

Министерство образования и науки Российской Федерации
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

*О. В. Бурлаченко, Е. А. Бутенко,
Н. А. Аксенова*

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, РАСЧЕТ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПОТОКОВ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Учебно-практическое пособие



© Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный
архитектурно-строительный университет», 2012

Волгоград
ВолгГАСУ
2012

УДК 69.05(076.5)

ББК 38.6я73

Б 915

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор *В. С. Боровик*, заведующий кафедрой экономики и управления дорожным хозяйством ВолгГАСУ; доктор экономических наук, профессор *М. К. Беляев*, заведующий кафедрой экономики и управления проектами в строительстве ВолгГАСУ

*Утверждено редакционно-издательским советом университета
в качестве учебно-практического пособия*

Бурлаченко, О. В.

Б 915 Проектирование, расчет и оптимизация потоков строительного производства [Электронный ресурс]: учебно-практическое пособие / О. В. Бурлаченко, Е. А. Бутенко, Н. А. Аксенова ; М-во образования и науки Росс. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. — Электронные текстовые и графические данные (582 Кбайт). — Волгоград : ВолгГАСУ, 2012. — Учебное электронное издание комбинированного распространения : 1 CD-диск. — Систем. требования: PC 486 DX-33; Microsoft Windows XP; 2-скоростной дисковод CD-ROM; Adobe Reader 6.0. — Официальный сайт Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Режим доступа: <http://www.vgasu.ru/publishing/on-line/> — Загл. с титул. экрана

ISBN 978-5-98276-539-0

Изложен краткий теоретический материал по поточной организации труда, рассмотрены классификация потоков, принципы проектирования, расчета и оптимизации потоков, назначение и виды параметров потока, основные расчетные формулы и схемы. Приведены варианты заданий для выполнения расчетно-графических работ.

Разработаны для студентов 5-го курса очной формы обучения и 6-го курса заочной формы обучения профиля «Городское строительство и хозяйство» по дисциплине «Технология и организация в городском строительстве».

Для удобства работы с изданием рекомендуется пользоваться функцией Bookmarks (Закладки) в боковом меню программы Adobe Reader.

Имеется печатный аналог (Бурлаченко О. В. Проектирование, расчет и оптимизация потоков строительного производства : учебно-практическое пособие / О. В. Бурлаченко, Е. А. Бутенко, Н. А. Аксенова ; М-во образования и науки Росс. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. — Волгоград : ВолгГАСУ, 2012. — 58, [2] с.).

УДК 69.05(076.5)

ББК 38.6я73

Нелегальное использование данного продукта запрещено

ISBN 978-5-98276-539-0



© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет», 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1. Организационно-технологические модели строительного производства.....	4
2. Сущность поточной организации строительного производства....	7
3. Основные принципы проектирования потоков.....	8
4. Классификация строительных потоков.....	10
5. Пространственные, технологические и временные параметры потоков.....	12
6. Основные закономерности, технологическая увязка и расчет параметров строительных потоков.....	13
7. Расчет параметров равноритмичного потока. Расчет с использованием матриц. График Г. Л. Ганта, циклограмма М. С. Будникова	16
8. Расчет параметров разноритмичного и кратноритмичного потоков...	19
9. Расчет параметров неритмичных потоков.....	23
10. Варианты заданий для выполнения расчетно-графических работ	24
10.1. Равноритмичный поток.....	24
10.2. Разноритмичный поток.....	24
10.3. Неритмичный поток.....	26
10.4. Кратноритмичный поток.....	27
11. Последовательность расчета оптимизации потока.....	29
12. Расчет матрицы неритмичного потока из условия НИР.....	30
13. Оптимизация потока.....	34
Библиографический список.....	48
Приложение 1.....	49
Приложение 2.....	51
Приложение 3.....	55
Приложение 4.....	56

ВВЕДЕНИЕ

Организация строительного производства — это взаимоувязанная система подготовки к выполнению отдельных видов работ, установление и обеспечение общего порядка, очередности и сроков снабжения всеми видами ресурсов для достижения эффективности и качества выполнения отдельных видов работ или строительства объекта.

Основной задачей организации строительного производства является такое сокращение продолжительности строительства, которое бы обеспечило оптимальное использование рабочих и механизмов за счет насыщения фронта работ необходимыми ресурсами. При этом все расчеты должны базироваться на реальном количестве ресурсов, которые могут быть выделены соответствующими строительными организациями для выполнения объема работ по потоку.

1. ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Любая задача управления характеризуется множественностью ее решений. Но следует учитывать, что постоянное усложнение процесса управления делает выбор оптимального решения чрезвычайно трудным.

Выходом из этого положения при решении многих проблем управления строительным производством, представляющим собой сложную организационно-технологическую систему, является применение вычислительной техники и экономико-математических методов в основных сферах управления строительством, представленных в виде моделей.

Модель — это упрощенное, абстрактное отображение наиболее существенных характеристик, процессов и взаимосвязей реальных систем или аналог, условный образ какого-либо сложного объекта, сконструированный для упрощения его исследования.

Модель содержит и порождает информацию, адекватную информации моделируемого объекта (оригинала). Понятие модели связано с определенным сходством между двумя объектами. Кроме того, модель должна удовлетворять ряду требований:

- 1) адекватность (соответствие);
- 2) отражение лишь существенных связей;

- 3) наглядность;
- 4) простота, т. е. понятность используемого языка и не слишком большая сложность.

Процесс исследования на моделях, должным образом представляющих изучаемую систему, называется моделированием.

Моделирование строительного производства — это исследование строительных процессов путем построения и изучения их моделей, являющихся упрощенным представлением о некотором объекте, более удобном для восприятия, чем сам объект.

Различают два вида моделей:

1. *Физические* — представляют собой некую материальную систему, которая отличается от моделируемого объекта размерами, материалами и т. п. Физическая модель может быть масштабной (М 1:000) или аналоговой, построенной на основании того или иного физического процесса, протекающего в моделируемом явлении.

2. *Символические* (абстрактные) — создаются с помощью языковых, графических, математических средств описания и абстрагирования.

Математические модели чаще всего используются в управлении благодаря их свойству — возможности применения в разных, на первый взгляд, совершенно несхожих ситуациях. Существуют следующие группировки математических моделей:

а) *линейные* — в которых все зависимости связаны линейными соотношениями, и *нелинейные*, в случае наличия хотя бы частично нелинейных соотношений;

б) *детерминированные* — в которых учитываются только усредненные значения параметров, и *вероятностные* (статистические, стохастические), предусматривающие случайный характер тех или иных параметров и процессов;

в) *статические* — которые фиксируют только один период времени, и *динамические*, в которых рассматриваются и рассчитываются параметры по различным периодам и этапам;

г) *оптимизационные* — в которых выбор элементов и самого процесса осуществляется с учетом экстремизации целевой функции, и *неоптимизационные* — с заранее данным объемом выпуска, производства;

д) *с высоким уровнем детализации* — в которых модель отображает многие факторы процесса или включает в себя большое

число элементарных составляющих, и *агрегированные укрупненные* модели, в которых объединяются многие параметры, близкие по значению.

В каждой модели возможны различные сочетания этих признаков с определенным приоритетом одного из них.

Строительный процесс и виды работ могут быть представлены в виде мысленной описательной или графической моделей.

До настоящего времени в качестве основных графических моделей строительного производства приняты *календарные линейные графики* Г. Л. Ганта, в масштабах времени показывающие последовательность и сроки выполнения работ. С помощью линейных графиков удается наглядно отобразить однозначную взаимосвязь и последовательность работ. Однако при сложных зависимостях между работами такие графики малоэффективны.

Применяемые реже *циклограммы* М. С. Будникова отражают ход работ в виде наклонных линий в системе координат и являются, по существу, разновидностью линейного графика. На циклограммах наглядно изображается развитие строительного процесса во времени и пространстве. Они наиболее удобны при планировании возведения однотипных зданий и сооружений. При этом за единицу продукции чаще всего принимается участок или захватка (для многоэтажных жилых домов — типовая секция в пределах одного этажа). При возведении крупных промышленных комплексов, отличающихся сложными взаимосвязями работ, наглядность циклограммы существенно снижается, пользоваться ею неудобно.

Линейный график не может отобразить сложность моделируемого в нем процесса, модель не адекватна оригиналу. Это обуславливает основные недостатки линейных графиков:

1) отсутствие наглядно обозначенных взаимосвязей между отдельными операциями (работами); зависимость работ, положенная в основу графика, выявляется один раз в процессе составления и не изменяется;

2) негибкость, жесткость структуры линейного графика, сложность его корректировки при изменении условий; необходимость многократного пересоставления;

3) сложность вариантной проработки и ограниченная возможность прогнозирования хода работ;

4) сложность применения современных математических методов и компьютеров для расчетов параметров графиков.

Все перечисленные недостатки снижают эффективность процесса управления при использовании линейных графиков.

При использовании *матричных моделей* можно легко определить продолжительность выполнения работ каждой бригадой, общую продолжительность строительства, технологические и организационные перерывы, уровень совмещения работ.

2. СУЩНОСТЬ ПОТОЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Современное строительное производство развивается на принципах поточности в промышленности, т. е. непрерывности и равномерности. Строительный поток является важнейшим и обязательным элементом *индустриализации*, без осуществления которой невозможно использовать в полной мере преимущества строительства из сборных элементов, изготовленных на заводах стройиндустрии. Индустриализация строительства заключается в развитии и совершенствовании строительного производства на основе применения современных средств механизации и автоматизации строительных процессов, превращении строительного производства в механизированный поточный процесс возведения зданий и сооружений.

Поточным методом называют такой метод, который обеспечивает высокую организацию технологического процесса строительства, планомерный, ритмичный выпуск готовой строительной продукции (законченных зданий и сооружений, видов работ и т. д.) на основе непрерывной и равномерной работы трудовых коллективов (бригад, потоков) неизменного состава, при условии своевременной и комплексной поставки всех необходимых материально-технических ресурсов, а также ликвидации потерь времени, труда и ресурсов.

Непоточные методы применяются при выпуске строительной продукции через неопределенные периоды времени и в разных количествах.

В основу поточной организации строительства положены: типизация объектов, принцип индустриального производства строительных материалов и изделий, сохранение бригад высокого профессионального уровня, постоянного количественного и качественного состава.

При организации потока в строительстве сложный процесс разделяется на несколько более простых операций. Выполнение каждого простого процесса поручается отдельной специализированной бригаде или звену. Весь фронт работ делится на несколько участков (захваток). Бригады (звенья), сохраняя свой неизменный состав, равномерно передвигаются по общему фронту работ, переходя с одной захватки на другую. Первая бригада все время выполняет первый по технологическому порядку процесс, последняя — оставляет законченный участок.

Область применения поточного метода очень широка: с его помощью могут выполняться отдельные строительные процессы (поточно-расчлененный метод), осуществляться возведение отдельных зданий (поток на отдельных объектах) и строительство целого комплекса объектов (поток на строительстве жилых массивов или промышленных предприятий).

3. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОТОКОВ

Основным принципом поточного метода в строительстве является полное использование производственной мощности строительной организации при равномерной и непрерывной загрузке низовых подразделений (участков, бригад, звеньев и отдельных рабочих).

Для поточного метода организации строительного производства характерны следующие принципы:

1. Расчленение работы на составляющие процессы в соответствии со специальностью и квалификацией исполнителей.
2. Расчленение фронта работ на отдельные участки для создания наиболее благоприятных условий работ отдельным исполнителям.
3. Максимальное совмещение работ во времени.

Задачами проектирования строительного потока является определение таких его параметров, которые, с учетом рациональной технологии и организации работ по всем объектам, обеспечивают строительство объектов в пределах нормативной продолжительности, непрерывность загрузки ресурсов (бригад, машин, механизмов, материалов и конструкций) и ведения строительного-монтажных работ по каждому объекту.

Основной задачей расчета потока является сокращение продолжительности строительства, которое обеспечило бы наиболее производи-

тельное использование рабочих и механизмов за счет насыщения фронта работ оптимальным количеством ресурсов. При этом все расчеты должны базироваться на реальном количестве ресурсов, которые могут быть выделены соответствующими строительными организациями для выполнения объема работ по потоку.

Проектирование строительного потока осуществляют на основе данных об объемно-планировочных и конструктивных решениях объектов, подлежащих включению в поток, путем группировки однотипных зданий или частей по каждому типу здания с учетом специализации и численности бригад, машин и механизмов, которые могут выполнять данные виды и объемы работ.

С использованием основных принципов поточной организации промышленного производства, учитывая особенности строительного производства, разработаны следующие принципы и последовательность проектирования потока для возведения однородных объектов строительства:

1. Выявление объектов, близких между собой по объемно-планировочным и конструктивным решениям, технологии их возведения, подлежащих строительству поточным методом.

2. Расчленение процесса возведения объектов на отдельные работы, желательно равные или кратные по трудоемкости.

3. Установление целесообразной последовательности выполнения работ, соединение взаимосвязанных работ в общий совокупный процесс и их синхронизацию, с помощью чего достигается непрерывность строительного производства.

4. Установление последовательности включения в поток строительства отдельных объектов, закрепление процессов за определенными бригадами рабочих, установление движения бригад на отдельных объектах по ходу технологического процесса и с объекта на объект, согласно принятой последовательности и с минимальными холостыми переходами.

5. Оснащение бригад рабочих строительными машинами, инструментами, приспособлениями для обеспечения высокопроизводительного выполнения закрепленных за бригадами процессов.

6. Расчет основных параметров потока с учетом обеспечения одновременности (совмещения) выполнения большинства работ и согласованности между продолжительностью выполнения отдельных видов работ с числом ведущих машин и рабочих бригад; проектирование последовательности перебазирования ведущих строитель-

ных бригад рабочих и машин с объекта на объект с учетом соблюдения заданного ритма производства.

По каждой группе однотипных зданий устанавливают технологическую последовательность работ и определяют рациональные размеры захваток (участков) и их количество.

Захватка — это часть здания или сооружения, объемы работ по которой выполняются бригадой (звеном) постоянного состава с определенным ритмом, обеспечивающим поточную организацию строительства объекта в целом.

Размеры захваток зависят от объемно-планировочной и конструктивной структуры объекта, состава оборудования, а также от направления развития специализированных потоков, состава выполняемых ими работ и их мощности (производительности). В качестве захваток принимают повторяющиеся пролеты, секции, этажи, этажи-секции, конструктивные объемы по определенной группе осей, рядов и отметок здания. Разбивку здания на захватки производят с учетом обеспечения необходимой устойчивости и пространственной жесткости несущих конструкций в условиях их самостоятельной работы в пределах захватки. Необходимо стремиться к тому, чтобы границы захваток совпадали с конструктивным членением здания — температурными и осадочными швами, что обеспечивает возможность прекращения или возобновления работы без нарушения технических условий.

4. КЛАССИФИКАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПОТОКОВ

По характеру временного развития (ритмичности) различают следующие виды потоков:

1) **равноритмичный (ритмичный)** — в котором все составляющие потока имеют единый ритм, т. е. одинаковую продолжительность выполнения работ каждым отдельным исполнителем (звеном, бригадой, участком) на всех фронтах работ (частных, специализированных и т. д.);

2) **разноритмичный** — в котором все составляющие его потоки имеют одинаковые ритмы однотипных работ и различные ритмы разнотипных (его разновидность — кратноритмичный, в котором все составляющие потоки имеют не равные, но кратные ритмы);

3) **неритмичный** — в котором неодинакова продолжительность выполнения каждой отдельной бригадой работ на частных фронтах.

Неритмичные потоки могут быть: с одинаковым (однородным) изменением ритма работы бригад на частных фронтах (захватках) и неодинаковым (неоднородным) изменением ритма работы бригад на частных фронтах (захватках).

Ритмичный поток организуется при возведении однородных или одинаковых объектов, когда все элементы потока имеют единый темп развития всех составляющих потоков.

Кратноритмичный поток организуется при возведении однородных объектов, у которых трудоемкость выполнения отдельных работ отличается в несколько раз. В реальных условиях строительства равно- и кратноритмичные потоки встречаются крайне редко, в основном, при строительстве одинаковых домов силами больших строительных организаций. Разновидностью объектных и единственной формой комплексных потоков являются разноритмичные потоки.

Разноритмичный поток характерен для строительства неоднородных и неодинаковых зданий и сооружений, отличающихся размерами, этажностью и другими объемными показателями.

Неритмичные потоки проектируют для возведения объектов со сложной конфигурацией в плане, при различных высотах их помещений и неравномерности распределения объема работ в пространстве. Такие объекты трудно расчленить на захватки (участки), равные по трудоемкости. Поэтому продолжительность выполнения работ на захватках отдельными бригадами постоянного численного состава различна.

По срокам функционирования различают потоки:

1) *кратковременные* (краткосрочные) — организуемые для возведения отдельных зданий и сооружений или их групп и имеющие, как правило, разовый характер; продолжительность строительства их не превышает одного года;

2) *долговременные* (долгосрочные) — организуемые при строительстве зданий или комплексов объектов, охватывающих всю или преобладающую часть программы строительной организации и рассчитанные на длительное время (более одного года);

3) *непрерывные* — организуемые в условиях постоянной специализации строительной организации на одном виде продукции.

5. ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ВРЕМЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПОТОКОВ

Организация поточного строительства предприятий, зданий и сооружений предусматривает определение пространственных, технологических (организационных) и временных параметров потоков и зависимостей между ними.

К *пространственным параметрам потока* относится N — общее число фронтов работ (захваток, участков, объектов) (n — число частных фронтов работ (захваток, участков или объектов)).

В пределах захватки развиваются и увязываются между собой частные потоки, входящие в состав специализированного потока.

Участок — часть возводимого здания, в пределах которого развиваются взаимосвязанные специализированные потоки, входящие в состав объектного потока.

Участок представляет собой пространственную конструктивно-технологическую часть здания, при возведении которой повторяется весь комплекс строительных, монтажных и специальных работ.

К *технологическим параметрам потока* относятся: число частных, специализированных или объектных потоков M (m — количество выполняемых процессов в потоке или число видов работ, соответствующее количеству исполнителей (звеньев, бригад и т. д.), объемы V и трудоемкость работ T , а также интенсивность (мощность) потока V_m .

Интенсивность (мощность) потока — количество продукции в натуральных показателях, выпускаемой строительным потоком за единицу времени (например, количество квадратных метров общей площади жилья в день).

К *временным параметрам потока* относятся:

T_0 — общая продолжительность работ по потоку в целом, дни (смены, недели, декады и т. д.);

T_t — суммарная продолжительность выполнения исполнителем (бригадой) потока работ на всех захватках, дни (смены, недели, декады и т. д.);

T_j — суммарная продолжительность выполнения исполнителями (бригадами) потока работ на одной (j -й) захватке, дни (смены, недели, декады и т. д.);

T_{Σ} — суммарная продолжительность выполнения всеми исполнителями (бригадами) потока работ на всех захватках, дни (смены, недели, декады и т. д.);

t — ритм (шаг) потока, т. е. время выполнения на одной захватке всех технологических и организационно-нерасчлененных операций и работ, образующих частный или специализированный поток и выполняемых одним составом исполнителей (звено, бригада и т. д.), дни (смены, недели, декады и т. д.);

$t_{бр}$ — ритм работы бригады, т. е. продолжительность работы бригады на частных фронтах работ, дни (смены, недели, декады и т. д.);

$t_{пер}$ — время перерыва:

а) $t_{орг}$ — организационные перерывы между работами смежных бригад на одной и той же захватке, дни (смены, недели, декады и т. д.);

б) $t_{тех}$ — технологические перерывы между работами смежных бригад на одной и той же захватке, дни (смены, недели, декады и т. д.);

T_p — период развертывания потока, т. е. период, когда в поток с интервалом, равным его ритму, последовательно включаются исполнители (бригады, необходимые машины и т. д.), дни (смены, недели, декады и т. д.);

T_v — период установившегося потока, т. е. период, которому соответствует постоянное максимальное количество исполнителей (бригады, необходимые машины и т. д.), дни (смены, недели, декады и т. д.);

T_c — период свертывания потока, т. е. период, когда из потока с интервалом, равным его ритму, последовательно выводятся исполнители (бригады, необходимые машины и т. д.), дни (смены, недели, декады и т. д.). Это также период выпуска готовой продукции.

6. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ УВЯЗКА И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПОТОКОВ

Технологическую увязку потоков выполняют, исходя из следующих предположений:

1) работу на каждой последующей захватке начинают с интервалом, равным шагу потока;

2) на одной захватке может работать одна или несколько бригад (звеньев) с одинаковым ритмом;

3) размер каждой захватки остается неизменным для всех видов работ, выполняемых на захватках;

4) после выполнения всего комплекса работ на одной захватке работы на каждой из последующих захваток заканчивают не позднее чем через интервал, равный шагу потока.

Эти предположения позволяют рассчитать параметры для наиболее простых видов потока: равно- и кратноритмичного.

При организации потока стремятся обеспечить наибольшую длительность периода установившегося потока. Оценку качества запроектированных потоков производят с использованием различных критериев, к которым относятся: продолжительность и уровень равномерности строительного потока, степень совмещения работ.

Такие параметры потока, как продолжительность функционирования потока и составляющих его частных потоков, периоды (время) их включения в работу, очередность работы бригад на захватках или объектах, а также степень совмещения работ на всех захватках целесообразно рассчитывать при помощи матриц.

Матрица — это прямоугольная таблица с пересекающимися строками и столбцами, в местах пересечения которых (т. е. в клетках) записывают исходную информацию, над которой можно производить математические операции.

Расчет продолжительности всех других параметров потока с использованием матриц выполняют в следующей последовательности: в центры клеток матрицы записывают продолжительности работ бригад на захватках t ; далее в конце каждого столбца проставляют продолжительности работы бригад ($\sum t_i$) и потоков ($\sum t_j$), для чего суммируют продолжительность их работ на всех захватках ($T_o^i = (t_{1-1}^o - t_{1-1}^h) + \dots + (t_{1-jn}^o - t_{1-jn}^h)$) или потоках ($T_o^j = (t_{1-1}^o - t_{1-1}^h) + \dots + (t_{im-1}^o - t_{im-1}^h)$); затем в верхний левый угол заносят время начала работы первой бригады на первой захватке (принимается равным нулю ($t_{11}^h = 0$)); а в нижний правый угол — окончание выполнения первой работы на первой захватке (определится из формулы: $t_{i-j}^o = t_{i-j}^h + t$) (т. е. время начала работы плюс ее продолжительность); время окончания работы на первой захватке считается началом работы этой бригады на второй захватке, а также время начала работы второй бригады на этой же захватке (см табл.).

Пример построения матрицы

n захватки	m — количество выполняемых процессов в потоке (число исполнителей)		$\sum t_j$	$\sum t_{\text{пер}}$	$\sum t_j + \sum t_{\text{пер}}$
	$i = 1$	$i = 2$			
$j = \text{I}$	$t_{\text{II}}^{\text{H}} = 0$	$t_{\text{пер}}$ t $t_{\text{II}}^{\text{O}} = t_{\text{II}}^{\text{H}} + t$	$t_{2\text{I}}^{\text{H}} = t_{\text{II}}^{\text{O}} + t_{\text{мех}}$ t $t_{2\text{I}}^{\text{O}} = t_{2\text{I}}^{\text{H}} + t$	$(t_{2\text{I}}^{\text{O}} - t_{2\text{I}}^{\text{H}})$ + $(t_{\text{II}}^{\text{O}} - t_{\text{II}}^{\text{H}})$	$\sum t_{\text{пер.I}}$ $\sum t_{\text{I}} =$ $\sum t_{\text{I}} +$ $\sum t_{\text{пер}}$
$j = \text{II}$	$t_{\text{III}}^{\text{H}} = t_{\text{II}}^{\text{O}}$	t $t_{\text{III}}^{\text{O}} = t_{\text{II}}^{\text{H}} + t$	$t_{\text{пер}}$ $t_{2\text{II}}^{\text{H}} = t_{2\text{I}}^{\text{O}} + t_{\text{опр}}$ t $t_{2\text{II}}^{\text{O}} = t_{2\text{II}}^{\text{H}} + t$	$(t_{2\text{II}}^{\text{O}} - t_{2\text{II}}^{\text{H}})$ + $(t_{\text{III}}^{\text{O}} - t_{\text{III}}^{\text{H}})$	$\sum t_{\text{пер.II}}$ $\sum t_{\text{II}} =$ $\sum t_{\text{II}} +$ $\sum t_{\text{пер}}$
			$\sum t_1 + \sum t_2$	$\sum t_{\text{пер(I+II)}}$	$\sum t_{\text{I}} + \sum t_{\text{II}}$

Поток графически может быть представлен в виде линейного календарного графика (график Г. Л. Ганта (1890 г.)) или циклограммы (циклограмма М. С. Будникова (1935 г.)). На линейном графике для каждой специализированной бригады потока выделена горизонтальная полоса, а период работы такой бригады на разных захватках показывается смещенными относительно друг друга отрезками. Если соединить пунктирной линией точки, определяющие моменты начала работ каждой бригады по захваткам, то получится наклонные линии, каждая пара которых ограничивает определенную захватку. В циклограмме сохраняется календарная шкала линейного графика, но горизонтальная полоса выделяется для захваток в порядке их номеров снизу вверх. Поэтому работа каждой бригады изображается наклонной линией, которая как бы символизирует движение каждой бригады по фронту работ одной захватки и переход бригад с одной захватки на другую.

Особенности расчета и оптимизации различных потоков с использованием матриц целесообразно рассмотреть на конкретных примерах.

7. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ РАВНОРИТМИЧНОГО ПОТОКА. РАСЧЕТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТРИЦ. ГРАФИК Г. Л. ГАНТА, ЦИКЛОГРАММА М. С. БУДНИКОВА

В равноритмичных потоках ритмы $t_{\text{бр}}$ работы всех бригад одинаковы и равны ритму потока:

$$t_{\text{бр}} = t. \quad (1)$$

Общая продолжительность работ у всех исполнителей в потоке T_i одинакова, а общую продолжительность работы по объекту T_o можно разбить на две части T_1 и T_2 , тогда:

$$T_o = T_1 + T_2, \quad (2)$$

где

$$T_1 = T_p = (n-1)t, \quad (3)$$

а (в равноритмичных потоках) $T_p = T_c$,

$$T_2 = t_{\text{бр}} = T_y + T_c = mt. \quad (4)$$

Тогда:

$$T_o = (n-1)t + mt = (n+m-1)t. \quad (5)$$

Из формулы (5), являющейся основной формулой потока, видно, что чем меньше ритм потока t , тем меньше и общая продолжительность выполнения работ. Но возможная минимизация величины t ограничена значениями многих факторов потока: размерами захваток, рациональным составом бригад по числу и профессиям рабочих, технологическими условиями между смежными бригадами, соблюдением требований охраны труда и т. д.

В зависимости от характера исходных данных, по формуле (5) можно рассчитать различные параметры потока. Так, при заданной общей продолжительности строительства T_o , известном количестве исполнителей m и захваток n величина шага потока будет равна:

$$t = \frac{T_o}{(n+m-1)}, \quad (6)$$

а количество исполнителей (бригад) при заданных T_o и принятых t и n :

$$m = \frac{T_o}{t} + 1 - n. \quad (7)$$

Количество фронтов работ (захваток) при заданных T_o и принятых t и m :

$$n = \frac{T_o}{t} + 1 - m. \quad (8)$$

При проектировании потоков учитывают также возможные технологические $t_{\text{тех}}$ и организационные $t_{\text{орг}}$ перерывы. Если на захватке последующую работу можно выполнять только после определенного перерыва, обусловленного технологией работ (например, выдержка бетонной конструкции занимает определенное время), то появляется необходимость в устройстве технологического перерыва. В ряде случаев организационные перерывы возникают по условиям охраны труда (запрещается на одной и той же захватке вести каменные и монтажные работы), а при неритмичных потоках — в случае сдвижки сроков работы исполнителей. Если эти перерывы не учтены в продолжительности шага потока, то их значения включаются в расчетную формулу общей продолжительности потока:

$$T_o = (n + m - 1) t + \sum t_{\text{тех}} + \sum t_{\text{орг}}. \quad (9)$$

Если первая бригада потока заканчивает работу, а последняя еще не приступила к своей, то такой поток называется *неустановившимся*. Это характерно для равноритмичных потоков, когда число захваток n меньше, чем $m+1$. Если число захваток n равно количеству процессов в потоке, то он также никогда не доводится до максимального числа исполнителей. На определенный период в потоке наибольшее число исполнителей меньше их возможного максимального числа в установившемся потоке на количество исполнителей первой бригады потока. А если количество захваток n меньше количества процессов в потоке, то число исполнителей всегда меньше максимального.

Для равноритмичных и кратноритмичных потоков характерно следующее условие: продолжительность выполнения работы бригад или продолжительность выполнения частных специализированных потоков $\sum t_i$ постоянны и равны между собой $\sum t_1 = \sum t_2 = \dots = \sum t_i = \text{const}$.

Пример № 1 (см. прил. 1)

Запроектирован равноритмичный поток; ритм потока $t = 5$; количество бригад — 3: бр₁ — 7 чел., бр₂ — 6 чел., бр₃ — 4 чел.; количество захваток $n = 3$.

Рассчитать матрицу, исходя из условий непрерывного использования ресурсов (НИР), непрерывного освоения фронта работ (НОФР).

Последовательность выполнения:

1. Рассчитать общую продолжительность строительства.
2. Найти коэффициент плотности матрицы $K_{пл}$.
3. Построить линейный график Ганта.
4. Построить график движения рабочей силы по объекту.
5. Построить циклограмму движения бригад по объекту.
6. Рассчитать и построить критический путь строительства.

Расчет: в верхнем левом углу клетки проставляем время начала работы бригады на захватке, а в нижнем правом — время ее окончания. Расчет ведем по столбцам сверху вниз. Так как поточное строительство характеризуется непрерывностью процесса, то время его окончания на предыдущей захватке является временем начала процесса на последующей захватке, поэтому цифру из нижнего угла верхней клетки переносим без изменения в верхний угол нижележащей клетки. Расчет второго и последующих столбцов ведем так же.

1. См. матрицу (прил.1, рис. 1).
2. Находим коэффициент плотности матрицы по формуле:

$$K_{пл} = \frac{\sum t_{il}}{\sum t_{il} + \sum_{пер}} \quad (10)$$
$$K_{пл} = \frac{15 + 15 + 15}{(15 + 15 + 15) + 0} = \frac{45}{45} = 1.$$

Коэффициент плотности показывает соотношение непрерывной работы и простоев на объекте. В нашем случае коэффициент равен 1. Это говорит о том, что 100 % времени бригад уходит на работу — простоев нет.

3. Линейный график (см. прил.1, рис. 2, а).
4. График движения рабочей силы по объекту (см. прил.1, рис. 2, б).

Вычислим коэффициент неравномерности распределения рабочих по объекту по формуле:

$$K_{нер} = \frac{R_{max}}{R_{cp}} ; (1...2), \quad (11)$$

где R_{max} — максимальное количество рабочих в смену (см. прил. 1, рис. 2, б), R_{cp} — среднее количество рабочих находящихся на строительном объекте, вычисляется по формуле:

$$R_{\text{ср}} = \frac{Q}{T}, \quad (12)$$

где Q — общая трудоемкость (при расчете поточного строительства). Q вычисляется путем умножения количества всех дней работы на объектах (захватках) на количество человек в бригаде); T — общая продолжительность строительства (см. п. 1).

$$R_{\text{ср}} = \frac{15 \cdot 7 + 15 \cdot 6 + 15 \cdot 4}{25} = \frac{105 + 90 + 60}{25} = \frac{255}{25} = 10,2 \approx 10 \text{ чел.}$$

$$K_{\text{нер}} = \frac{17}{10} = 1,7.$$

5. Циклограмма (см. прил. 1, рис. 2, в).

В равноритмичном потоке расчет потока по НОФР совпадает с расчетом потока НИР.

8. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ РАЗНОРИТМИЧНОГО И КРАТКОРИТМИЧНОГО ПОТОКОВ

В разноритмичных потоках для выполнения одних процессов может быть принят одинаковый ритм работы бригад, а для других, из-за повышенной трудоемкости работ, ритмы должны быть приняты в несколько раз большими.

Для того чтобы захватки не простаивали при функционировании разноритмичных потоков, стремятся увеличить численность рабочих в бригадах, имеющих наибольший ритм, тем самым уравнивая их по наименьшему. Однако это не всегда возможно по различным причинам: мал фронт работ, ограничена производительность крана и т. д. С целью исключения пустующих захваток можно организовать поток с одинаковыми ритмами бригад, приняв за основу наибольший. Но при этом сохраняется один из недостатков таких потоков — неоправданно большая продолжительность работ. Избежать подобных недостатков при проектировании потоков возможно, если сделать значения ритмов работ бригад кратными друг другу.

Выполнение процессов с удлинением ритмов поручают нескольким бригадам. Например, для кратности ритмов, равной двум, назначают две бригады для выполнения одного производственного процесса; при кратности, равной трем, — три бригады и т. д. Технологическая увязка таких потоков также достаточно просто осуществляется — бригады включаются в работу по мере освобождения соответствующих захваток.

При организации потока с кратным ритмом соблюдаются следующие условия: ритм потока равен наименьшему из ритмов бригад потока, величина $t_{бр}$ для всех бригад кратна t ; количество бригад, выполняющих один и тот же процесс, равно значению кратности этой бригады ритму потока. Все формулы, приведенные для потока с равным ритмом, применимы и для потока с кратным ритмом.

Пример № 2 (см. прил. 2)

Запроектирован разноритмичный поток; количество бригад — 3: бр₁ — 7 чел., бр₂ — 5 чел., бр₃ — 6 чел.; количество захваток $n = 3$.

Рассчитать матрицу, исходя из условий непрерывного изменения ресурсов (НИР) и непрерывного освоения фронта работ (НОФР) (прил. 2).

