


**Е.В. АЛЕНИЧЕВА**

**ОРГАНИЗАЦИЯ  
СТРОИТЕЛЬСТВА  
ПОТОЧНЫМ МЕТОДОМ**


**• Издательство ТГТУ •**

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Тамбовский государственный технический университет

**Е. В. АЛЕНИЧЕВА**

**ОРГАНИЗАЦИЯ  
СТРОИТЕЛЬСТВА  
ПОТОЧНЫМ МЕТОДОМ**

Утверждено Ученым советом университета в качестве  
учебного пособия для студентов специальностей 290300, 290100

Тамбов  
Издательство ТГТУ  
2004

УДК 69.05(075)  
ББК Н6-63я73  
А484

Рецензент  
Кандидат технических наук, доцент  
Волгоградской государственной  
архитектурно-строительной академии  
*С.Г. Абрамян*

**Аленичева Е.В.**

А484 Организация строительства поточным методом: Учеб. пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. 80 с.

В пособии рассматриваются вопросы теории и практики проектирования поточного метода организации строительного производства. Рассмотрены особенности расчета параметров строительного потока методом матричного алгоритма. Приведенные примеры расчетов различных типов строительных потоков позволяют применять пособие при проведении практических занятий по дисциплине «Организация и планирование строительного производства». В пособии освещены проблемы, возникающие при оптимизации строительных потоков по различным критериям, рассматриваются особенности применения данного метода организации строительства в дипломном проектировании.

Предназначено для подготовки студентов строительных специальностей вузов всех форм обучения, а также магистров по специальности «Промышленное и гражданское строительство».

УДК 69.05(075)  
ББК Н6-63я73

ISBN 5-8265-0287-8

© Аленичева Е.В., 2004  
© Тамбовский государственный  
технический университет  
(ТГТУ), 2004

**Учебное издание**

**АЛЕНИЧЕВА Елена Владимировна**

**ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА  
ПОТОЧНЫМ МЕТОДОМ**

Учебное пособие

Редактор Т.М. Глинкина

Инженер по компьютерному макетированию Е.В. Кораблева

Подписано к печати 7.05.2004

Формат 60 × 84/16. Бумага офсетная. Печать офсетная  
Гарнитура Times. Объем: 4,65 усл. печ. л.; 4,6 уч.-изд. л.  
Тираж 100 экз. С. 340

Издательско-полиграфический центр  
Тамбовского государственного технического университета  
392000, г. Тамбов, ул. Советская, 106, к. 14

## ВВЕДЕНИЕ

Строительство является одной из наиболее сложных и трудоемких отраслей народного хозяйства, отличающейся высокой динамичностью, т.е. постоянным изменением во времени как условий производства, так и самих объектов строительства. Не требует доказательств тот факт, что сколько-нибудь успешное строительство зданий и сооружений невозможно без предварительной детальной увязки работ во времени и пространстве. В практике строительства с этой целью успешно применяется **поточная организация работ**, предусматривающая совмещение и увязку разнотипных работ во времени и пространстве, т.е. разработку модели выполнения согласованного комплекса работ с целью достижения высоких технико-экономических показателей строительного производства.

Слово «модель» происходит от латинского слова «modus» – копия, образ, очертание. Модель является условным образом отображаемого объекта (предмета, процесса, явления). Изучение процесса моделирования в области организации и планирования строительного производства началось сравнительно недавно.

Наиболее широкое распространение при этом получили изобразительные (графические) модели: линейный календарный график, циклограмма, сетевой график в форме графа, табличные модели, например матрицы. До настоящего времени широко применяется *линейный календарный график*, представляющий собой первую попытку моделирования процессов организации строительного производства и предложенный еще в конце XIX века Г.Л. Гантом. К его достоинствам относится простота построения и наглядность, достаточная информативность, возможность отображения на одном графике всего перечня работ. Однако линейный календарный график не отображает разбивку общего фронта работ на частные, связи между работами, порядок освоения частных фронтов и часто не обеспечивает требуемой увязки работ. Этими недостатками объясняется возникновение и применение иных форм моделей.

Широкое распространение получил график потока – *циклограмма*, предложенная М.С. Будниковым в середине 30-х годов XX века. Циклограмма отображает не только технологическую последовательность и сроки, но и место производства работ. Отображение на циклограмме частных фронтов и порядка выполнения на них работ, простота, наглядность графика, возможность показа потребности в ресурсах на каждую единицу времени и на каждый фронт работ являются важными достоинствами, определившими ее широкое применение при поточной организации работ.

С конца 50-х годов XX века широкое распространение получили *сетевые графики*. Впервые эта форма была предложена еще до разработки циклограмм А.А. Эрасмусом в 1925 г. Однако массовое распространение она получила с 1957 г., когда Дж. Е. Келли и М.Р. Уолкер предложили методику расчета сетевых графиков, используя для этого теорию графов, и разработали программу расчета с помощью ЭВМ. Сетевые графики достаточно просты и наглядны при организации строительных работ с малым числом их видов и частных фронтов, но они весьма быстро усложняются и теряют наглядность при возрастании числа видов и фронтов работ, уступая по этим показателям линейному календарному графику и циклограмме.

Большой вклад в процесс дальнейшего совершенствования форм представления моделей строительного производства осуществлен нашими соотечественниками: А.В. Афанасьевым [1, 2], В.С. Гусакковой [6],

В.Г. Драпеко [7], В.А. Афанасьевым [3] и др.

Целью данной работы является подробное рассмотрение поточной модели организации строительного производства.

## 1 СУЩНОСТЬ ПОТОЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА

### 1.1 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Поточный метод производства работ является методом научной организации строительного производства, основанным на единообразии технологических схем процесса строительства и непрерывности производства работ.

**Поточный метод** – это такой метод организации работ, который обеспечивает планомерный и ритмичный выпуск готовой строительной продукции на основе непрерывной и равномерной работы трудовых коллективов неизменного состава, обеспеченных своевременной и комплектной поставкой всех необходимых материально-технических ресурсов.

Значительный вклад в разработку теории поточной организации строительного производства внесли ученые: О.А. Втуке, А.В. Барановский, Н.И. Пентковский, Б.П. Гарбушин, В.И. Батулин, А.А. Гармаш, М.В. Вавилов, В.И. Скосырев, А.И. Неровецкий, М.С. Будников, П.И. Недавний, В.И. Рыбальский, Р.И. Фоков, Е.И. Вареник, В.А. Афанасьев и др.

Реализация поточного метода производства работ выдвигает определенные требования к организации производства. Общий производственный процесс при этом разделяется на ряд простых процессов или работ, выполняемых бригадами (звеньями), имеющими постоянный состав. В этом случае требуется широкая специализация строительных бригад и звеньев. Когда это условие не может быть выполнено, поточный метод применяют в работе комплексных бригад, что приводит к меньшей расчлененности строительного процесса на работы и операции и снижает эффективность применения поточного метода.

Внедрение в практику строительного производства поточных методов ведения работ позволяет реализовать важнейшие принципы организации строительства – планомерность и круглогодичность ведения строительных работ. Поточные методы обеспечивают эффективное использование материальных и технических ресурсов, денежных средств, повышение производительности труда, снижение себестоимости работ и достижение высоких технико-экономических показателей деятельности строительной организации.

Как отмечается в [8], при применении поточного метода происходит:

- сокращение потерь рабочего времени примерно на 23 %;
- улучшение условий эксплуатации строительных машин – 19 %;
- снижение себестоимости строительства – 15 %;
- повышение производительности труда – 40 %;
- сокращение сроков строительства примерно в 1,8 раза.

Преимущества поточного метода организации строительного производства становятся более очевидными при сравнении его с последовательным и параллельным методами организации работ.

*Пример 1.* Необходимо построить комплекс гаражей, включающий в себя  $m$  одинаковых зданий (в нашем случае  $m = 4$ ), при этом  $t$  – продолжительность строительства одного гаража.

Условно расчленим процесс возведения каждого гаража на три вида работ, имеющих одинаковую по времени продолжительность, равную  $t/3$ :

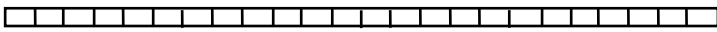
- строительство нулевого цикла;
- возведение надземной части;
- отделочные работы и благоустройство.

Количество рабочих в бригадах, занятых на выполнении работ, принимаем равным  $r$ . Считаем каждое отдельное здание захваткой. Здесь и далее для удобства захватки обозначаются римскими цифрами, строительные работы – арабскими.

Рассмотрим три возможных варианта организации работ.

### I Последовательный метод



$T_{\text{послед}} = tm$  

$R_{\text{послед}} = r$

Рис. 1.1 График строительства объектов последовательным методом

Как видно из рисунка, последовательный метод строительства имеет определенные **преимущества**. К их числу можно отнести:

- общее количество рабочих, занятых на строительстве гаражей  $R_{\text{посл}}$  постоянно и имеет минимально возможное значение ( $R_{\text{посл}} = r$ );
- уровень потребления ресурсов также является минимальным.

Несмотря на отмеченные достоинства, метод не свободен от недостатков. Основными из них являются:

- значительная общая продолжительность строительства ( $T_{\text{посл}} = tm$ );
- неизбежные простои машин, бригад, определенные трудности у заводов-изготовителей, транспортных и снабженческих организаций, обусловленные частой сменой видов материалов и конструкций.

Основным достоинством параллельного метода строительства зданий является минимальный срок строительства ( $T_{\text{пар}} = t$ ). Однако, недостатки данного метода значительно существеннее. Можно отметить следующие моменты:

- значительное количество техники и рабочей силы, необходимое для реализации метода ( $R_{\text{пар}} = rm$ );
- максимальное потребление ресурсов каждого вида в каждый конкретный момент времени (высокая единовременная потребность в комплектах землеройно-транспортных машин, монтажных кранах, строительных конструкциях определенного вида и т.д., необходимых для одновременного возведения  $m$  зданий);
- вид и номенклатура потребляемых ресурсов постоянно меняется.

## II Параллельный метод



Рис. 1.2 График строительства объектов параллельным методом

## III Поточный метод



Рис. 1.3 График строительства объектов поточным методом

Анализ поточного метода организации строительства, представленного на графике, показывает, что данный метод, сочетая в себе достоинства последовательного и параллельного метода, лишен свойственных им недостатков

$$T_{\text{пар}} < T_{\text{пот}} < T_{\text{послед}}; \quad R_{\text{послед}} < R_{\text{пот}} < R_{\text{пар}}$$

## 1.2 ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОТОЧНОГО МЕТОДА ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА

При проектировании строительного потока выявляют объекты, близкие между собой по объемно-планировочному и конструктивному решениям, технологии их возведения и объему работ (в нашем примере в роли таких объектов выступали гаражи). Если в качестве результата строительного потока выступает отдельное здание (а не их комплекс, как в рассмотренном примере), то выявляют близкие между собой конструктивно изолированные части зданий – захватки.

На следующем этапе проектирования расчленяют процесс возведения объекта на отдельные виды работ, предпочтительно равные или кратные по трудоемкости, а значит и по продолжительности. В рассмотренном ранее примере: 1 – работы нулевого цикла; 2 – возведение надземной части; 3 – отделочные работы и благоустройство. Устанавливается целесообразная последовательность выполнения работ (в нашем случае: 1 – 2 – 3).

Далее необходимо установить целесообразную последовательность включения объектов (захваток) в поток. При проектировании строительного потока отдельные виды работ закрепляются за определенными бригадами.

На завершающем этапе рассчитываются основные параметры потока (см. п. 3, 4) и определяется последовательность перехода ведущих строительных машин и бригад с объекта на объект.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

- 1 В чем состоит суть поточного метода строительства?
- 2 Каковы отличительные особенности поточного метода по сравнению с последовательным и параллельным методами организации работ?
- 3 Перечислите основные преимущества поточного метода.
- 4 Назовите фамилии ученых, внесших вклад в теорию поточной организации строительства.
- 5 Перечислите основные этапы проектирования строительного потока.
- 6 Докажите эффективность поточного метода строительства, сравнив его с последовательным и параллельным методами на основании следующих **исходных данных**:

Необходимо возвести жилой микрорайон, включающий в себя два жилых дома, магазин и спортивный комплекс. Возведение каждого здания включает в себя три этапа: нулевой цикл, возведение надземной части, отделочные работы, которые имеют одинаковую продолжительность выполнения. Количество рабочих в бригадах, занятых на выполнении работ, принимаем равным  $r$ .

Но- мер вари- анта	Продолжительность строительства			
	1-й жилой дом	2-й жилой дом	мага- зин	спортком- плекс
1	$t$	$3t$	$t$	$2t$
2	$2t$	$2t$	$t$	$t$
3	$3t$	$t$	$2t$	$2t$
4	$3t$	$2t$	$2t$	$3t$
5	$2t$	$3t$	$2t$	$2t$
6	$t$	$2t$	$t$	$2t$
7	$t$	$3t$	$2t$	$2t$
8	$2t$	$t$	$t$	$2t$
9	$2t$	$3t$	$t$	$2t$
10	$3t$	$3t$	$2t$	$2t$



11	$2t$	$4t$	$t$	$2t$
12	$t$	$4t$	$t$	$2t$
13	$4t$	$t$	$2t$	$3t$
14	$4t$	$2t$	$t$	$2t$
15	$4t$	$2t$	$2t$	$3t$

Продолжение табл.

Но- мер вари- анта	Продолжительность строительства			
	1-й жилой дом	2-й жилой дом	мага- зин	спортком- плекс
16	$4t$	$3t$	$t$	$2t$
17	$4t$	$4t$	$t$	$2t$
18	$t$	$t$	$2t$	$2t$
19	$2t$	$2t$	$t$	$3t$
20	$3t$	$3t$	$t$	$4t$
21	$4t$	$t$	$t$	$3t$
22	$4t$	$2t$	$t$	$2t$
23	$4t$	$3t$	$2t$	$3t$
24	$4t$	$4t$	$2t$	$t$
25	$t$	$2t$	$2t$	$3t$
26	$t$	$4t$	$2t$	$3t$
27	$3t$	$4t$	$t$	$3t$
28	$3t$	$t$	$t$	$4t$

## 2 КЛАССИФИКАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПОТОКОВ

В теории поточного строительства утвердилась определенная классификация строительных потоков. Можно выделить несколько признаков, по которым группируют строительные потоки.

**Строительные потоки, классифицируемые по структуре и виду конечной продукции** (см. рис. 2.1). К ним относятся:

- *частный поток* – элементарный строительный поток, представляющий собой последовательное выполнение одного процесса на ряде захваток (ярусов) звеном или одним рабочим; продукцией частного потока являются элементы конструкций или работы (например, устройство опалубки, рытье котлована, заделка швов и т.д.);

- *специализированный поток* – совокупность технологически связанных частных потоков, выполняемых на одних и тех же захватках и объединенных общей строительной продукцией в виде законченных конструктивных элементов или выполненных видов работ (земляные работы, устройство фундаментов, малярные работы и т.д.); в данном потоке принимают участие комплексные или специализированные бригады;

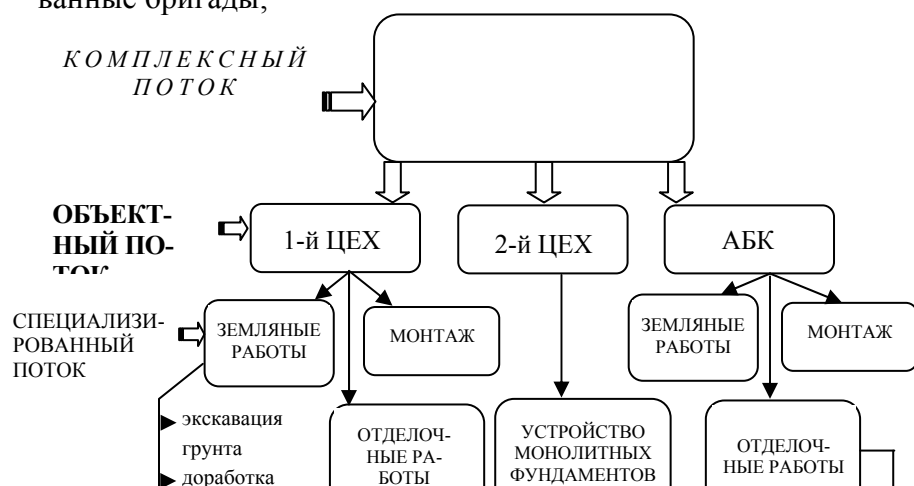


Рис. 2.1. Классификация строительных потоков по структуре и виду конечной продукции

- *объектный поток* – совокупность технологически и организационно связанных специализированных потоков, совместной продукцией которых являются законченные здания или сооружения;
- *комплексный поток* – совокупность организационно связанных объектных потоков, объединенных общей продукцией, представленной в виде комплекса зданий и сооружений.

Под **комплексом** понимается совокупность технологически связанных объектов, а также архитектурно законченные ансамбли, включаемые в определенную очередь строительства или представляющие собой законченное промышленное (агропромышленное) предприятие, район застройки.

#### **Строительные потоки, классифицируемые по продолжительности строительства:**

- *кратковременный поток* организуют при возведении отдельных зданий (сооружений) или групп объектов, продолжительность строительства которых не превышает одного года;
- *долговременный поток* действует при сооружении объектов или комплексов, продолжительность строительства которых более одного года;
- *сквозной* (непрерывный) поток включает изготовление конструкций, их транспортирование на строительную площадку и процесс возведения зданий (например, при строительстве силами домостроительного комбината).

**Строительные потоки, классифицируемые по ритмичности** (см. рис. 2.2):

- *ритмичные*, в свою очередь подразделяющиеся в зависимости от продолжительности выполнения работ на захватках (объектах) на: а) *равноритмичные* (т.е. имеющие одинаковые ритмы); б) *кратноритмичные* (потоки, имеющие кратные продолжительности выполнения работ на захватках); в) *разноритмичные* (потоки, у которых ритмы работы каждой бригады постоянны, но не равны и не кратны друг другу);
- *неритмичные*, подразделяющиеся на потоки с: а) *однородным изменением ритма* (все специализированные потоки на однородных захватках (объектах) имеют одинаковые ритмы, а на разных захватках – неодинаковые); б) *неоднородным изменением ритма* (ритмы всех специализированных потоков на всех захватках различны).

В практике строительства *равноритмичные* и *кратноритмичные* потоки чрезвычайно редки, так как объемы строительно-монтажных работ, а, следовательно, и продолжительность их выполнения, будут существенно различаться даже у зданий, имеющих одинаковую конструктивную схему.

