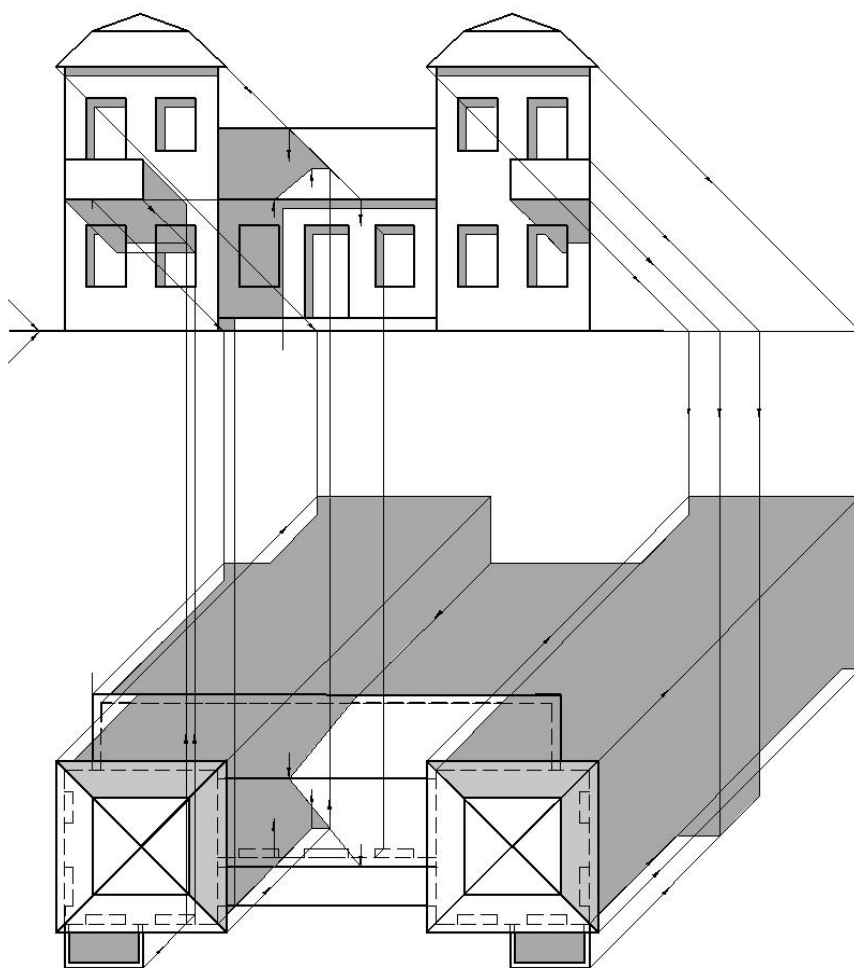


С.И. ЛАЗАРЕВ, А.А. ГОРЕЛОВ, Н.В. СТУКАЛИ-  
НА,  
В.Л. ГОЛОВАШИН

**ПРАКТИЧЕСКОЕ РУКО-  
ВОДСТВО  
ПО ИНЖЕНЕРНО-  
СТРОИТЕЛЬНОЙ  
ГЕОМЕТРИИ**



ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ГОУ ВПО "Тамбовский государственный технический  
университет"

С.И. ЛАЗАРЕВ, А.А. ГОРЕЛОВ, Н.В. СТУКАЛИНА,  
В.Л. ГОЛОВАШИН

**ПРАКТИЧЕСКОЕ РУКОВО-  
ДСТВО  
ПО ИНЖЕНЕРНО-  
СТРОИТЕЛЬНОЙ  
ГЕОМЕТРИИ**

ПРАКТИКУМ

для студентов 1 курса специальностей 270102, 270105, 270205,  
270301



---

Тамбов  
Издательство ТГТУ  
2006

УДК 515.1  
ББК В151.34я73-5  
П845

Р е ц е н з е н т ы:

Доктор технических наук, профессор  
*В.В. Леденев*

Доктор технических наук, профессор  
*А.А. Арзамасцев*

П845 Практическое руководство по инженерно-строительной геометрии : практикум / С.И. Лазарев, А.А. Горелов, Н.В. Стукалина, В.Л. Головашин. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. – 80 с. – 130 экз. ISBN 5-8265-0496-X.

Даны задания для выполнения индивидуальных графических работ по темам "Точка, прямая, плоскость", "Способы преобразования чертежа", "Пересечение поверхностей", "Тени в ортогональных проекциях", "Перспектива объекта и тени", "Проекции с числовыми отметками", методические указания по их выполнению; приведены примеры выполнения заданий, вопросы и задачи для подготовки к экзамену.

Предназначен для студентов 1 курса специальностей 270102, 270105, 270205, 270301, изучающих дисциплину "Начертательная геометрия. Инженерная графика".

УДК 515.1

ББК В151.34я73-5

ISBN 5-8265-0496-X

© ГОУ ВПО Тамбовский государственный  
технический университет  
(ТГТУ), 2006

© Лазарев С.И., Горелов А.А., Стукалина Н.В.,  
Головашин В.Л.,  
2006

Учебное издание

ЛАЗАРЕВ Сергей Иванович,  
ГОРЕЛОВ Александр Алексеевич,  
СТУКАЛИНА Наталия Владимировна,  
ГОЛОВАШИН Владислав Львович

**ПРАКТИЧЕСКОЕ РУКОВО-  
ДСТВО  
ПО ИНЖЕНЕРНО-  
СТРОИТЕЛЬНОЙ  
ГЕОМЕТРИИ**

Практикум

Редактор З.Г. Чернова

Компьютерное макетирование Е.В. Кораблевой

Подписано в печать 11.09.2006

Формат 60 × 84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman.  
7,0 уч.-изд. л. Тираж 130 экз. Заказ № 444

Издательско-полиграфический центр ТГТУ  
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

**ДЛЯ ЗАМЕТОК**



## ВВЕДЕНИЕ

Начертательная геометрия, рассматривая широкий круг вопросов, связанных с геометрическим моделированием, сопоставлением трехмерного объекта с его плоской проекционной моделью, решения позиционных и метрических задач, содержит отдельные направления, присущие различным инженерным специальностям. Среди них можно выделить такие, на которых базируется графическая подготовка будущего инженера строителя. Прежде всего, это разделы начертательной геометрии: замена реального объекта его геометрической моделью, графическое изображение ортогональных проекций, построения аксонометрических и перспективных изображений, а также проекции с числовыми отметками. Все эти разделы можно условно объединить под названием «Инженерно-строительная геометрия».

В соответствии с действующим учебным планом в пособии представлены варианты домашних графических заданий и даны указания по их графическому оформлению, а также найдете примеры выполнения домашних графических работ, ссылки на соответствующие разделы в учебниках и справочных пособиях. Для подготовки к экзамену студенты должны выполнить ряд упражнений, подготовить ответы на вопросы, а также решить задачи, которые приведены в данном издании.

### 1. ОФОРМЛЕНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ

Начертательная геометрия, изучаемая в первом семестре, включает в себя основы образования чертежа. Особое внимание уделяется изучению метода прямоугольного проецирования (метод Г. Монжа), установленного ГОСТ 2.305–68 для изображения предметов на чертежах всех отраслей промышленности и строительства.

Работа над чертежами предполагает знакомство с основными стандартами ЕСКД, касающимися оформления чертежа. Студент должен быть ознакомлен с основным стандартом университета – СТП ТГТУ 07–97.

Чертежи графических работ (ГР) по начертательной геометрии выполняются на листах чертежной бумаги форматов: А1 (594 × 841); А2 (420 × 594); А3 (297 × 420); А4 (210 × 297). Размеры форматов установлены ГОСТ 2.301–68. Внутри формата рамкой выделяется рабочее поле чертежа. С левой стороны линия рамки проводится от линии обреза листа на расстоянии 20 мм; с верхней, правой и нижней сторон – на расстоянии 5 мм.