1. Последовательность расчета см. пример № 1.

Расчет (см. прил. 2, рис. 3, а): в верхнем левом углу клетки представляем время начала работы бригады на захватке, а в нижнем правом — время ее окончания. Расчет ведем по столбцам сверху вниз. Так как поточное строительство характеризуется непрерывностью процесса, то время его окончания на предыдущей захватке является временем начала процесса на последующей захватке, поэтому цифру из нижнего угла верхней клетки переносим без изменения в верхний угол нижележащей клетки. Расчет второго и последующих столбцов ведем так же, но следует помнить о связях между процессами на захватках, а именно — о том, что начало последующего процесса по любой захватке не должно быть меньше (раньше) окончания предшествующего процесса. То есть необходимо, чтобы $t_{i+1}^{нач} \geq t_i^{ок}$. Смотрим, где у нас не выполняется это условие: бригада № 2 на второй захватке и бригада № 3 на третьей захватке. Смотрим, где разница ($t_{i+1}^{нач} \geq t_i^{ок}$) максимальна ($20 - 13 = 7$, $30 - 16 = 14$, max), приравниваем и пересчитываем весь столбец заново. Затем заносим в матрицу дни простоя на захватках.

Проверка критического пути: $10+10+10+3+5+4 = 42$.

2.

$$K_{пл} = \frac{\sum t_{il}}{\sum t_{il} + \sum_{пер}} = \frac{30 + 9 + 15}{(30 + 9 + 15) + (14 + 7 + 2 + 4)} = 0,66.$$

В нашем случае коэффициент равен 0,66. Это говорит о том, что 66 % времени бригад уходит на работу, а 34 % — на пустые захваты (простои).

3. Линейный график (см. прил. 2, рис. 3, б).

4. График движения рабочих (см. прил. 2, рис. 3, в).

5.

$$K_{\text{пер}} = \frac{R_{\text{max}}}{R_{\text{ср}}} = \frac{18}{R_{\text{ср}}}$$

$$R_{\text{ср}} = \frac{30 \cdot 7 + 9 \cdot 5 + 15 \cdot 6}{42} = \frac{345}{45} = 8,2 \approx 9 \text{ чел.}$$

$$K_{\text{пер}} = \frac{R_{\text{max}}}{R_{\text{ср}}} = \frac{18}{9} = 2.$$

6. Циклограмма и критический путь (см. прил. 2, рис. 4).

Пример № 2, а (см. прил. 2, рис. 3)

Рассчитать матрицу исходя из условий НОФР.

1. Последовательность расчета см. пример № 1.

В верхнем левом углу клетки проставляем время начала работы бригады на захватке, а в нижнем правом — время ее окончания. Расчет ведем по строкам справа налево. Цифру из нижнего угла верхней клетки переносим без изменения в верхний угол соседней клетки. Расчет второй строки ведем так же, но следует помнить о связях между процессами на захватках, о том что последующий процесс не должен начинаться раньше окончания предшествующего процесса, т. е. $t_{i+1}^{\text{нач}} \geq t_i^{\text{ок}}$. Затем заносим в матрицу дни простоя на захватках (см. прил. 2, рис. 1, а).

Проверка критического пути: $10+10+10+3+5=38$.

2.

$$K_{\text{пл}} = \frac{\sum t_{i,l}}{\sum t_{i,l} + \sum_{\text{пер}} t_{\text{пер}}} = \frac{18+18+18}{(18+18+18)+(7+5+7+5)} = 0,69.$$

$$K_{\text{пл}} = 0,69.$$

В нашем случае коэффициент равен 0,69. Это говорит о том, что 69 % времени бригад уходит на работу на захватках, а 31 % — на простои.

3. Линейный график (см. прил. 2, рис. 1, б).

4. График движения рабочих по объекту (см. прил. 2, рис. 1, в).

5.

$$K_{\text{нер}} = \frac{R_{\text{max}}}{R_{\text{ср}}} = \frac{13}{R_{\text{ср}}}.$$

$$R_{\text{ср}} = \frac{18 \cdot 7 + 18 \cdot 5 + 18 \cdot 6}{38} = \frac{324}{38} = 8,5 \approx 9 \text{ чел.}$$

$$K_{\text{нер}} = \frac{R_{\text{max}}}{R_{\text{ср}}} = \frac{13}{9} = 1,4.$$

6. Циклограмма и критический путь (см. прил. 2, рис. 2).

Вывод: поскольку основной задачей расчета потока является сокращение продолжительности строительства, то, рассчитав два варианта, мы приходим к выводу, что расчет потока с непрерывным освоением фронта работ (НОФР) является оптимальным. Он позволяет сократить сроки строительства на четыре дня по сравнению с расчетом из условий непрерывного использования ресурсов (НИР).

Поскольку кратноритмичный поток является разновидностью разноритмичного, то порядок расчета ведем как в предыдущих примерах.

Отметим одну особенность расчета кратноритмичного потока в отношении сокращения сроков строительства.

Пример № 3 (см. прил. 3)

Матрица кратноритмичного потока — см. прил. 3, рис. 1, а. Формула расчета общего срока строительства при кратноритмичном потоке выглядит следующим образом:

$$T_{\text{общ}} = (N + n - 1)t_{\text{ш}} + t_{\text{пер}}, \quad (13)$$

где N — количество захваток; n — количество бригад; $t_{\text{ш}}$ — шаг потока; $t_{\text{пер}}$ — количество простоев (дни).

1. Так как у нас $t_{\text{ш}} = 1$, бригаду № 2 и № 4 целесообразно разделить на две — 2а и 2б, и запускать их работать так: 2а приходит на захватку и работает там два дня, 2б запускается после того, как 2а отработает один день. Так же поступить с бригадой № 4.

Так как $t_{\text{ш}} = 1$, мы разбили бригады № 2 и 4 по две, то у нас получилось, что на участке работают не четыре, а шесть бригад.

$$T_{\text{общ}} = (4 + 6 - 1) \cdot 1 + 0 = 9 \text{ дней.}$$

2. Циклограмма (см. прил. 3, рис. 1, б).

9. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ НЕРИТМИЧНЫХ ПОТОКОВ

Пример № 4 (см. прил. 4)

Рассчитать поток по НИР (прил. 4, рис.1, 2) и НОФР (прил. 4, рис. 3, 4).

Запроектирован неритмичный поток; количество бригад — 5: бр₁ — 7 чел., бр₂ — 6 чел., бр₃ — 4 чел., бр₄ — 5 чел., бр₅ — 7 чел; количество захваток $n = 5$.

Порядок расчета см. пример № 1.

1. Проверка критического пути:

$$8+17+20+10+6+9+8+10+4+14 = 106.$$

2. Находим коэффициент плотности матрицы по формуле:

$$K_{пл} = \frac{\sum t_{il}}{\sum t_{il} + \sum_{пер}}. \quad (14)$$

$$K_{пл} = \frac{42+62+39+50+25}{42+62+39+50+25+(11+26+29+19+7+2+5+7+10+13+14+10+6+3)} = \frac{218}{380} = 0,57.$$

В нашем случае коэффициент равен 0,57. Это говорит о том, что 57 % времени бригад уходит на работу, 43 % — на простои.

3. Линейный график (см. прил. 4, рис. 1, б).

4. График движения рабочей силы по объекту (см. прил. 4, рис. 1, в).

5. Вычислим коэффициент неравномерности распределения рабочих по объекту по формуле:

$$K_{нер} = \frac{R_{max}}{R_{cp}}.$$

$$R_{cp} = \frac{42 \cdot 7 + 62 \cdot 6 + 39 \cdot 4 + 50 \cdot 5 + 25 \cdot 7}{106} = \frac{1274}{106} = 11,7 \approx 12 \text{ чел.}$$

$$K_{нер} = \frac{17}{12} = 1,4.$$

6. Циклограмма и критический путь (см. прил. 4, рис. 2 а, б).

При расчете потока по НОФР (см. прил. 4, рис. 3, 4).

1. Проверка критического пути:

$$8+17+13+12+12+7+9+10+4+2+14 = 108.$$

2.

$$K_{пл} = \frac{\sum t_{il}}{\sum t_{il} + \sum_{пер}}.$$

$$K_{\text{шт}} = \frac{55+46+37+33+47}{55+46+37+33+47+(11+7+7+15+15+2+6+9+6+3+6+10+16+14+16)} = 0,60.$$

Это говорит о том, что 60 % времени уходит на работу на захватках, а 40 % — на простои (бригады отсутствуют на объекте).

3. Линейный график (см. прил. 4, рис. 3, б).

4. График движения рабочей силы по объекту (см. прил. 4, рис. 3, в).

5.

$$R_{\text{ср}} = \frac{55 \cdot 7 + 46 \cdot 6 + 37 \cdot 4 + 33 \cdot 5 + 47 \cdot 7}{108} = \frac{1303}{108} = 12 \text{ чел.}$$

$$K_{\text{нер}} = \frac{23}{12} = 1,9.$$

6. Циклограмма и критический путь (см. прил. 4, рис. 4 а, б).

10. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ

10.1. Равноритмичный поток

<i>Последняя цифра зачетки</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Количество захваток	6	3	4	2	4	6	5	2	5	3
Количество потоков (бригад)	3	4	5	6	4	3	5	6	3	4
Продолжительность работы на захватке	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

10.2. Разноритмичный поток

<i>Последняя цифра зачетки</i>	1				2				3				4				5		
Количество захваток	3				5				2				5				6		
Количество потоков (бригад)	4				3				6				5				3		
Продолжительность работы на захватке	1	2	3	4	1	2	3	1	2	1	2	3	4	5	1	2	3		
	10	8	3	5	6	2	7	10	15	4	6	2	9	3	7	4	5		

Последняя цифра зачетки	6				7						8					9				0		
Количество захваток	4				2						4					3				6		
Количество потоков (бригад)	4				6						5					4				3		
Продолжительность работы на захватке	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3
	3	6	2	4	4	2	6	3	5	7	3	9	2	6	4	12	8	5	3	7	2	6

10.3. Неритмичный поток

Последняя цифра зачетки 1

	1	2	3	4	5
I	11	8	2	5	2
II	4	3	4	3	4
III	3	6	15	8	5
IV	8	12	10	3	4
V	5	7	9	7	2

Последняя цифра зачетки 3

	1	2	3	4	5
I	11	4	3	4	5
II	8	3	6	3	7
III	2	4	15	10	9
IV	5	3	8	12	7
V	2	4	5	8	2

Последняя цифра зачетки 5

	1	2	3	4	5
I	5	7	9	7	2
II	8	12	10	3	4
III	3	6	15	8	5
IV	4	3	4	3	4
V	11	8	2	5	2

Последняя цифра зачетки 7

	1	2	3	4	5
I	3	7	4	2	12
II	8	2	9	5	6
III	10	4	7	4	7
IV	2	5	12	12	3
V	6	3	9	9	2

Последняя цифра зачетки 2

	1	2	3	4	5
I	2	4	5	8	2
II	5	3	8	12	7
III	2	4	15	10	9
IV	8	3	6	3	7
V	11	4	3	4	5

Последняя цифра зачетки 4

	1	2	3	4	5
I	5	4	3	4	11
II	7	3	6	3	8
III	9	10	15	4	2
IV	7	12	8	3	5
V	2	8	5	4	2

Последняя цифра зачетки 6

	1	2	3	4	5
I	2	5	2	8	11
II	4	3	4	3	4
III	5	8	15	6	3
IV	8	12	10	3	4
V	2	7	9	7	5

Последняя цифра зачетки 8

	1	2	3	4	5
I	2	9	9	3	6
II	3	12	12	5	2
III	7	4	7	4	10
IV	6	5	9	2	8
V	12	2	4	7	3

Последняя цифра зачетки 9

	1	2	3	4	5
I	6	2	10	8	3
II	3	5	4	2	7
III	9	12	7	9	4
IV	9	12	4	5	2
V	2	3	7	6	12

Последняя цифра зачетки 0

	1	2	3	4	5
I	12	6	7	3	2
II	2	5	4	12	9
III	4	9	7	12	9
IV	7	2	4	5	3
V	3	8	10	2	6

10.4. Кратноритмичный поток*

	1	2	3	4
I	2	2	2	2
II	2	2	2	2
III	2	2	2	2
IV	2	2	2	2

1 и 2_{бр} $t_{орг} = 3$ дня

	1	2	3	4
I	3	3	3	3
II	3	3	3	3
III	3	3	3	3
IV	3	3	3	3
V	3	3	3	3

3 и 4_{бр} $t_{тех} = 2$ дня

	1	2	3	4
I	1	2	3	2
II	1	2	3	2
III	1	2	3	2
IV	1	2	3	2

	1	2	3	4
I	2	2	2	1
II	2	2	2	1
III	2	2	2	1
IV	2	2	2	1

3 и 4_{бр} $t_{тех} = 3$ дня

	1	2	3	4
I	3	6	6	3
II	3	6	6	3
III	3	6	6	3

	1	2	3	4
I	4	2	6	4
II	4	2	6	4
III	4	2	6	4

* Можно использовать любой вариант, независимо от последней цифры в зачетке.

	1	2	3	4	5
I	3	2	4	1	3
II	3	2	4	1	3
III	3	2	4	1	3
IV	3	2	4	1	3
V	3	2	4	1	3

	1	2	3	4	5
I	2	2	6	4	4
II	2	2	6	4	4
III	2	2	6	4	4
IV	2	2	6	4	4
V	2	2	6	4	4

2 и 3_{бр} $t = 4$ дня, 3 и 4_{бр} $t_{\text{тех}} = 1$ день

	1	2	3	4	5
I	4	2	4	2	2
II	4	2	4	2	2
III	4	2	4	2	2
IV	4	2	4	2	2
V	4	2	4	2	2

1 и 2_{бр} $t_{\text{орг}} = 3$ дня

	1	2	3	4
I	2	1	2	1
II	2	1	2	1
III	2	1	2	1
IV	2	1	2	1

11. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАСЧЕТА ОПТИМИЗАЦИИ ПОТОКА

1. На основании исходных данных в виде матрицы неритмичного потока рассчитать сроки работы каждого специализированного потока из условия непрерывного использования ресурсов.
2. Рассчитать сроки строительства каждого объекта и определить продолжительность строительства потока.
3. Построить циклограмму потока.
4. Построить линейный график.
5. Построить график движения рабочей силы (по 10 человек в каждой бригаде).
6. Провести оптимизацию срока строительства объекта по критерию минимальной продолжительности.
7. Для оптимизированного варианта построить циклограмму потока, линейный график.
8. Выполнить пункты 1...7 для варианта организации строительства при непрерывном освоением фронта работ.