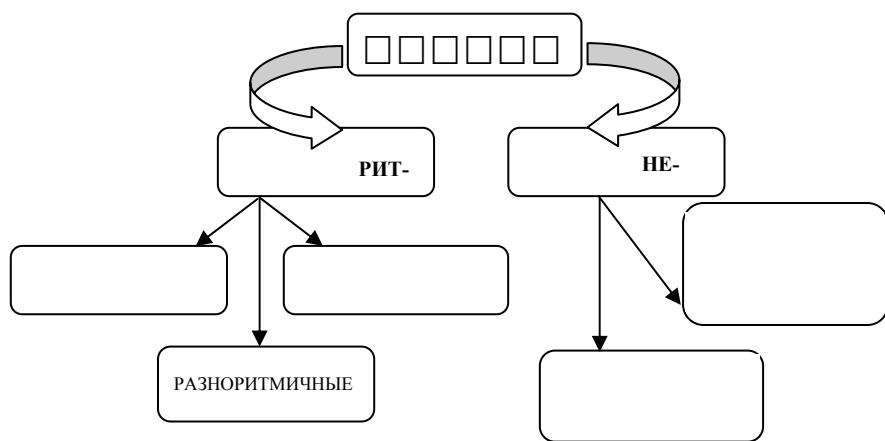


Рис. 2.2 Классификация потоков по ритмичности

Наибольшее распространение получил *неритмичный строительный поток с неоднородным изменением ритма*. При проектировании объектного потока для зданий, имеющих одинаковые объемы работ по захваткам (ярусам) (например, жилое многоэтажное здание с повторяющимся по этажам объемно-планировочным решением, в котором в качестве яруса принимается 1 – 2 этажа), можно организовать *разноритмичный строительный поток*.

В соответствии с **технологией возведения зданий** различают строительные потоки:

- без совмещения работ (с последовательной схемой);
- с совмещением работ (с параллельно-последовательной схемой).

Для строительных потоков без совмещения работ каждая последующая работа может начинаться лишь по окончании предыдущей работы (см. рис. 2.3).

В потоках с параллельно-последовательной схемой организации работ каждая последующая работа может начинаться до завершения предыдущей работы (рис. 2.4), обычно это относится к частным потокам. На практике также встречаются потоки, имеющие смешанную схему.

В соответствии с **направлением развития** частных и специализированных потоков можно выделить:

- *горизонтальные* строительные потоки (см. рис. 2.5); к ним относятся, например, устройство фундамента, монтаж конструкций одноэтажного промышленного здания, кровельные работы;
- *вертикально восходящие* строительные потоки (например, посекционный монтаж жилого здания);
- *вертикально нисходящие* (отделка в жилом доме, осуществляемая «сверху вниз»);
- *наклонные* (кирпичная кладка этажа, монтаж конструкций на разных отметках);
- *смешанные*.

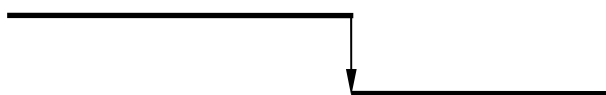


Рис. 2.3 Последовательная схема выполнения работ

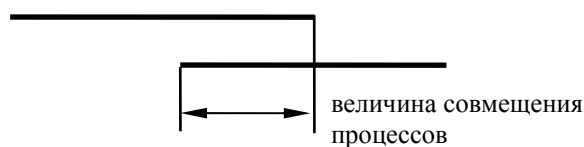


Рис. 2.4 Параллельно-последовательная схема выполнения работ

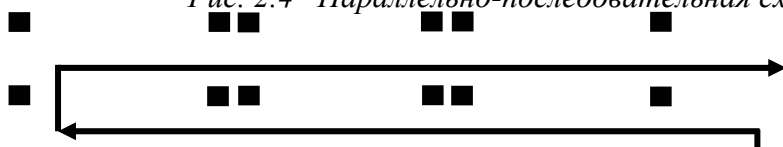


Рис. 2.5. Горизонтальная схема развития потока

С точки зрения членения **производственного процесса и разделения труда между рабочими**, участвующими в потоке, различают выполнение работ:

- *поточно-операционным*;
- *поточно-расчлененным*;
- *поточно-комплексным методом*.

*Поточно-операционный* способ применяют в отдельных звеньях. В этом случае производственный процесс между рабочими разделен по операциям, например, кирпичная кладка выполняется звеном «тройка», где каждому из трех каменщиков поручается выполнять определенную операцию (подача раствора, расстиление раствора, укладка кирпича в дело).

*Поточно-расчлененным* называется способ, при котором отдельные звенья бригады выполняют простые процессы на определенном участке или делянке, например, при устройстве рулонной кровли, где звенья ведут работы по устройству цементной стяжки и наклейке рулонного ковра.

*Поточно-комплексный* способ применяется при выполнении сложных процессов комплексными бригадами, где часто трудоемкость отдельных простых процессов различная, а члены бригады владеют несколькими смежными профессиями. Например, при бетонировании фундаментов арматурные работы, как правило, менее трудоемки, чем бетонные и опалубочные, и арматурщики периодически переходят на выполнение смежных работ.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

- 1 Для чего необходима классификация строительных потоков?
- 2 Перечислите основные признаки, в соответствии с которыми можно классифицировать строительные потоки.
- 3 К какому виду потоков относится монтаж фундаментов промышленного здания? А строительство жилого микрорайона?
- 4 Есть ли преимущества у сквозного потока по сравнению с долговременным? Если такие преимущества есть, то в чем они заключаются?
- 5 Какие виды строительных потоков, различающихся по признаку ритмичности, наиболее распространены в строительной практике?

### 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СТРОИТЕЛЬНОГО ПОТОКА

#### 3.1 ПАРАМЕТРЫ СТРОИТЕЛЬНОГО ПОТОКА

Строительные потоки характеризуются *временными, пространственными, технологическими, статическими и динамическими* параметрами.

**Временные параметры** являются наиболее важными. Характеризуя развитие потока во времени, они устанавливают темп поточного строительства и достижение намеченного срока. К временным параметрам строительного потока относятся:

- *общая продолжительность работ по потоку*  $T_0$ ;
- *суммарная продолжительность выполнения всех работ на одной захватке*  $T_1$ ;
- *суммарная продолжительность работы каждой бригады на всех захватках*  $T_{бр}$ ;
- *ритм бригады* (продолжительность работы бригады на захватке)  $t_{бр}$ ;
- *шаг потока* (промежуток времени между началом работ двух соседних бригад на одной захватке)

$t_{ш}$ ;

- *технологический перерыв* между смежными процессами (перерыв, обусловленный требованиями технических условий на производства работ, характером и свойствами применяемых материалов, например, твердение бетона, сушка штукатурки и т.д.)  $t_{\text{тех}}$ ;
- *организационный перерыв* (перерыв, вызванный необходимостью перемещения рабочих или подготовкой фронта работ для выполнения последующего процесса)  $t_{\text{орг}}$ ;
- *период развертывания потока* (интервал времени между началом первого и завершающего вида работ по первой захватке)  $t_p$ ;
- *период свертывания потока* (интервал времени, в течение которого бригады постепенно выключаются из работы)  $t_c$ .

Пространственные параметры характеризуют развитие потока в пространстве, т.е. в плане и по высоте. Они зависят от общего фронта работ и возможности разделения его на части. К пространственным параметрам потока относятся: *фронт работ, деланка, захватка, ярус, объект (здание или сооружение)*.

*Фронт работ* – часть строительного объекта, необходимая и достаточная для размещения рабочих вместе с требующимися для осуществления работ машинами, механизмами и приспособлениями.

*Деланка* – часть фронта работ, отводимая для звена или одного рабочего.

*Захватка* – часть здания, объемы работ по которой выполняются бригадой постоянного состава с определенным ритмом, обеспечивающим поточную организацию строительства объекта в целом. В качестве захваток принимают повторяющиеся пролеты, секции, конструктивные объемы по определенной группе осей здания.

Разбивку здания на захватки производят с учетом обеспечения необходимой устойчивости в условиях самостоятельной работы в пределах захватки. Например, если границы захватки совпадают с температурными или осадочными швами, обеспечивается возможность прекращения и возобновления работы без нарушения технических условий. Минимальные размеры захваток определяются сменной производительностью звена или специализированной бригады. Число захваток, на которое можно разбить объект в плане, обусловлено объемно-планировочными и конструктивными особенностями здания, а также зависит от организационных соображений.

При проектировании комплексного потока в качестве захваток часто фигурируют отдельные объекты.

*Ярус* – часть объекта, образуемая при условном расчленении его по вертикали. Количество ярусов обусловлено архитектурно-конструктивным решением здания (колонна на 1 или 2 этажа), зависит от технических условий на производство работ (высота слоя насыпи при устройстве земляных плотин и дамб), параметров применяемых строительных машин (высота забоя при отрывке котлована) и может быть продиктовано удобством производства работ (например, при кирпичной кладке).

**Технологические параметры** характеризуют принятую технологию строительного производства. К ним относятся число *частных, специализированных, объектных и комплексных* потоков и *интенсивность потока*.

*Интенсивность потока* – количество продукции, выпускаемой потоком за единицу времени, в натуральных измерителях. Для частных и специализированных потоков в качестве интенсивности потока может выступать количество кубических метров бетона, укладываемого в день, число квадратных метров оштукатуриваемой поверхности и т.д.; для потока в целом, в роли данного показателя может выступить количество квадратных метров жилой, полезной или производственной площади, кубических метров здания, определяемых в процессе строительства за день условно в зависимости от степени готовности объекта.

**Статические параметры** являются исходными и не зависят от производственных условий. К ним относятся: *объем работ  $V_i$ , трудоемкость работ  $A_i$  и стоимость работ  $C_i$* , выполняемых частными или специализированными потоками.

**Динамические параметры** определяются конкретными производственными условиями. К ним относятся: *численность рабочих  $R_i$ , выработка одного рабочего в день* в стоимостных измерителях  $V_i$  и *интенсивность потока* в натуральных измерителях  $I_i$ .

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

- 1 Перечислите основные временные параметры строительного потока.
- 2 Сравните между собой физический смысл параметров «ритм бригады» и «шаг потока». Могут ли совпадать между собой физические значения этих величин? Если могут, то при каком условии? В каком случае значение параметра «ритм бригады» больше, чем «шаг потока»? Возможна ли противоположная ситуация и при каком условии?

- 3 Назовите пространственные параметры строительных потоков.
- 4 Что относится к технологическим параметрам строительных потоков?
- 5 Для чего необходимо знать значения статистических параметров строительных потоков?
- 6 Что определяет значения динамических параметров потоков?

### 3.2 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СТРОИТЕЛЬНОГО ПОТОКА

Для расчета параметров строительного потока применяются *аналитический* или *графоаналитический (матричный)* метод. В силу того, что аналитические методы расчетов сложны и достаточно трудоемки, при разработке проектно-технологической документации чаще используется матричный метод.

С помощью матричной модели представляется возможным представить все многообразие строительных потоков и вычислить необходимые параметры. Внутри клеток заносятся временные параметры выполнения потока, расчет которых осуществляется по специально разработанному алгоритму.

Формулы расчета потоков получены, исходя из следующих предположений:

- для потоков без совмещения, работу на каждой последующей захватке начинают с интервалом, равным шагу потока;
- на одной захватке может работать только одна бригада (звено) или несколько бригад с одинаковым ритмом;
- размер каждой захватки остается неизменным для всех видов работ, выполняемых на захватках;
- после выполнения всего комплекса работ на одной захватке, работы на каждой из последующих заканчиваются не позднее чем через интервал, равный шагу потока.

Такой подход позволяет рассчитать параметры для ритмичных и неритмичных потоков при их проектировании с совмещением и без совмещения работ с учетом технологических и организационных перерывов.

Расчет параметров строительных потоков рекомендуется выполнять с помощью матрицы (рис. 3.1), строки которой соответствуют захваткам (объектам), а столбцы – специализированным потокам (работам, бригадам).

На матрице использованы следующие обозначения:  $i = 1, 2, \dots, n$  – номер захватки (объекта);  $j = 1, 2, \dots, m$  – номер специализированного потока (работы, бригады);  $t_{ij}^H$  – начало выполнения работы  $j$  на  $i$ -й захватке;

		СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ПОТОКИ РАБОТЫ, БР.								
		1	2	...	j	...	m	$\sum_1^m a_i$	$\sum_1^m \bar{c}_i$	$\sum_1^m (a_i + \bar{c}_i)$
i	j	1	$t_{11}^H$	$C_{j-1,j}^1$	$a_1$	$C_{j-1,j}^1$	$a_1 + \bar{c}_1$	$a_1$	$\bar{c}_1$	$a_1 + \bar{c}_1$
		2	$t_{21}^o$		$a_2$	$C_{j-1,j}^2$	$a_2 + \bar{c}_2$	$a_2$	$\bar{c}_2$	$a_2 + \bar{c}_2$
i	j	3	$t_{31}^H$							
		...	$t_{ij}^H$							
i	j	n-1	$t_{n-1,j}^H$	$C_{j-1,j}^{n-1}$	$a_{n-1}$	$C_{j-1,j}^{n-1}$	$a_{n-1} + \bar{c}_{n-1}$	...	...	...
		n	$t_{nj}^H$	$C_{j-1,j}^n$	$a_n$	$C_{j-1,j}^n$	$a_n + \bar{c}_n$	$a_n$	$\bar{c}_n$	$a_n + \bar{c}_n$
i	j	T <sub>j</sub>	$T_1$	$T_2$	$T_{j-1}$	$T_m$	$\sum_{j=1}^n a_i$	$\bar{c}_n$	$a_n + \bar{c}_n$	
		T <sub>1</sub>	$T_2$	...	$T_{m-1}$	$T_m$	$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_i$	$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \bar{c}_i$	$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (a_i + \bar{c}_i)$	

Рис. 3.1 Матрица расчета параметров строительных потоков

$t_{ij}^o$  – окончание выполнения работы  $j$  на  $i$ -й захватке;  $a_{ij}$  – продолжительность работы  $j$  на  $i$ -й захватке;  $T_o = t_{nm}^o$  – окончание работы  $m$  на  $n$ -й захватке (общая продолжительность работ по потоку); « $\rightarrow$ » – символ, обозначающий отсутствие технологического или организационного перерыва между началом рассматриваемой работы  $j$  и окончанием предшествующей работы  $j - 1$  на  $i$ -й захватке (место критического сближения процессов);  $C_{j-1,j}^i$  – величина организационного перерыва между началом работы  $j$  и окончанием работы  $j - 1$  на  $i$ -й захватке; « $x^+$ » – символ, обозначающий наличие технологического перерыва между началом рассматриваемой работы  $j$  и окончанием предшествующей работы  $j - 1$  на  $i$ -й захватке; « $x^-$ » – символ, обозначающий наличие совмещения смежных работ  $j$  и  $j - 1$  на  $i$ -й захватке;  $T_j$  – продолжительность  $j$ -й работы на всех захватках;  $a_i$  – продолжительность выполнения всех работ на  $i$ -й захватке;  $\bar{C}_{j-1,j}^i$  – величина организационного перерыва (или совмещения) между смежными работами на  $i$ -й захватке;  $\bar{C}_i$  – сумма организационных перерывов между смежными работами на  $i$ -й захватке.

### 3.2.1 Универсальная методика расчета параметров строительных потоков без совмещения работ

Расчет параметров строительных потоков без совмещения работ осуществляют в следующей последовательности. С учетом исходных данных (количества захваток (объектов) и специализированных потоков (работ)) формируют матричную модель. В центре каждой клетки записывают продолжительность выполнения работы  $a_{ij}$  на соответствующих захватках. В левом верхнем углу каждой клетки матрицы проставляют время начала выполнения работы  $j$  на  $i$ -й захватке  $t_{ij}^h$ . Начало первой работы на первой захватке принимают равным нулю  $t_{11}^h = 0$ . Окончание  $j$ -й работы на  $i$ -й захватке  $t_{ij}^o$  записывают в правом нижнем углу клетки матрицы. Окончание первой работы на первой захватке  $t_{11}^o$  будет равно:

$$t_{11}^o = t_{11}^h + a_{11} = a_{11}. \quad (1)$$

Начало и окончание любой работы (кроме первой) на первой захватке определяют по формулам:

$$t_{1j}^h = t_{1,j-1}^o; \quad (2)$$

$$t_{1j}^o = t_{1j}^h + a_{1j}. \quad (3)$$

Начало и окончание всех остальных работ на  $i$ -й захватке определяют по формулам:

$$t_{ij}^h = t_{i-1,j}^o; \quad (4)$$

$$t_{ij}^o = t_{ij}^h + a_{ij}. \quad (5)$$

Перерывы  $C_{j-1,j}^i$  между началом рассматриваемой работы  $j$  и окончанием предшествующей работы  $j - 1$  на  $i$ -й захватке вычисляют по формуле:

$$C_{j-1,j}^i = t_{ij}^h - t_{i,j-1}^o. \quad (6)$$

Для первой работы для любой захватки  $C_{01}^i = 0$ , поскольку первая работа не имеет предшествующей.

Начало выполнения смежных работ (кроме первой) на всех захватках корректируют (увеличивают) на величину:

$$\Delta C_{j-1,j} = \max \{-C_{j-1,j}^i\}. \quad (7)$$

Новые значения начала  $t_{ij}^{h,h}$  и окончания  $t_{ij}^{h,o}$  рассматриваемой работы определяют по формулам:

$$t_{ij}^{h,h} = t_{ij}^h + \Delta C_{j-1,j}; \quad (8)$$

$$t_{ij}^{h,o} = t_{ij}^{h,h} + a_{ij}. \quad (9)$$

Окончательные значения перерывов между смежными работами определяют по формулам:

$$\bar{C}_{j-1,j}^i = t_{ij}^{n,n} - t_{i,j-1}^o. \quad (10)$$

Технологические перерывы между смежными работами учитывают путем увеличения начала последующей работы на величину технологического перерыва.

Все расчеты осуществляются по столбцам: для первого процесса всегда сверху вниз, а для последующих – в зависимости от их суммарной продолжительности. Если суммарная продолжительность последующего процесса превышает продолжительность предыдущего, расчет ведут также сверху вниз (а если они меньше, то снизу вверх). Исключением являются неритмичные потоки с неоднородным изменением ритма, параметры которых рассчитывают всегда сверху вниз. Определяется общая продолжительность строительного потока без совмещения работ  $T_o = t_{nm}^o$ .

Заполняют дополнительные столбцы матрицы, определяя величины

$$\sum_1^m a_i, \quad \sum_1^m \bar{C}_i \quad \text{и} \quad \sum_1^m (a_i + \bar{C}_i).$$

Коэффициент плотности графика работ определяют по формуле:

$$K_{пл} = \frac{\sum_1^n \sum_1^m a_i}{\sum_1^n \sum_1^m (a_i + \bar{C}_i)}. \quad (11)$$

Общую продолжительность строительного потока без совмещения работ  $T_o = t_{nm}^o$  можно определить по одной из следующих формул:

$$T_o = t_{nm}^o = \sum_{j=1}^m a_{1j} + \sum_{i=2}^n a_{im} + \bar{C}_1; \quad (12)$$

$$T_o = t_{nm}^o = \sum_{i=1}^n a_{i1} + \sum_{j=2}^m a_{nj} + \bar{C}_n. \quad (13)$$

### 3.2.2 Универсальная методика расчета параметров строительных потоков с совмещением работ

Расчет временных параметров потоков с совмещением процессов рекомендуется выполнять с использованием матрицы, в центре каждой клетки которой записывается продолжительность работы, представленная двумя слагаемыми, отражающими совмещаемую и несовмещаемую части работы. Если через  $b_{ij}$  обозначить продолжительность выполнения той части работы, которая совмещена во времени с технологически предшествующей работой, а через  $a'_{ij}$  – продолжительность выполнения несовмещаемой части рассматриваемой работы, то сумма величин  $a'_{ij}$  и  $b_{ij}$  даст общую продолжительность работы ( $a_{ij} = a'_{ij} + b_{ij}$ ) (рис. 3.2).