Надписи на чертежах ГР должны быть выполнены стандартным шрифтом размером 3,5 и 5 в соответствии с ГОСТ 2.304–81. Вначале чертежи выполняются тонкими линиями, после проверки правильности их выполнения преподавателем обводятся мягким карандашом. При этом следует помнить о тщательности и опрятности выполняемых графических построений.

Толщину и тип линий принимают согласно ГОСТ 2.303–68. Видимые контуры геометрических объектов следует выполнить сплошной толстой линией толщиной  $S = 0,8 \dots 1,0$  мм. Невидимые элементы показывают штриховой линией, толщина которой составляет  $S/3 - S/2$  толщины линий видимого контура. Такой же толщиной следует выполнять сплошные линии построений и линии связи. Линии центров и осевые выполняют штрихпунктирной линией. Желательно искомые элементы при обводке обводить красной пастой, тушью, гелиевой ручкой. Точки на чертеже желательно вычерчивать в виде окружностей диаметром  $1,5 \dots 2$  мм с помощью циркуля – "балеринки". Рекомендуется отдельные видимые элементы геометрических тел и поверхностей отмывать бледными тонами красок, используя акварель, разведенную в воде тушь, чай или цветные карандаши.

Основную надпись на чертежах выполняют в соответствии с ГОСТ 2.104–68. Форма, размеры и содержание графической основной надписи даны на рис. 1.1. Основную надпись помещают в правом нижнем углу чертежа. Формат А4 располагают только короткой стороной к себе.

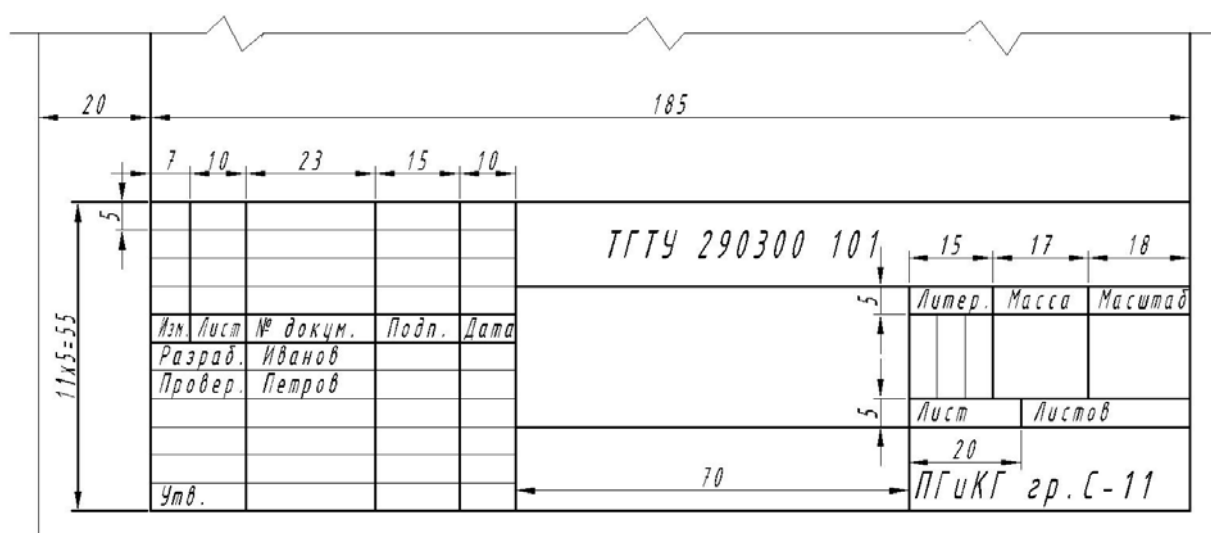


Рис. 1.1. Форма основной надписи на чертежах и схемах

Все чертежи графических работ сопровождаются титульным листом (см. рис. 2.1). Чертежи, помещенные как образец выполнения ГР, не являются эталонами исполнения, а служат лишь примерами расположения материала на листе, характеризуют объем и содержание изученной темы.

Листы чертежей выполненных ГР не складывают, а хранят в папке для черчения или сворачивают в трубочку.

## 2. ЗАДАНИЯ К ГРАФИЧЕСКИМ РАБОТАМ ПО НАЧЕРТАТЕЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ

# ШРИФТЫ ЧЕРТЕЖНЫЕ. ТОЧКА, ПРЯМАЯ, ПЛОСКОСТЬ

## Часть 1

### ШРИФТЫ ЧЕРТЕЖНЫЕ. ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ

**Цель работы:** изучить основные правила оформления чертежей, изложенных в стандартах ЕСКД, относящихся к линиям чертежа и шрифтам чертежным; получить навыки чертежной работы и выполнить надписи стандартным чертежным и архитектурным шрифтами.

#### Задание

Задание является общим для всех студентов.

**Упражнение I.** Выполнить шрифтом размером 10 (высота букв в миллиметрах) все прописные и строчные буквы русского и латинского алфавита, цифры и наиболее используемые в качестве обозначений строчные буквы латинского алфавита, а так же буквы и цифры архитектурного шрифта. Правильность и размеры написания чертежного шрифта изучить по ГОСТ 2.304-81 –ЕСКД. Шрифты чертежные (см. рис. 2.2 и 2.3).

**Упражнение II.** Выполнить стандартным чертежным шрифтом титульный лист графических работ. (См. рис. 2.1, Размеры на чертеже не проставлять).



