - t_1$
1	9	4	-2
2	6	7	3
3	12	5	-1
4	8	3	2
5	8	5	0
6	6	4	0

Таблица 3.3

Характеристики строк матрицы ритмов

N	Характеристики строк		
	$\Sigma t_{\text{предш}}$	$\Sigma t_{\text{посл}}$	$t_n - t_1$
6	6	4	0
5	8	5	0
3	12	5	-1
2	6	7	3
1	9	4	-2
4	8	3	2

Отметим, что сразу три правила в нашем примере не соблюдаются, тем не менее, с достаточно большой вероятностью можно считать последовательность постройки 6–5–3–2–1–4 оптимальной и теперь необходимо записать исходную матрицу именно с такой последовательностью строк (объектов) и выполнить расчет, чтобы узнать новый срок строительства. Если он будет больше, чем срок строительства в исходной последовательности 1–2–3–4–5–6, то надо сформировать последовательность только на основе третьего правила и выполнить расчет для данной последовательности. Если сокращение срока строительства достигнуто, то определяется коэффициент плотности графика и вычерчивается циклограмма.

3.2.3. Сравнение результатов корректирования

После проделанной работы выполняется сравнение всех имеющихся вариантов и делается заключение о наиболее эффективном способе корректирования. Сведения о вариантах сводятся в таблицу (табл. 3.4).

Характеристики вариантов организации работ

Варианты	Последовательность строительства объектов	Срок строительства, дн	Коэффициент плотности графика
Исходный вариант	1-2-3-4-5-6		
Вариант с уменьшенным числом рабочих	1-2-3-4-5-6		
Вариант с измененной последовательностью постройки объектов			

4. Лабораторные работы 7–9

Сетевое моделирование строительства

Цель работы – получение навыков построения сетевых графиков строительства и их оптимизации.

Время выполнения работы: 6 часов.

Теоретическая часть включает общие сведения о сетевых графиках строительных работ, методы расчета и оптимизации графиков.

Сетевые модели полезны при планировании и реализации сложных проектов и позволяют выделить наиболее напряженный (критический) путь работ и резервы времени, пользуясь которыми можно осуществлять корректирование срока строительства, численности рабочих, потребления материалов и конструкций, расходования денежных средств.

4.1. Построение сети

Сетевые графики являются моделями связей и зависимостей. Исходным материалом для графика служит перечень работ, технологические зависимости (связи), сведения о параллельно выполняемых работах и продолжительности выполнения работ. Продолжительности выполнения работ требуются не для построения, а для расчета графика.

Сразу построить сетевую модель в полном объеме затруднительно, и поэтому процесс создания сети имеет смысл разделить на несколько этапов:

- построение отдельных путей из работ, которые выполняются одна за другой;
- объединение путей зависимостями;
- устранение нежелательных, которых не должно быть, сквозных зависимостей и упрощение сети.

Устранение сквозной зависимости для фрагмента сети показано на рис. 4.1.

При построении сети желательно избегать пересечения работ и зависимостей. Для этого можно менять взаимное расположение на листе отдельных путей, а оставшиеся пересечения оформить в виде .