При назначении величины совмещения  $b_{ij}$  необходимо учитывать следующие ограничения:

- для первой работы величина совмещения равна нулю, поскольку она не имеет предшествующей ( $b_{i1} = 0$ );
- величина совмещения не может превышать продолжительность предшествующей работы, так как в противном случае процессы поменяются местами, что обычно технологически не оправдано; величина совмещения может быть равна продолжительности предшествующего процесса, в этом случае процессы выполняются параллельно ( $b_{ij} \leq a_{i,j-1}$ ).

При формировании матрицы в центре каждой клетки заносят продолжительность работы в виде  $a'_{ij} + b_{ij}$ . Время начала  $t_{ij}^n$  и время окончания  $t_{ij}^o$  работы  $j$  на  $i$ -й захватке записывается, соответственно, в левом верхнем и правом нижнем углах каждой клетки матрицы. Начало первой работы на первой за-



хватке принимают равным нулю ( $t_{11}^H = 0$ ). Начала и окончания первой работы на первой и последующих захватках определяются по формулам (1 – 5).

Предварительным расчетом определяют начала и окончания работ на захватках: начало каждой последующей работы на первой захватке определяют по формуле

$$t_{1j}^H = t_{1,j-1}^O - b_{1j}; \quad (14)$$

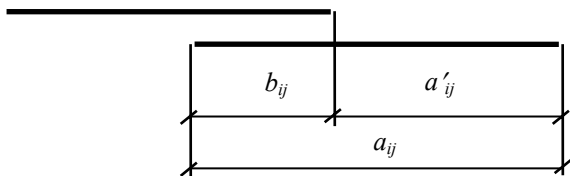


Рис. 3.2 Схема обозначения величин совмещения процессов

окончание последующей работы на первой захватке – по формуле

$$t_{1j}^O = t_{1j}^H + a_{1j}; \quad (15)$$

началом любой работы на всех захватках (кроме первой) служит ее окончание на предыдущей захватке:

$$t_{ij}^H = t_{i-1,j}^O; \quad (16)$$

окончание любой работы на каждой захватке (кроме первой) определяют по формуле

$$t_{ij}^O = t_{ij}^H + a_{ij}. \quad (17)$$

Для корректировки времени начала и окончания работы на всех захватках определяют следующие величины:

$$d_{ij} = t_{i,j-1}^O - b_{ij}; \quad (18)$$

$$C_{j-1,j}^i = t_{ij}^H - d_{ij} = t_{ij}^H - t_{i,j-1}^O + b_{ij}. \quad (19)$$

Начала выполнения смежных работ на всех захватках корректируют на величину  $\Delta C_{j-1,j}$ , определяемую по формуле (7).

Новые значения начала  $t_{ij}^{H,H}$  и окончания  $t_{ij}^{H,O}$  рассматриваемой работы определяют по формулам (8) и (9). Окончательные значения перерывов между началами и окончаниями смежных работ определяют по формуле (10).

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

- 1 Какие методы используются для расчета параметров строительных потоков?
- 2 Какие предположения положены в основу теории расчета строительных потоков?
- 3 Расскажите об условных обозначениях, используемых в расчете строительных потоков матричным способом.
- 4 Какие значения заносятся в дополнительные столбцы матрицы?
- 5 Изложите в общих чертах универсальную методику расчета параметров строительных потоков.
- 6 Изложите специфические особенности расчета параметров строительных потоков с совмещением работ.

## 4 ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПОТОКОВ

### 4.1 ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ РАВНОРИТМИЧНОГО СТРОИТЕЛЬНОГО ПОТОКА

**Равноритмичным строительным потоком** является поток с одинаковой продолжительностью выполнения всех процессов на всех захватках. В практике строительства встречается достаточно редко. Данный вид потока может быть использован только при планировании возведения отдельного объекта или группы одинаковых объектов с очень высоким организационным уровнем строительства и материально-технического обеспечения, осуществляемого по принципу производственно-технической комплектации, когда бесперебойно функционирует промышленно-транспортно-строительный конвейер.

Продолжительность строительного потока данного вида ( $T_0$ ) можно вычислить по одной из общих формул расчета параметров строительных потоков без совмещения работ (12) и (13). Для равномерных потоков при  $a_{ij} = a = \text{const}$  и  $\bar{c}_{ij} = 0$  формулы (12) и (13) приобретают вид:

$$T_0 = am + a(n - 1) = a(m + n - 1) \quad (20)$$

и

$$T_0 = an + a(m - 1) = a(n + m - 1). \quad (21)$$

#### 4.1.1 Равноритмичный поток без совмещения работ

*Пример 2.* Требуется выполнить расчет параметров и построить циклограмму равноритмичного потока без совмещения работ при  $n = 4$  (число захваток),  $m = 3$  (число работ) и  $a = 2$  (продолжительность каждой работы на одной захватке в принятых единицах времени).

Расчет выполним с использованием матрицы (рис. 4.1) по правилам, изложенным в п. 3.2.1. В центре каждой клетки матрицы записываем продолжительность работы на каждой захватке ( $a = 2$ ). Расчет производим по столбцам сверху вниз.

Начало первой работы на первой захватке принимаем равным нулю и записываем 0 в левом верхнем углу клетки, расположенном на пересечении первой строки и первого столбца. Окончание первой работы на первой захватке по формуле (1) равно  $t_{11}^0 = t_{11}^n + a_{11} = 0 + 2 = 2$ . Эту величину записываем в правом нижнем углу первой клетки матрицы. Поскольку время окончания первой работы на первой захватке можно считать началом этой работы на следующей захватке, цифру 2 из нижнего правого угла верхней клетки переносим без изменения в верхний левый угол второй клетки первого столбца (см. рис. 4.1).

Суммируя время начала работы с ее продолжительностью, по формуле (5) определяем время ее окончания на второй захватке. Записываем эту величину в правом нижнем углу второй клетки первого столбца матрицы. Подобная процедура повторяется последовательно на всех захватках до окончания расчета параметров по столбцу.

Поскольку вторую работу на первой захватке можно начать сразу же после окончания на ней первой работы, то цифру 2 из нижнего угла левой клетки переносим в верхний угол правой клетки. При этом она выступает началом второго процесса на первой захватке (формула (2)). Дальнейший

		РАБОТЫ			$\sum_1^m a_i$	$\sum_1^m < i$	$\sum_1^m (a_i + \bar{c}_i)$
		I	2	3			
з а х в а т к и		0	2	4			
	I	2 2	2 4	2 6	6	0	6
	II	2 4	4 6	6 8	6	0	6
	III	4 6	6 8	8 10	6	0	6
	IV	6 8	8 10	10 12	6	0	6
$T_j$		$T_1=8$	$T_2=8$	$T_3=8$	24	0	24

Рис. 4.1 Матрица расчета параметров равноритмичного строительного потока

расчет выполняем по формулам (3) и (5). В результате расчета параметров второго столбца получим, что вторая работа будет выполнена на 10-й день.

Расчет параметров третьего столбца выполняется аналогично по формулам (3) – (5). Цифра 12 в нижнем углу последней клетки матрицы показывает общую продолжительность данного строительного потока.

Проверка матрицы по формуле (6) показывает, что технологические и организационные перерывы между началом работ и окончанием предшествующих им работ отсутствуют. Следовательно, коэффициент плотности графика (см. формулу (11)) равен:

$$K_{пл} = 24/24 = 1.$$

Результаты расчета проверим по формулам (12), (13), (20) и (21):

$$T_o = t_{43}^o = (2 + 2 + 2) + (2 + 2 + 2) + 0 = 12;$$

$$T_o = t_{43}^o = (2 + 2 + 2 + 2) + (2 + 2) + 0 = 12;$$

$$T_o = t_{43}^o = 2(3 + 4 - 1) = 12;$$

$$T_o = t_{43}^o = 2(4 + 3 - 1) = 12.$$

Графическое изображение параметров строительного потока представлено на циклограмме (см. рис. 4.2). Циклограмма представляет собой

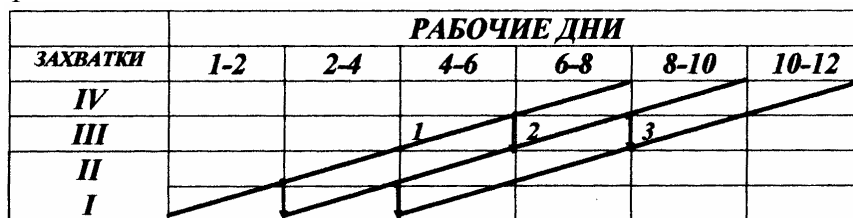


Рис. 4.2 Циклограмма равноритмичного потока без совмещения работ

вертикальный график, в котором на оси абсцисс откладываются параметры времени, а по оси ординат – пространственные параметры (захватки). На циклограмме наклонными линиями изображаются потоки (процессы). Вид циклограммы для различных типов потоков также различен (прямые или ломанные линии), угол их наклона к оси абсцисс зависит от продолжительности выполнения процессов по захваткам.

Если при проектировании ритмичного строительного потока без совмещения работ необходимо предусматривать технологический перерыв, расчет параметров осуществляется аналогично. Существование технологического (организационного) перерыва учитывается при помощи увеличения расчетных параметров потока на величину перерыва (см. пример расчета № 3).

*Пример 3.* Требуется выполнить расчет параметров и построить циклограмму равноритмичного потока без совмещения работ при  $n = 4$  (число захваток),  $m = 3$  (число работ) и  $a = 5$  (продолжительность каждой работы на одной захватке в принятых единицах времени). Необходимо предусмотреть технологический перерыв продолжительностью две единицы времени между вторым и третьим процессом.

Расчет параметров строительного потока будем осуществлять в матричной форме по формулам (1) – (5). Расчет параметров первого и второго столбца матрицы выполняется аналогично расчету, осуществленному в примере 2 (см. рис. 4.1). Время завершения второй работы на последней захватке составит 25 дней.

При определении расчетных параметров для третьего процесса считаем, что время начала третьего процесса на первой захватке «отодвигается» на величину технологического перерыва:  $t_{13}^H = t_{12}^o + t_{тех} = 10 + 2 = 12$ . Значение окончания третьего процесса на первой захватке определяется по формуле (5) и составит:  $t_{13}^o = t_{13}^H + a_{13} = 12 + 5 = 17$  (см. рис. 4.3).

Последующие параметры определяются в соответствии с алгоритмом, изложенным ранее (см. п. 3.2.1).

Коэффициент плотности матрицы составил:  $K_{пл} = 60/68 = 0,88$ . Продолжительность строительного потока  $T_o = t_{43}^o = (5 + 5 + 5) + (5 + 5 + 5) + 2 = 32$ , что соответствует расчетному значению. Графическое изображение рассчитанных параметров равноритмичного потока, предусматривающего технологический перерыв, представлено на рис. 4.4.

технологический перерыв  
продолжительностью 2 дня

<i>i</i>	<i>j</i>	РАБОТЫ			$\sum_1^m a_i$	$\sum_1^m \bar{c}_i$	$\sum_1^m (a_i + \bar{c}_i)$
		1	2	3			
з а х в а т к и	0	5	5	12	15	2	17
	I	5	5	17			
	II	5	5	22			
	III	5	5	27			
IV	5	5	32	15	2	17	
$T_j$	$T_1=20$	$T_2=20$	$T_3=20$	60	8	68	

Рис. 4.3 Матрица расчета параметров равноритмичного потока без совмещения процессов с технологическим перерывом

ЗАХВАТКИ	РАБОЧИЕ ДНИ						
	1-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35
IV				1	2	3	
III							
II							
I							

Рис. 4.4 Циклограмма равноритмичного потока с технологическим перерывом

#### 4.1.2 Равноритмичный строительный поток с совмещением работ

При проектировании строительных потоков с совмещением работ принято обозначать через  $b_{ij}$  продолжительность выполнения той части работы, которая совмещена по времени с технологически предшествующей ей работой. Через  $a'_{ij}$  обозначим продолжительность выполнения несовмещенной части рассматриваемой работы. Сумма величин  $b_{ij}$  и  $a'_{ij}$  дает общую продолжительность работы. Поскольку первая работа не имеет предшествующей, то для нее  $b = 0$ . Общие требования к назначению значений совмещений при проектировании потока с совмещением работ изложены в п. 3.2.2.

Для равноритмичных строительных потоков с совмещением работ при  $a_{ij} = a' + b$ ,  $a = \text{const}$ ,  $b = \text{const}$  и  $\bar{c}_{ij} = 0$  общая продолжительность потока может быть вычислена по формуле:

$$T_0 = t_{nm}^0 = a(n + m - 1) - b(m - 1). \quad (22)$$

*Пример 4.* Требуется выполнить расчет параметров и построить циклограмму равноритмичного потока с совмещением работ при  $n = 4$  (число захваток),  $m = 3$  (число работ),  $b = 1$  (величина совмещения) и  $a' = 1$  (продолжительность выполнения несовмещенной части работы).

Расчет выполняется с использованием матрицы, представленной на рис. 4.5, по правилам, изложенным в п. 3.2.2. В центре каждой клетки для первой работы записываем продолжительность ее выполнения на каждой захватке ( $a_{ij} = 2$ ). Для последующих работ в клетки матрицы записываем продолжительность работы в виде  $a'_{ij} + b_{ij}$ , т.е.  $1 + 1$ .

Расчет параметров потока производим по столбцам сверху вниз. Значения начала и окончания первой работы на первой и последующих захватках определяются так же, как это делалось для равномерного потока без совмещения работ в примере 2. Начало второй работы на первой захватке (формула (14)) равно:

$$t_{12}^H = t_{11}^0 - b_{12} = 2 - 1 = 1.$$

Эту величину записываем в левом верхнем углу первой клетки второго столбца матрицы (рис. 4.5). Окончание второй работы на первой захватке определяется по формуле (15):

$$t_{12}^0 = t_{12}^H + a'_{12} + b_{12} = 1 + 1 + 1 = 3.$$

Время окончания второй работы на первой захватке заносится в нижний правый угол клетки. Поскольку время окончания работы на первой

		РАБОТЫ			$\sum_1^m a_i$	$\sum_1^m \bar{C}_i$	$\sum_1^m (a_i + \bar{C}_i)$
		1	2	3			
за в е р х а т к и	I	0	1	2	6	-2	4
		2	$\times -1 + 1$	$\times -1 + 1$			
	II	2	3	4	6	-2	4
		4	$\times -1 + 1$	$\times -1 + 1$			
III	4	5	6	6	-2	4	
	6	$\times -1 + 1$	$\times -1 + 1$				7
IV	6	7	8	6	-2	4	
	8	$\times -1 + 1$	$\times -1 + 1$				9
$T_j$		$T_1=8$	$T_2=8$	$T_3=8$	24	-8	16

Рис. 4.5 Матрица расчета параметров равномерного строительного потока с совмещением процессов

захватке является началом работы на следующей захватке (формула (16)), то цифру 3 из нижнего правого угла верхней клетки переносим в верхний левый угол нижележащей клетки. Суммируя время начала работы с ее продолжительностью (формула (17)), определяем ее окончание на второй захватке:

$$t_{22}^0 = t_{22}^H + a'_{22} + b_{22} = 3 + 1 + 1 = 5.$$

Эту цифру записываем в правом нижнем углу второй клетки второго столбца матрицы. Данная процедура выполняется до полного завершения расчета (результаты расчета приведены на рис. 4.5). Общая продолжительность потока равна 10 условным временным единицам.

Проверка необходимости корректировки значений рассчитанных параметров работ (см. формулы (7, 8)) заключается в определении величин  $d_{ij}$  и  $C_{j-1,j}^i$  по формулам (18) и (19):

$$d_{12} = t_{11}^0 - b_{12} = 2 - 1 = 1;$$

$$C_{12}^1 = t_{12}^H - d_{12} = 1 - 1 = 0.$$

ЗАХВАТКИ	РАБОЧИЕ ДНИ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IV						2				
III				1						
II						3				
I										

← 1 →

Рис. 4.6 Циклограмма равноритмичного строительного потока с совмещением процессов

Величина  $\Delta C_{j-1,j} = 0$  (формула (7)), так как  $C_{12}^1 = 0$  и корректировка начала и окончания второй работы на первой захватке не требуется. Результаты аналогичных расчетов для второй работы на последующих захватках и для третьей работы на всех захватках показывают, что корректировка параметров не требуется.

Проверка правильности выполненного расчета параметров строительного потока может проводиться по упрощенной методике, заключающейся в анализе значений величин совмещений  $C_{j-1,j}^i$ . При этом, в случае верно выполненного расчета, значения  $C_{j-1,j}^i$  могут быть меньше или равны оговоренной заданием величины совмещения. Поскольку в данном примере для всех клеток матрицы  $C_{j-1,j}^i = -1$ , что не превышает величину совмещения процессов, заданную по условию, расчет выполнен верно и корректировка не требуется.

После заполнения дополнительных столбцов матрицы можно определить коэффициент плотности графика работ:

$$K_{пл} = 24/16 = 1,5.$$

Результаты расчета общей продолжительности потока проверим по формуле (22):

$$T_0 = t_{43}^0 = 2(4 + 3 - 1) - 1(3 - 1) = 10.$$

Графическое изображение параметров равноритмичного потока с совмещением процессов представлено на циклограмме (рис. 4.6).

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

- 1 Какой строительный поток может быть классифицирован как равноритмичный?
- 2 Каково практическое применение строительного потока данного вида?
- 3 Как учитывается технологический перерыв при расчете параметров равноритмичного строительного потока?
- 4 Как проверить правильность расчета параметров равноритмичного строительного потока с совмещением процессов?
- 5 Рассчитайте параметры равноритмичного строительного потока без совмещения (с совмещением) процессов по следующим исходным данным:

Номер варианта	Ритм бригады/ величина совмещения	Количество захваток	Количество процессов	Продолжительность техперерыва	Условие организации техперерыва
1	2/1	3	3	2	между 2 и 3 работой
2	3/1	4	4	3	между 3 и 4 работой
3	4/2	3	5	3	между 4 и 5 работой
4	5/2	4	3	2	между 2 и 3 работой

5	6/3	3	4	3	между 3 и 4 работой
6	7/4	4	5	2	между 2 и 3 работой
7	8/4	3	5	2	между 3 и 4 работой
8	9/5	4	3	3	между 1 и 2 работой
9	10/5	3	4	2	между 3 и 4 работой
10	2/1	4	5	3	между 4 и 5 работой
11	3/2	3	3	2	между 2 и 3 работой
12	4/3	4	4	3	между 3 и 4 работой
13	5/3	3	5	3	между 1 и 2 работой
14	6/4	4	5	2	между 2 и 3 работой

*Продолжение табл.*

Номер варианта	Ритм бригады/ величина совмещения	Количество захваток	Количество процессов	Продолжительность техперерыва	Условие организации техперерыва
15	7/3	3	3	3	между 3 и 4 работой
16	8/3	4	5	4	между 2 и 3 работой
17	9/4	3	3	3	между 1 и 2 работой
18	10/6	4	4	2	между 3 и 4 работой
19	2/1	3	5	2	между 3 и 4 работой
20	3/1	4	3	3	между 3 и 4 работой
21	4/1	3	3	2	между 2 и 3 работой

22	5/1	4	3	3	между 1 и 2 работой
23	6/4	4	3	3	между 2 и 3 работой
24	7/1	3	4	2	между 2 и 3 работой
25	8/5	3	3	2	между 3 и 4 работой
26	9/3	4	4	3	между 1 и 2 работой
27	10/3	3	3	3	между 2 и 3 работой
28	11/5	4	3	2	между 1 и 2 работой

## 4.2 ПРИМЕР РАСЧЕТА КРАТНОРИТМИЧНОГО СТРОИТЕЛЬНОГО ПОТОКА

**Кратноритмичным строительным потоком** называется поток, у которого продолжительности выполнения работ на захватках являются кратными. В практике строительства применяется достаточно редко, так как предполагает интенсивные методы организации строительного производства.