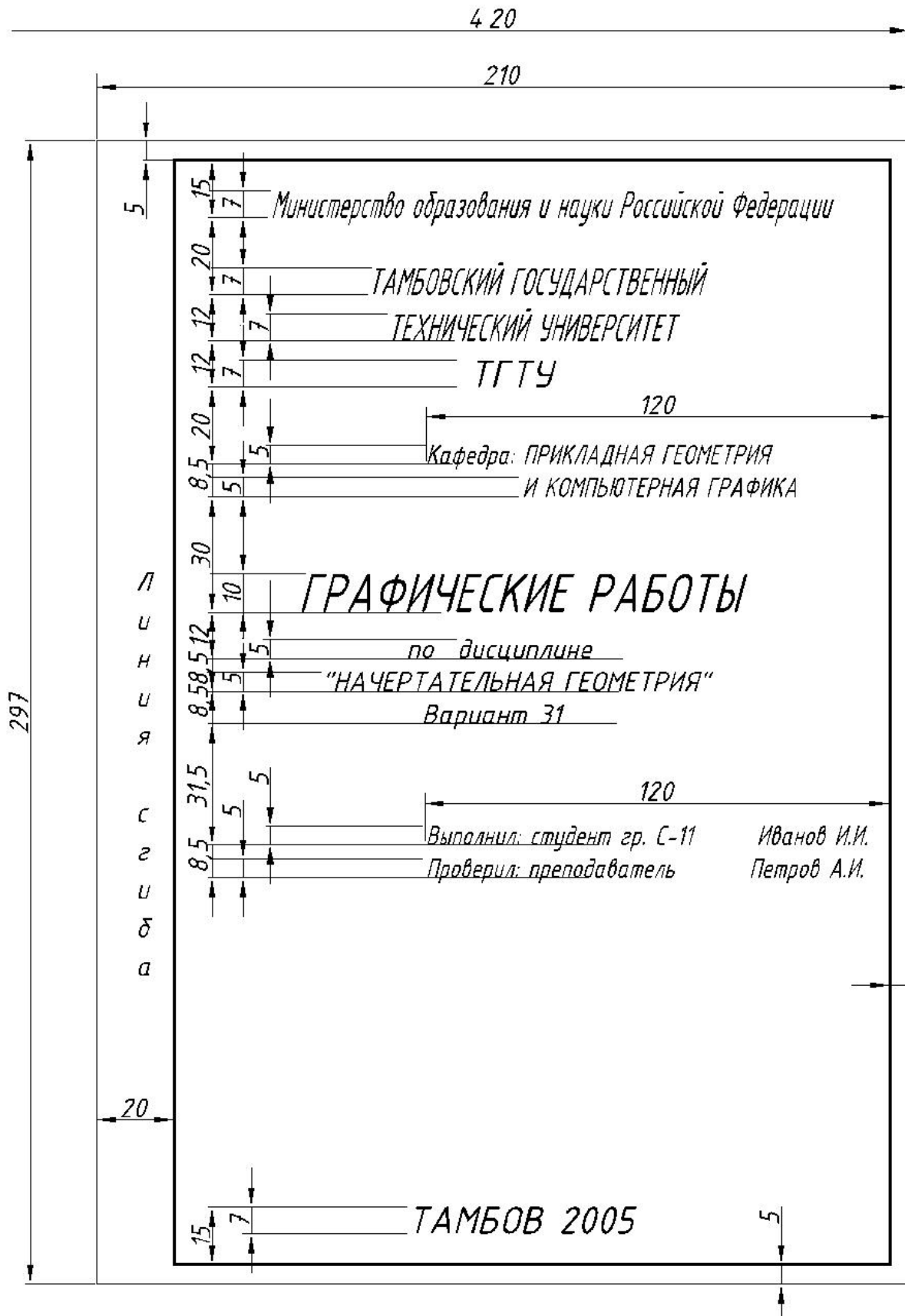


Рис. 2.1. Титульный лист  
 Порядок выполнения работы

*Упражнение I.* Упражнение выполнить на формате А4 (210 × 297) карандашом. В нижней части формата выполнить основную надпись (см. рис.1.1).

Для написания шрифта по ГОСТ 2.304–81 для прописных букв и цифр следует разлиновать строчки на расстоянии 10 мм друг от друга. Остальную разлиновку выполнить согласно следующему пояснению. Размер шрифта есть высота прописных (заглавных) букв и цифр, например 14; 10; 7; 5; 3,5 мм. Ширина большинства букв и высота строчных букв для каждого размера шрифта, например, соответственно высоте по размеру, 10; 7; 5; 3,5; 2,5. Ширина букв Д, Ж, Ф, Ш, Щ, Ъ равна их высоте (буква М немного уже). Расстояние между буквами приблизительно равно разности между соседними размерами шрифта, например  $10 - 7 = 3$  мм. Отростки строчных букв р, б, в и других выступают на такую же высоту. Провести наклонные линии под углом, равным  $75^\circ$ . Рекомендуется, кроме того, проводить ориентировочные наклонные линии через 10...15 мм, писать на глаз, тщательно доводя каждую букву до разлиновки. Если рядом стоят буквы Г и Д или Г и Л просвет между ними не делается. Расстояние между словами равно высоте букв.

Надписи на чертежах рекомендуется выполнять шрифтом размером 7; 5; 3,5; 2,5, а размерные числа – шрифтами размером 5 и 3,5.

Для подписания архитектурных чертежей рекомендуют архитектурный шрифт. Шрифт прямой, буквы узкие. Ширину букв принимают равной  $1/5$  их высоты (см. рис. 2.2).

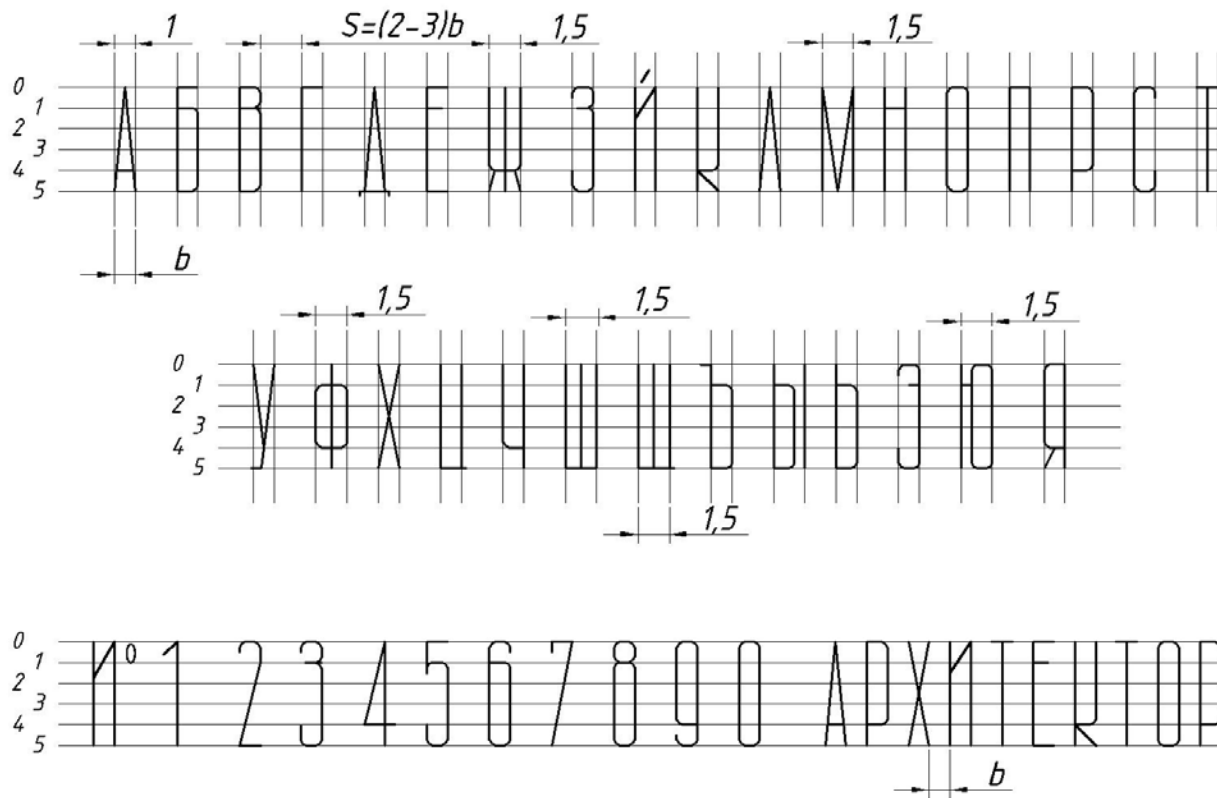


Рис. 2.2. Образец выполнения архитектурного шрифта

Основной шрифт с наклоном  
 АБВГДЕЖЗИКЛМНОПР  
 СТУФХЦЧШЩЪЫЬЭЮЯ  
 абвгдежзиклмнопр  
 стуфхцчшщъыьэюя  
 1234567890№  
 ABCDEFGHIJKLMNOPQ  
 RSTUVWXYZ  
 abcdefghijklmnopqrstuvwxyz  
 ШРИФТ АРХИТЕКТУРНЫЙ УЗКИЙ  
 АБВГДЕЖЗИКЛМНОПРСТ  
 УФХЦЧШЩЪЫЬЭЮЯ  
 № 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0

					ТГТУ 290300 101			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Шрифты	Литер	Масса	Масштаб
Разраб.	Иванов							
Провер.	Петров					Лист	Листов	
Утв.						ПГ и КГ гр. С-11		

**Рис. 2.3. Образец выполнения шрифтов**

Упражнение II. Титульный лист выполнить на формате А3 (297 × 420), сложенном пополам до формата А4. Буквы вычертить по сетке с наклоном к строке под углом 75° каранда-

шом. Шрифт прописных букв принять размером 10; 7; %. Вычертить рамку.

Проработать: по учебнику [2, с. 22–34 и 4, с. 68–69], по справочнику [3, с. 21–38] и изучить основные требования стандартов ЕСКД [6];

ГОСТ 2.303–68. Типы линий;

ГОСТ 2.304–81. Шрифты чертежные.

## Часть 2

### ТОЧКА, ПРЯМАЯ, ПЛОСКОСТЬ

**Цель работы:** закрепление знаний при решении позиционных задач.

#### Задание

Задание содержит четыре задачи, выполняемые в определенной последовательности на одном комплексном чертеже в ортогональных проекциях на две плоскости, согласно данным по вариантам, приведенным в табл. 2.1.