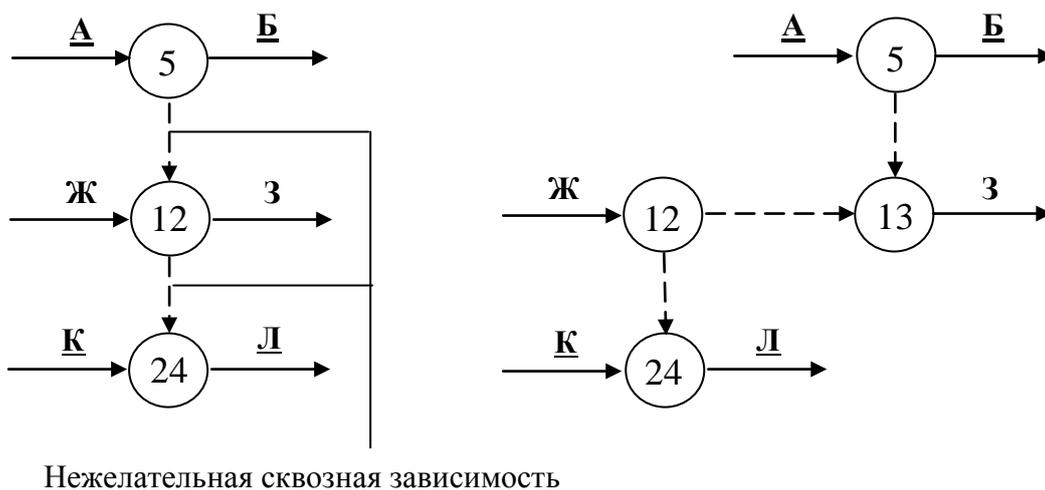


Рис. 4.1. Пример устранения нежелательной сквозной зависимости

4.2. Расчет сетевого графика

Самый простой детерминированный расчет графика выполняется методом критического пути (critical-path-method), предложенным М. Уолкером и Д. Келли в 1956 г. для описания плана-графика строительства.

Расчет основан на естественном соображении о том, что срок начала последующей работы равен сроку окончания предшествующей работы. Если предшествующих работ несколько, то все они должны быть выполнены до

начала последующей работы. Отсюда следует то, что при разной продолжительности предшествующих работ менее продолжительные будут иметь некоторый запас времени (резерв). Это означает, что сроки работ могут быть ранние и поздние. Ранние сроки определяются от начала графика к его окончанию, а поздние – в обратном направлении. Путь максимальной продолжительности будет определять общий срок строительства и имеет название критического. Резервов времени на критическом пути нет.

Расчет сетевой модели выполняется сначала табличным способом. При этом используются все сроки работ:

- t_{i-j}^{pH} – раннее начало работы $i-j$;
- t_{i-j}^{po} – раннее окончание работы $i-j$;
- $t_{i-j}^{пH}$ – позднее начало работы $i-j$;
- $t_{i-j}^{пO}$ – позднее окончание работы $i-j$.

Эти сроки работ связаны следующими расчетными формулами:

$$t_{i-j}^{po} = t_{i-j}^{pH} + t_{i-j}, \quad (4.1)$$

где t_{i-j} – продолжительность выполнения работы;

$$t_{j-k}^{pH} = \max t_{i-j}^{po}; \quad (4.2)$$

$$t_{i-j}^{пH} = t_{i-j}^{no} - t_{i-j}; \quad (4.3)$$

$$t_{i-j}^{no} = \min t_{j-k}^{пH}. \quad (4.4)$$

В общем случае существует три вида резервов времени работ сетевого графика.

Полный резерв R_{i-j} представляет собой время, на которое можно растянуть выполнение работы или отдалить начало ее выполнения. Использование полного резерва делает критическим тот путь, на котором она находится, и влияет на сроки предшествующих и последующих работ.

Свободный резерв r_{i-j} представляет собой время, на которое можно растянуть выполнение работы или отдалить начало ее выполнения, без измене-

ния сроков последующих работ. Сроки предшествующих работ при использовании этого резерва изменяются.

Независимый резерв IF_{i-j} явление довольно редкое, его использование не влияет на сроки других работ. По расчету он может получиться отрицательным и в этом случае принимается равным нулю. Соотношение величин резервов следующее:

$$IF_{i-j} \leq r_{i-j} \leq R_{i-j}, \quad (4.5)$$

$$R_{i-j} = t_{i-j}^{PH} - t_{i-j}^{PO} = t_{i-j}^{PO} - t_{i-j}^{PO}, \quad (4.6)$$

$$r_{i-j} = t_{j-k}^{PH} - t_{i-j}^{PO}; \quad (4.7)$$

$$IF_{i-j} = t_{j-k}^{PH} - t_{h-i}^{PO} - t_{i-j}. \quad (4.8)$$

Расчет сетевой модели должен быть выполнен двумя методами – табличным и секторным.

4.2.1. Табличный метод расчета

Пример расчета табличным методом сетевой модели, представленной на рис. 4.2, приводится ниже в табл. 4.1.