Для обеспечения оптимальной организации работ и недопущения простоя как бригад, так и захваток, при проектировании потока данного вида работы выполняются с привлечением дополнительных специализированных бригад. Количество таких бригад, необходимых для выполнения каждого процесса, определяется делением продолжительности данной работы на наименьший ритм бригады.

### 4.2.1 Кратноритмичный строительный поток без совмещения работ

*Пример 5.* Требуется выполнить расчет параметров и построить циклограмму кратноритмичного потока без совмещения работ при  $n = 4$  (число захваток),  $m = 3$  (число работ),  $a_{i1} = 4$ ;  $a_{i2} = 2$ ;  $a_{i3} = 6$  (продолжительности выполнения соответственно первой, второй и третьей работы по захваткам).

Перед началом расчета необходимо на основании сопоставления продолжительностей выполнения работ выявить минимальное значение продолжительности (минимальный ритм бригады), которое может выступать в роли делителя остальных значений. В нашем примере – это  $2(4/2 = 2; 2/2 = 1; 6/2 = 3)$ .

На следующем этапе требуется определить количество дополнительных специализированных бригад. Для первого процесса это количество равно 2 ( $4/2 = 2$ ), назовем эти бригады 1 и 1<sup>а</sup>. Для второго процесса привлечения дополнительных бригад не требуется, так как продолжительность его выполнения совпадает со значением минимального ритма, равного 2. Для выполнения третьего процесса необходимо три бригады ( $6/2 = 3$ ), это бригады 3, 3<sup>а</sup> и 3<sup>б</sup>.

В соответствии с универсальной методикой расчета строительных потоков без совмещения процессов время начала первого процесса на первой захватке равно нулю ( $t_{11}^H = 0$ ). Время окончания первого процесса на первой захватке определяется по формуле и равно  $0 + 4 = 4$  (см. рис. 4.7).

Для кратноритмичного строительного потока время начала первого процесса на второй захватке определяется как сумма значения  $t_{31}^H$  и величины минимального ритма ( $0 + 2 = 2$ ). На третьей и четвертой захватке значения  $t_{31}^H$  и  $t_{41}^H$  определяются аналогично. При этом  $t_{31}^H = 2 + 2 = 4$ ,  $t_{41}^H = 4 + 2 = 6$ . Значения окончаний первого процесса на второй, третьей и четвертой захватках определяются по формуле (5):

$$t_{21}^O = t_{21}^H + a_{21} = 2 + 4 = 6;$$

$$t_{31}^O = t_{31}^H + a_{31} = 4 + 4 = 8;$$

$$t_{41}^O = t_{41}^H + a_{41} = 6 + 4 = 10.$$



<i>i</i>	<i>j</i>	РАБОТЫ			$\sum_1^m (a_i + \bar{c}_i)$	$\sum_1^m \bar{c}_i$	$\sum_1^m (a_i + \bar{c}_i)$
		1 $\sum_1^m a_i$	2 $\sum_1^m \bar{c}_i$				
захватки	I	0	4	6	12	0	12
	II	4	2	6	12	0	12
	III	4	2	6	12	0	12
	IV	6	2	6	12	0	12
$T_j$	$T_1=16$	$T_2=8$	$T_3=24$	48	0	48	

Рис. 4.7 Матрица расчета параметров кратноритмичного потока без совмещения процессов

Для кратноритмичного потока место критического сближения проходит по всем захваткам, что позволяет достигать высокую плотность графика. В этой связи дальнейший расчет параметров трудности не представляет.

Общая продолжительность потока  $T_0$  составляет 18 единиц времени. Коэффициент плотности графика  $K_{пл}$  для данного типа потока определяется по формуле (11):

$$K_{пл} = 48/48 = 1.$$

Графическое изображение параметров строительного потока представлено на циклограмме (рис. 4.8).

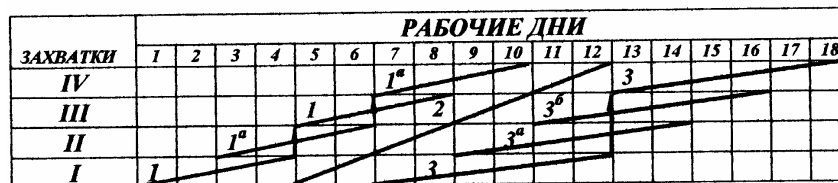


Рис. 4.8 Циклограмма кратноритмичного потока без совмещения процессов

#### 4.2.2 Кратноритмичный строительный поток с совмещением работ

*Пример 6.* Требуется выполнить расчет параметров и построить циклограмму кратноритмичного потока с совмещением работ при  $n = 4$  (число захваток),  $m = 3$  (число работ),  $a_{i1} = 3$ ;  $a_{i2} = 9$ ;  $a_{i3} = 6$  (продолжительности выполнения соответственно первой, второй и третьей работы по захваткам). Величина совмещения составляет 2 единицы времени.

Расчет данного типа потока начинается с определения значений начал выполнения первой работы на захватках (по аналогии с примером № 5). Значения окончаний первой работы на захватках определяются по формуле (5).

При определении значений начал выполнения второго процесса по захваткам учитывается величина совмещения, по условию равная двум единицам времени. Так значение начала второго процесса на первой захватке  $t_{12}^H = 3 - 2 = 1$  (рис. 4.9), значение начала второго процесса на второй захватке  $t_{22}^H = 6 - 2 = 4$  и т.д. Соответствующие значения окончаний процессов на захватках определяются по общей формуле (5).

<i>i</i>	<i>j</i>	РАБОТЫ			$\sum_1^m a_i$	$\sum_1^m \bar{C}_i$	$\sum_1^m (a_i + \bar{C}_i)$
		1	2	3			
з а в а т к и	I	0 3 3	1 ×-2 7+2 10	8 ×-2 4+2 14	18	-4	14
	II	3 3 6	4 ×-2 7+2 13	11 ×-2 4+2 17			
	III	6 3 9	7 ×-2 7+2 16	14 ×-2 4+2 20			
	IV	9 3 12	10 ×-2 7+2 19	17 ×-2 4+2 23			
<i>T<sub>j</sub></i>		<i>T<sub>1</sub></i> =12	<i>T<sub>2</sub></i> =36	<i>T<sub>3</sub></i> =24	72	-16	56

Рис. 4.9 Матрица расчета параметров кратноритмичного потока с совмещением процессов



Рис. 4.10 Циклограмма кратноритмичного потока с совмещением процессов

Общая продолжительность потока составила 23 единицы времени, коэффициент плотности графика работ  $K_{пл} = 72/56 = 1,29$ .

Графическое изображение параметров потока данного вида представлено на циклограмме (рис. 4.10).

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

1. Какой строительный поток называется кратноритмичным?
2. Каковы специфические особенности расчета параметров кратноритмичного строительного потока?
3. Часто ли и в каких случаях поток данного типа применяется в практике строительства?
4. Для чего при проектировании кратноритмичного строительного потока необходимы дополнительные специализированные бригады?
5. Рассчитайте параметры кратноритмичного строительного потока без совмещения процессов по следующим исходным данным:

Номер варианта	Число захваток	Число процессов	Продолжительности выполнения процессов на захватке			
			1	2	3	4
1	3	4	2	4	8	6
2	4	3	4	2	8	—
3	4	4	4	2	6	8
4	3	4	3	6	6	9
5	4	3	6	4	2	—

6	4	4	2	4	2	6
7	3	4	4	4	6	2
8	4	3	9	3	6	–
9	4	4	4	4	6	2
10	3	4	6	3	6	3
11	4	3	9	6	3	–

Продолжение табл.

Номер варианта	Число захваток	Число процессов	Продолжительности выполнения процессов на захватке			
			1	2	3	4
12	4	4	6	6	2	4
13	3	4	4	6	2	4
14	4	3	2	6	4	–
15	4	4	2	8	4	4
16	3	4	3	9	3	6
17	4	3	6	9	3	–
18	4	4	9	3	3	6
19	3	4	3	6	3	6
20	4	3	2	2	6	–
21	4	4	3	9	9	6
22	3	4	4	6	6	2
23	4	3	6	2	4	–
24	4	4	4	2	2	6
25	3	4	8	2	4	6
26	4	3	8	4	6	–
27	4	4	8	6	2	2
28	3	4	8	4	2	4

6 Рассчитайте параметры кратноритмичного строительного потока с совмещением процессов по следующим исходным данным:

Номер варианта	Число захваток	Число процессов	Значения: продолжительности выполнения процессов на захватке/величины совмещения процессов			
			1	2	3	4
1	3	4	2	4/1	8/3	6/3
2	4	3	4	2/1	8/2	–
3	4	4	4	2/2	6/1	8/3
4	3	4	3	6/2	6/1	9/3
5	4	3	6	4/2	2/1	–
6	4	4	2	4/1	2/1	6/2
7	3	4	4	4/2	6/3	2/1

Продолжение табл.

Номер варианта	Число захваток	Число процессов	Значения: продолжительности выполнения процессов на захватке/величины совмещения процессов			
			1	2	3	4
8	4	3	9	3/1	6/2	–
9	4	4	4	4/2	6/3	2/1
10	3	4	6	3/2	6/1	3/2
11	4	3	9	6/3	3/2	–
12	4	4	6	6/3	2/1	4/2
13	3	4	4	6/3	2/1	4/2
14	4	3	2	6/2	4/3	–
15	4	4	2	8/1	4/3	4/2
16	3	4	3	9/2	3/2	6/1
17	4	3	6	9/3	3/1	–
18	4	4	9	3/2	3/1	6/2
19	3	4	3	6/2	3/1	6/3
20	4	3	2	2/1	6/2	–
21	4	4	3	9/2	9/4	6/3
22	3	4	4	6/3	6/2	2/1
23	4	3	6	2/1	4/2	–
24	4	4	4	2/1	2/1	6/2
25	3	4	8	2/1	4/2	6/3
26	4	3	8	4/3	6/2	–
27	4	4	8	6/4	2/1	2/1
28	3	4	8	4/3	2/1	4/2

### 4.3 ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА РАЗНОРИТМИЧНОГО СТРОИТЕЛЬНОГО ПОТОКА

**Разноритмичным строительным потоком** называется поток, выполняемый на захватках, имеющих одинаковые объемы работ и, соответственно, одинаковые продолжительности выполнения каждого отдельного процесса. Таким образом, для разноритмичного потока ритмы работы каждой бригады постоянны, но могут быть не равны и не кратны друг другу.

Этот вид потока очень распространен и применяется при планировании возведения отдельных объектов и групп, одинаковых по объемно-конструктивным и объемно-планировочным решениям объектов, когда ритмы составляющих потоков не могут быть приведены к одинаковой величине из-за различного уровня механизации работ и невозможности регулирования количественного состава рабочих бригад. В качестве примера строительного потока данного вида можно привести объектный строительный поток по возведению многоэтажных жилых зданий, при этом в качестве захватки (яруса) принимается один или 2 – 3 этажа.

Серьезным недостатком этого вида потока является наличие большого незанятого фронта работ (так называемых «пустующих захваток»), возникающего в результате невозможности сближения смежных потоков, так как одновременное их выполнение на одном и том же объекте или участке невозможно по технологическим причинам. При наличии дополнительных средств механизации и людских ресурсов этот недостаток может быть устранен путем превращения разноритмичного (неуравновешенного) потока в ритмичный поток с кратным ритмом (кратноритмичный).

#### 4.3.1 Разноритмичный строительный поток без совмещения работ

Обозначим через  $a_j$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) продолжительность  $j$ -й работы и рассмотрим наиболее общий случай, когда  $a_j$  не равно  $a_{j-1}$ .

Для  $n$  захваток (объектов) с  $m$  работами общую продолжительность строительного потока  $T_o = t_{nm}^o$  можно вычислить по формулам (12), (13). Для разноритмичных строительных потоков при  $a_{i1} = \text{const}$ ,  $a_{i2} = \text{const}$  и т.д. данные формулы приобретают вид:

$$T_o = t_{nm}^o = \sum_{j=1}^m a_{1j} + a_m(n-1) + \sum_{j=2}^m \bar{C}_{1j}; \quad (23)$$

$$T_o = t_{nm}^o = a_{1n} + \sum_{j=2}^m a_{nj} + \sum_{j=2}^m \bar{C}_{nj}. \quad (24)$$

*Пример 7.* Требуется выполнить расчет параметров и построить циклограмму разноритмичного потока при  $n = 4$ ,  $m = 3$ ,  $a_1 = 4$ ,  $a_2 = 6$ ,  $a_3 = 3$ .

Расчет выполняется с использованием матрицы, представленной на рис. 4.11 по правилам, изложенным в п. 3.2. Для первой и второй работ расчет параметров выполняется по столбцам сверху вниз, так как  $T_2 > T_1$ , а для третьей работы ( $T_3 < T_2$ ) – снизу вверх. Циклограмма данного потока приведена на рис. 4.12.

Коэффициент плотности графика работ, определенный по формуле (11), равен:

$$K_{пл} = 52/82 = 0,63.$$

Полученную расчетом общую продолжительность строительного потока (значение приведено в нижнем правом углу последней клетки матрицы) проверим по формулам (23) и (24):

$$T_o = t_{43}^o = (4 + 6 + 3) + 3(4 - 1) + 9 = 31,$$

$$T_o = t_{43}^o = 4 \cdot 4 + (6 + 3) + 6 = 31.$$

Графическое представление рассчитанных параметров потока представлено на циклограмме (рис. 4.12).

В проектировании строительных потоков существует понятие «безразрывный путь», сущность которого близка понятию «критический путь», применяемому в сетевом планировании. «Путь» – это любая конечная последовательность процессов по захваткам от первого процесса на первой захватке до последнего процесса на последней захватке. Выявить безразрывный путь можно аналитическим способом с использованием расчетной матрицы.

		<i>РАБОТЫ</i>			$\sum_1^m a_i$	$\sum_1^m \bar{C}_i$	$\sum_1^m (a_i + \bar{C}_i)$
		<i>I</i>	<i>2</i>	<i>3</i>			
<i>захватки</i>	<i>I</i>	0 4 4	4 6 10	19 9 22	<b>13</b>	<b>9</b>	<b>22</b>
	<i>II</i>	4 4 8	10 2 16	22 6 25			
	<i>III</i>	8 4 12	16 4 22	25 3 28			
	<i>IV</i>	12 4 16	22 6 28	28 3 31			
<b><math>T_j</math></b>		<b><math>T_I=16</math></b>	<b><math>T_{II}=24</math></b>	<b><math>T_{III}=12</math></b>	<b>52</b>	<b>30</b>	<b>82</b>

Рис. 4.11 Матрица расчета параметров разноритмичного потока без совмещения процессов



Рис. 4.12 Циклограмма разноритмичного потока без совмещения процессов

i	j	РАБОТЫ			$\sum_1^m a_i$	$\sum_1^m \bar{c}_i$	$\sum_1^m (a_i + \bar{c}_i)$
		1	2	3			
захватки	I	0	4	19	13	9	22
	II	4	10	22			
	III	8	16	25			
	IV	12	22	28			
$T_j$		$T_1=16$	$T_2=24$	$T_3=12$	52	30	82

Рис. 4.13 Матрица расчета параметров разноритмичного потока без совмещения процессов с нанесенными на ней вариантами безразрывных путей

При аналитическом способе осуществляют движение от первой клетки первого столбца матрицы до нижней клетки последнего столбца. Движение сверху вниз по столбцу можно осуществлять беспрепятственно. Переход со столбца на столбец возможен в местах критических сближений. Если данным способом не удастся выявить безразрывный путь, прибегают к иной последовательности действий.

Начинают движение по первому столбцу матрицы, делая остановки в каждой клетке матрицы. При этом в правом поле матрицы (во всех клетках,

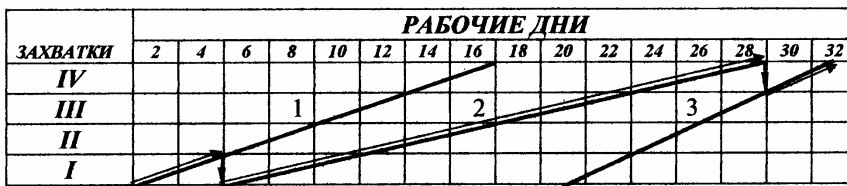


Рис. 4.14 Циклограмма разноритмичного потока без совмещения процессов с нанесенным на ней первым вариантом безразрывного пути

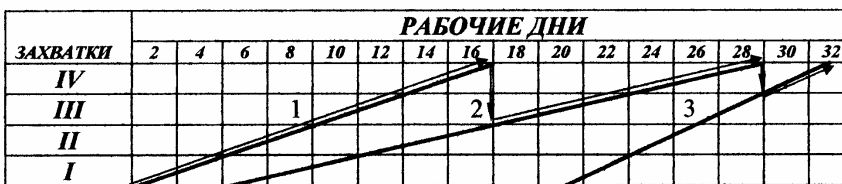


Рис. 4.15 Циклограмма разноритмичного потока без совмещения процессов с нанесенным на ней вторым вариантом безразрывного пути

лежащих правее данной) осуществляют поиск клетки, начало выполнения работы в которой совпадает со значением окончания процесса в клетке, где была сделана остановка. Если такая клетка найдена, в нее можно беспрепятственно «перескакивать». Далее последовательность действий повторяется до тех пор, пока мы не окажемся в нижней клетке последнего столбца.

В зависимости от значений продолжительности выполнения отдельных процессов потока возможен случай, когда существует несколько вариантов безразрывного пути или такой путь вообще отсутствует.

Для строительного потока, рассчитанного в примере 7, можно выявить два варианта безразрывного пути (см. рис. 4.13). Графическое изображение вариантов безразрывного пути на циклограмме потока представлено на рис. 4.14 и 4.15.