Пример выполнения приведен на рис. 2.4.

На рис. 2.5 изображены план и фасад прямоугольного схематизированного здания с четырехскатной крышей. Все скаты крыши наклонены под одним и тем же углом  $\alpha$  к горизонтальной плоскости проекций  $\pi_1$ . На крыше укреплена антенна высотой  $Z$  на расстоянии 7 м от угла здания и 1 м от фасадной стены.

Вычертить в ортогональных проекциях в масштабе 1:200 часть здания, ограниченную горизонтально-проецирующими плоскостями в повернутом положении так, чтобы конек крыши  $EF$  составлял с фронтальной плоскостью проекций  $\pi_2$  угол  $\beta$ , как показано на рис. 2.6.

**Задача I.** Построить следы плоскостей  $P$  и  $Q$  скатов крыши  $AEFD$  и  $DFC$ ;

**Задача II.** Определить расстояние от верхней точки антенны  $G$  до ската крыши  $AEFD$ ;

**Задача III.** Построить плоскость, параллельную плоскости ската крыши  $AEFD$  и расположенную на расстоянии 3 м от нее;

**Задача IV.** Построить плоскость, перпендикулярную к плоскости ската крыши  $AEFD$  и проходящую через конек крыши  $EF$ .

#### 2.1. Данные к задачам I, II, III, IV

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$\alpha^\circ$	30	30	30	30	30	45	45	45	45	45	30	30	30	30	30
$\beta^\circ$	30	45	60	45	60	30	60	45	30	45	45	60	45	30	30
$Z, \text{ м}$	10	14	12	13	11	12	14	13	15	15	10	14	12	13	11

Продолжение табл. 2.1

Ва- риант	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$\alpha^\circ$	45	45	45	45	45	30	30	30	30	30	45	45	45	45	45
$\beta^\circ$	30	60	45	45	60	60	45	30	60	45	30	60	45	60	30
Z, м	13	13	14	11	15	10	14	12	13	11	14	12	12	11	11



2. Начертить для своего варианта (значения параметров берутся из табл. 2.1) в масштабе 1 : 200 план и фасад здания с установленной на крыше антенной высотой  $Z$  (рис. 2.5). Так как все скаты крыши имеют одинаковый угол  $\alpha$  наклона к горизонтальной плоскости  $\pi_1$ , то на плане они пересекаются по ребрам  $BE$ ,  $AE$ ,  $FC$ ,  $FD$ , которые являются биссектрисами и, следовательно,  $\angle BEA$  и  $\angle CFD$  равны  $90^\circ$ .

3. Начертить на плане и фасаде проекции части здания, ограниченной горизонтально-проецирующими плоскостями.

4. Начертить в том же масштабе горизонтальную проекцию части здания, повернув ее под углом  $\beta$  к фронтальной плоскости проекций  $\pi_2$  и расположив от оси  $X$  на 1 м, так как показано на рис. 2.6.

5. Начертить горизонтальную, а затем фронтальную проекцию части здания и приступить к решению указанных задач.

Для решения **задачи I** рассмотреть примеры в учебнике [6, с. 46–47, рис. 135] и разобрать решение этой задачи на рис. 2.7.

Для построения следов плоскости  $P$  ската крыши  $AEFD$  находят горизонтальный след  $M'$  прямой  $AE$  и фронтальный след  $N'$  прямой  $EF$ . Через горизонтальную проекцию  $M_1'$  горизонтального следа параллельно  $A_1D_1$ , так как  $AD$  – горизонталь плоскости  $AEFD$ , проводят горизонтальный след плоскости  $P\pi_1$ . Через полученную на оси  $X$  точку схода  $P_X$  и построенную фронтальную проекцию фронтального следа прямой  $EF$  точку  $N_2'$  проводят фронтальный след  $P\pi_2$  плоскости ската крыши  $AEFD$ .

Аналогично строятся следы плоскости  $Q$  ската крыши  $CDF$ . Находят горизонтальную проекцию горизонтального следа  $N_1''$  прямой  $CF$  и через нее параллельно горизонтальной проекции  $CD$ , так как  $CD$  – горизонталь плоскости ската  $CDF$ , проводят горизонтальный след  $Q\pi_1$ . Через полученную на оси  $X$  точку схода  $Q_X$  и построенный фронтальный след прямой  $CD$  проводят фронтальный след  $Q\pi_2$  плоскости  $CDF$ .

Для решения **задачи II** рассмотреть примеры в учебнике [6, с. 56–57, рис. 169–170; с. 61, рис. 182] и разобрать решение этой задачи на рис. 2.8.

Для определения расстояния от верхней точки  $G$  антенны до плоскости ската  $AEFD$ , из нее опускают перпендикуляр на эту плоскость. Проекция перпендикуляра проводят, используя правило проецирования прямого угла: горизонтальная проекция  $G_1L_1$  перпендикулярна  $P\pi_1$  горизонтальной проекции горизонтали плоскости  $P$ , а фронтальная проекция  $G_2L_2$  перпендикулярна  $P\pi_2$  фронтальной проекции горизонтали плоскости  $P$ . Находят точку  $L$  пересечения перпендикуляра с плоскостью  $AEFD$ . Для этого через перпендикуляр проводят вспомогательную горизонтально-проецирующую плоскость  $T$ . Находят линию пересечения  $1-2$  плоскости  $P$  и  $T$ , отмечают точку пересечения  $L$  перпендикуляра с построенной прямой  $1-2$ . Методом прямоугольного треугольника находят натуральную ве-



личину отрезка  $GL$ . В примере решения задачи прямоугольный треугольник построен на фронтальной проекции  $G_2L_2$ . Отрезок  $G^*L_2$  определяет абсолютную величину расстояния от точки  $G$  до плоскости  $AEFD$ .

Для решения **задачи III** рассмотреть примеры в учебнике [6, с. 62–63, рис. 187, 188] и разобрать решение этой задачи на рис. 2.9.

Для построения плоскости, расположенной параллельно заданной и удаленной от нее на определенное расстояние, следует на перпендикуляре, восстановленном из точки, принадлежащей плоскости, отложить заданное расстояние. Через вершину перпендикуляра провести параллельную плоскость. Для этого на отрезке  $G^*L_2$ , являющимся абсолютной величиной