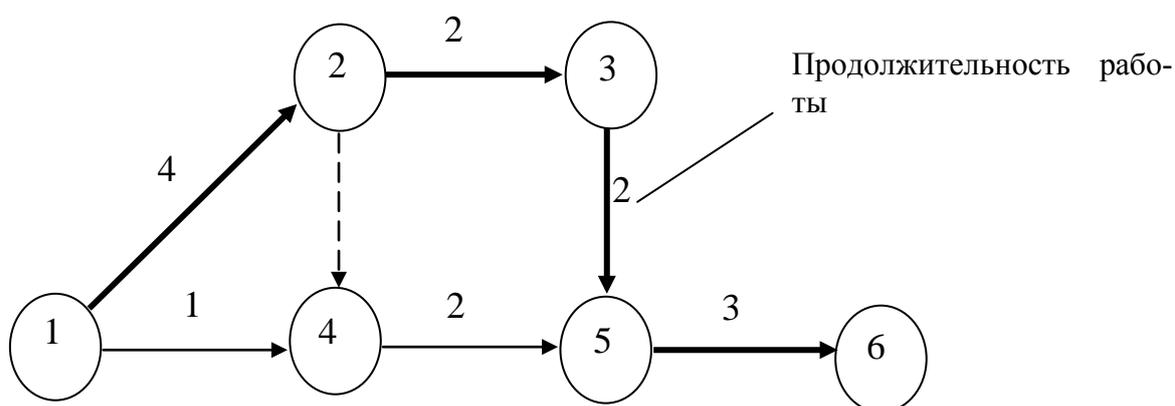


Рис. 4.2. Сетевой график

Расчет сетевого графика табличным методом

Шифры работ	ti-j	t_{i-j}^{PH}	t_{i-j}^{PO}	t_{i-j}^{MH}	t_{i-j}^{MO}	Ri-j	ri-j	IFi-j
1 – 2	4	0	4	0	4	0	0	0
1 – 4	1	0	1	5	6	5	3	3
2 – 3	2	4	6	4	6	0	0	0
2 – 4	0	4	4	6	6	2	0	0
3 – 5	2	6	8	6	8	0	0	0
4 – 5	2	4	6	6	8	2	2	0
5 – 6	3	8	11	8	11	0	0	0
6 – x		11						

Для облегчения расчета шифры работ следует записывать строго в порядке возрастания индексов, с этой же целью дополнительно вводится фиктивная работа (в табл. 4.1 это работа 6 – x). Сначала определяются ранние сроки сверху вниз, затем максимальное раннее окончание принимается в качестве позднего окончания последней работы, и от этого числа снизу вверх определяются поздние сроки работ. Предварительной проверкой правильности расчета является совпадение ранних и поздних сроков для работы, выходящей из начального события, а если таких работ несколько, то такое совпадение должно быть хотя бы для одной работы.

По наличию нулевых резервов выделяются работы критического пути.

4.2.2. Секторный метод расчета

Расчет секторным методом выполняется непосредственно на сети и определяются только сроки работ t_{i-j}^{PH} и t_{i-j}^{PO} . Эти сроки записываются в секторах событий, которые выглядят следующим образом (рис. 4.3):

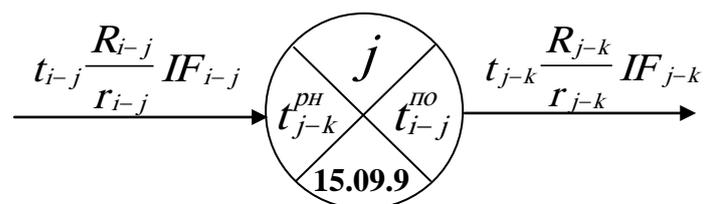


Рис. 4.3. Обозначения для расчета сетевого графика секторным методом

Ниже на рис. 4.4. и 4.5 отдельно показан расчет ранних и поздних сроков. Сектор даты в примере не заполнен.