### 4.3.2 Разноритмичный строительный поток с совмещением работ

При проектировании разноритмичного строительного потока с совмещением работ принято продолжительность выполнения той части работы, которая совмещена во времени с технологически предшествующей работой обозначать через  $b_{ij}$ . Через  $a'_{ij}$  обозначается продолжительность выполнения несовмещенной части рассматриваемой работы. Сумма величин  $a'_{ij}$  и  $b_{ij}$  дает общую продолжительность работы (см. рис. 3.2). Поскольку первая работа не имеет предшествующей, то для нее  $b = 0$ .

Для разноритмичных потоков с совмещением работ при  $a_{i1} = \text{const}$ ,  $a'_{n2} = \text{const}$ ,  $b_{n2} = \text{const}$  и т.д. формулы для определения общей продолжительности потока  $T_0$  приобретают вид:

$$T_0 = t_{nm}^o = a_{11} + \sum_{j=2}^m (a' + b)_{1j} + (n-1)(a' + b)_{1m} + \sum_{j=2}^m \bar{C}_{1j}; \quad (24)$$

$$T_0 = t_{nm}^o = a_{11}n + \sum_{j=2}^m (a' + b)_{nj} + \sum_{j=2}^m \bar{C}_{nj}. \quad (25)$$

*Пример 8.* Требуется выполнить расчет параметров и построить циклограмму разноритмичного потока с совмещением работ при  $n = 4$ ,  $m = 3$ ,  $a_1 = 4$ ,  $a'_2 = 4$ ,  $b_2 = 2$ ,  $a'_3 = 1$ ,  $b_3 = 2$ .

Расчет выполняется матричным способом (рис. 4.16). Для первой и второй работы расчет выполнен по столбцам сверху вниз ( $T_2 > T_1$ ), а для третьей работы – снизу вверх ( $T_3 < T_2$ ). Величина совмещения учитывается в соответствии с правилами, изложенными в п. 3.2.2. При этом значения начала второй работы на первой захватке определяется по формуле (14):

$$t_{12}^H = 4 - 2 = 2.$$

Остальные параметры для второго процесса по захваткам определяются по формулам (15) – (17). Время начала третьего процесса на четвертой захватке (расчет параметров выполняется снизу вверх) определяется как разность значения окончания второго процесса по данной захватке и величины совмещения для третьего процесса:  $26 - 2 = 24$ .

Дальнейший расчет выполняется с учетом полученного значения. При этом значение времени окончания третьего процесса на третьей захватке принимается равным значению начала данного процесса на четвертой захватке ( $t_{33}^o = t_{43}^H = 24$ ). Значение начала третьего процесса определяется как разность значений его окончания и продолжительности ( $t_{43}^H = t_{33}^o - a_{33} = 24 - 3 = 21$ ). Далее последовательность действий повторяется.

Коэффициент плотности графика, вычисленный по формуле (11), равен:

$$K_{пл} = 52/66 = 0,79.$$

Проверка продолжительности строительного потока, выполненная по формулам (24) и (25), показала совпадение полученного значения продолжительности с расчетным, что свидетельствует о правильности расчета.

$$T_0 = t_{nm}^o = 4 + (4 + 2) + (1 + 2) + (4 - 1)(1 + 2) + 7 - 2 = 27;$$

$$T_0 = t_{nm}^0 = 4 \cdot 4 + (4 + 2) + (1 + 2) + 4 - 2 = 27.$$

Графическое представление параметров потока данного типа приведено на циклограмме потока (рис. 4.17).

<i>i</i>		<i>j</i> РАБОТЫ			$\sum_1^m a_i$	$\sum_1^m \bar{C}_i$	$\sum_1^m (a_i + \bar{C}_i)$
		1	2	3			
з а х в а т к и	I	0 4 4	2 -2 8	15 4+2 8	13	5	18
	II	4 4 8	8 4+2 14	18 4+2 21			
	III	8 4 12	14 2+4+2 20	21 1+2 24			
	IV	12 4 16	20 4+2 26	24 -2+2 27			
$T_j$		$T_1=16$	$T_2=24$	$T_3=12$	52	14	66

Рис. 4.16 Матрица расчета параметров разноритмичного строительного потока с совмещением процессов



Рис. 4.17 Циклограмма разноритмичного строительного потока с совмещением процессов

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

- 1 Каковы признаки разноритмичного строительного потока?
- 2 Назовите отличительные особенности расчета параметров строительного потока.
- 3 Приведите примеры практической реализации строительного потока данного вида.
- 4 Какой вид имеет циклограмма разноритмичного строительного потока?
- 5 Рассчитайте параметры разноритмичного строительного потока без совмещения работ по следующим исходным данным:

Номер варианта	Число захваток	Число процессов	Продолжительность выполнения процессов на захватке			
			1	2	3	4



1	3	4	2	3	4	3
2	4	4	3	2	3	4
3	4	3	3	4	2	–
4	3	4	2	4	3	4
5	4	4	2	4	2	3
6	4	3	3	1	4	–
7	3	4	1	3	2	4
8	4	4	1	2	4	3
9	4	3	1	4	3	–
10	3	4	2	1	4	3
11	4	4	2	4	1	3
12	4	3	2	3	1	–
13	3	4	3	1	2	4
14	4	4	3	4	1	2
15	4	3	4	1	3	–
16	3	4	4	3	1	2
17	4	4	4	2	3	1
18	4	3	4	3	2	–
19	3	4	4	2	1	2

*Продолжение табл.*

Номер варианта	Число захваток	Число процессов	Продолжительность выполнения процессов на захватке			
			1	2	3	4
20	4	4	4	1	2	3
21	4	3	2	4	4	–
22	3	4	3	4	2	2
23	4	4	4	3	3	1
24	4	3	1	5	4	–
25	3	4	1	3	5	2
26	4	4	1	2	3	5
27	4	3	5	3	1	–
28	3	4	5	4	3	2

6 Рассчитайте параметры разноритмичного строительного потока с совмещением работ по следующим исходным данным:

Номер варианта	Число захваток	Число процессов	Значения: продолжительности выполнения процессов на захватке/величины совмещения процессов			
			1	2	3	4
1	3	4	2	3/1	4/2	3/2
2	4	4	3	2/1	3/2	4/2

3	4	3	3	4/2	2/1	–
4	3	4	2	4/1	3/2	4/1
5	4	4	2	4/1	2/1	3/2
6	4	3	3	1/1	4/1	–
7	3	4	1	3/1	2/1	4/2
8	4	4	1	2/1	4/2	3/2
9	4	3	1	4/1	3/2	–
10	3	4	2	1/1	4/1	3/2

Продолжение табл.

Номер варианта	Число захваток	Число процессов	Значения: продолжительности выполнения процессов на захватке/величины совмещения процессов			
			1	2	3	4
11	4	4	2	4/1	1/1	3/1
12	4	3	2	3/2	1/1	–
13	3	4	3	1/1	2/1	4/2
14	4	4	3	4/2	1/1	2/1
15	4	3	4	1/1	3/1	–
16	3	4	4	3/2	1/1	2/1
17	4	4	4	2/1	3/2	1/1
18	4	3	4	3/2	2/1	–
19	3	4	4	2/1	1/1	2/1
20	4	4	4	1/1	2/1	3/2
21	4	3	2	4/2	4/3	–
22	3	4	3	4/2	2/1	2/2
23	4	4	4	3/3	3/1	1/1
24	4	3	1	5/1	4/3	–
25	3	4	1	3/1	5/2	2/1
26	4	4	1	2/1	3/2	5/2
27	4	3	5	3/3	1/1	–
28	3	4	5	4/3	3/2	2/1

#### 4.4 ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА НЕРИТМИЧНОГО СТРОИТЕЛЬНОГО ПОТОКА С ОДНОРОДНЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ РИТМА

**Неритмичными потоками с однородным изменением ритма** называются строительные потоки, у которых все специализированные потоки на одноименных захватках (объектах) имеют одинаковые ритмы, а на разных захватках могут принимать неодинаковые значения.

В практике строительства широкого распространения не получили в силу того, что запроектировать одинаковую продолжительность выполнения всех процессов на захватке (объекте) представляется не всегда возможным. Чаще всего этот вид потока применяется при организации строительства промышленных одноэтажных объектов, имеющих развитие в плане, в случае, если объект невозможно разделить на одинаковые по объемам работ участки. Этот вид потока может также применяться при организации строительства общественных зданий.

При проектировании потока для  $n$  захваток с  $m$  работами общую продолжительность потока  $T_0 = t_{nm}^0$  можно вычислить по формулам (12) и (13). Для неритмичных потоков с однородным изменением ритма при  $a_{1j} = \text{const}$ ,  $a_{2j} = \text{const}$  и т.д., а также при  $\bar{c}_{1j} = \text{const}$ ,  $\bar{c}_{2j} = \text{const}$  и т.д. данные формулы приобретают вид:

$$T_0 = t_{nm}^0 = a_{11}m + \sum_{i=2}^n a_{im} + \bar{c}_{1j}(m-1); \quad (26)$$

$$T_0 = t_{nm}^0 = \sum_{i=1}^n a_{i1} + (a_{n1} + \bar{c}_{nj})(m-1). \quad (27)$$

#### 4.4.1 Неритмичный строительный поток с однородным изменением ритма без совмещения процессов

*Пример 9.* Требуется выполнить расчет параметров и построить циклограмму неритмичного строительного потока с однородным изменением ритма без совмещения работ при  $n = 4$ ,  $m = 3$ ,  $a_{1j} = 4$ ,  $a_{2j} = 2$ ,  $a_{3j} = 5$ ,  $a_{4j} = 1$ .

Расчет выполняется в матричной форме (рис. 4.18) по правилам, изложенным в п. 3.2.1. Специфической особенностью данного расчета является то, что место критического сближения для потока данного типа проходит по захватке, имеющей максимальные значения продолжительности выполнения строительных процессов.

Графическое изображение неритмичного строительного потока с однородным изменением ритма без совмещения процессов приведено на рис. 4.19. Коэффициент плотности графика работ составил:

$$K_{пл} = 36/52 = 0,69.$$

Полученную в результате расчета общую продолжительность потока проверяют по формулам (26), (27):

$$T_0 = t_{43}^0 = 4 \cdot 3 + (2 + 5 + 1) + 1(3 - 1) = 22;$$

$$T_0 = t_{43}^0 = (4 + 2 + 5 + 1) + (1 + 4)(3 - 1) = 22.$$

Графическое представление параметров потока данного типа приведено на циклограмме потока (рис. 4.19).

$i$	$j$	РАБОТЫ			$\sum_1^m (a_i + \bar{c}_i)$	$\sum_1^m \bar{c}_i$	$\sum_1^m (a_i + \bar{c}_i)$
		1 $\sum_1^m a_i$	2 $\sum_1^m \bar{c}_i$	3 $\sum_1^m (a_i + \bar{c}_i)$			
захватки	I	0 4 4	5 4 9	10 4 14	12	2	14
	II	4 2 6	9 2 11	14 2 16	6	6	12
	III	6 5 11	11 5 16	16 5 21	15	0	15
	IV	11 1 12	16 4 17	21 1 22	3	8	11
$T_j$		$T_1=12$	$T_2=12$	$T_3=12$	36	16	52

Рис. 4.18 Матрица расчета параметров неритмичного строительного потока с однородным изменением ритма



Рис. 4.19 Циклограмма неритмичного строительного потока с однородным изменением ритма

#### 4.4.2 Неритмичный строительный поток с однородным изменением ритма с совмещением процессов

Особенности проектирования и расчета строительного потока с совмещением процессов подробно изложены в п. 3.2.2. При назначении величины совмещения процессов следует помнить, что продолжительность совмещаемой части работы не должна превышать продолжительность предшествующей работы. Для первой работы величина совмещения равна нулю, так как первая работа не имеет предшествующей.

Для неритмичных строительных потоков с однородным изменением ритма с совмещением работ при  $a_{1j} = \text{const}$ ,  $a_{2j} = \text{const}$  и т.д. и  $b_{1j} = \text{const}$ ,  $b_{2j} = \text{const}$  и т.д. формулы для определения общей продолжительности потока принимают вид:

$$T_0 = t_{nm}^0 = a_{11}m + \sum_{i=2}^n (a' + b)_{im} + \bar{C}_{1j} (m - 1); \quad (28)$$

$$T_0 = t_{nm}^0 = \sum_{i=1}^n a_{i1} + \sum_{j=2}^m (a' + b)_{nj} + \bar{C}_{nj} (m - 1). \quad (29)$$

*Пример 10.* Требуется выполнить расчет параметров и построить циклограмму неритмичного строительного потока с однородным изменением ритма и совмещением работ при:

$$n = 4; m = 3; a_{1j} = 4; a'_{1j} = 2; b_{1j} = 2;$$

$$a_{2j} = 2; a'_{2j} = 1; b_{2j} = 1;$$

$$a_{3j} = 5; a'_{3j} = 2; b_{3j} = 3;$$

$$a_{4j} = 1; a'_{4j} = 0; b_{4j} = 1.$$

Расчет выполняется матричным способом по правилам, изложенным в п. 3.2.2. Расчет параметров для упрощения расчетов удобно производить, осуществляя переход на соседний столбец по захватке, имеющей максимальную продолжительность выполнения процессов с учетом оговоренной в исходных данных величины совмещения процессов. В нашем примере – это третья захватка. Далее расчет параметров выполняется от третьей захватки вверх и вниз (при этом можно не вычислять поправку  $\Delta C_{j-1,j}$ ). Результаты расчета приведены на рис. 4.20.

Коэффициент плотности графика работ равен:

$$K_{пл} = 36/28 = 1,29.$$

Полученную в результате расчета общую продолжительность проверяем по формулам (28), (29):

$$T_0 = t_{43}^0 = 4 \cdot 3 + (2 + 5 + 1) - 2(3 - 1) = 16$$

$$T_0 = t_{43}^0 = (4 + 2 + 5 + 1) + 2 + 1(3 - 1) = 16.$$

Графическое представление параметров потока данного типа приведено на циклограмме потока (рис. 4.21).

<i>i</i>	<i>j</i>	РАБОТЫ			$\sum_1^m (a_i + \bar{c}_i)$	$\sum_1^m \bar{c}_i$	$\sum_1^m (a_i + \bar{c}_i)$
		1 $\sum_1^m a_i$	2 $\sum_1^m \bar{c}_i$	3 $\sum_1^m (a_i + \bar{c}_i)$			
захватки	I	0 4 4	2 ×-2 2+2 6	4 2+2 8	12	-4	8
	II	4 2 6	6 1+1 8	8 1+1 10	6	0	6
	III	6 5 11	8 ×-3 2+3 13	10 2+3 15	15	-6	9
	IV	11 1 12	13 ×1 0+1 14	15 0+1 16	3	2	5
$T_j$		$T_1=12$	$T_2=12$	$T_3=12$	36	-8	28

Рис. 4.20 Матрица расчета параметров неритмичного потока с однородным изменением ритма с совмещением процессов



Рис. 4.21 Циклограмма неритмичного потока с однородным изменением ритма с совмещением процессов

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

- 1 Дайте определение неритмичному строительному потоку с однородным изменением ритма.
- 2 Каково практическое применение потока данного вида?
- 3 В чем заключаются специфические особенности расчета параметров строительного потока данного вида?
- 4 Как выглядит циклограмма данного строительного потока?
- 5 Рассчитайте параметры неритмичного строительного потока с однородным изменением ритма без совмещения процессов по следующим исходным данным:

Номер варианта	Число захваток	Число процессов	Продолжительность выполнения процесса по захваткам			
			I	II	III	IV
1	3	4	2	4	3	—
2	4	4	2	3	4	2
3	4	3	2	4	2	3
4	3	4	3	2	4	—

5	4	4	3	2	2	4
6	4	3	3	4	2	3
7	3	4	3	1	4	–
8	4	4	1	4	3	2
9	4	3	1	2	4	3
10	3	4	4	1	3	–
11	4	4	4	2	3	4
12	4	3	4	3	1	2
13	3	4	4	3	2	–
14	4	4	1	3	2	4
15	4	3	1	3	4	3
16	3	4	1	5	3	–
17	4	4	1	4	2	3
18	4	3	1	3	5	2
19	3	4	1	4	5	–
20	4	4	1	2	5	4
21	4	3	2	5	1	4
22	3	4	2	5	3	–

Продолжение табл.

Номер варианта	Число захваток	Число процессов	Продолжительность выполнения процесса по захваткам			
			I	II	III	IV
23	4	4	2	4	5	1
24	4	3	2	3	5	4
25	3	4	5	2	4	–
26	4	4	5	1	4	3
27	4	3	5	3	4	2
28	3	4	5	4	2	–

6 Рассчитайте параметры неритмичного строительного потока с однородным изменением ритма без совмещения процессов по следующим исходным данным:

Номер варианта	Число захваток	Число процессов	Значения: продолжительности выполнения процесса по захваткам/ величины совмещения процессов			
			I	II	III	IV
1	3	4	2/1	4/2	3/1	–
2	4	4	2/1	3/2	4/2	2/1
3	4	3	2/1	4/2	2/1	3/1
4	3	4	3/2	2/1	4/2	–
5	4	4	3/1	2/1	2/1	4/2
6	4	3	3/2	4/2	2/1	3/1

7	3	4	3/2	1/1	4/2	–
8	4	4	1/1	4/2	3/1	2/1
9	4	3	1/1	2/1	4/2	3/1
10	3	4	4/2	1/1	3/2	–
11	4	4	4/2	2/1	3/1	4/2
12	4	3	4/2	3/1	1/1	2/1
13	3	4	4/2	3/1	2/1	–

Продолжение табл.

Номер варианта	Число захваток	Число процессов	Значения: продолжительности выполнения процесса по захваткам/ величины совмещения процессов			
			I	II	III	IV
14	4	4	1/1	3/2	2/1	4/2
15	4	3	1/1	3/2	4/2	3/1
16	3	4	1/1	5/3	3/1	–
17	4	4	1/1	4/2	2/1	3/1
18	4	3	1/1	3/2	5/3	2/1
19	3	4	1/1	4/2	5/3	–
20	4	4	1/1	2/1	5/4	4/2
21	4	3	2/1	5/3	1/1	4/2
22	3	4	2/1	5/4	3/2	–
23	4	4	2/1	4/2	5/3	1/1
24	4	3	2/1	3/2	5/4	4/3
25	3	4	5/3	2/1	4/2	–
26	4	4	5/3	1/1	4/3	3/2
27	4	3	5/4	3/2	4/2	2/1
28	3	4	5/4	4/3	2/1	–

#### 4.5 ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА НЕРИТМИЧНОГО СТРОИТЕЛЬНОГО ПОТОКА С НЕОДНОРОДНЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ РИТМА

**Неритмичным строительным потоком с неоднородным изменением ритма** называется такой тип потока, у которого ритмы всех специализированных потоков на всех захватках различны. Наиболее распространенный вид строительного потока, широко применяется в практике строительства.

Расчет параметров данного вида потока выполняется с использованием метода матричного алгоритма.