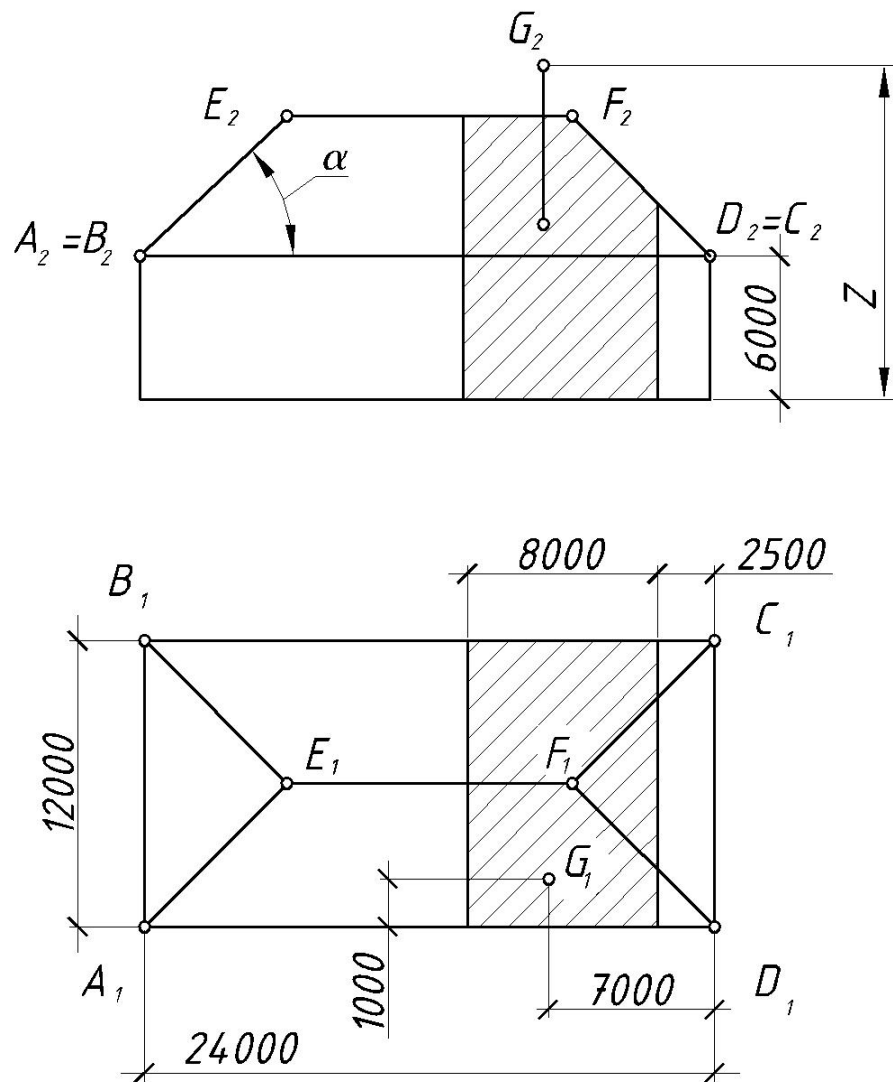


Рис. 2.5. Задание к графической работе 1 (часть 2)

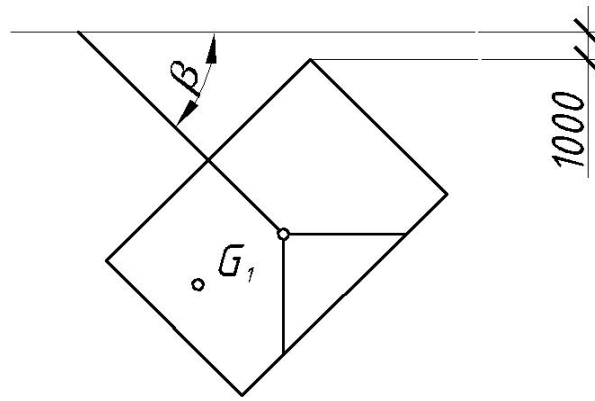


Рис. 2.6. Задание к графической работе 1 (часть 2)

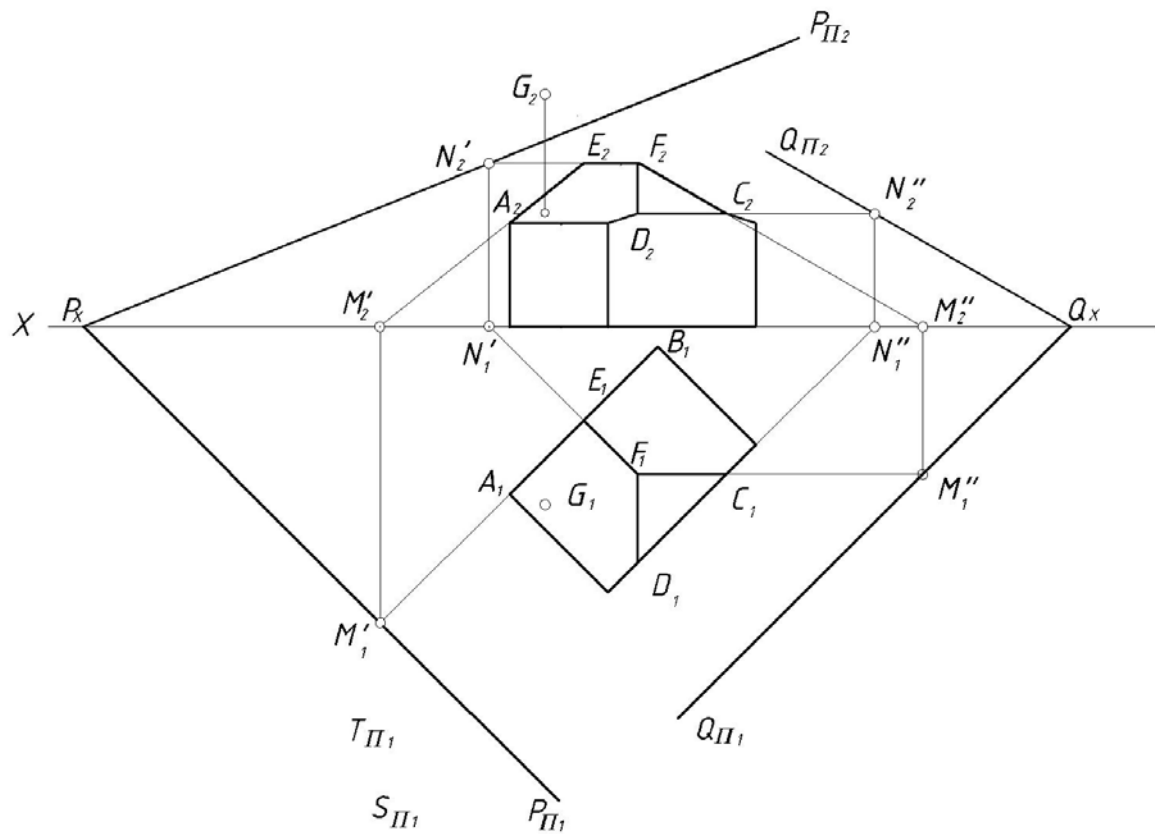


Рис. 2.7. Пример решения задачи I графической работы 1 (часть 2)

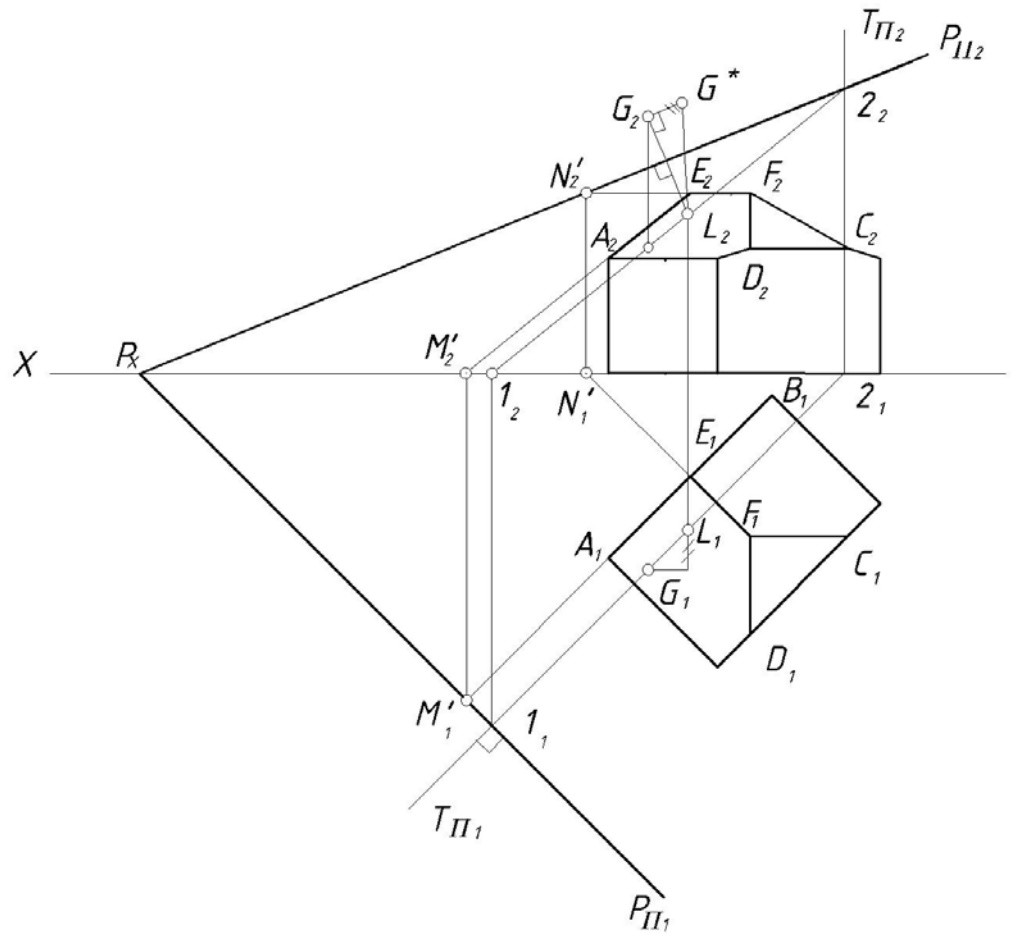


Рис. 2.8. Пример решения задачи II графической работы 1 (часть 2)