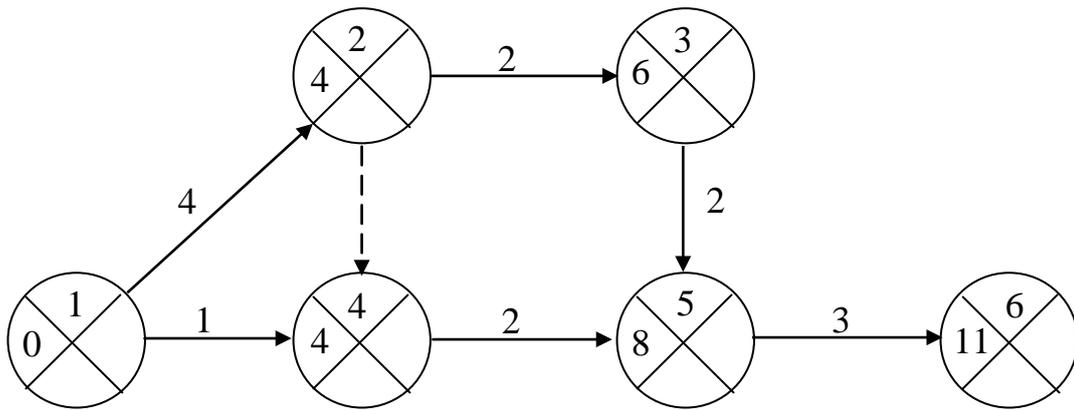


Рис. 4.4. Расчет ранних сроков работ

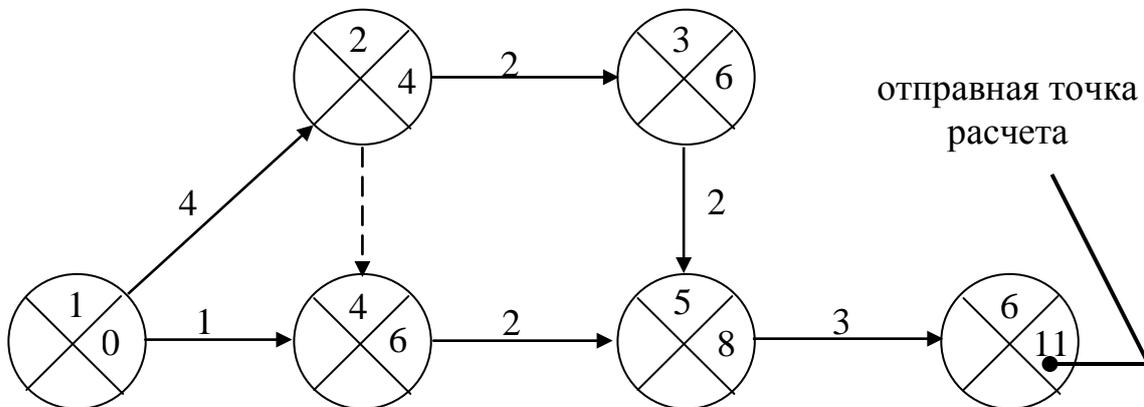


Рис. 4.5. Расчет поздних сроков работ

Контролем правильности расчета является получение в исходном событии двух нулевых сроков, а также наличие на графике событий с одинаковыми ранними и поздними сроками. Это необходимое условие для прохождения через такие события критического пути. Достаточным условием прохождения критического пути через данную работу является отсутствие резервов времени.

Резервы времени работ определяются после расчета ранних и поздних сроков. Формально можно поступить следующим образом – из срока в конце работы вычесть срок в начале работы и вычесть ее продолжительность. Ниже приведены схемы для определения соответствующих резервов (рис. 4.6).

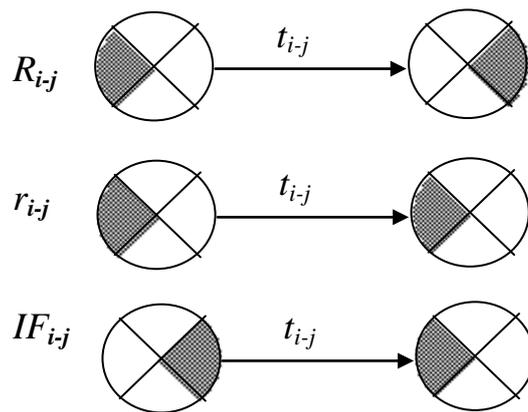


Рис. 4.6. Схемы для определения резервов времени

После определения резервов времени на графике обозначается положение критического пути. Окончательный вид сетевой модели показан на рис. 4.7.

Результаты расчета графика обоими методами должны совпасть, а при обнаружении расхождения должна быть найдена и исправлена ошибка.