12. РАСЧЕТ МАТРИЦЫ НЕРИТМИЧНОГО ПОТОКА ИЗ УСЛОВИЯ НИР

	1	2	3	4	5	6	7	8	*	**
I	0 11 11	16 5 13 29	33 4 17 50	61 11 14 75	81 6 14 95	105 10 17 122	134 12 18 152	159 7 14 173	3	118/173
II	11 15 26	29 3 14 43	50 7 15 65	75 10 20 95	95 0 17 112	122 10 14 136	152 16 15 167	173 6 17 190	2	127/179
III	26 17 43	43 0 19 62	65 3 14 79	95 16 16 111	112 1 22 134	136 2 20 156	167 11 11 178	190 12 18 208	1	137/182
IV	43 14 57	62 5 17 79	79 0 16 95	111 16 13 124	134 10 16 150	156 6 19 175	178 3 13 191	208 17 15 223	1	123/180
V	57 13 70	79 9 15 94	95 1 16 111	124 13 11 135	150 15 18 168	175 7 16 191	191 0 19 210	223 13 13 236	0	121/179
VI	70 19 89	94 5 12 106	111 5 15 126	135 9 13 148	168 20 21 189	191 2 16 207	210 3 17 227	236 9 14 250	-5	127/180
VII	89 10 99	106 7 16 122	126 4 19 145	148 3 15 163	189 26 18 207	207 0 19 226	227 1 20 247	250 3 15 265	5	132/176
VIII	99 15 114	122 8 18 140	145 5 18 163	163 0 18 181	207 26 17 224	226 2 18 244	247 3 18 265	265 0 12 277	-3	134/156
Σ	114	124	130	120	143	139	131	118	0,74	

* t_1-t_n

** $\frac{\sum t_{ij}}{\sum t_{ij} + t_{неп}}$

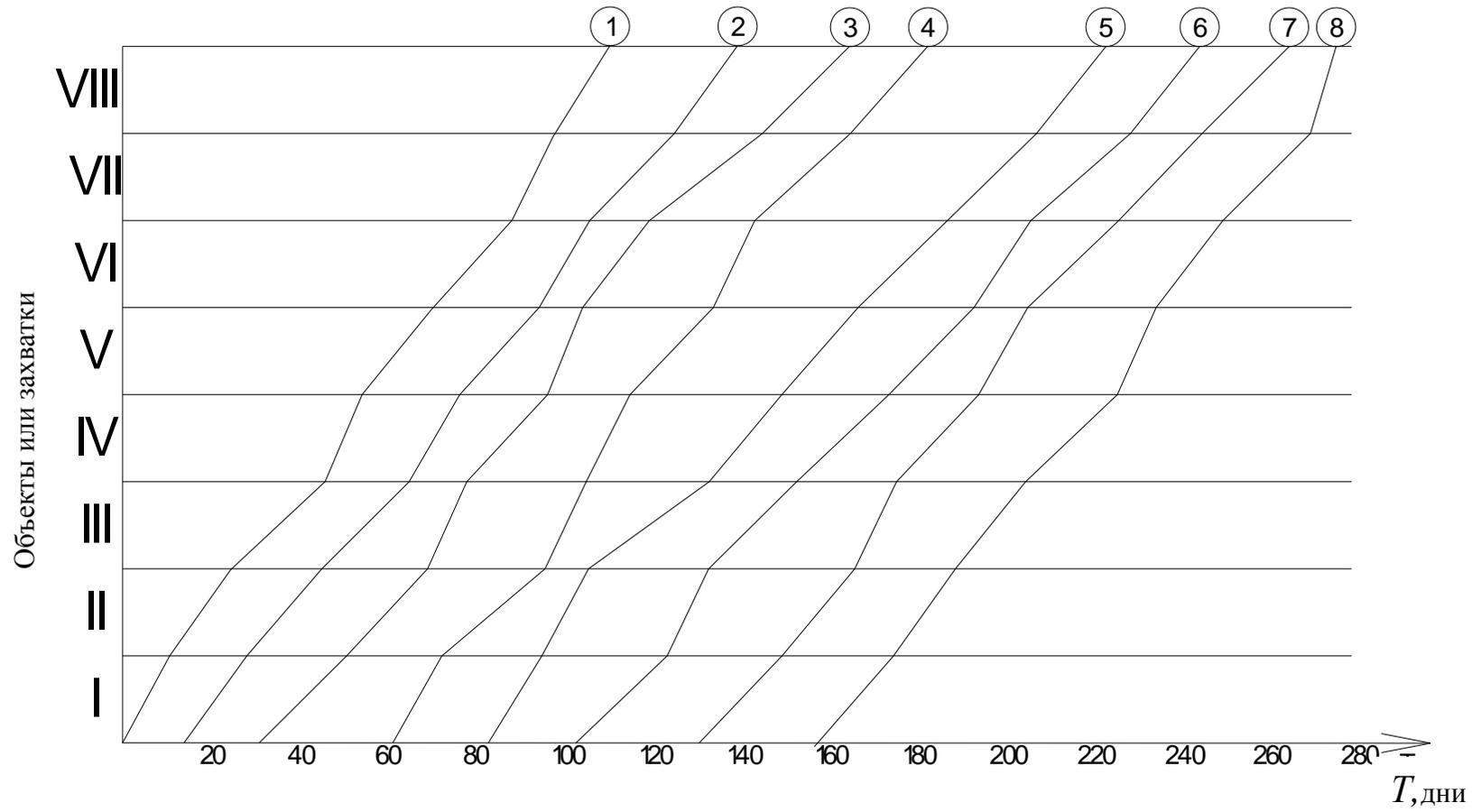


Рис. 1. Циклограмма движения бригад по объекту

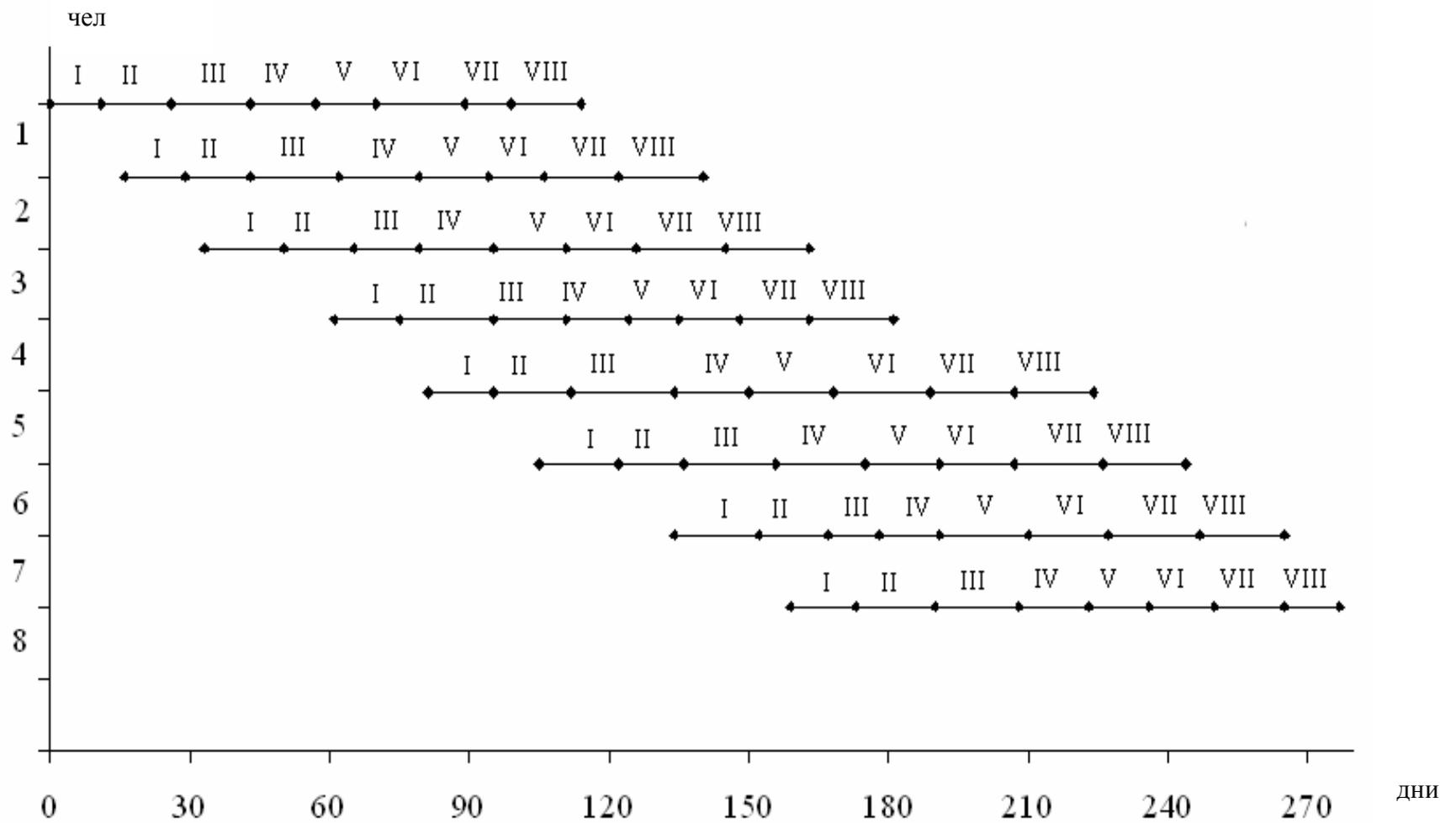


Рис. 2. Линейный график

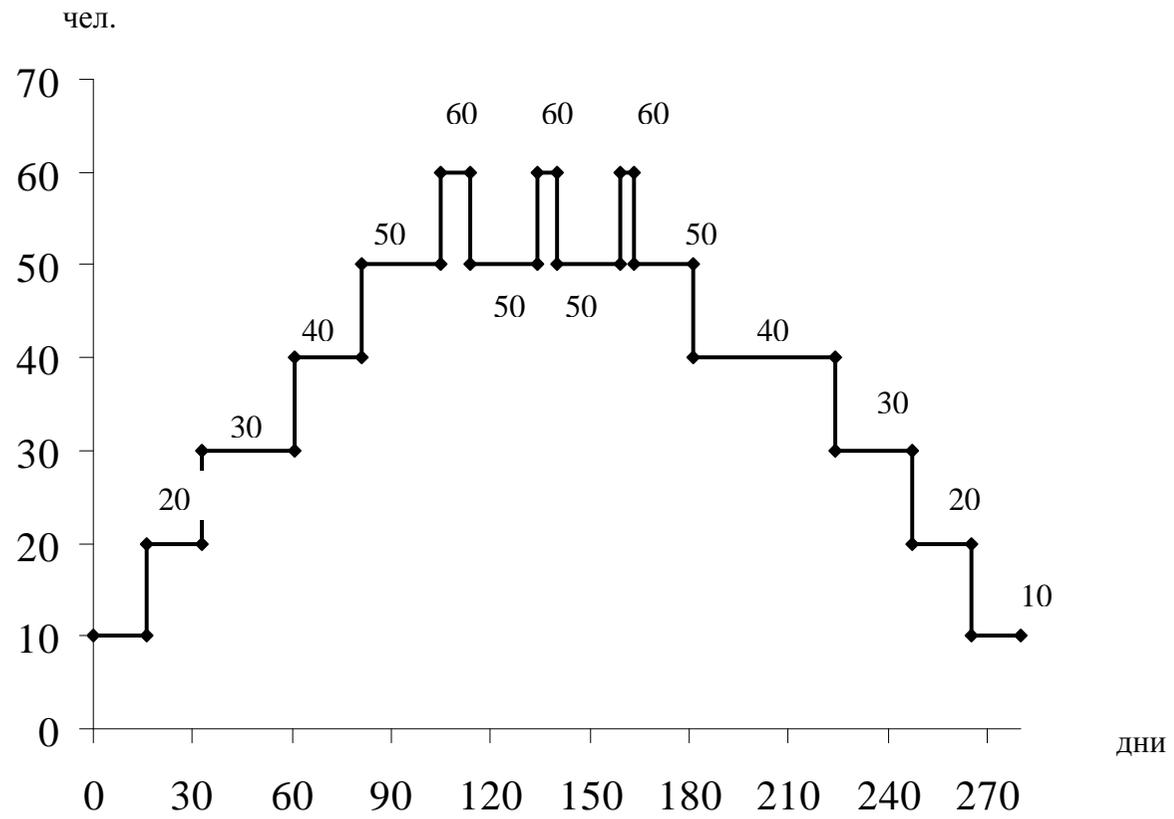


Рис. 3. График движения рабочей силы

13. ОПТИМИЗАЦИЯ ПОТОКА

1 вариант оптимизации (VII-I-II-III-IV-V-VIII-VI)

	1	2	3	4	5	6	7	8	*	**
VII	0 10 10	10 0 16 26	26 0 19 45	52 7 15 67	69 2 18 87	90 3 19 109	118 9 20 138	145 7 15 160	5	132/160
I	10 11 21	26 5 13 39	45 6 17 62	67 5 14 81	87 6 14 101	109 8 17 126	138 12 18 156	160 4 14 174	3	118/164
II	21 15 36	39 3 14 53	62 9 15 77	81 4 20 101	101 0 17 118	126 8 14 140	156 16 15 171	174 3 17 191	2	127/170
III	36 17 53	53 0 19 72	77 5 14 91	101 10 16 117	118 1 22 140	140 0 20 160	171 11 11 182	191 9 18 209	1	137/173
IV	53 14 67	72 5 17 89	91 2 16 107	117 10 13 130	140 10 16 156	160 4 19 179	182 3 13 195	209 14 15 224	1	123/171
V	67 13 80	89 9 15 104	107 3 16 123	130 7 11 141	156 15 18 174	179 5 16 195	195 0 19 214	224 10 13 237	0	121/170
VIII	80 15 95	104 9 18 122	123 1 18 141	141 0 18 159	174 15 17 191	195 4 18 213	214 1 18 232	237 5 12 249	-3	134/169
VI	95 19 114	122 8 12 134	141 7 15 156	159 3 13 172	191 19 21 212	213 1 16 229	232 3 17 249	249 0 14 263	-5	127/168
Σ	114	124	130	120	143	139	131	118		0,75

* Срок строительства уменьшился на 14 дней.

** Время на работу увеличилось на 1 %.

2 вариант оптимизации (V-I-VII-IV-II-III-VIII-VI)

	1	2	3	4	5	6	7	8	*	**
V	0 13 13	13 0 15 28	28 0 16 44	58 14 11 69	69 0 18 87	89 2 16 105	116 11 19 135	146 11 13 159	0	121/159
I	13 11 24	28 4 13 41	44 3 17 61	69 8 14 83	87 4 14 101	105 4 17 122	135 13 18 153	159 6 14 173	3	118/160
VII	24 10 34	41 7 16 57	61 4 19 80	83 3 15 98	101 3 18 119	122 3 19 141	153 12 20 173	173 0 15 188	5	132/164
IV	34 14 48	57 9 17 74	80 6 16 96	98 2 13 111	119 8 16 135	141 6 19 160	173 13 13 186	188 2 15 203	1	123/169
II	48 15 63	74 11 14 88	96 8 15 111	111 0 20 131	135 4 17 152	160 8 14 174	186 12 15 201	203 2 17 220	2	127/172
III	63 17 80	88 8 19 107	111 4 14 125	131 6 16 147	152 5 22 174	174 0 20 194	201 7 11 212	220 8 18 238	1	137/175
VIII	80 15 95	107 12 18 125	125 0 18 143	147 4 18 165	174 9 17 191	194 3 18 212	212 0 18 230	238 8 12 250	-3	134/170
VI	95 19 11 4	125 11 12 137	143 6 15 158	165 7 13 178	191 13 21 212	212 0 16 228	230 2 17 247	250 3 14 264	-5	121/163
Σ	114	124	130	120	143	139	131	118		0,76

* Срок строительства уменьшился на 13 дней.

** Время на работу увеличилось на 2 %.

3 вариант оптимизации (VII-I-II-IV-III-V-VIII-VI)

	1	2	3	4	5	6	7	8	*	**
VII	0 10 10	10 0 16 26	26 0 19 45	52 7 15 67	69 2 18 87	89 2 19 108	117 9 20 137	159 22 15 174	5	132/174
I	10 11 21	26 5 13 39	45 6 17 62	67 5 14 81	87 6 14 101	108 7 17 125	137 12 18 155	174 19 14 188	3	118/178
II	21 15 36	39 3 14 53	62 9 15 77	81 4 20 101	101 0 17 118	125 7 14 139	155 16 15 170	188 18 17 205	2	127/174
IV	36 14 50	53 3 17 70	77 7 16 93	101 8 13 114	118 4 16 134	139 5 19 158	170 12 13 183	190 7 15 205	1	123/169
III	50 17 67	70 3 19 89	93 4 14 107	114 7 16 130	134 4 22 156	158 2 20 178	183 5 11 194	205 11 18 223	1	137/173
V	67 13 80	89 9 15 104	107 3 16 123	130 7 11 141	156 15 18 174	178 4 16 194	194 0 19 213	223 10 13 236	0	121/173
VIII	80 15 95	104 9 18 122	123 1 18 141	141 0 18 159	174 15 17 191	194 3 18 212	213 1 18 231	236 5 12 248	-3	134/168
VI	95 19 114	122 8 12 134	141 7 15 156	159 3 13 172	191 19 21 212	212 0 16 228	231 3 17 248	248 0 14 262	-5	127/167
Σ	114	124	130	120	143	139	131	118		0,74

* Срок строительства уменьшился на 15 дней.

** Время на работу осталось неизменным.

4 вариант оптимизации (V-I-VII-III-IV-VIII-VI)

	1	2	3	4	5	6	7	8	*	**
V	0 13 13	13 0 15 28	28 0 16 44	56 12 11 67	67 0 18 85	87 2 16 103	114 11 19 133	144 11 13 157	0	121/157
I	13 11 24	28 4 13 41	44 3 17 61	67 6 14 81	85 4 14 99	103 4 17 120	133 13 18 151	157 6 14 171	3	118/158
VII	24 10 34	41 7 16 57	61 4 19 80	81 1 15 96	99 3 18 117	120 3 19 139	151 12 20 171	171 0 15 186	5	132/162
III	34 17 51	57 6 19 76	80 4 14 94	96 2 16 112	117 5 22 139	139 0 20 159	171 12 11 182	186 4 18 204	1	137/170
IV	51 14 65	76 11 17 93	94 1 16 110	112 2 13 125	139 14 16 155	159 4 19 178	182 4 13 195	204 9 15 219	1	123/168
II	65 15 80	93 13 14 107	110 3 15 125	125 0 20 145	155 10 17 172	178 6 14 192	195 3 15 210	219 9 17 236	2	127/171
VIII	80 15 95	107 12 18 125	125 0 18 143	145 2 18 163	172 9 17 189	192 3 18 210	210 0 18 228	236 8 12 248	-3	134/168
VI	95 19 114	125 11 12 137	143 6 15 158	163 5 13 176	189 13 21 210	210 0 16 226	228 2 17 245	248 3 14 262	-5	127/167
Σ	114	124	130	120	143	139	131	118		0,77

* Срок строительства уменьшился на 15 дней.