##### 4.5.1 НЕРИТМИЧНЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ ПОТОК С НЕОДНОРОДНЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ РИТМА БЕЗ СОВМЕЩЕНИЯ ПРОЦЕССОВ

*Пример 11.* Требуется выполнить расчет параметров и построить циклограмму неритмичного строительного потока с неоднородным изменением ритма без совмещения работ по следующим исходным данным:

$$n = 4; m = 3; a_{i1} = 4, 2, 5, 1 (a_{11} = 4, a_{21} = 2, a_{31} = 5, a_{41} = 1);$$

$$a_{i2} = 3, 1, 2, 4 (a_{12} = 3, a_{22} = 1, a_{32} = 2, a_{42} = 4);$$

$$a_{i3} = 2, 3, 4, 2 (a_{13} = 2, a_{23} = 3, a_{33} = 4, a_{43} = 2).$$

Расчет выполняется в матричной форме. Решение данного примера рассмотрим более подробно. В центре каждой клетки матрицы (рис. 4.22) записывается продолжительность выполнения работы  $a_{ij}$ . Расчет производится по столбцам сверху вниз. Начало первой работы на первой захватке принимается равным нулю и записывается в левом верхнем углу первой клетки первого столбца. Окончание первой работы на первой захватке по формуле (1) равно:

$$t_{11}^o = t_{11}^h + a_{11} = 0 + 4 = 4.$$

<i>i</i>	<i>j</i>	РАБОТЫ		$\sum_1^m (a_i + \bar{c}_i)$	$\sum_1^m \bar{c}_i$	$\sum_1^m (a_i + \bar{c}_i) \cdot j$
		1 $\sum_1^m a_i$	2 $\sum_1^m \bar{c}_i$			
з а х в а т м к и	0	<del>4</del> 7	10			
	I	4 <del>3</del> 3 + 2 4 10 7 12		9	3	12
	II	4 <del>10</del> 12 2 <del>4</del> 1 <del>1</del> 3 6 11 8 15		6	5	11
	III	6 <del>11</del> 15 5 - 2 <del>2</del> 4 11 13 10 19		11	2	13
IV	11 <del>13</del> 19 1 <del>4</del> 2 12 17 14 21		7	3	10	
$T_j$	$T_1=12$	$T_2=10$	$T_3=11$	33	13	46

**Рис. 4.22** Матрица расчета параметров неритмичного потока с неоднородным изменением ритма без совмещения процессов

Величину 4 записываем в правом нижнем углу первой клетки матрицы. Окончание первой работы на первой захватке считаем началом первой работы на второй захватке и цифру 4 из нижнего правого угла верхней клетки переносим без изменения в верхний левый угол нижележащей клетки. Суммируя время начала работы с ее продолжительностью (формула (5)), определяем окончание первой работы на второй захватке:

$$t_{21}^o = t_{21}^h + a_{21} = 4 + 2 = 6.$$

Записываем 6 в правом нижнем углу второй клетки первого столбца. Для первой работы на третьей захватке получим:

$$t_{31}^h = 6, t_{31}^o = 6 + 5 = 11,$$

а на четвертой захватке

$$t_{41}^h = 11, t_{41}^o = 11 + 1 = 12.$$

Начало и окончание второй работы на первой захватке определяются по формулам (2), (3):

$$t_{12}^h = t_{11}^o = 4, t_{12}^o = t_{12}^h + a_{12} = 4 + 3 = 7.$$



Полученные величины 4 и 7 записываются соответственно в левый верхний и правый нижний углы первой клетки второго столбца матрицы. Начало и окончание второй работы на второй и последующих захватках определяются по формулам (4), (5):

$$t_{22}^H = t_{12}^O = 7; t_{22}^O = t_{22}^H + a_{22} = 7 + 1 = 8;$$

$$t_{32}^H = t_{22}^O = 8; t_{32}^O = t_{32}^H + a_{32} = 8 + 2 = 10;$$

$$t_{42}^H = t_{32}^O = 10; t_{42}^O = t_{42}^H + a_{42} = 10 + 4 = 14.$$

Результаты расчета заносятся в соответствующие углы клеток второго столбца матрицы. Определяются значения перерывов  $C_{i-1,j}^i$  между началом рассматриваемых работ и окончаниями предшествующих им работ на захватках (формула (6)):

$$C_{12}^1 = t_{12}^H - t_{11}^O = 4 - 4 = 0;$$

$$C_{12}^2 = t_{22}^H - t_{21}^O = 7 - 6 = 1;$$

$$C_{12}^3 = t_{32}^H - t_{31}^O = 8 - 11 = -3;$$

$$C_{12}^4 = t_{42}^H - t_{41}^O = 10 - 12 = -2.$$

Начала и окончания выполнения второй работы на всех захватках, согласно формуле (7), увеличиваем на величину  $\Delta C_{12} = 3$  и определяем по формулам (8) и (9) новые значения начал и окончаний работ. Значения перерывов на захватках между первой и второй работами определяются по формуле (10):

$$\bar{C}_{12}^1 = t_{12}^{H,H} - t_{11}^O = 7 - 4 = 3;$$

$$\bar{C}_{12}^2 = t_{22}^{H,H} - t_{21}^O = 10 - 6 = 4;$$

$$\bar{C}_{12}^3 = t_{32}^{H,H} - t_{31}^O = 11 - 11 = 0;$$

$$\bar{C}_{12}^4 = t_{42}^{H,H} - t_{41}^O = 13 - 12 = 1.$$

Отсутствие перерыва между началом второй работы и окончанием первой работы на третьей захватке обозначается на линии, отделяющей первый и второй столбцы символом « $\rightarrow$ » (место критического сближения процессов). Наличие перерывов между началами выполнения второй работы и окончанием первой на первой, второй и третьей захватках обозначается на матрице символом « $\times$ » с указанием величины перерыва (см. рис. 4.22).

Переходим к расчету параметров третьего столбца матрицы (третий процесс). Начало третьей работы на первой захватке, согласно формуле (2), равно 10 ( $t_{13}^H = t_{12}^O = 10$ ). Окончание третьей работы на первой захватке по формуле (3) будет определено как  $t_{13}^O = t_{13}^H + a_{13} = 10 + 2 = 12$ . Значения рассчитанных параметров заносятся в клетки матрицы так же, как и при расчете параметров второй работы. Начало выполнения третьей работы на второй захватке равно окончанию данной работы на первой захватке ( $t_{23}^H = t_{13}^O = 12$ ). Окончание третьей работы на второй захватке по формуле (5) будет  $t_{23}^O = t_{23}^H + a_{23} = 12 + 3 = 15$ . В результате аналогичного расчета получаем:

$$t_{33}^H = t_{23}^O = 15; t_{33}^O = t_{33}^H + a_{33} = 15 + 4 = 19;$$

$$t_{43}^H = t_{33}^O = 19; t_{43}^O = t_{43}^H + a_{43} = 19 + 2 = 21.$$

Вычислим перерывы  $C_{i-1,j}^i$  между началами третьей работы на всех захватках и окончаниями второй (предшествующей) работы на одноименных захватках (6):

$$C_{23}^1 = t_{13}^H - t_{12}^O = 10 - 10 = 0;$$

$$C_{23}^2 = t_{23}^H - t_{22}^O = 12 - 11 = 1;$$

$$C_{23}^3 = t_{33}^H - t_{32}^O = 15 - 13 = 2;$$

$$C_{23}^4 = t_{43}^H - t_{42}^0 = 19 - 17 = 2.$$



Рис. 4.23 Циклограмма неритмичного потока с неоднородным изменением ритма без совмещения процессов

В соответствии с формулой (7) значение величины  $\Delta C_{23} = 0$ , так как все значения определенных ранее перерывов положительны. Следовательно, корректировка параметров третьего процесса по захваткам не требуется.

Общая продолжительность потока  $T_0 = t_{43}^0 = 21$  единице времени. Далее заполняются дополнительные столбцы и строка матрицы и определяется коэффициент плотности графика по формуле (11):

$$K_{пл} = 33/46 = 0,72.$$

Результаты расчета проверим по формулам (12) и (13):

$$T_0 = t_{nm}^0 = (4 + 3 + 2) + (3 + 4 + 2) + (3 + 0) = 21$$

$$T_0 = t_{nm}^0 = (4 + 2 + 5 + 1) + (4 + 2) + (1 + 2) = 21.$$

Графическое представление параметров потока данного типа приведено на циклограмме потока (рис. 4.23).

#### 4.5.2 Неритмичный строительный поток с неоднородным изменением ритма с совмещением процессов

*Пример 12.* Требуется выполнить расчет параметров и построить циклограмму неритмичного строительного потока с неоднородным изменением ритма и совмещением работ по следующим исходным данным:

$$n = 4; m = 3; a_{i1} = 3, 1, 4, 2 \quad (a_{11} = 3, a_{21} = 1, a_{31} = 4, a_{41} = 2);$$

$$a'_{i2} = 2, 2, 1, 3 \quad (a'_{12} = 2, a'_{22} = 2, a'_{32} = 1, a'_{42} = 3);$$

$$b_{i2} = 2, 1, 1, 2 \quad (b_{12} = 2, b_{22} = 1, b_{32} = 1, b_{42} = 2);$$

$$a'_{i3} = 1, 2, 0, 2 \quad (a'_{13} = 1, a'_{23} = 2, a'_{33} = 0, a'_{43} = 2);$$

$$b_{i3} = 1, 2, 1, 1 \quad (b_{13} = 1, b_{23} = 2, b_{33} = 1, b_{43} = 1).$$

Расчет выполняется в матричной форма (см. рис. 4.24). Правила расчета параметров строительного потока данного типа изложены ранее (п. 3.2).

		РАБОТЫ			$\sum_1^m a_i$	$\sum_1^m \bar{C}_i$	$\sum_1^m (a_i + \bar{C}_i)$
		1	2	3			
за хва тк а м к и	I	0 3 3	1 <del>2</del> 2+2 5	<del>7</del> 1+1 9-6	9	0	9
	II	3 1 4	5 <del>1</del> 2+1 8	<del>9</del> 2+2 13-10	8	2	10
	III	4 4 8	8 1+1 10	<del>13</del> 0+1 14-11	7	3	10
	IV	8 2 10	10 3+2 15	<del>14</del> 2+1 17-14	10	-1	9
$T_j$		$T_1=10$	$T_2=14$	$T_3=10$	34	4	38

Рис. 4.24 Матрица расчета параметров неритмичного потока с неоднородным изменением ритма с совмещением процессов

В центре каждой клетки матрицы записывается продолжительность выполнения работ  $a_{ij}$ : для первой работы числа 3; 1; 4; 2 (так величина совмещения для первой работы всегда равна нулю), а для последующих работ – сумму  $a'_{ij} + b_{ij}$ . Расчет производится по столбцам сверху вниз. Параметры первого столбца определяются аналогично предыдущему примеру (см. пример № 11).

Начало второй работы на первой захватке определим по формуле (14)  $t_{12}^H = t_{11}^O - b_{12} = 3 - 2 = 1$  и запишем в левом верхнем углу первой клетки второго столбца матрицы. Окончание второй работы на первой захватке определяется по формуле (15):

$$t_{12}^O = t_{12}^H + a'_{12} + b_{12} = 1 + 2 + 2 = 5.$$

Записываем значение 5 в правом нижнем углу соответствующей клетки. Согласно формуле (16), началом второй работы на второй захватке служит окончание ее на первой захватке, т.е.  $t_{22}^H = t_{12}^O = 5$ , а окончание второй работы на второй захватке определяется по формуле (17):

$$t_{22}^O = t_{22}^H + a'_{22} + b_{22} = 5 + 2 + 1 = 8.$$

Аналогично получаем:

$$t_{32}^H = 8, t_{32}^O = 8 + 1 + 1 = 10;$$

$$t_{42}^H = 10, t_{42}^O = 10 + 3 + 2 = 15.$$

Для корректировки значений начал и окончаний второй работы на всех захватках определяем величины  $d_{ij}$  и  $C_{j-1,j}^i$  по формулам (18) и (19):

$$d_{12} = t_{11}^O - b_{12} = 3 - 2 = 1; C_{12}^1 = 1 - 1 = 0;$$

$$d_{22} = t_{21}^O - b_{22} = 4 - 1 = 3; C_{12}^2 = 5 - 3 = 2;$$

$$d_{32} = t_{31}^O - b_{32} = 8 - 1 = 7; C_{12}^{31} = 8 - 7 = 1;$$

$$d_{42} = t_{41}^O - b_{42} = 10 - 2 = 8; C_{12}^4 = 10 - 8 = 2.$$

Отсутствие среди полученных значений  $C_{j-1,j}^i$  отрицательных величин исключает необходимость выполнения расчетов по формуле (7), а также необходимость корректировки начал и окончаний второй работы на всех захватках.

Переходим к расчету параметров третьей работы. Начало третьей работы на первой захватке определим по формуле (14):

$$t_{13}^H = t_{12}^O - b_{13} = 5 - 1 = 4,$$

окончание – по формуле (15):

$$t_{13}^O = t_{13}^H + a'_{13} + b_{13} = 4 + 1 + 1 = 6.$$

Применив формулы (16) и (17), получим параметры третьей работы на последующих захватках:

$$t_{23}^H = t_{13}^O = 6; \quad t_{23}^O = t_{23}^H + a'_{23} + b_{23} = 6 + 2 + 2 = 10;$$

$$t_{33}^H = t_{23}^O = 10; \quad t_{33}^O = t_{33}^H + a'_{33} + b_{33} = 10 + 0 + 1 = 11;$$

$$t_{43}^H = t_{33}^O = 11; \quad t_{43}^O = t_{43}^H + a'_{43} + b_{43} = 11 + 2 + 1 = 14.$$

Результаты расчета записываем в соответствующие углы клеток третьего столбца матрицы. Для корректировки начал и окончаний третьей работы на всех захватках определим величины  $d_{ij}$  и  $C_{j-1,j}^i$  по формулам (18) и (19):

$$d_{13} = t_{12}^O - b_{13} = 5 - 1 = 4; \quad C_{23}^1 = 4 - 4 = 0;$$

$$d_{23} = t_{22}^O - b_{23} = 8 - 2 = 6; \quad C_{23}^2 = 6 - 6 = 0;$$

$$d_{33} = t_{32}^O - b_{33} = 10 - 1 = 9; \quad C_{23}^3 = 10 - 9 = 1;$$

$$d_{43} = t_{42}^O - b_{43} = 15 - 1 = 14; \quad C_{23}^4 = 11 - 14 = -3.$$

Величину  $\Delta C_{23}$  определим по формуле (7):

$$\Delta C_{23} = \max(-3) = 3.$$

Начала и окончания третьей работы на всех захватках увеличим на величину  $\Delta C_{23} = 3$  и внесем соответствующие изменения в третий столбец матрицы. Окончательные значения перерывов между началами третьей работы и окончаниями второй работы определим по формуле (10):

$$\bar{C}_{23}^1 = t_{13}^{HH} - t_{12}^O = 7 - 5 = 2;$$

$$\bar{C}_{23}^2 = t_{23}^{HH} - t_{22}^O = 9 - 8 = 1;$$

$$\bar{C}_{23}^3 = t_{33}^{HH} - t_{32}^O = 13 - 10 = 3;$$

$$\bar{C}_{23}^4 = t_{34}^{HH} - t_{42}^O = 14 - 15 = -1.$$

Расчетная общая продолжительность потока определена в размере 17 единиц времени. Заполнив дополнительные столбцы и строку матрицы, определим коэффициент плотности графика (формула (11)):

$$K_{пл} = 34/38 = 0,89.$$

Проверим результаты расчета общей продолжительности:

$$T_0 = t_{43}^0 = (3 + 2 + 2 + 1 + 1) + (2 + 2 + 0 + 1 + 2 + 1) + (2 - 2) = 17;$$

$$T_0 = t_{43}^0 = (3 + 1 + 4 + 2) + (3 + 2 + 2 + 1) + (0 - 1) = 17.$$

Графическое изображение рассчитанных параметров представлено на циклограмме потока (рис. 4.25).



Рис. 4.25 Циклограмма неритмичного потока с неоднородным изменением ритма с совмещением процессов

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

- 1 Дайте определение неритмичному строительному потоку с неоднородным изменением ритма.
- 2 Каково практическое применение строительного потока данного вида?
- 3 Расскажите о специфических особенностях расчета параметров данного строительного потока.
- 4 В каких случаях определяется значение поправки  $\Delta C$ ?
- 5 Можно ли проверить правильность расчета общей продолжительности строительных потоков?
- 6 Как вычисляется коэффициент плотности графика?
- 7 Рассчитайте параметры неритмичного строительного потока с неоднородным изменением ритма без совмещения процессов по следующим исходным данным:  
 $n = 4$  (количество захваток);  $m = 3$  (количество процессов).

Но- мер вари- анта	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$
	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3
1	5	7	4	1	3	3	2	3	4	3	7	4
2	2	4	3	1	3	1	2	3	4	3	2	1
3	7	4	3	1	4	2	2	4	3	6	4	1
4	3	1	4	2	2	2	1	3	4	3	4	1
5	7	4	4	1	4	3	5	3	7	6	1	4
6	7	4	5	2	4	3	4	1	3	5	7	5
7	4	3	2	1	1	2	1	4	3	2	4	3
8	4	6	5	7	2	7	4	3	3	3	5	2
9	4	3	4	2	2	1	3	1	1	4	2	3
10	4	3	4	3	3	2	1	2	1	2	3	1
11	1	4	7	5	7	2	2	4	5	4	3	7
12	3	4	2	1	3	1	1	4	4	2	3	1
13	4	4	9	7	6	3	2	5	3	7	4	4
14	3	2	6	3	1	1	11	1	7	6	4	7

15	1	2	4	3	3	1	2	1	2	4	3	2
16	7	3	5	6	5	4	1	3	2	4	3	1
17	1	5	2	4	2	3	1	3	4	2	2	1

Продолжение табл.

Но- мер вари- анта	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$
	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3
18	2	7	4	6	5	3	1	1	4	2	2	4
19	2	4	2	5	4	3	1	2	1	5	4	2
20	7	2	5	6	1	5	2	3	4	7	3	7
21	3	4	5	2	2	1	1	4	4	3	2	3
22	7	11	7	3	2	1	3	9	7	3	7	7
23	4	2	4	3	1	3	2	1	5	4	3	2
24	1	9	3	7	7	6	2	3	3	2	4	2
25	5	2	3	4	4	3	1	2	1	2	4	3
26	4	7	1	9	5	2	1	4	7	2	3	2
27	4	9	7	4	2	5	1	2	9	7	1	3
28	5	3	7	4	2	3	4	2	9	7	3	5

8 Рассчитайте параметры неритмичного строительного потока с неоднородным изменением ритма и совмещением процессов по предыдущим исходным данным. Значения величин совмещения процессов назначьте самостоятельно.

## 5 ОПТИМИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПОТОКОВ

**Оптимизация методов организации работ** означает такое изменение их параметров, которое обеспечивает достижение наилучшего значения критерия оптимизации. В качестве критериев оптимизации могут приниматься:

- минимальная продолжительность выполнения всего комплекса работ;
- минимальная продолжительность выполнения видов или фронтальных комплексов работ;
- минимальная стоимость выполнения всего комплекса работ;
- максимальная производительность труда и интенсивность использования техники и т.д.