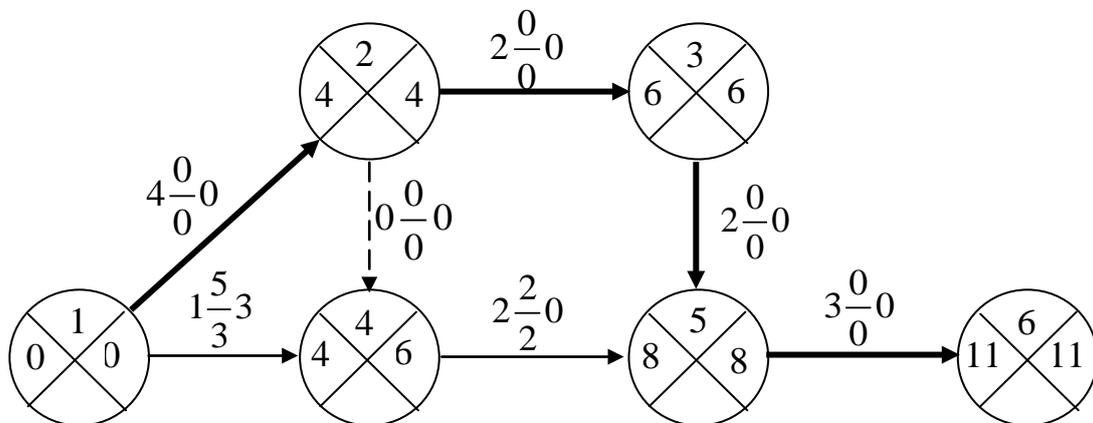


Рис. 4.7. Сетевой график, рассчитанный секторным методом

Первоначальный вариант сетевой модели строительства может потребовать корректировки для достижения требуемой величины каких-либо показателей строительного процесса. В данной работе будет выполняться корректировка по времени и рабочей силе.

4.3. Корректирование сетевых графиков

В этом разделе описано корректирование за счет резервов времени. Такое корректирование не требует привлечения дополнительных ресурсов.

Резерв времени можно использовать двумя способами:

– работу, имеющую резерв времени, можно выполнять дольше. Увеличенный срок работы позволяет выполнять ее сокращенным числом рабочих. Если штатная численность рабочих меньше, чем требует первоначальный вариант организации работ, то может быть применен этот способ использования резерва для достижения соответствия наличных ресурсов и проектной потребности. Если требуется сократить срок строительства, то освободившихся рабочих можно использовать на работах критического пути и сократить тем самым общий срок работ. Кроме того, увеличение времени выполнения работы уменьшает интенсивность потребления ресурсов;

– работу, имеющую резерв времени, можно отодвинуть на более поздние сроки. В результате этого ресурсы, которые заняты на данной работе, будут использованы в другое время. Такое использование резерва может применяться для уменьшения пиковой потребности в ресурсах.

Большинство корректировок выполняется на сетевых графиках, построенных в масштабе времени. При построении события наносятся по ранним срокам, проекция каждой работы на ось времени будет равна продолжительности ее выполнения в принятом масштабе. Резервы работ показываются пунктиром. Резерв работ каждого пути будет находиться в самом его конце (рис. 4.8).