** Время на работу увеличилось на 3 %.

5 вариант оптимизации (VII-I-II-IV-III-V-VIII-VI)

	1	2	3	4	5	6	7	8	*	**
I	0 11 11	11 0 13 24	26 2 17 43	53 10 14 67	67 0 14 81	87 6 17 104	114 10 18 132	144 12 14 158	3	118/ 158
V	11 13 24	24 0 15 39	43 4 16 59	67 8 11 78	81 3 18 99	104 5 16 120	132 12 19 151	158 7 13 171	0	121/ 160
VII	24 10 34	39 5 16 55	59 4 19 78	78 0 15 93	99 6 18 117	120 3 19 139	151 12 20 171	171 0 15 186	5	132/ 162
II	34 15 49	55 6 14 69	78 9 15 93	93 0 20 113	117 4 17 134	139 5 14 153	171 18 15 186	186 0 17 203	2	127/ 169
IV	49 14 63	69 6 17 86	93 7 16 109	113 4 13 126	134 8 16 150	153 3 19 172	186 14 13 199	203 4 15 218	1	123/ 169
III	63 17 80	86 6 19 105	109 4 14 123	126 3 16 142	150 8 22 172	172 0 20 192	199 7 11 210	218 8 18 236	1	137/ 179
VIII	80 15 95	105 10 18 123	123 0 18 141	142 1 18 160	172 12 17 189	192 3 18 210	210 0 18 228	236 8 12 248	-3	134/ 168
VI	95 19 114	123 9 12 135	141 6 15 156	160 4 13 173	189 16 21 210	210 0 16 226	228 2 17 245	248 3 14 262	-5	127/ 167
Σ	114	124	130	120	143	139	131	118		0,76

* Срок строительства уменьшился на 15 дней.

** Время на работу увеличилось на 2 %.

6 вариант оптимизации (I-VII-II-III-IV-V-VIII-VI)

	1	2	3	4	5	6	7	8	*	**
I	0 11 11	11 0 13 24	26 2 17 43	52 9 14 66	69 3 14 83	90 7 17 107	118 11 18 136	145 9 14 159	3	118/159
VII	11 10 21	24 3 16 40	43 3 19 62	66 4 15 81	83 2 18 101	107 6 19 126	136 10 20 156	159 3 15 174	5	132/163
II	21 15 36	40 4 14 54	62 8 15 77	81 4 20 101	101 0 17 118	126 8 14 140	156 16 15 171	174 3 17 191	2	127/170
III	36 17 53	54 1 19 73	77 4 14 91	101 10 16 117	118 1 22 140	140 0 20 160	171 11 11 182	191 9 18 209	1	137/173
IV	53 14 67	73 6 17 90	91 1 16 107	117 10 13 130	140 10 16 156	160 4 19 179	182 3 13 195	209 14 15 224	1	123/171
V	67 13 80	90 10 15 105	107 2 16 123	130 7 11 141	156 15 18 174	179 5 16 195	195 0 19 214	224 10 13 237	0	121/170
VIII	80 15 95	105 10 18 123	123 0 18 141	141 0 18 159	174 15 17 191	195 4 18 213	214 1 18 232	237 5 12 249	-3	134/169
VI	95 19 114	123 9 12 135	141 6 15 156	159 3 13 172	191 19 21 212	213 1 16 229	232 3 17 249	249 0 14 263	-5	127/168
Σ	114	124	130	120	143	139	131	118		0,75

* Срок строительства уменьшился на 14 дней.

** Время на работу увеличилось на 1 %.

7 вариант оптимизации (I-VI-VII-III-V-VIII-IV-II)

	1	2	3	4	5	6	7	8	*	**
I	0 11 11	17 6 13 30	30 0 17 47	60 13 14 74	74 0 14 88	97 9 17 114	120 6 18 138	150 12 14 164	3	118/164
VI	11 19 30	30 0 12 42	47 5 15 62	74 12 13 87	88 1 21 109	114 5 16 130	138 8 17 155	164 9 14 178	-5	127/167
VII	30 10 40	42 2 16 58	62 4 19 81	87 6 15 102	109 7 18 127	130 3 19 149	155 6 20 175	178 3 15 193	5	132/163
III	40 17 57	58 1 19 77	81 4 14 95	102 7 16 118	127 9 22 149	149 0 20 169	175 6 11 186	193 7 18 211	1	137/171
V	57 13 70	77 7 15 92	95 3 16 111	118 7 11 129	149 20 18 167	169 2 16 185	186 1 19 205	211 6 13 224	0	121/167
VIII	70 15 85	92 7 18 110	111 1 18 129	129 0 18 147	167 20 17 184	185 1 18 203	205 2 18 223	224 1 12 236	-3	134/166
IV	85 14 99	110 11 17 127	129 2 16 145	147 2 13 160	184 24 16 200	203 3 19 222	223 1 13 236	236 0 15 251	1	123/166
II	99 15 114	127 13 14 141	145 4 15 160	160 0 20 180	200 20 17 217	222 5 14 236	236 0 15 251	251 0 17 268	2	127/169
Σ	114	124	130	120	143	139	131	118		0,76

* Срок строительства уменьшился на 9 дней.

** Время на работу увеличилось на 2 %.

8 вариант оптимизации (I-VI-VII-III-VIII-V-IV-II)

	1	2	3	4	5	6	7	8	*	**
I	0 11 11	17 6 13 30	30 0 17 47	60 13 14 74	74 0 14 88	97 9 17 114	121 7 18 139	151 12 14 165	3	118/165
VI	11 19 30	30 0 12 42	47 5 15 62	74 12 13 87	88 1 21 109	114 5 16 130	139 9 17 156	165 9 14 179	-5	127/168
VII	30 10 40	42 2 16 58	62 4 19 81	87 6 15 102	109 7 18 127	130 3 19 149	156 7 20 176	179 3 15 194	5	132/164
III	40 17 57	58 1 19 77	81 4 14 95	102 7 16 118	127 9 22 149	149 0 20 169	176 7 11 187	194 7 18 212	1	137/172
VIII	57 15 72	77 5 18 95	95 0 18 113	118 5 18 136	149 13 17 166	169 3 18 187	187 0 18 205	212 7 12 224	-3	134/167
V	72 13 85	95 10 15 110	113 3 16 129	136 7 11 147	166 19 18 184	187 3 16 203	205 2 19 224	224 0 13 237	0	121/165
IV	85 14 99	110 11 17 127	129 2 16 145	147 2 13 160	184 24 16 200	203 3 19 222	224 2 13 237	237 0 15 252	1	123/167
II	99 15 114	127 13 14 141	145 4 15 160	160 0 20 180	200 20 17 217	222 5 14 236	237 1 15 252	252 0 17 269	2	127/170
Σ	114	124	130	120	143	139	131	118		0,76

* Срок строительства уменьшился на 8 дней.

** Время на работу увеличилось на 2 %.

Принимаем по критерию минимальной продолжительности вариант оптимизации № 4 (стр. 37) и строим для него линейный график и циклограмму потока.

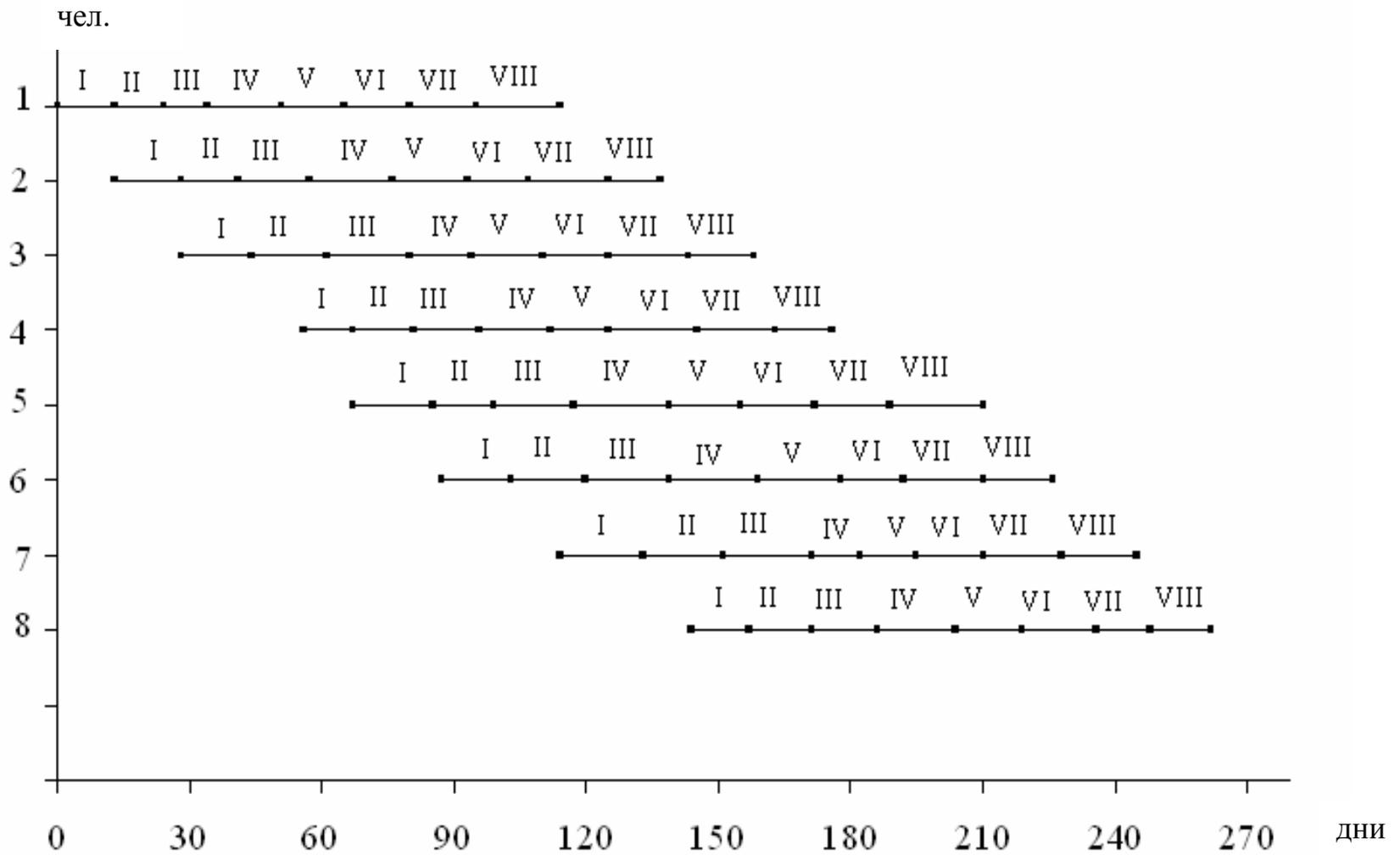


Рис. 4. Линейный график

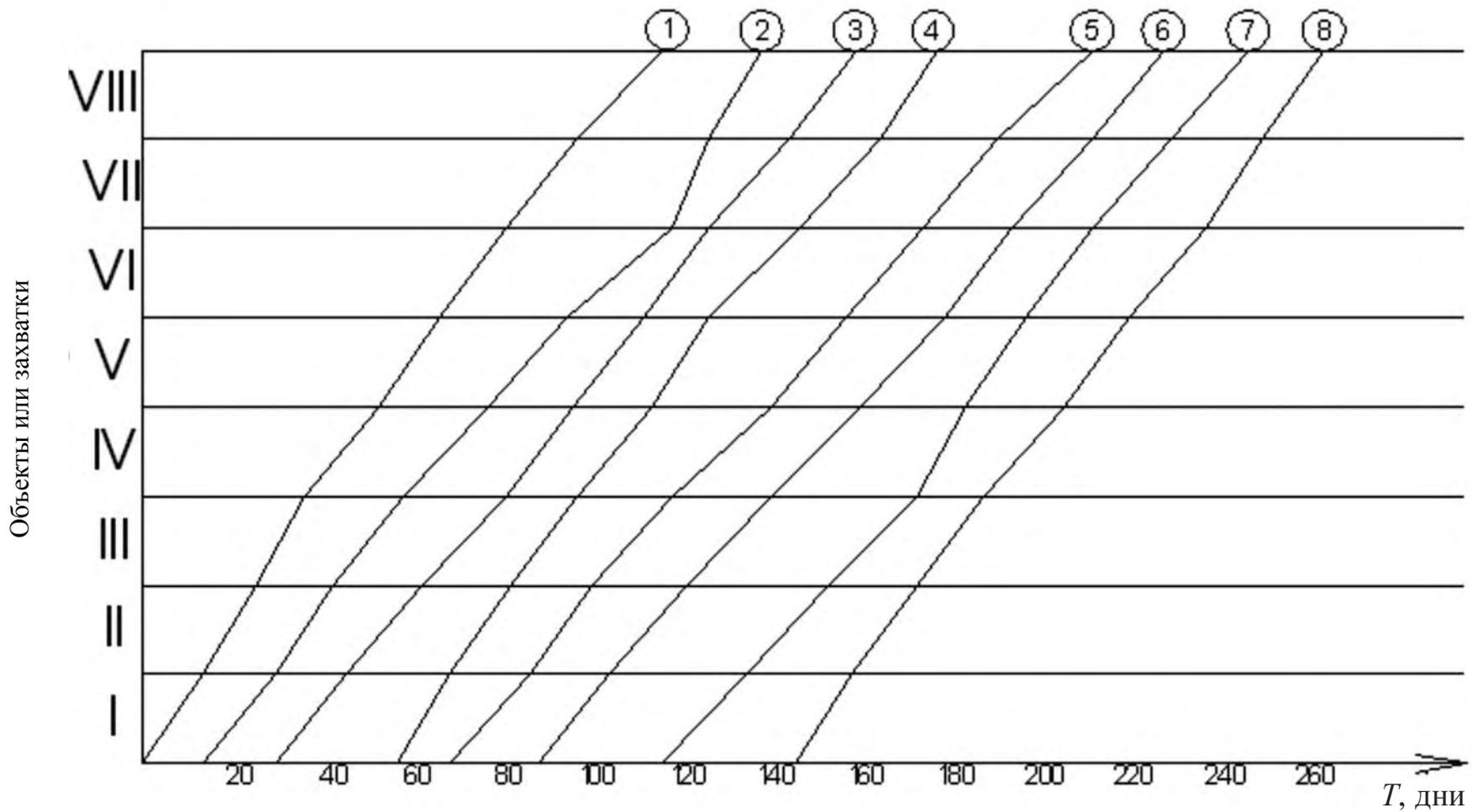


Рис. 5 Циклограмма движения бригады по объекту

При оптимизации матрицы из условий расчета НОФР получен оптимальный вариант (I-II-III-IV-V-VI-VII-VIII)

Вариант НОФР

	1	2	3	4	5	6	7	8	*	**
I	0 11 11	11 13 24	24 17 41	41 14 55	55 14 69	69 17 86	86 18 104	104 14 118	3	118/118
II	12 1 15 27	27 3 14 41	41 0 15 56	56 1 20 76	76 7 17 93	93 7 14 107	107 3 15 122	122 4 17 139	2	127/153
III	27 17 44	44 3 19 63	63 7 14 77	77 1 16 93	93 0 22 115	115 8 20 135	135 13 11 146	146 7 18 164	1	137/176
IV	59 15 14 73	73 10 17 90	90 13 16 106	106 13 13 119	119 4 16 135	135 0 19 154	154 8 13 167	167 3 15 182	1	123/189
V	81 8 13 94	94 4 15 109	109 3 16 125	125 6 11 136	136 1 18 154	154 0 16 170	170 3 19 189	189 7 13 202	0	121/153
VI	95 1 19 114	114 5 12 126	126 1 15 141	141 5 13 154	154 0 21 175	175 5 16 191	191 2 17 208	208 6 14 222	-5	127/152
VII	116 2 10 126	126 0 16 142	142 1 19 161	161 7 15 176	176 1 18 194	194 3 19 213	213 5 20 233	233 11 15 248	5	132/162
VIII	129 3 15 144	144 2 18 162	162 1 18 180	180 4 18 198	198 4 17 215	215 2 18 233	233 0 18 251	251 3 12 263	-3	134/153
Σ	114	124	130	120	143	139	131	118		0,81