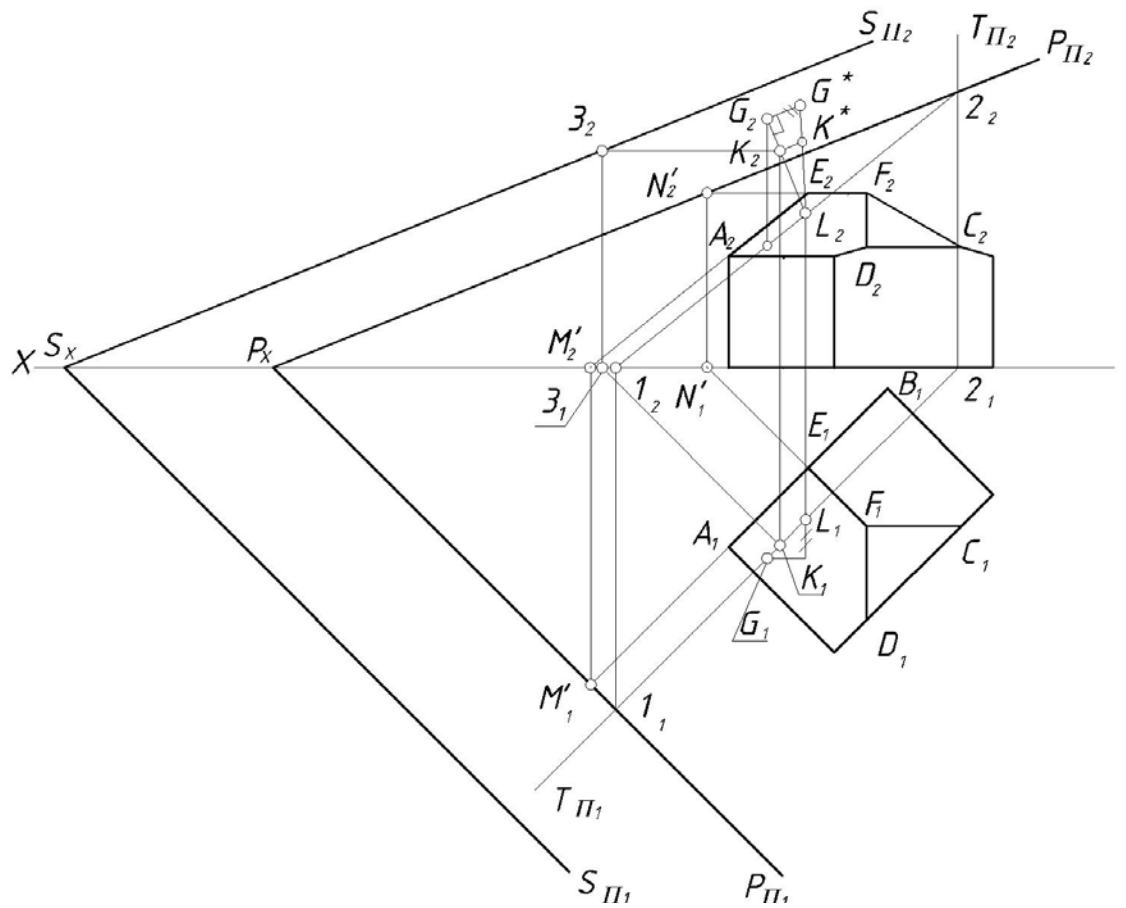


Рис. 2.9. Пример решения задачи III графической работы 1  
(часть 2)

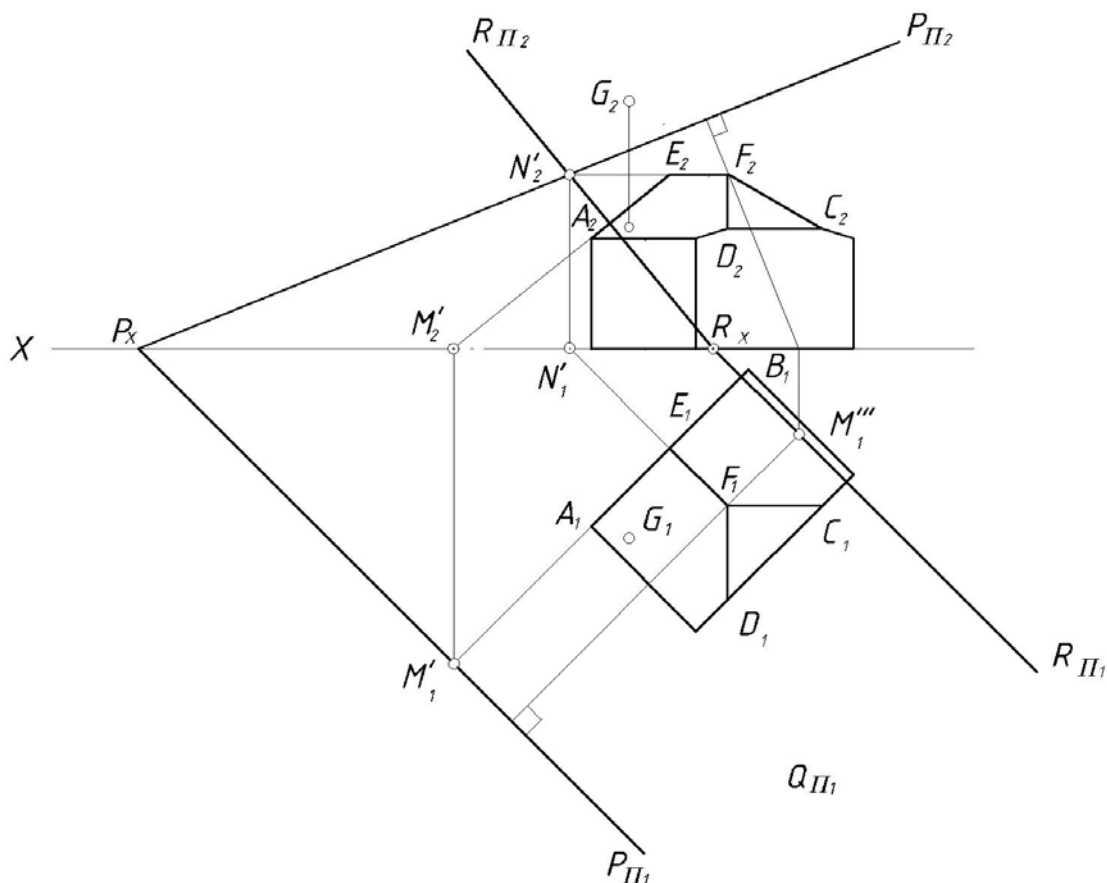


Рис. 2.10. Пример решения задачи IV графической работы 1  
(часть 2)

перпендикуляра  $GL$ , в масштабе откладывают отрезок  $L_2K^*$  равный 3 м. Через построенную точку  $K$  проводят плоскость  $S$ , параллельную плоскости  $AEFD$ . Для этого через точку  $K$  проводят горизонталь  $K-3$  и через фронтальный след этой горизонтали точку  $3_2$  строят параллельно фронтальному следу плоскости  $P$  фронтальный след  $S\pi_2$ . Через полученную на оси  $X$  точку схода  $S_X$  проводят горизонтальный след  $S\pi_1$  параллельно горизонтальному следу плоскости  $P$ .