Оптимизация строительных потоков может осуществляться в направлении достижения наилучших сроков производства работ (**оптимизация по времени**) и наилучшего потребления материальных ресурсов (**оптимизация по ресурсам**). Оптимизация по ресурсам обычно предусматривает не только минимальное, но и равномерное потребление ресурсов. В данной работе этот вид оптимизации не рассматривается.

Практика свидетельствует, что потоки, сформированные и рассчитанные по тому или другому методу организации работ, часто нуждаются в оптимизации в направлении сокращения продолжительности комплекса работ, т.е. в оптимизации по критерию достижения минимальной продолжительности потока. Для достижения данного результата можно использовать интенсивные и экстенсивные способы организации строительного производства. Наиболее предпочтительно использование экстенсивных способов, сводящихся обычно к поиску наиболее рациональных методов организации работ, разработке специальных организационных мероприятий.

### 5.1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ОЧЕРЕДНОСТИ ВКЛЮЧЕНИЯ ЗАХВАТОК В ПОТОК

Особое значение среди способов оптимизации строительных потоков принадлежит изменению очередности включения захваток в поток. Это связано с тем, что положительный эффект достигается без увеличения потребности в ресурсах. Данный способ оптимизации применим при проектировании комплексного вида потока; для объектного потока его использование возможно лишь в случае конструктивно и функционально обособленных захваток (например, возведение здания, состоящего из различных модулей, соединенных переходами).

Для  $n$  объектов, входящих в состав комплексного строительного потока, существует  $n!$  возможных вариантов очередности их возведения. Так, при организации потока, включающего в себя три захватки (объекта) возможны следующие варианты включения их в поток: 1) I; II; III; 2) I; III; II; 3) II; I; III; 4) II; III; I; 5) III; I; II; 6) III; II; I. Очевидно, что с возрастанием количества захваток полный перебор всех вариантов требует больших трудозатрат и использования ЭВМ.

Существует ряд методов, позволяющих получить оптимальное или близкое к нему решение без полного перебора вариантов (например, метод «ветвей и границ»). Рассмотрим один из несложных способов, позволяющих решить поставленную задачу (метод Гунейко).

Данный способ определения рациональной очередности включения захваток в поток предусматривает расчет параметров строительного потока методом матричного алгоритма. В матрице при этом изменены дополнительные столбцы по сравнению с традиционным расчетом.

Первоначально составляется исходная матрица и рассчитываются параметры строительного потока в соответствии с правилами, изложенными в п. 3.2. Выделяется ведущий процесс, имеющий наибольшую продолжительность  $T_j$ . В клетки первого дополнительного столбца матрицы записывают суммарную продолжительность всех работ, предшествующих ведущей работе на данном объекте  $\left( \sum_{j=1}^{m-1} a_{ij} \right)$ , а в клетки второго дополнительного столбца – продолжительность всех работ, выполняемых после завершения ведущей работы  $\left( \sum_{j=m+1}^m a_{ij} \right)$ . В третий дополнительный столбец матрицы заносят коэффициенты очередности, определяемые по формуле:

$$K_0 = \sum_{j=1}^{m-1} a_{ij} / \sum_{j=m+1}^m a_{ij} . \quad (30)$$

Последовательность включения захваток в поток устанавливается в порядке возрастания их коэффициентов очередности.

При выделении ведущего строительного процесса может встретиться случай, когда несколько работ имеют одинаковую (наибольшую) продолжительность. В этом случае выбирается вариант с наименьшей суммой коэффициентов очередности.

Возможен случай, когда несколько захваток имеют одинаковые значения коэффициентов очередности. В этом случае новая матрица формируется из расчета включения захваток (объектов) в поток в порядке убывания разности между продолжительностью выполнения последней и первой работы на данной захватке. Если сравниваемые величины одинаковы, то эти захватки заносятся в матрицу в произвольном порядке.

Если максимальную продолжительность имеет первая работа, то коэффициенты очередности определяются отношением продолжительности процессов первого потока к суммам продолжительностей работ всех последующих потоков:

$$K_0^1 = a_{i1} / \sum_{j=2}^m a_{ij} . \quad (31)$$

Если максимальную продолжительность имеет последний процесс, то коэффициент очередности определяется отношением сумм продолжительностей работ, принадлежащих всем предшествующим последнему потоку работам, к продолжительности выполнения последнего процесса:

$$K_1^m = \sum_{j=1}^{m-1} a_{ij} / a_{mj} . \quad (32)$$

Пример 13. Требуется определить оптимальную очередность включения захваток в поток. Строительный поток имеет следующие исходные данные:

$$n = 4; m = 3; a_{i1} = 5, 1, 2, 3 \quad (a_{11} = 5, a_{21} = 1, a_{31} = 2, a_{41} = 3);$$

$$a_{i2} = 5, 6, 2, 1 \quad (a_{12} = 5, a_{22} = 6, a_{32} = 2, a_{42} = 1);$$

$$a_{i3} = 3, 4, 7, 5 \quad (a_{13} = 3, a_{23} = 4, a_{33} = 7, a_{43} = 5).$$

Выполним расчет исходного комплексного неритмичного строительного потока без совмещения работ в соответствии с правилами, изложенными в п. 3.2.1 по аналогии с рассмотренным ранее примером (см. пример 11). Общая продолжительность возведения комплекса зданий, состоящего из 4-х объектов, в соответствии с расчетом составила 32 единицы времени (рис. 4.26).

Ведущим процессом в данном случае является третий ( $T_3 > T_2 > T_1$ ). Коэффициент очередности при этом определяется по формуле (32) как отношение сумм продолжительностей первого и второго процесса к продолжительности третьего процесса для каждой захватки.

Сравнивая между собой полученные значения коэффициентов очередности и размещая их в порядке возрастания, определяем новую очередность включения захваток (объектов) в поток и формируем новую матрицу (рис. 4.27).

i	j	РАБОТЫ			$C_{j \text{ предш.}}$	$C_{j \text{ послед.}}$	$K_o$
		1	2	3			
захватки	0	5	5	13	10	3	3,33
	I	5	5	3			
	5	10	16				
	II	1					
захватки	6	2			4	7	0,57
	III	2					
	8	3					
	IV	3					
захватки	11	4			7	4	1,75
	III	4					
	12	5					
	IV	5					
захватки	17	3			10	3	3,33
	IV	3					
	19	4					
	21	5					
$T_j$	$T_1=11$	$T_2=14$	$T_3=19$				

Рис. 4.26 Ма

$C_{j \text{ предш.}}$      $C_{j \text{ послед.}}$      $K_o$

РИС. 4.27 МАТРИЦА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ПОТОКА С УЧЕТОМ ОПТИМАЛЬНОГО ВКЛЮЧЕНИЯ ЗАХВАТОК В ПОТОК





Рис. 4.28 Циклограмма потоков до и после оптимизации

Расчет новой матрицы (рис. 4.27) показал, что сокращение сроков при проектировании комплексного потока достигнуто. Экономия времени составила 8 единиц времени ( $32 - 24 = 8$ ).

Выполненный расчет параметров комплексного потока представлен графически на циклограмме (рис. 4.28).

Полный перебор всех возможных вариантов организации работ, выполненный с использованием электронно-вычислительной техники [10], показал, что существует вариант еще более оптимальный с точки зрения продолжительности строительства комплекса зданий. Продолжительность возведения комплекса может составить 23 единицы времени, при условии

		РАБОТЫ			$C_{\text{предш.}}$	$C_{\text{послед.}}$	$K_0$
		1	2	3			
з а в а т к и	<i>I</i>	0 2 2	2 2 4	4 7 11	4	7	0,57
	<i>II</i>	2 1 3	4 1 10	11 4 15	7	4	1,75
	<i>III</i>	3 3 6	10 1 11	15 5 20	4	5	0,8
	<i>IV</i>	6 5 11	11 5 16	20 3 23	10	3	3,33
$T_j$		$T_I=11$	$T_{II}=14$	$T_{III}=19$			

Рис. 4.29 Матрица расчета параметров потока, оптимизированного на основе полного перебора возможных вариантов

следующей очередности включения объектов в поток: IV – I – III – II. Расчет параметров данного потока представлен на рис. 4.29.

Данный факт свидетельствует, что по методу Гунейко было получено решение, близкое к оптимальному ( $24 - 23 = 1$  ед. времени), что позволяет использовать его в практике проектирования комплексных потоков.

## 5.2 ОПТИМИЗАЦИЯ ПО КРИТЕРИЮ «МИНИМАЛЬНАЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА ОБЪЕКТА»

При проектировании объектного строительного потока рационально осуществлять его оптимизацию с целью получения минимально возможного значения общей продолжительности  $T_0$ . При этом допускается теоретическая возможность организационных перерывов как в работе бригад, так и при освоении фронта работ. В традиционной методике расчета строительных потоков (см. п. 3.2) исходят из предположения о непрерывности работы строительных бригад. На циклограмме этот факт проявляется через непрерывность линий, изображающих отдельные строительные работы.

Очевидно, что с технологической точки зрения наличие простоев бригад не всегда оправдано даже экономией общих сроков, в связи с чем необходимо стремиться к минимальному количеству таких организационных перерывов.

Рассмотрим оптимизацию по данному критерию на примере расчета параметров объектного строительного потока, относящегося к группе неритмичных потоков с неоднородным изменением ритма без совмещения процессов.

*Пример 14.* Требуется выполнить оптимизацию объектного потока по критерию «минимальная продолжительность строительства объекта». Строительный поток имеет следующие исходные данные:

$$n = 4; m = 3; a_{i1} = 5, 4, 8, 1 (a_{11} = 5, a_{21} = 4, a_{31} = 8, a_{41} = 1);$$

$$a_{i2} = 3, 1, 2, 4 (a_{12} = 3, a_{22} = 1, a_{32} = 2, a_{42} = 4);$$

$$a_{i3} = 2, 3, 4, 2 (a_{13} = 2, a_{23} = 3, a_{33} = 4, a_{43} = 2).$$

На начальном этапе рассчитаем параметры строительного потока в соответствии с правилами, изложенными в п. 3.2.1 (также см. пример расчета 11). Расчетная общая продолжительность потока определена в размере 27 единиц времени (рис. 4.30). Заполнив дополнительные столбцы и строку матрицы, определим коэффициент плотности графика (формула (11)):

$$K_{пл} = 39/60 = 0,65.$$

Результаты расчета общей продолжительности проверим по формулам (12) и (13):

$$T_o = t_{43}^o = (5 + 3 + 2) + (3 + 4 + 2) + (0 + 8) = 27;$$

$$T_o = t_{43}^o = (5 + 4 + 8 + 1) + (4 + 2) + (1 + 2) = 27.$$

Графическое изображение рассчитанных параметров представлено на циклограмме потока (см. рис. 4.31).

Далее выполним оптимизацию потока по критерию «минимальная продолжительность строительства объекта». Оптимизация объектного потока начинается формированием исходной матрицы и расчетом параметров первого столбца, осуществляемым в соответствии с универсальной методикой расчета (см. п. 3.2.1).

На следующем этапе выполняется расчет параметров второго столбца матрицы (рис. 4.32). Расчет всегда ведется сверху вниз. Время начала второго процесса на первой захватке при этом равно значению окончания первого процесса на первой захватке:  $t_{21}^H = t_{11}^o = 5$ . Записываем значение 5 в верхнем левом углу первой клетки второго столбца. Определяем значение

<i>i</i>	<i>j</i>	РАБОТЫ			$\sum_1^m a_i$	$\sum_1^m \sum_1^m \bar{C}_i$	$\sum_1^m \sum_1^m (a_i + \bar{C}_i) \cdot (a_i + \bar{C}_i)$
		1	2				
захватки IV III II I	0		13	16			
	I	5	8 3	2	10	8	18
	II	4	7 1	3	8	8	16
	III	9	17	21	14	2	16
к и	IV	17	19	25	7	3	10
	$T_j$	$T_1=18$	$T_2=10$	$T_3=11$	39	21	60

Рис. 4.30 Матрица расчета параметров исходного потока

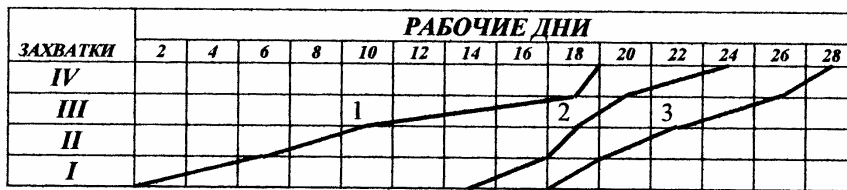


Рис. 4.31 Циклограмма исходного строительного потока

окончания первой работы на второй захватке, суммируя время начала работы с ее продолжительностью (формула (3)):

$$t_{12}^0 = t_{12}^H + a_{12} = 5 + 3 = 8.$$

Записываем полученное значение в нижний правый угол первой клетки второго столбца матрицы. Далее сопоставляют полученное значение с временем окончания первого процесса на второй захватке:

$$t_{21}^0 > t_{12}^0 \quad (9 > 8).$$

		РАБОТЫ			$\sum_1^m a_i$	$\sum_1^m \bar{c}_i$	$\sum_1^m (a_i + \bar{c}_i)$
		1	2	3			
за а х в а т к и	I	0 5 5	5 3 8	8 2 10	10	0	10
	II	5 4 9	9 1 10	10 3 13	8	0	8
	III	9 8 17	17 2 19	19 4 23	14	0	14
	IV	17 1 18	19 4 23	23 2 25	7	1	8
$T_j$		$T_1=18$	$T_2=10$	$T_3=11$	39	1	40

Рис. 4.32 Матрица расчета параметров потока, оптимизированного по критерию «минимальная продолжительность строительства объекта»

Большее из полученных значений считаем временем начала второго процесса на второй захватке ( $t_{22}^H$ ) и заносим его в верхний левый угол второй клетки второго столбца матрицы. Отсутствие простоя между первым и вторым процессом на второй захватке обозначается значком « $\leftarrow$ ». Значение окончания второго процесса определяется как сумма его продолжительности и величины начала данного процесса ( $9 + 1 = 10$ ).

Аналогично определяется значение начала второго процесса на третьей захватке: так как  $17 > 10$ , то  $t_{32}^H = 17$ . Окончание данного процесса  $t_{32}^O$  равно 19 ( $17 + 2 = 19$ ).

Значение начала второго процесса на четвертой захватке определяется в результате аналогичного сравнения:  $19 > 18$ , следовательно,  $t_{42}^H = 19$ . Перерыв между выполнением первого и второго процесса по четвертой захватке составит одну единицу времени ( $19 - 18 = 1$ ).

Аналогично определяются параметры третьего процесса по всем захваткам. В результате выполненных расчетов определяем общую продолжительность потока  $T_0$ , которая для данного случая составила 25 единиц времени, что на две единицы меньше значения до оптимизации:

$$T_0 - T_0^{\text{опт}} = 27 - 25 = 2.$$

После заполнения дополнительных столбцов и строк матрицы можно определить коэффициент плотности графика по формуле (11):

$$K_{\text{пл}} = 39/40 = 0,975.$$

Результаты расчета представим графически в виде циклограммы (рис. 4.33). Поскольку при расчете параметров потока данным способом допускалась возможность простоя не только захваток, но и строительных бригад, вид циклограммы будет существенно отличаться от циклограммы того же потока, рассчитанного по универсальной методике. Высокая плотность графика (близкая к единице) была достигнута за счет непрерывного освоения фронта работ (отсутствия простоя захваток). Однако, перерыв в работе строительных бригад не всегда приемлем и необходимо, по возможности, стремиться к сокращению таких перерывов.

С этой целью осуществим там, где это возможно, начиная с последней работы на последней захватке, перемещение процессов слева направо. В результате такого перемещения обычно удастся добиваться непрерывности выполнения первого и последнего процесса. При этом необходимо следить за тем, чтобы не возникло совмещения процессов, так как в соответствии с исходными данными необходимо запроектировать поток без совмещения. В связи с полученным сокращением общей продолжительности потока не удастся полностью избежать перерывов в работе бригад. Продолжительность таких перерывов

обычно равна значению сокращения общей продолжительности, которая была достигнута в результате оптимизации.

На рис. 4.33 представлена циклограмма оптимизированного строительного потока, построенная в соответствии с рассчитанными значениями параметров.

На рис. 4.34 и 4.35 показано поэтапно выполняемое (для достижения непрерывности процессов) смещение линий циклограммы слева направо. На рис. 4.34 выполняется смещение третьего процесса на первой и второй захватках на шесть единиц вправо. В результате этого достигается непрерывность выполнения третьего процесса, что хорошо видно на рис. 4.35. Далее выполняется смещение второго процесса, выполняемого на второй и первой захватках на шесть единиц времени вправо (см. рис. 4.35). Дальнейшие перемещения процессов вправо невозможны, так как при этом будет происходить совмещение процессов, что невозможно по условиям задачи (см. рис. 4.36). С целью сокращения количества организационных перерывов в работе второй бригады, занятой на выполнении второго строительного процесса, представляется возможным сдвинуть второй процесс на второй захватке влево на одну единицу времени (см. рис. 4.37).

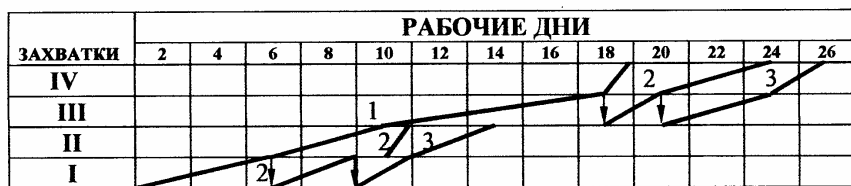


Рис. 4.33 Предварительная циклограмма оптимизированного строительного потока

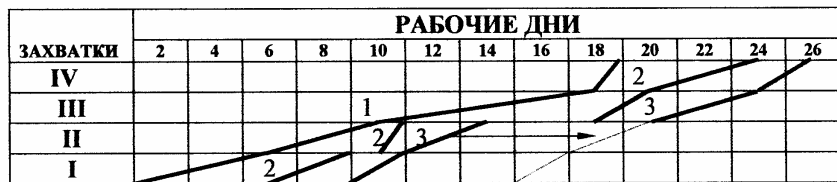


Рис. 4.34 Первый этап формирования окончательной циклограммы оптимизированного строительного потока



Рис. 4.35 Второй этап формирования окончательной циклограммы оптимизированного строительного потока

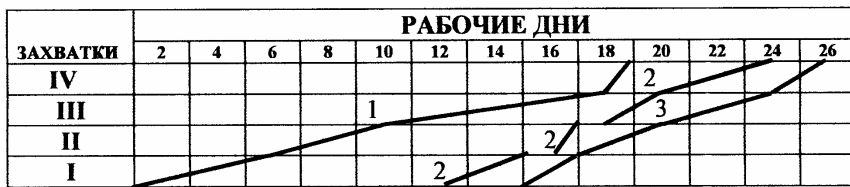


Рис. 4.36 Окончательный вариант циклограммы оптимизированного строительного потока

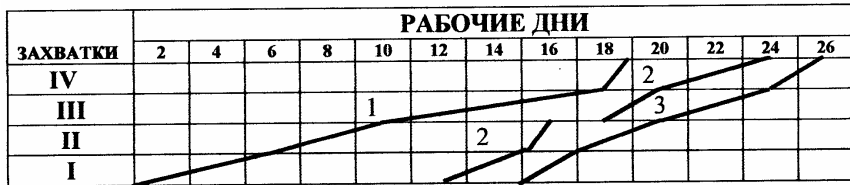


Рис. 4.37 Окончательный вариант циклограммы оптимизированного строительного потока с минимально возможным количеством перерывов в работе второй бригады

Суммарное значение организационных перерывов в работе бригад составило две единицы времени, т.е. такое количество времени, на которое было получено сокращение общей продолжительности потока в результате его оптимизации.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

- 1 Поясните назначение и роль оптимизации строительных потоков.
- 2 Перечислите основные критерии оптимизации строительных потоков.
- 3 Чем определяется количество вариантов организации работ при поиске оптимальной очередности включения захваток в поток?
- 4 В чем состоит метод Гунейко?
- 5 В чем заключается оптимизация строительных потоков по критерию «минимальная продолжительность строительства объекта»?
- 6 Выполните поиск оптимальной очередности включения объектов в поток для комплексного строительного потока, запроектированного по следующим исходным данным:  
 $n = 4$  (количество захваток);  $m = 3$  (количество процессов).