Объекты или захватки

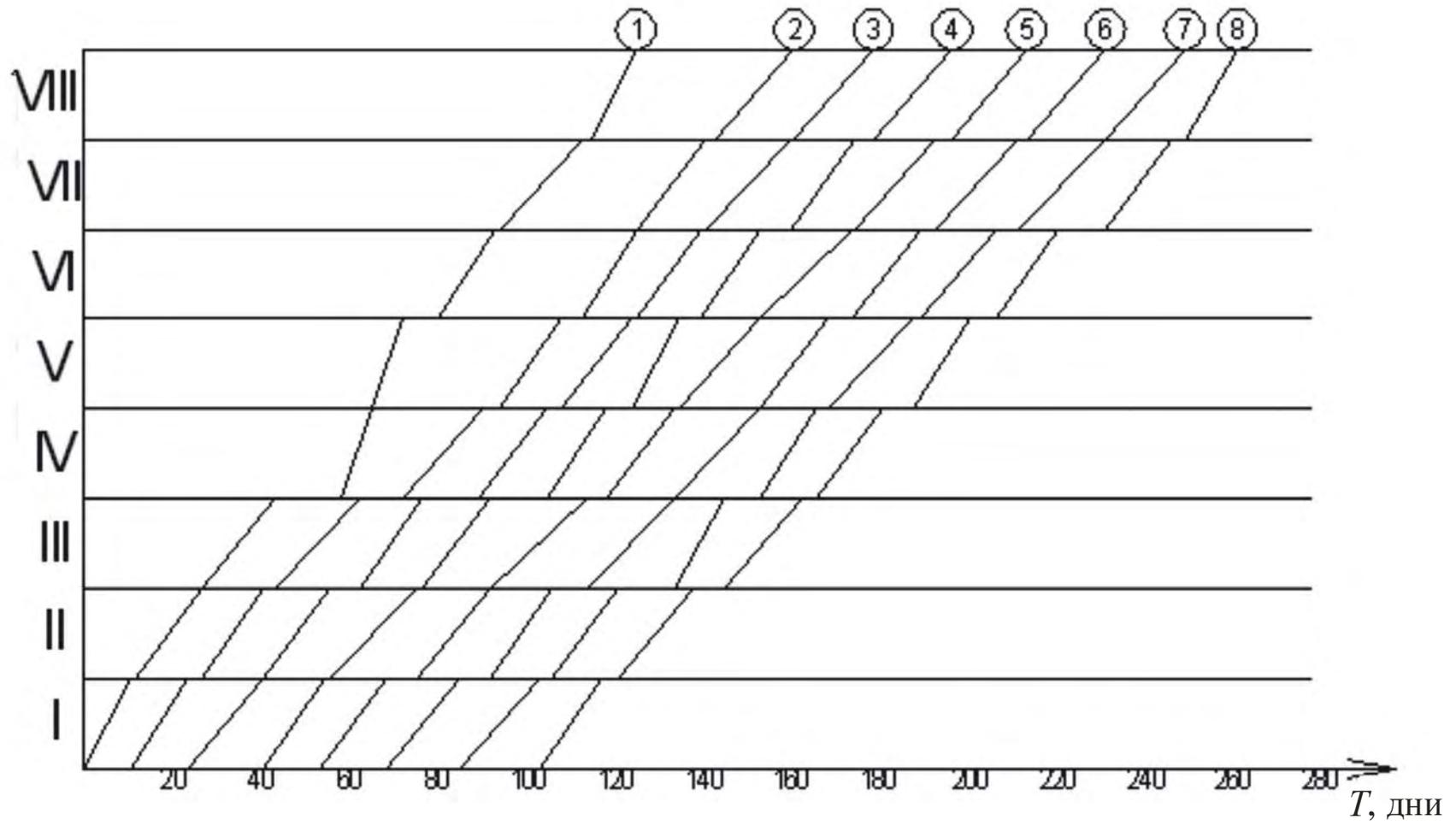


Рис. 6. Циклограмма движения бригад по объекту

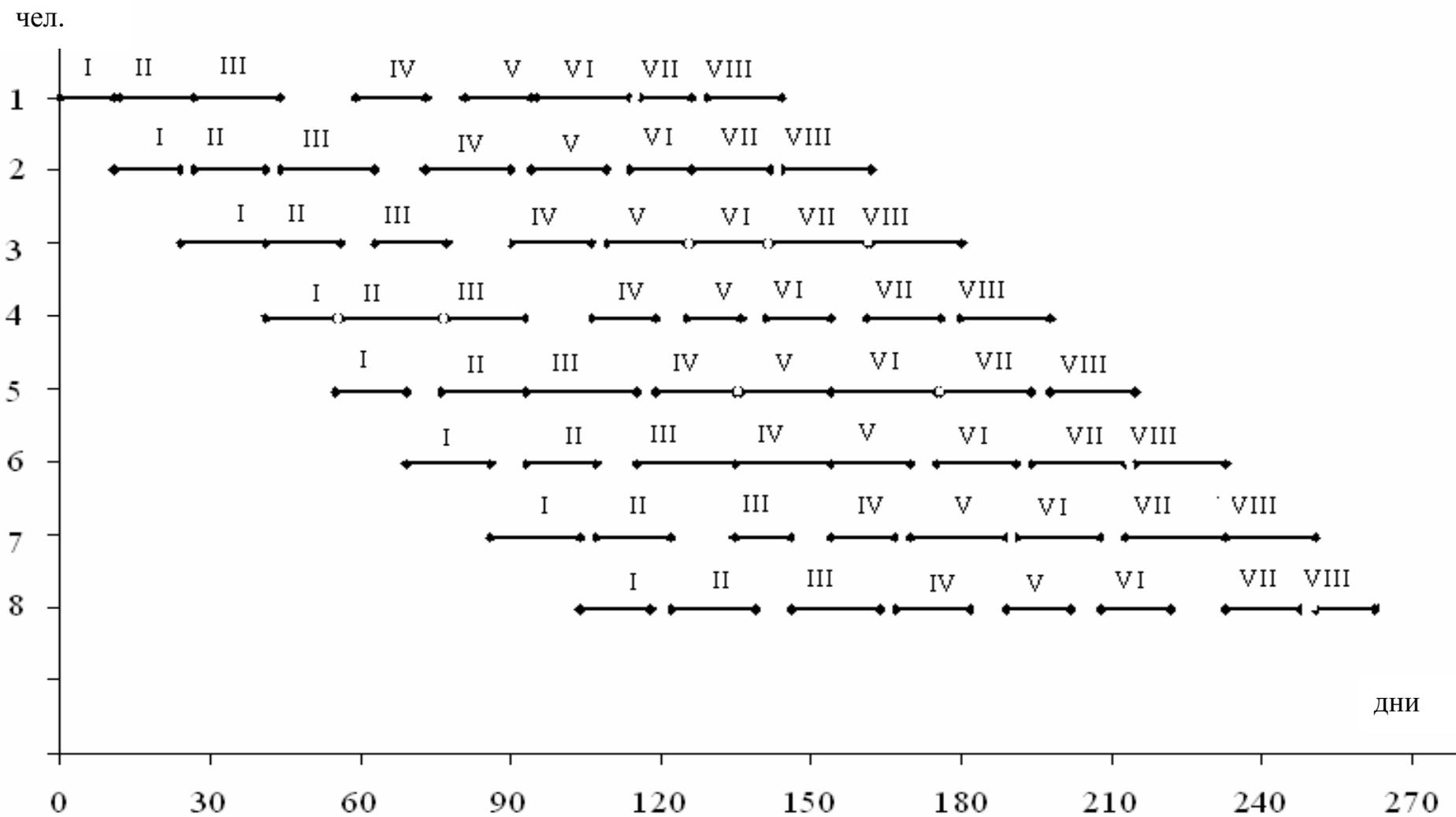


Рис. 7. Линейный график

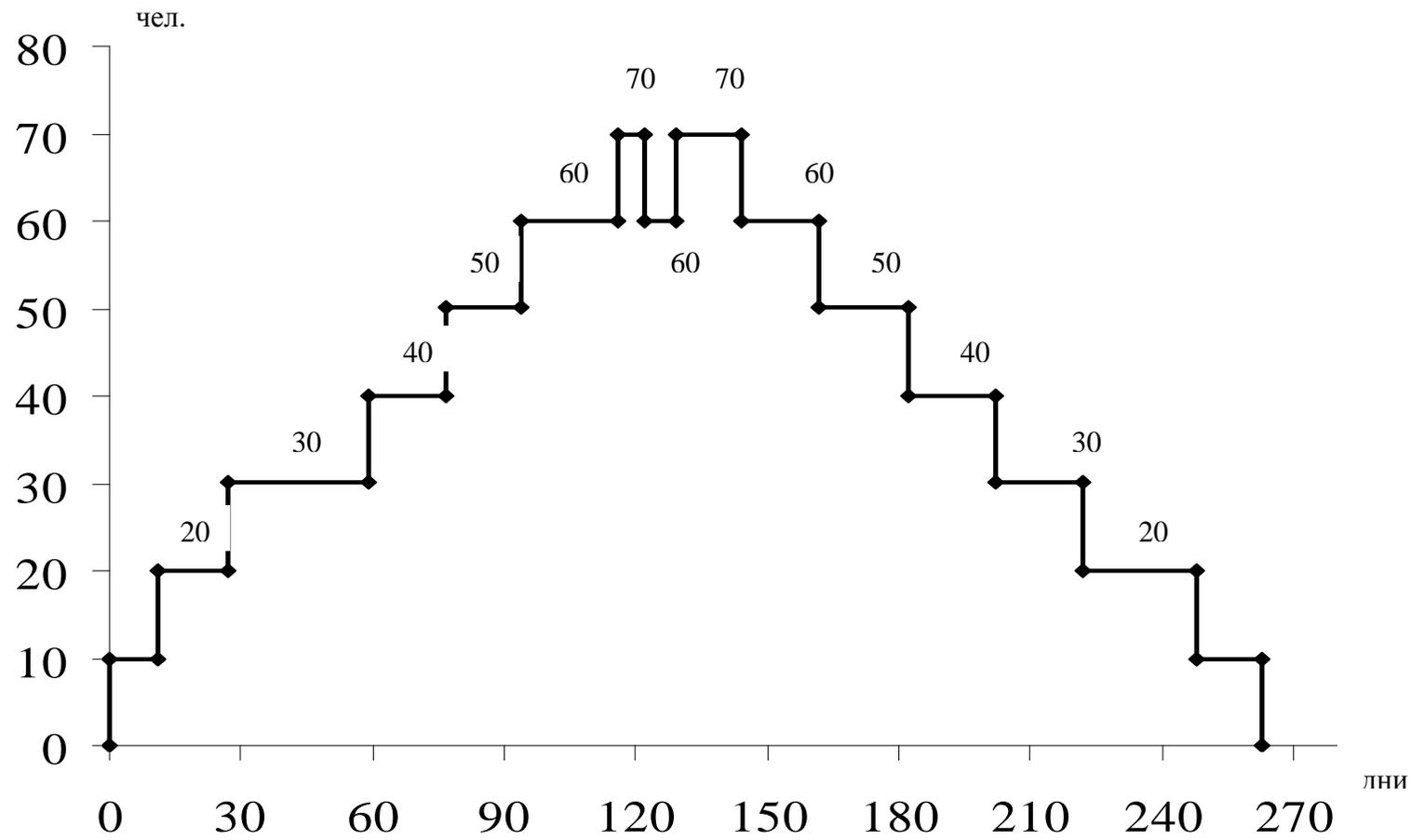


Рис. 8. График движения рабочей силы

Библиографический список

1. Организация строительного производства : учеб. для вузов / под общ. ред. Т. Н. Цая, П. Г. Грабового. — М. : АСВ, 1999. — 430 с.
2. Дикман, Л. Г. Организация, планирование и управление строительным производством: учеб. / Л. Г. Дикман. — М. : Высш. шк., 1982. — 480 с.
3. Галкин, И. Г. Сборник задач по организации и планированию строительного производства: учебное пособие для вузов / И. Г. Галкин, Э. И. Сафонова, Г. Э. Параубек. — М. : Высш. шк., 1985. — 254 с.

	↓ ⁺	1	2	3
I	0	5 5	5 10	5 15
II	5	5 10	5 15	5 20
III	10	5 15	5 20	5 25

25 дней

Рис. 1. Матрица равноритмичного потока

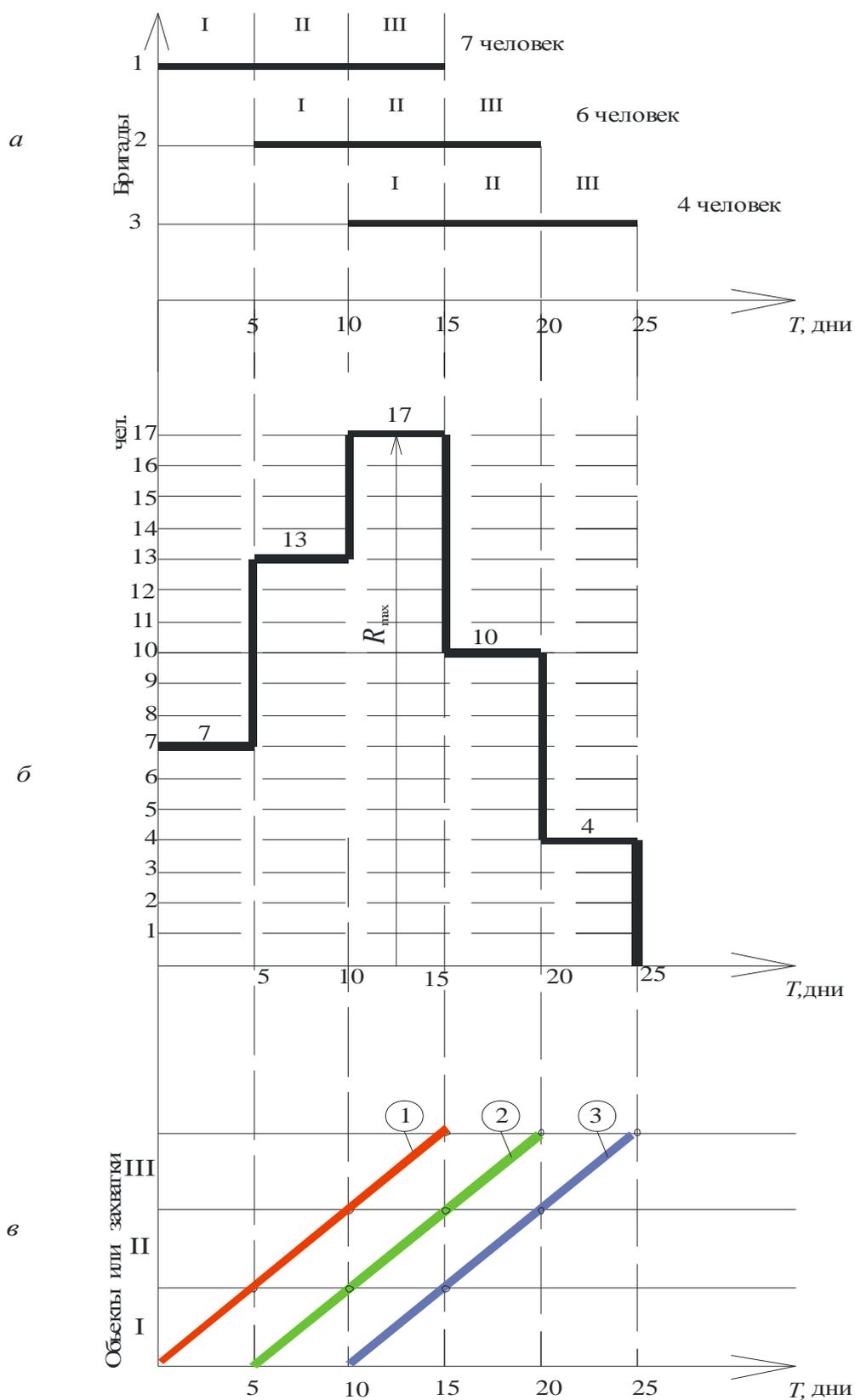


Рис. 2. Равноритмичный поток: а — линейный график Ганта; б — график движения рабочей силы по объекту; в — циклограмма движения бригад по объекту