Для решения **задачи IV** рассмотрим примеры в учебнике [6, с. 64–65, рис. 194 и 195] и разобрать решение этой задачи на рис. 2.10.

Плоскость перпендикулярна другой, если она проходит через прямую, перпендикулярную заданной плоскости. Для построения плоскости, перпендикулярной плоскости  $AEFD$  и проходящей через конек крыши  $EF$ , достаточно через точку  $F$  провести перпендикуляр к плоскости  $AEFD$ . Горизонтальная проекция этого перпендикуляра перпендикулярна горизонтальному следу плоскости  $P$ , а фронтальная проекция – фронтальному следу. Находят горизонтальную проекцию горизонтального следа  $M_1'''$  построенного перпендикуляра и через нее параллельно  $E_1F_1$ , так как  $EF$  принадлежит строящейся плоскости  $R$  и является ее горизонталью, проводят горизонтальный след  $R\pi_1$ . Через полученную на оси  $X$  точку  $R_X$  схода и постро-

енную ранее фронтальную проекцию фронтального следа прямой  $EF$  точку  $N_2$ , проводят фронтальный след  $R\pi_2$ .

## Графическая работа 2

### СПОСОБЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЧЕРТЕЖА

**Цель работы:** закрепление знаний и основных приемов при решении метрических задач.

#### Задание

Даны ортогональные проекции здания (план и фасад), положение проецирующей плоскости  $P$ .

**Задача V.** Построить в ортогональных проекциях наложенное сечение поверхности здания плоскостью  $P$  и определить натуральную величину сечения с использованием одного из существующих способов преобразований проекций.

**Задача VI.** Определить способом плоско-параллельного перемещения расстояние от точки  $A$  до ребра  $BC$ .

**Задача VII.** Способом замены плоскостей проекций определить величину двугранного угла между плоскостями  $BCD$  и  $BCE$ .

Для большей наглядности и выразительности чертежа рекомендуется поверхность здания отмыть.

Пример выполнения приведен на рис. 2.11.

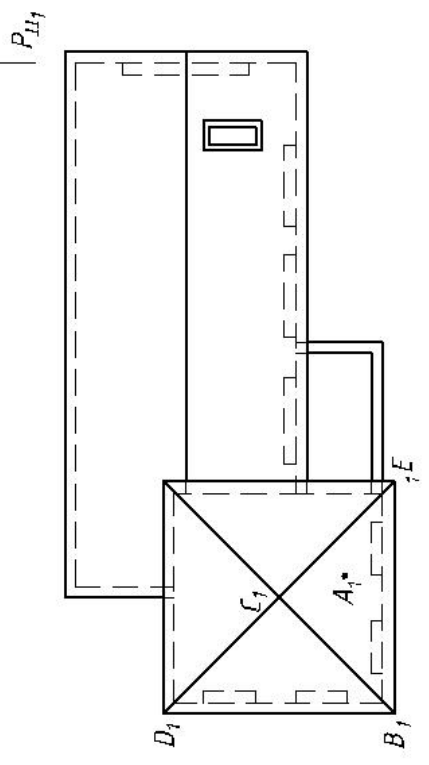
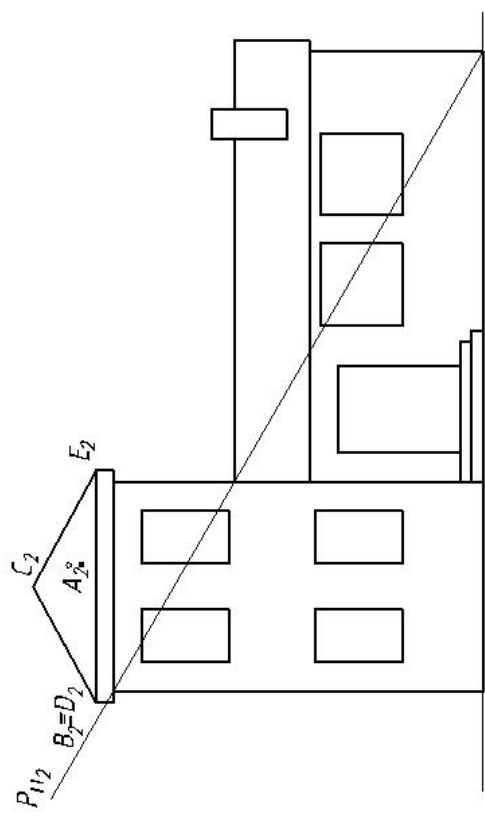
#### Порядок выполнения работы

Для решения **задачи V** рассмотреть пример в учебнике [4, с. 99–101, рис. 4.52 и 4.53; 7, с. 55, рис. 127 и 128].

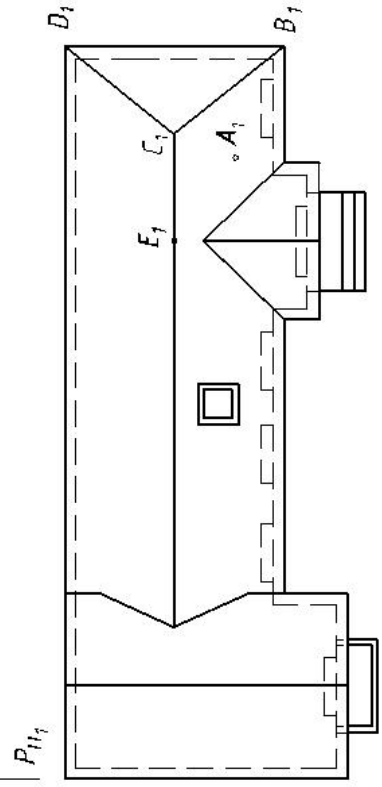
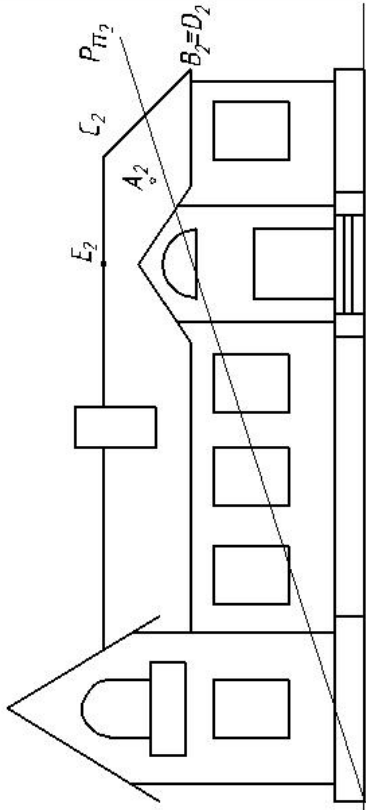
Задание выполняют на чертежной бумаге формата А3. В левой части чертежа, согласно своему варианту (см. рис. 2.12), увеличив исходные размеры в 1,4 раза, строят проекции здания.