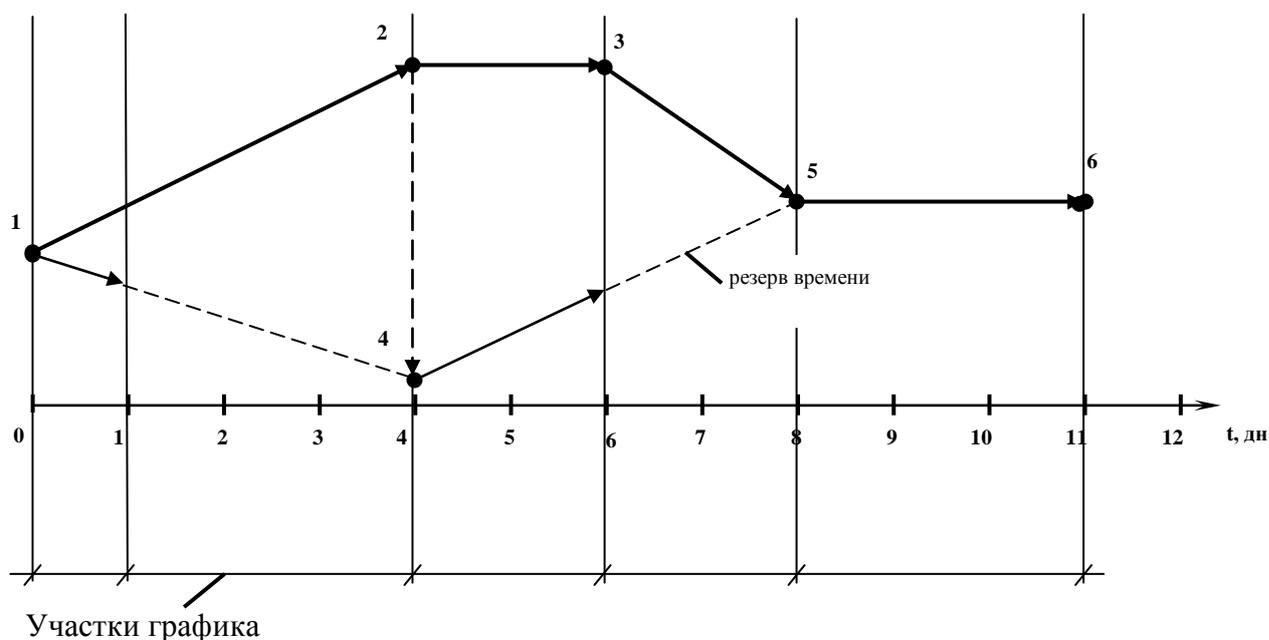


Рис. 4.8. Сетевая модель, построенная в масштабе времени

4.3.1. Корректирование по времени

Задача в работе ставится следующим образом – требуется сократить продолжительность строительства на 10% за счет переброски рабочих с не критических работ на критические. При этом следует учесть, что при такой корректировке нельзя использовать полную величину резерва, можно использовать только его часть за исключением потребной величины сокращения срока строительства. Кроме того, если вы разделили бригаду рабочих, то обе ее части должны работать в одно и то же время. Чтобы сориентироваться в том, какие работы выполняются в одно и то же время, сетевая модель должна быть построена в масштабе времени.

Для определения числа рабочих, которое можно снять с не критических работ, следует использовать простую формулу:

$$B = Nt = N_1t_1, \quad (4.9)$$

где B – трудоемкость выполнения работы, которая является ее неизменной характеристикой;

N, N_1 – исходное и измененное число рабочих;

t, t_1 – исходная продолжительность выполнения работы и новая искомая ее величина.

Эффект от переброски рабочих будет тем больше, чем больше у работы-донора резерв, число рабочих и чем меньше продолжительность ее выполнения.

После того как будет определено число рабочих, которое можно отправить для ускорения работ критического пути, пользуясь той же самой формулой (4.9), следует найти новую продолжительность работ, на которых оказывалась помощь, вычислить сокращение продолжительности работ и сравнить с потребным сокращением продолжительности строительства.

На сети обязательно должны быть отмечены временные границы корректировки.

4.3.2. Корректирование по рабочей силе

Прежде всего, надо знать число рабочих, занятых на строительстве в соответствии с сетевым графиком. Для этого под сетевой моделью, построенной в масштабе времени, вычерчивается график движения рабочей силы. В данной работе будем полагать, что в период резерва времени рабочая сила не задействована. На графике движения рабочей силы отыскивается максимальное число рабочих, и задача состоит в уменьшении его на 5%.

На сети должны быть показаны выполненные изменения, а на графике движения рабочей силы отображение этих изменений.

Библиографический список

1. Аленичева Е.В. Организация строительства поточным методом : учеб. пособие. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. – 80 с.
2. ЕНиР: единые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы. Сб. Е2. Земляные работы ; Вып. 1 : Механизированные и ручные земляные работы / Гос. строит. комитет СССР (Госстрой СССР). – М. : Стройиздат, 1988. – 224 с.
3. Юшаков Л. Ф. Организация и планирование железнодорожного строительства: Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Организация и планирование ж.-д. строительства». – Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 1999. – 22 с.
4. Организация, нормирование и оплата труда на предприятии: краткий курс лекций для бакалавров направления подготовки 38.03.02 «Менеджмент» / Сост.: А.В. Наянов. – Саратов : ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ. – 2016. – 125 с.
5. Сетевое моделирование в строительстве : методические указания к практическим занятиям / Сост. С.А. Войтович. – Омск : Изд-во СибАДИ, 2007. – 36 с.

Учебное издание

Шаров Алексей Юрьевич
Юшаков Леонид Федорович

**ОРГАНИЗАЦИЯ, ПЛАНИРОВАНИЕ
И УПРАВЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ
СТРОИТЕЛЬСТВОМ И ТЕХНИЧЕСКИМ
ОБСЛУЖИВАНИЕМ**

Методические рекомендации
к выполнению лабораторных работ по дисциплине
«Организация, планирование и управление железнодорожным
строительством и техническим обслуживанием»
для студентов специальности 23.05.06 «Строительство
железных дорог, мостов и транспортных тоннелей»
очной и заочной форм обучения

Редактор Л.С. Барышникова

Подписано в печать 31.10.2016. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 3,2. Заказ 719. Электронная версия.

УрГУПС
620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66