Но- мер вари- анта	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$
	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3
1	1	4	5	3	7	4	2	1	4	5	7	1
2	2	1	3	4	3	1	3	2	4	4	2	3
3	2	3	1	4	2	5	2	1	3	4	5	1
4	1	1	4	2	6	2	1	2	4	3	5	1
5	2	4	7	1	4	3	5	3	1	6	3	4
6	7	1	5	2	6	3	4	1	2	5	4	5
7	5	3	1	7	1	2	1	4	5	2	4	3

Продолжение табл.

Но- мер	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$
	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3

варианта												
8	4	2	5	7	1	7	4	3	4	3	5	1
9	4	7	4	2	4	1	3	1	3	4	5	3
10	2	3	6	3	4	2	1	3	1	2	5	1
11	1	3	7	4	6	2	1	4	5	3	3	7
12	3	1	2	5	3	1	4	7	4	2	3	4
13	4	4	9	3	6	3	2	1	3	2	4	5
14	1	2	6	3	1	6	11	1	2	6	1	7
15	1	3	4	7	3	1	2	5	2	1	3	2
16	7	2	1	6	4	4	6	1	2	4	3	1
17	1	5	3	7	2	5	1	3	4	2	2	5
18	2	6	4	5	5	3	1	2	4	6	2	1
19	2	5	2	1	4	7	1	2	4	5	4	2
20	7	1	5	8	1	5	2	3	4	2	3	1
21	4	4	1	2	2	5	1	3	4	1	2	3
22	7	11	2	3	7	1	3	9	6	3	1	7
23	4	2	5	3	1	4	2	1	5	1	3	8
24	1	9	2	7	4	6	2	5	3	2	4	2
25	5	2	7	4	2	3	1	2	6	2	1	3
26	2	7	3	9	1	2	1	3	7	2	1	2
27	4	5	7	4	2	4	1	2	8	7	1	3
28	8	3	3	4	2	5	4	2	9	6	3	1

## 6 ПРИМЕНЕНИЕ ПОТОЧНОГО МЕТОДА СТРОИТЕЛЬСТВА В ДИПЛОМНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Поточный метод, как неотъемлемая часть индустриализации строительства, обеспечивает рациональное использование строительной техники, способствует повышению производительности труда. В ходе строительства зданий и сооружений на разных этапах выполняются различные виды работ и их комплексы, поставляются и расходуются разные виды ресурсов. В связи с изменением во времени факторов влияния условий производства на ход строительства зданий, даже детально разработанные проектные решения нуждаются в корректировке. Для каждого конкретного случая производства комплекса работ формируются, рассчитываются и оптимизируются разнообразные конкурентоспособные методы организации работ, выявляются их лучшие варианты. Все эти варианты оцениваются по ряду индивидуальных критериев, в результате чего устанавливается единственный вариант, наиболее полно соответствующий конкретным условиям.

В ходе проектирования организации строительства объекта с использованием поточного метода возможно разделение здания на захватки (ярусы) различными способами, что обуславливает возникновение нескольких вариантов поточной организации работ.

Расчет параметров строительных потоков целесообразно проводить с использованием метода матричного алгоритма (см. п. 3.2). Существенно снижает трудоемкость выполнения расчетов применение электронно-вычислительной техники. Особенности работы компьютерных программ, позволяющих определять требуемые параметры строительных потоков и осуществлять их оптимизацию, приведены в [10].

Оптимизация строительных потоков может выполняться по различным критериям (см. п. 5). В результате выполненных расчетов выявляются основные временные (ритм работы бригады  $t_p$ , шаг потока  $t_{ш}$ , общая продолжительность выполнения всех работ по потоку  $T_0$  и т.д.) и технологические (число ча-

стных потоков  $n$ , технологические перерывы  $t_{\text{тех}}$  и т.д.) параметры строительных потоков. Подробнее о параметрах строительных потоков изложено в п. 3.1, 3.2.

На основании расчетных параметров вычерчиваются циклограммы потоков, линейные диаграммы и график движения рабочей силы.

Для оценки эффективности рассмотренных вариантов применяются следующие показатели (критерии):

- интенсивность (мощность) потока  $I$ ;
- продолжительность организационных перерывов  $t_{\text{орг}}$ ;
- продолжительность технологических перерывов  $t_{\text{тех}}$ ;
- общая продолжительность работ по потоку  $T_0$ ;
- максимальное количество рабочих  $A_{\text{max}}$ ;
- среднее количество рабочих  $A_{\text{ср}}$ ;
- коэффициент неравномерности движения рабочей силы  $n$ ;
- коэффициент плотности потока  $K_{\text{пл}}$ ;
- коэффициент совмещения процессов  $K_{\text{сов}}$ .

Помимо названных показателей, для оценки эффективности поточного метода организации работ может использоваться ряд **статических** (объем работ  $V_i$ , трудоемкость работ  $A_i$  и стоимость  $C_i$  каждого специализированного потока в пределах объекта) и **динамических** параметров (численность рабочих  $R_i$ , выработка одного рабочего в день в стоимостных измерителях  $B_i$  и интенсивность потока в натуральном выражении  $I_i$ ).

**Интенсивность (мощность) потока  $I$**  определяется количеством продукции, выпускаемой потоком за единицу времени и измеряемой в натуральных показателях. Для частного и специализированного потоков это могут быть кубические метры бетона, укладываемого в течение рабочего дня, квадратные метры оштукатуренной поверхности и т.д. Для производственного потока в целом – квадратные метры жилой площади ( $\text{м}^2/\text{день}$ ) или кубические метры здания ( $\text{м}^3/\text{день}$ ), определяемые в процессе строительства условно в зависимости от степени готовности объекта.

Любой строительный поток может совершаться с различной степенью интенсивности, характеризуемой величиной тангенса угла наклона поточной линии циклограммы к оси абсцисс:

$$I = \text{tg}\alpha, \quad (33)$$

Чем больше значение  $\text{tg}\alpha$ , тем больший объем работ  $V$  будет выполняться в единицу времени  $t_i$  и, следовательно, тем больше значение интенсивности потока ( $\text{tg}\alpha = V_i/t_i$ ). Для ритмичных потоков интенсивность каждого частного потока есть величина постоянная, так как  $\text{tg}\alpha = \text{const}$ .

Для неритмичного строительного потока интенсивность будет все время меняться, так как углы наклона отрезков ломаной линии циклограммы будут разные и, следовательно, разными будут и объемы работ, выполняемые в единицу времени.

**Продолжительность организационных перерывов  $t_{\text{орг}}$**  обуславливается необходимостью подготовки фронта работ для начала строительных процессов. Они также вводятся во избежание простоев отдельных бригад при колебании величины их производительности.

**Продолжительность технологических перерывов  $t_{\text{тех}}$**  обусловлена требованиями технических условий на производство работ, характером укладываемых материалов, температурой окружающей среды и другими местными условиями, влияющими на характер протекания строительных работ (выдерживание бетона, сушка штукатурки и т.д.). В отдельных случаях на одном и том же участке наблюдается организационный и технологический перерыв одновременно (что говорит о рациональности принятой схемы организации работ). При этом в качестве расчетного значения продолжительности перерыва принимается его наибольшее значение.

**Общая продолжительность работ по потоку  $T_0$**  определяется на основании расчета параметров строительного потока, выполненного матричным способом (см. формулу (11)).

**Максимальное количество рабочих  $A_{\text{max}}$**  определяется на основании графика движения рабочей силы.

**Среднее количество рабочих  $A_{\text{ср}}$**  определяется как средневзвешенное значение по формуле:

$$A_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i t_i}{T}, \quad (34)$$



где  $A_i$  – численное количество рабочих на  $i$ -м участке графика движения рабочей силы, чел.;  $t_i$  – продолжительность  $i$ -го участка графика движения рабочей силы, дн.;  $T$  – общая продолжительность работ по потоку, дн.;  $n$  – количество участков на графике движения рабочей силы, на протяжении которых количество рабочих постоянно.

**Коэффициент неравномерности движения рабочей силы  $n$**  характеризует равномерность потребления людских ресурсов и определяется отношением  $A_{\max}$  к  $A_{\text{ср}}$ :

$$n = A_{\max}/A_{\text{ср}}. \quad (35)$$

**Коэффициент плотности потока  $K_{\text{пл}}$**  определяется отношением суммарной величины рабочего времени всех составляющих потоков  $\sum_1^N \sum_1^n t_i$  к этой же сумме с учетом общей продолжительности всех технологических, организационных и начальных организационных перерывов  $t_{\text{пер}}$  между смежными специализированными потоками по формуле:

$$K_{\text{пл}} = \frac{\sum_1^N \sum_1^n t_i}{\sum_1^N (\sum_1^n t_i + \sum_1^n t_{\text{пер}})}, \quad (36)$$

где  $N$  – количество процессов;  $n$  – количество захваток при организации потока (см. примеры расчета строительных потоков).

Начальные организационные перерывы возникают из-за невозможности дальнейшего сближения смежных потоков в результате наличия их критического сближения на одном из участков. Строительный поток запроектирован тем эффективнее, чем ближе приближается значение  $K_{\text{пл}}$  к единице.

**Коэффициент совмещения процессов  $K_{\text{сов}}$**  определяется отношением разности суммарной величины рабочего времени всех процессов на всех захватках  $\sum_1^N \sum_1^n t_i$  и срока строительства  $T_c$  к той же величине рабочего времени по формуле:

$$K_{\text{сов}} = \frac{\sum_1^N \sum_1^n t_i - T_c}{\sum_1^N \sum_1^n t_i}, \quad (37)$$

где  $N$  – количество процессов;  $n$  – количество захваток при организации потока.



**Рис. 4.38** Примерная компоновка листа графической части дипломного проекта при рассмотрении вариантов организации работ поточным методом

На основании анализа рассмотренных показателей, характеризующих эффективность организации работ поточным методом, выбирается оптимальный из рассмотренных вариантов. Примерная компоновка листа графической части дипломного проекта приведена на рис. 4.38.

- 1 Расскажите о специфических особенностях и возможностях применения поточных методов в вариантном проектировании при выполнении дипломного проекта.
- 2 По каким критериям оценки можно сопоставлять различные варианты организации строительного производства?
- 3 Каким образом можно сформировать интегральный критерий оценки качества рассматриваемых вариантов организации работ?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Афанасьев А.В. Параллельно-поточная организация работ // Военно-строительный бюллетень. 1982. № 3. С. 36 – 38.
- 2 Афанасьев А.В. Неритмичные потоки с непрерывным выполнением одноранговых работ // Совершенствование организации и управления строительством. Л.: ЛИСИ, 1982. С. 13 – 22.
- 3 Афанасьев В.А. Поточная организация строительства. Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1990. 302 с.
- 4 Гусаков А.А. Организационно-технологическая надежность строительства. М.: SVR-Аргус, 1994.
- 5 Гусаков А.А. Системотехника строительства. М.: Стройиздат, 1993.
- 6 Гусакова В.С. Оценка системотехнических свойств план-графиков организации и управления строительством // Организация, планирование и управление строительством. Л.: ЛИСИ, 1981. С. 25 – 32.
- 7 Драпеко В.Г. Сокращение общей продолжительности комплексов работ при их параллельно-поточной организации // Организация, планирование и управление строительством. Л.: ЛИСИ, 1983. С. 15 – 23.
- 8 Организация и планирование строительного производства: Учебное пособие / Н.А. Петров. Самара: Самарск. арх.-строит. ин-т, 1997. 100 с.
- 9 Организация строительного производства: Учебник для вузов / Т.Н. Цай, П.Г. Грабовый, В.А. Большаков и др. М.: Изд-во АСВ, 1999. 432 с.
- 10 Поточная организация строительства: Лаб. работы / Сост. Е.В. Аленичева. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 1994. 25 с.
- 11 Разработка вариантов организации производства строительных работ: Метод. указ. / Сост. Е.В. Аленичева, О.Н. Кожухина. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2000. 36 с.
- 12 Российская архитектурно-строительная энциклопедия. В 5 т. М.: Изд-во «Триада»; «Альфа». 1995, 1996, 1998.
- 13 Сухачев И.А. Организация и планирование строительного производства. Управление строительной организацией: Учеб. для вузов. М.: Стройиздат, 1989. 752 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	3
.....	
<b>1 СУЩНОСТЬ ПОТОЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА</b>	4
.....	
1.1 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	4

1.2	ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОТОЧНОГО МЕТОДА ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА	7
<b>2</b>	<b>КЛАССИФИКАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПОТОКОВ</b>	9
<b>3</b>	<b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СТРОИТЕЛЬНОГО ПОТОКА</b>	14
3.1	ПАРАМЕТРЫ СТРОИТЕЛЬНОГО ПОТОКА	14
3.2	РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СТРОИТЕЛЬНОГО ПОТОКА	16
3.2.1	Универсальная методика расчета параметров строительных потоков без совмещения работ	18
3.2.2	Универсальная методика расчета параметров строительных потоков с совмещением работ	20
<b>4</b>	<b>ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПОТОКОВ</b>	21
4.1	ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ РАВНОРИТМИЧНОГО СТРОИТЕЛЬНОГО ПОТОКА	21
4.1.1	Равноритмичный поток без совмещения работ	22
4.1.2	Равноритмичный строительный поток с совмещением работ	26
4.2	ПРИМЕР РАСЧЕТА КРАТНОРИТМИЧНОГО СТРОИТЕЛЬНОГО ПОТОКА	30
4.2.1	Кратноритмичный строительный поток без совмещения работ	31
4.2.2	Кратноритмичный строительный поток с совмещением работ	33
4.3	ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА РАЗНОРИТМИЧНОГО СТРОИТЕЛЬНОГО ПОТОКА	36
4.3.1	Разноритмичный строительный поток без совмещения работ	37
4.3.2	Разноритмичный строительный поток с совмещением работ	40
4.4	ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА НЕРИТМИЧНОГО СТРОИТЕЛЬНОГО ПОТОКА С ОДНОРОДНЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ РИТМА	45
4.4.1	Неритмичный строительный поток с однородным изменением ритма без совмещения	46

процессов .....	
4.4.2 Неритмичный строительный поток с однородным изменением ритма с совмещением процессов .....	47
4.5 ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА НЕРИТМИЧНОГО СТРОИТЕЛЬНОГО ПОТОКА С НЕОДНОРОДНЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ РИТМА .....	52
4.5.1 Неритмичный строительный поток с неоднородным изменением ритма без совмещения процессов .....	53
4.5.2 Неритмичный строительный поток с неоднородным изменением ритма с совмещением процессов .....	56
<b>5 ОПТИМИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПОТОКОВ .....</b>	<b>61</b>
5.1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ОЧЕРЕДНОСТИ ВКЛЮЧЕНИЯ ЗАХВАТОК В ПОТОК .....	62
5.2 ОПТИМИЗАЦИЯ ПО КРИТЕРИЮ «МИНИМАЛЬНАЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА ОБЪЕКТА»	66
<b>6 ПРИМЕНЕНИЕ ПОТОЧНОГО МЕТОДА СТРОИТЕЛЬСТВА В ДИПЛОМНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ .....</b>	<b>73</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b>	<b>78</b>
.....	

## Приложение 2

Кодируемые поля	<b>ИНФОРМАЦИОННЫЙ БЛАНК № _____</b>	лицевая сторона
_____	1. Индекс	
_____	2. Издающая организация <b>ИПЦ ТГТУ</b>	
_____	3. Страна, издающая книгу <b>Российская федерация</b>	
_____	4. Авторы: <b>Аленичева Е.В.</b>	
_____	5. Название <b>Организация строительства поточным методом</b>	
_____	6. Вид издания <b>книга</b>	
_____	7. Тип литературы <b>Учебное (Учебное пособие, Т01, 2903)</b>	
_____	8. Издание <u>новое</u> , переизданное или репринтное (подчеркнуть)	
_____	9. Переплет или обложка (подчеркнуть) <b>мягкая</b>	
_____	10. Год и квартал выпуска <b>2004, II квартал</b>	
_____	11. Язык издания <b>русский</b>	
_____	12. Язык оригинала <b>русский</b>	
_____	13. Объем в изд. л. <b>4,6</b>	
_____	14. Объем в печ. л. <b>4,65</b>	
_____	15. Тираж <b>0,1</b>	
_____	16. Издательство или фирма владелец прав (для переводной зарубежной	

\_\_\_\_\_ литературы)

\_\_\_\_\_ 17. Международный стандартный номер книги **ISBN 5-8265-0287-8**

\_\_\_\_\_ 18. Отпускная цена в рублях

\_\_\_\_\_ 19. Расчетная прибыль (+) или убыток (-) в тыс. руб.

## **АННОТАЦИЯ**

В пособии рассматриваются вопросы теории и практики проектирования поточного метода организации строительного производства. Рассмотрены особенности расчета параметров строительного потока методом матричного алгоритма. Приведенные примеры расчетов различных типов строительных потоков позволяют применять пособие при проведении практических занятий по дисциплине «Организация и планирование строительного производства». В пособии освещены проблемы, возникающие при оптимизации строительных потоков по различным критериям, рассматриваются особенности применения данного метода организации строительства в дипломном проектировании.

Предназначено для подготовки студентов строительных специальностей вузов всех форм обучения, а также магистров по специальности «Промышленное и гражданское строительство».

Знак охраны авторского права © *Аленичева Е.В.*

Главный редактор издательства *М.А. Евсейчева*

" \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2004 г.

Дата отправки бланка в ИВЦ ВКП

" \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2004 г.

Дата поступления в ИВЦ ВКП

" \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2004 г.