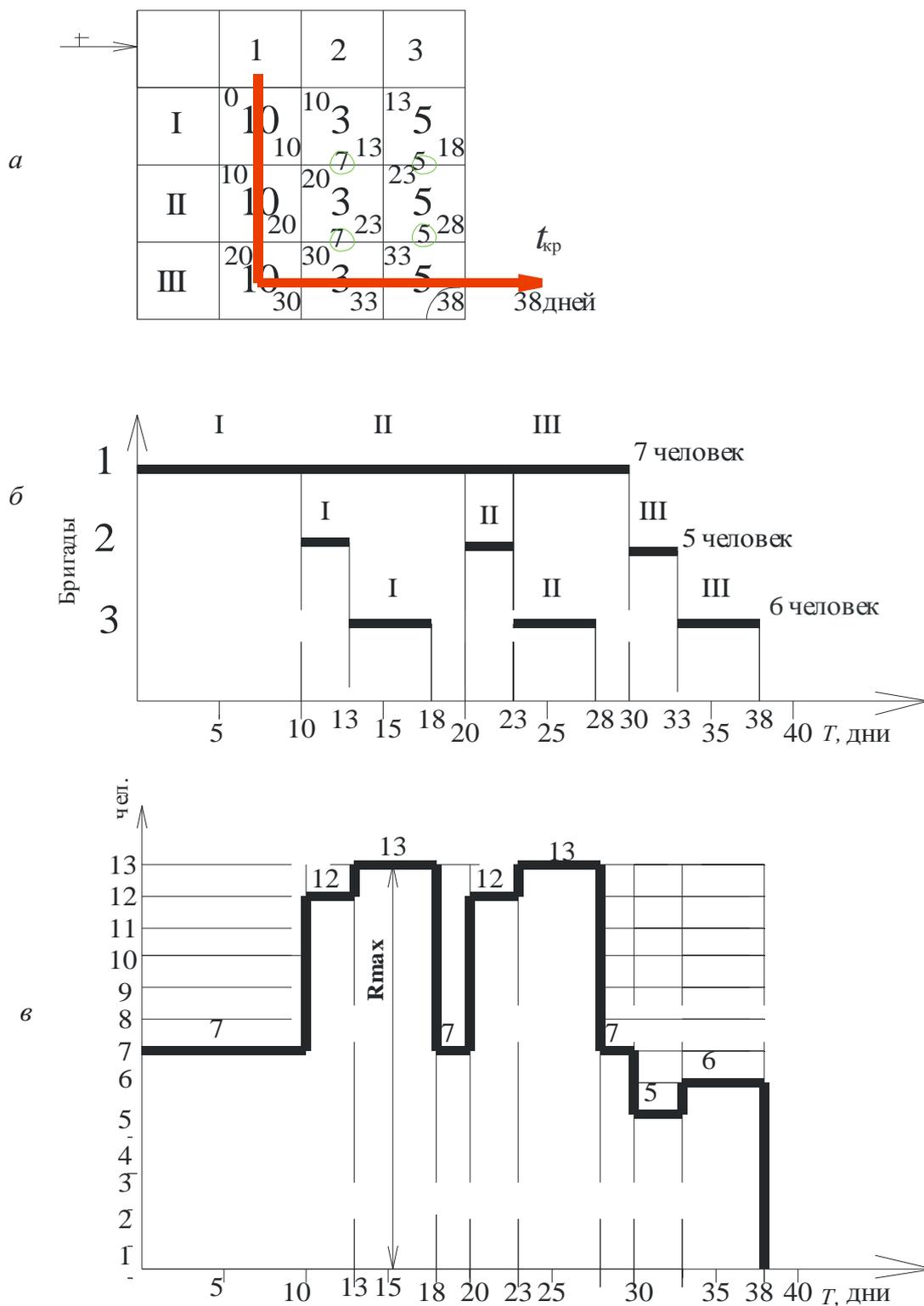


Рис.1. Разноритмичный поток к примеру № 2 (НОФР): *a* — матрица; *б* — линейный график Ганта; *в* — график движения рабочей силы по объекту

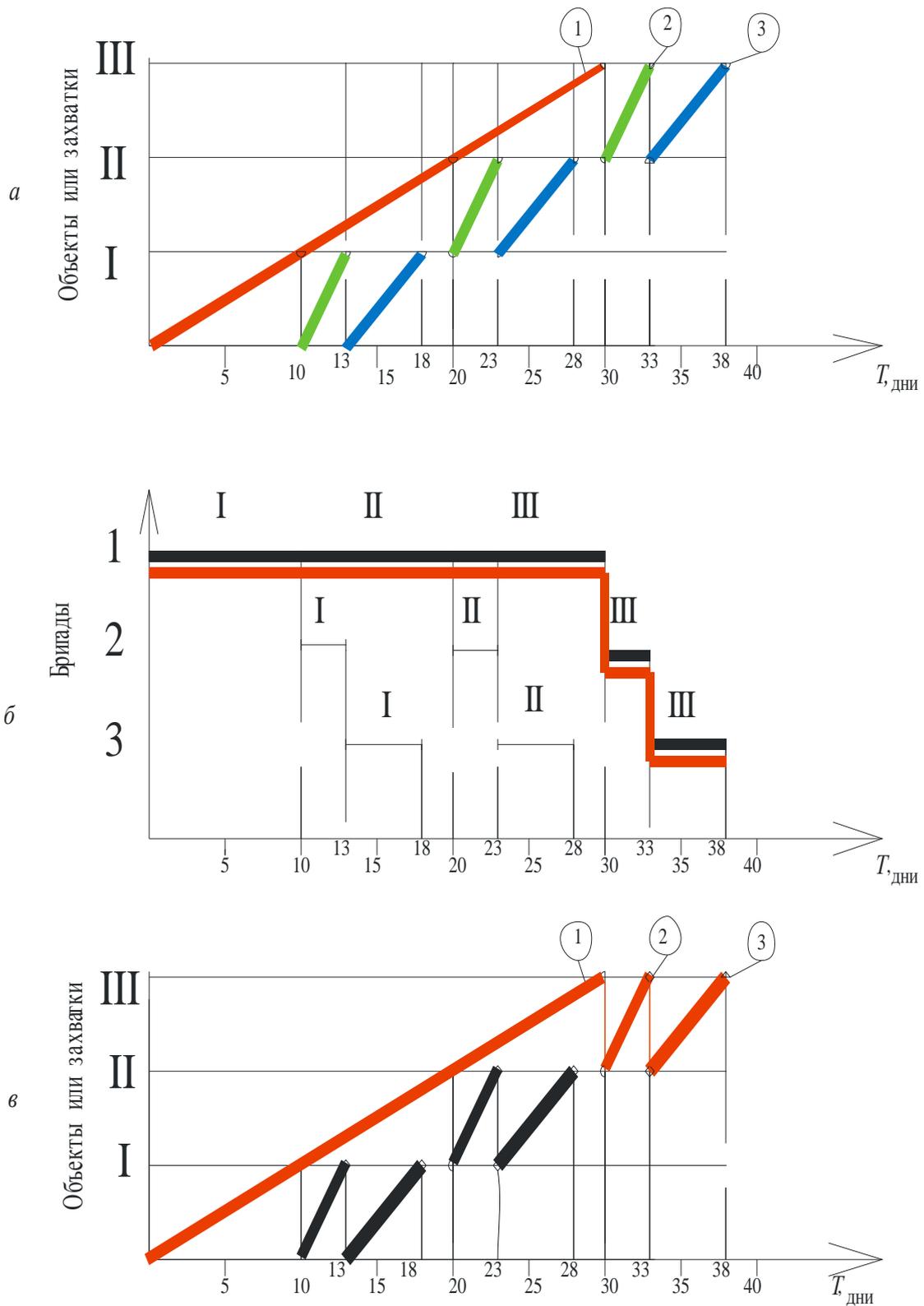


Рис. 2. Разноритмичный поток к примеру № 2 (НОФР): *а* — циклограмма движения бригад по объекту; *б* — критический путь строительства объектов или захваток; *в* — критический путь движения бригад по захваткам

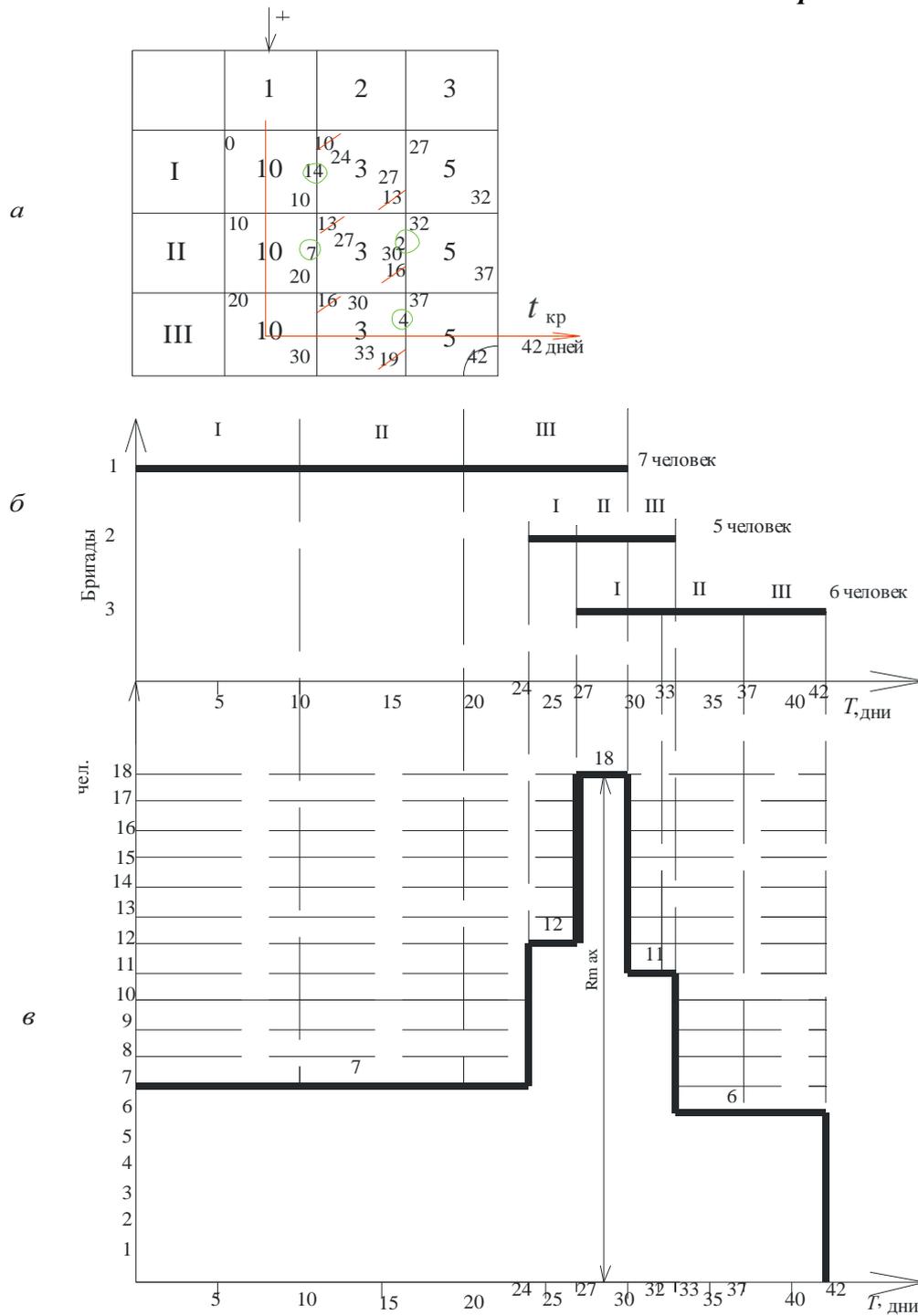


Рис. 3. Разноритмичный поток к примеру № 2 (НИР): *a* — матрица; *б* — линейный график Ганта; *в* — график движения рабочей силы по объекту

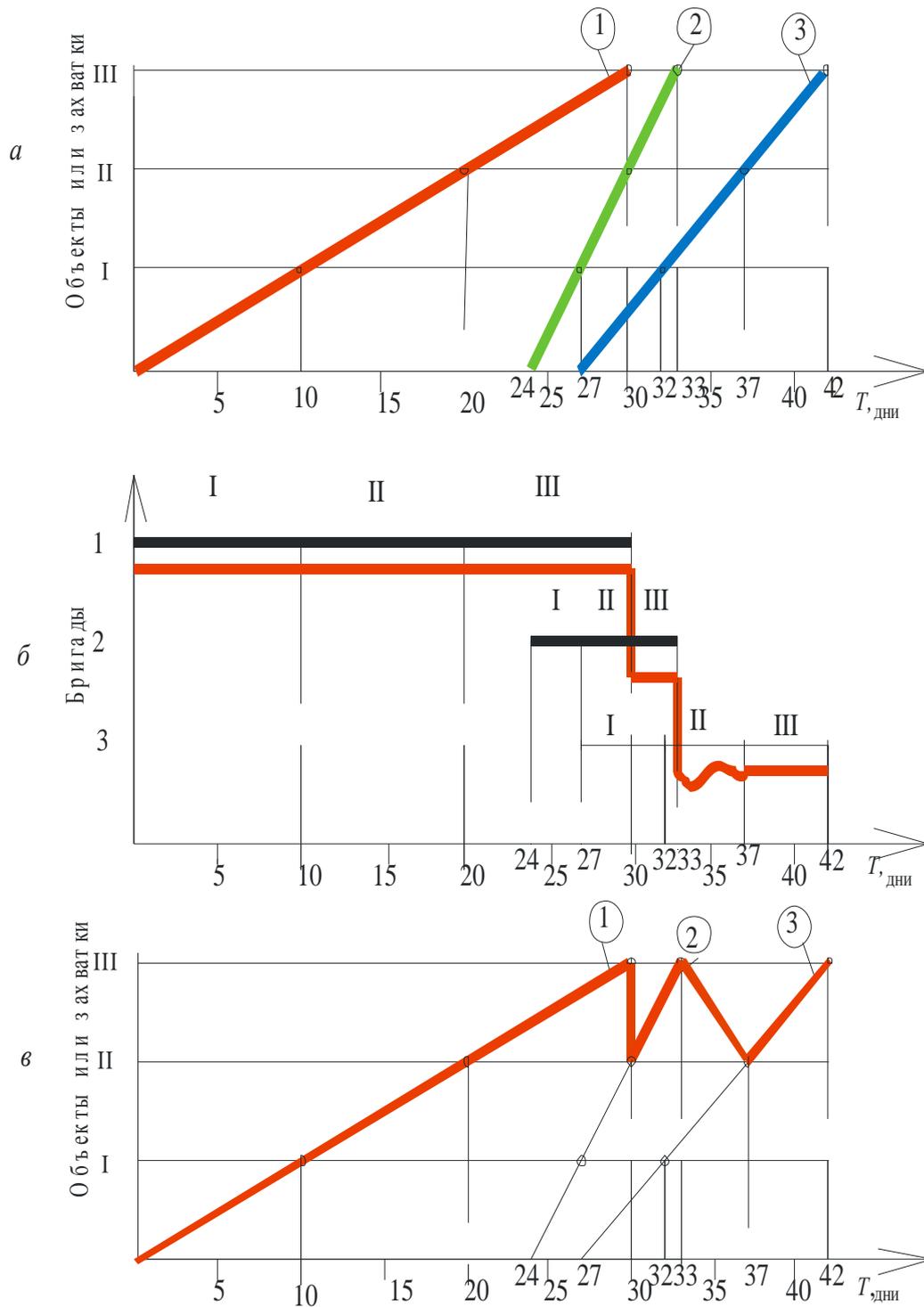


Рис. 4. Разноритмичный поток к примеру № 2 (НИР): *a* — циклограмма движения бригад по объекту; *b* — критический путь строительства объектов или захваток; *v* — критический путь движения бригад по объектам захваток

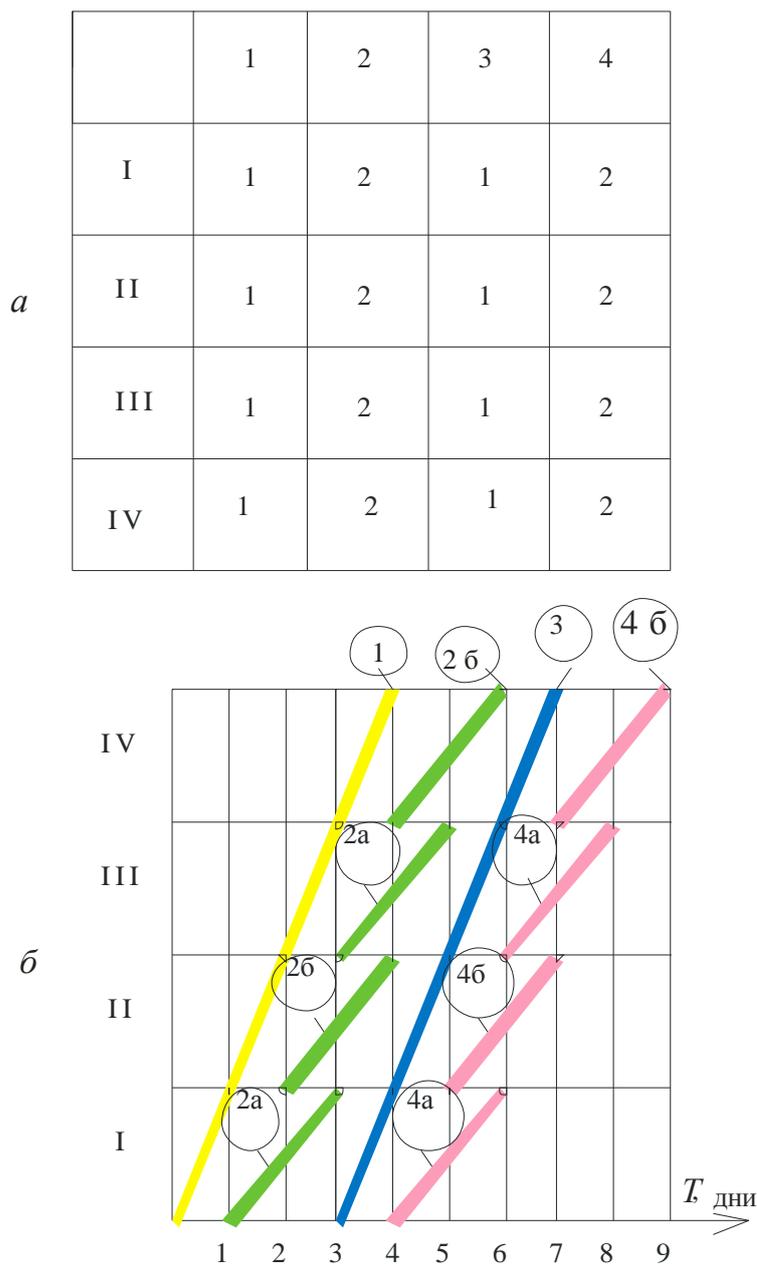


Рис. 1. Кратноритмичный поток к примеру № 3: *a* — матрица; *b* — циклограмма движения бригад по объекту

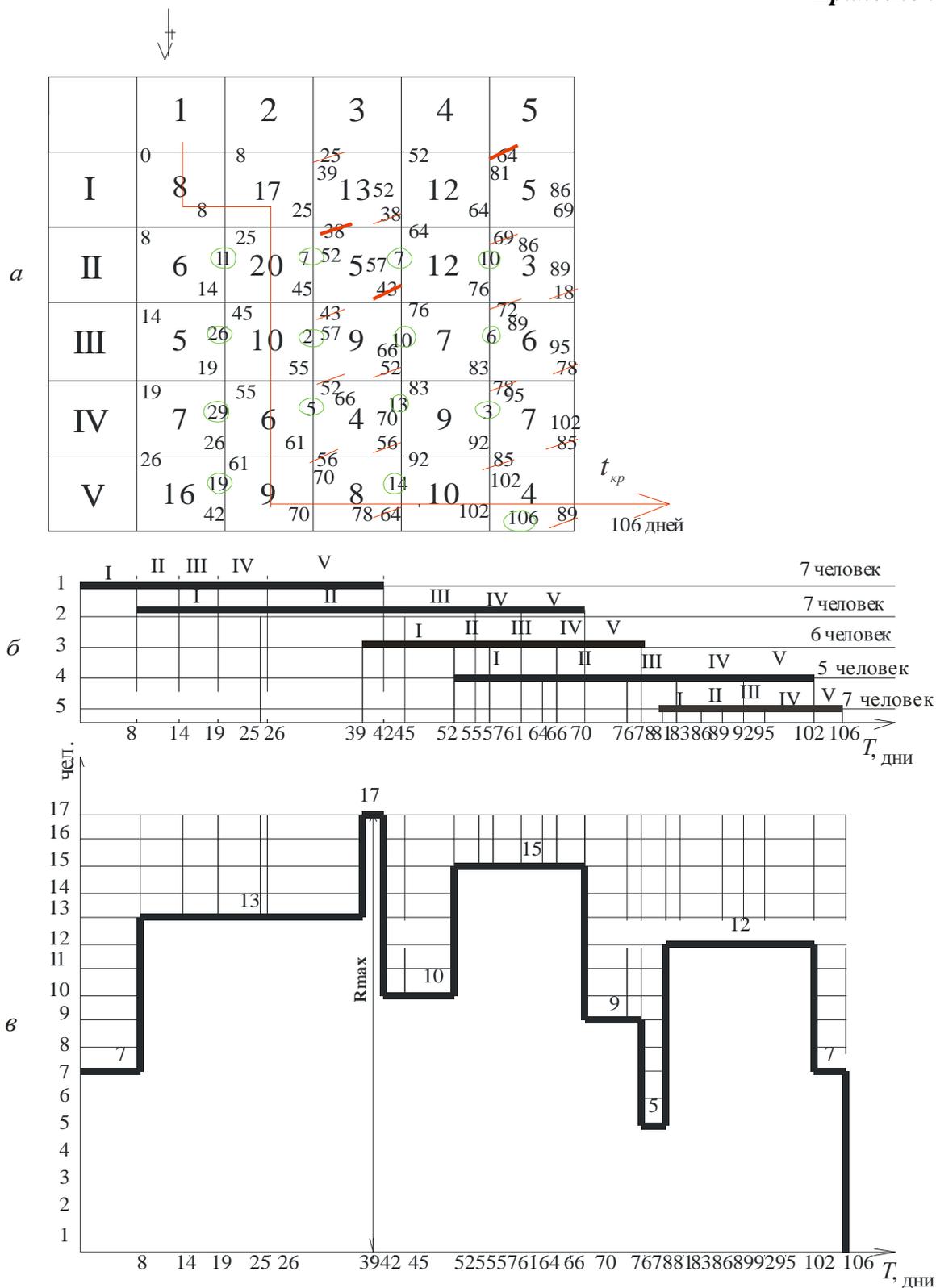


Рис. 1. Неритмичный поток к примеру № 4 (НИР): а — матрица; б — линейный график Ганта; в — график движения рабочей силы по объекту

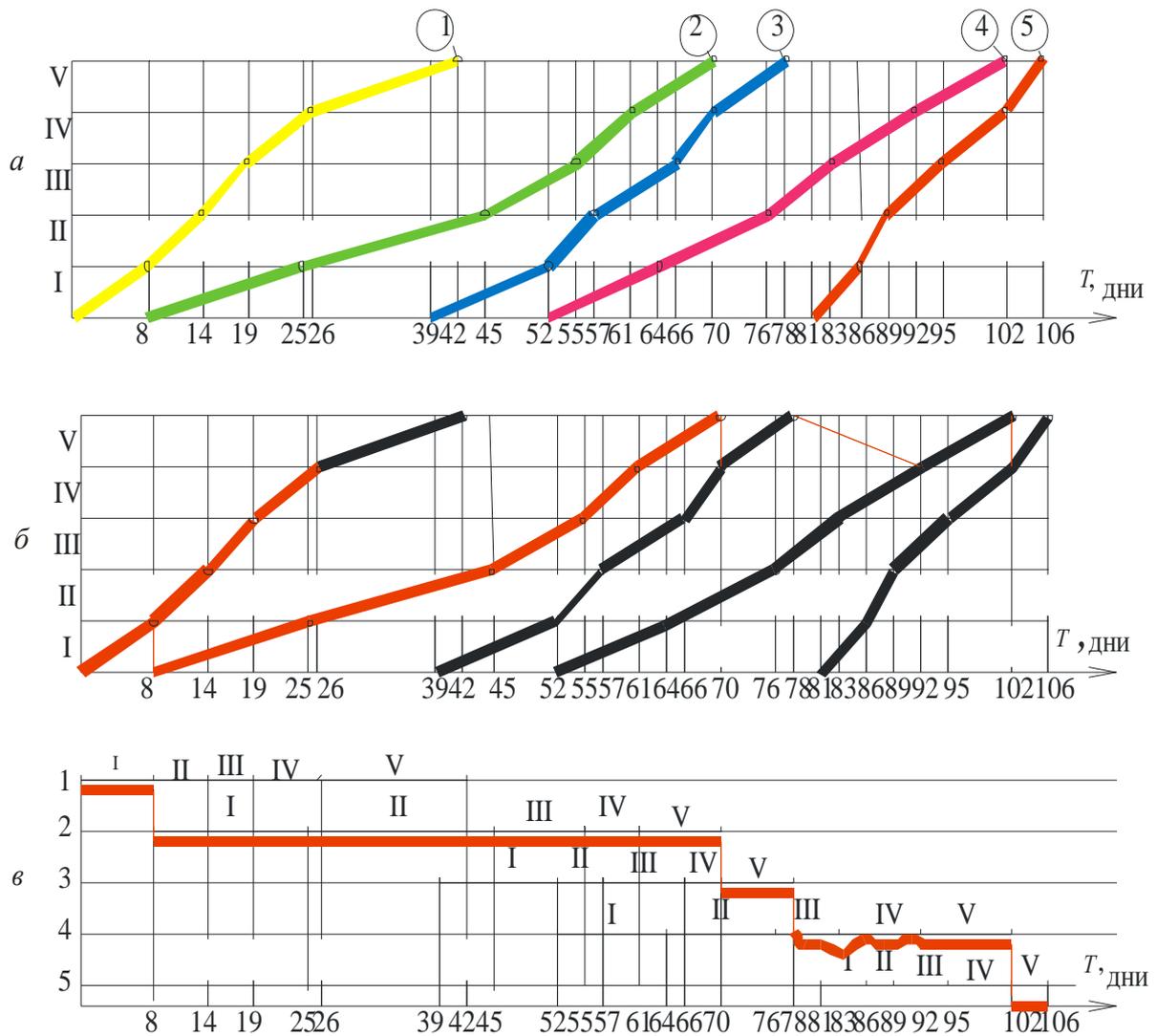


Рис. 2. Неритмичный поток к примеру № 4 (НИР): *a* — циклограмма движения бригад по объекту, разбитому на пять захваток; *б* — критический путь строительства объектов захваток; *в* — критический путь движения бригад по объектам или захваткам

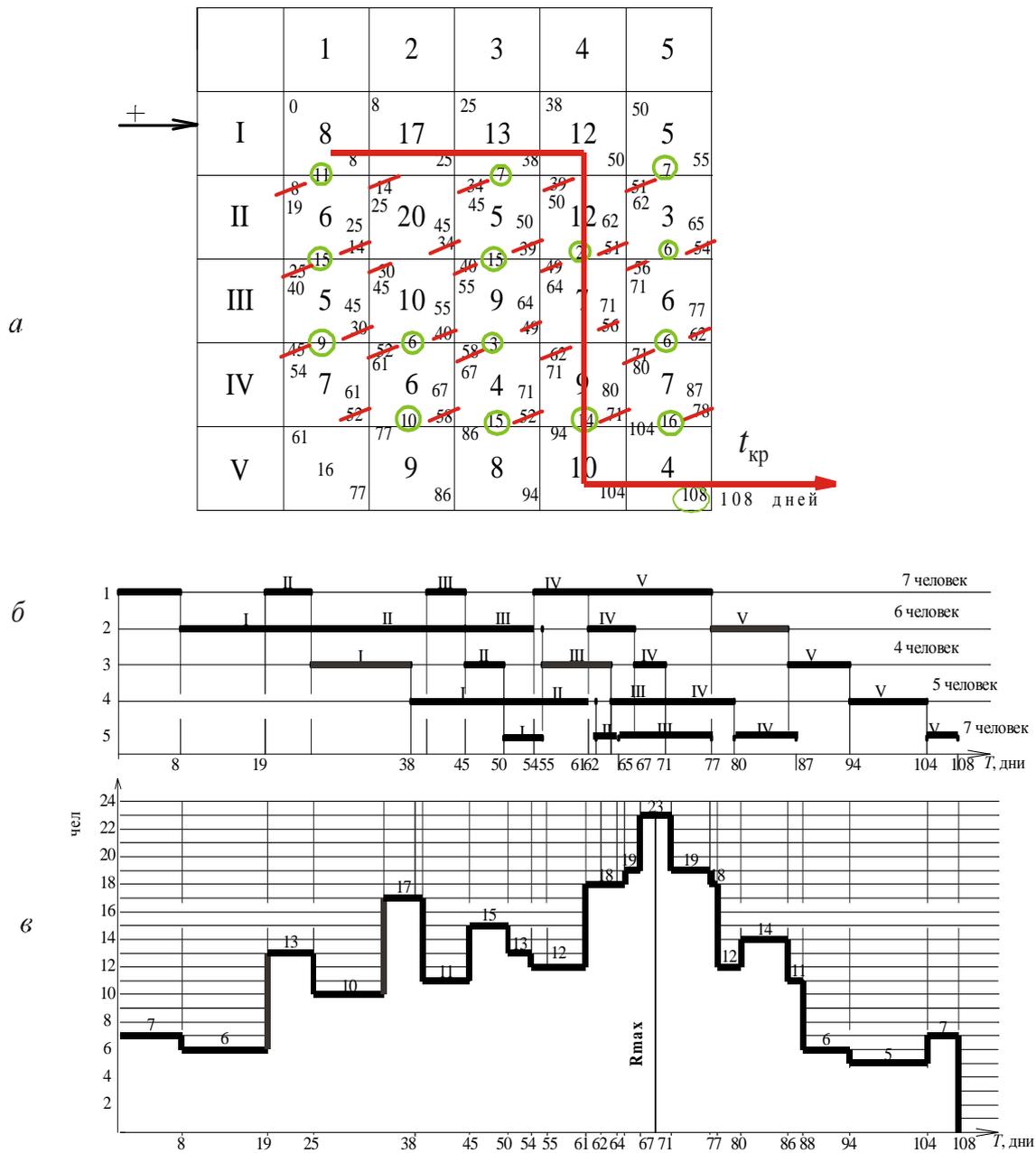


Рис. 3. Неритмичный поток к примеру № 4 (НОФР): *a* — матрица; *б* — линейный график Ганта; *в* — график движений рабочей силы по объекту

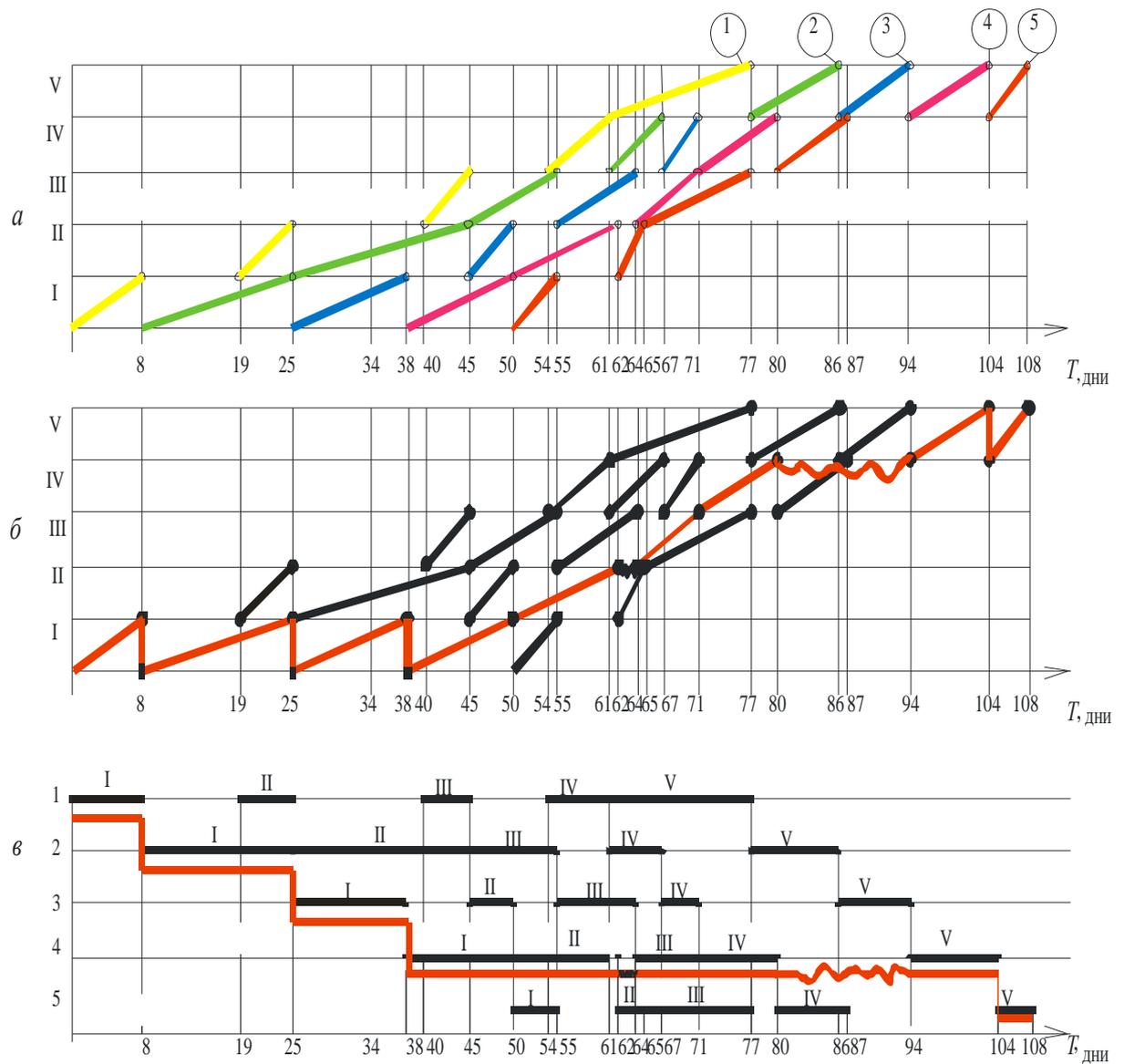


Рис. 4. Неритмичный поток к примеру № 4 (НОФР): *а* — циклограмма движения бригад по объекту; *б* — критический путь строительства объектов; *в* — критический путь движения бригад по объектам захваток

Учебное издание

Бурлаченко Олег Васильевич
Бутенко Екатерина Анатольевна
Аксенова Надежда Анатольевна

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ, РАСЧЕТ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПОТОКОВ
СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Учебно-практическое пособие

Начальник РИО *М. Л. Песчаная*
Зав. редакцией *М. С. Лысенко*
Редактор *И. Б. Чижикова*
Компьютерная правка и верстка *Н. А. Каширина*

Подписано в свет 15.11.2012.
Гарнитура «Таймс». Уч.-изд. л. 2,4. Объем данных 582 Кбайт

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»
Редакционно-издательский отдел
Отдел оперативной полиграфии
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1
<http://www.vgasu.ru>, info@vgasu.ru