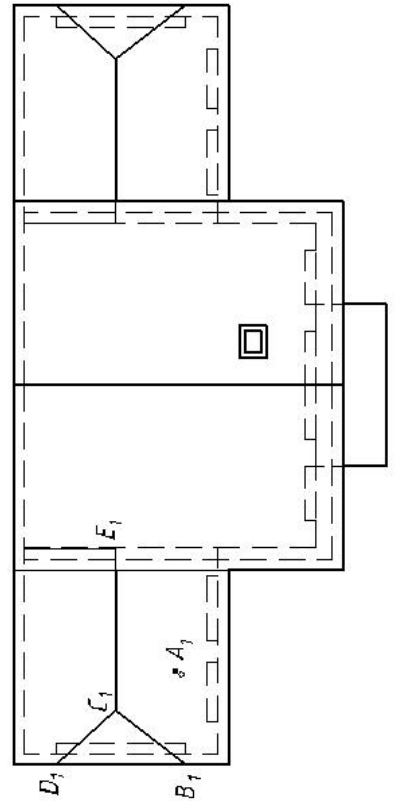
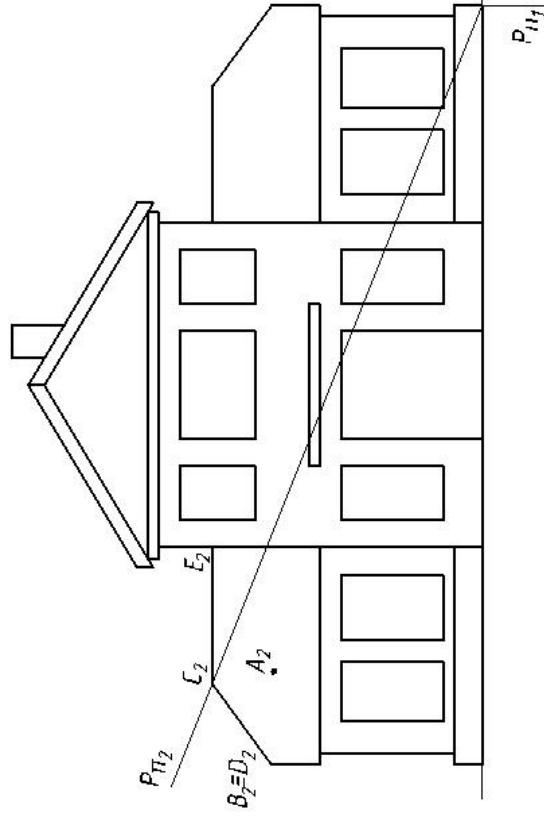
1, 11, 21



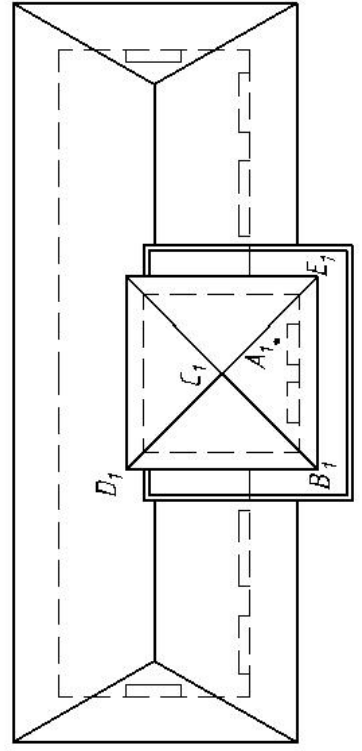
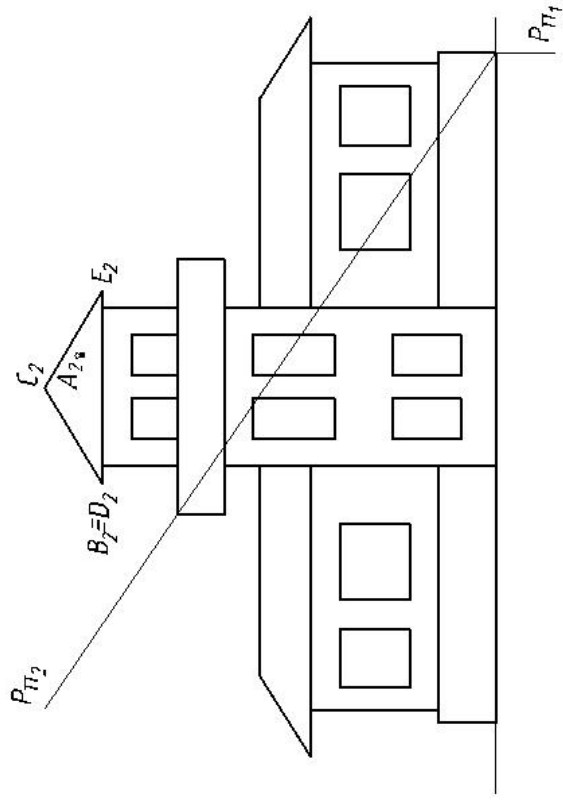
2, 12, 22



3, 13, 23

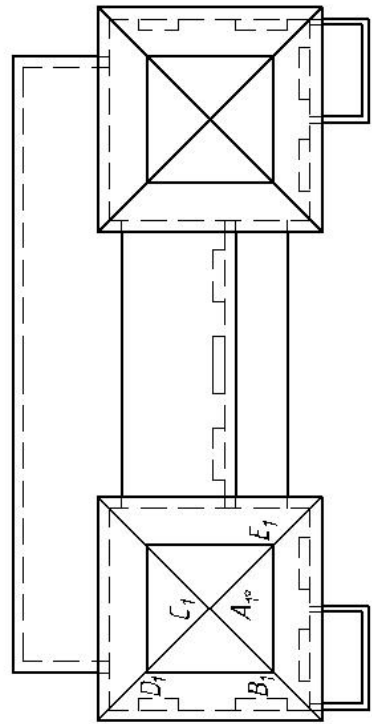
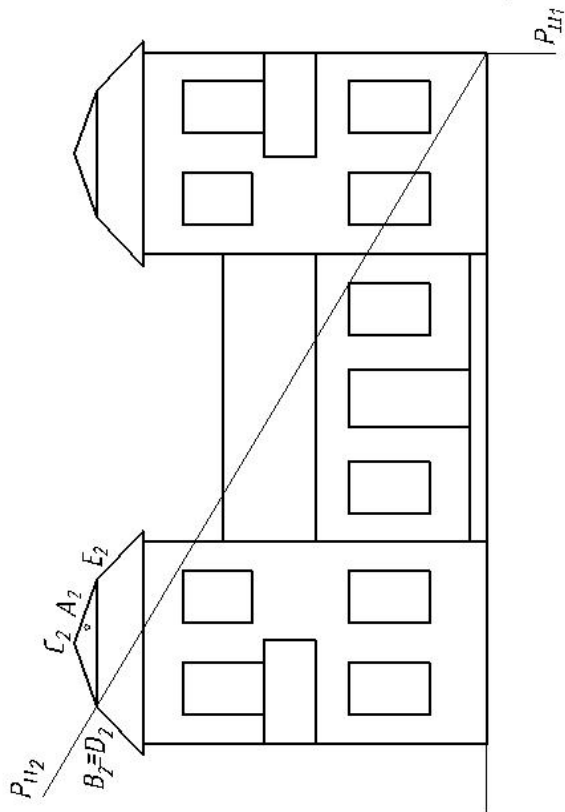


4, 14, 24

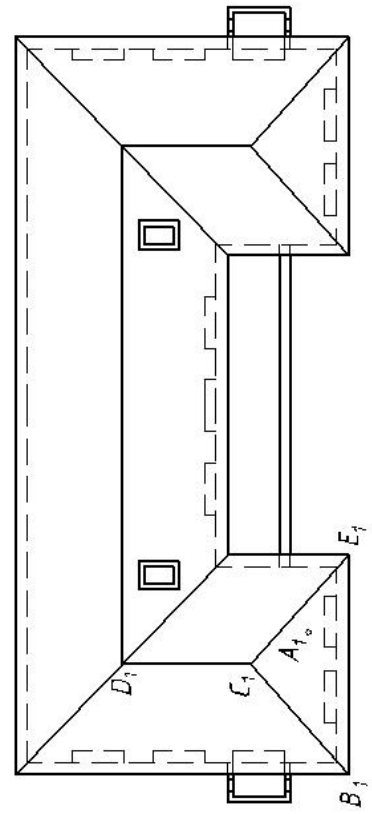
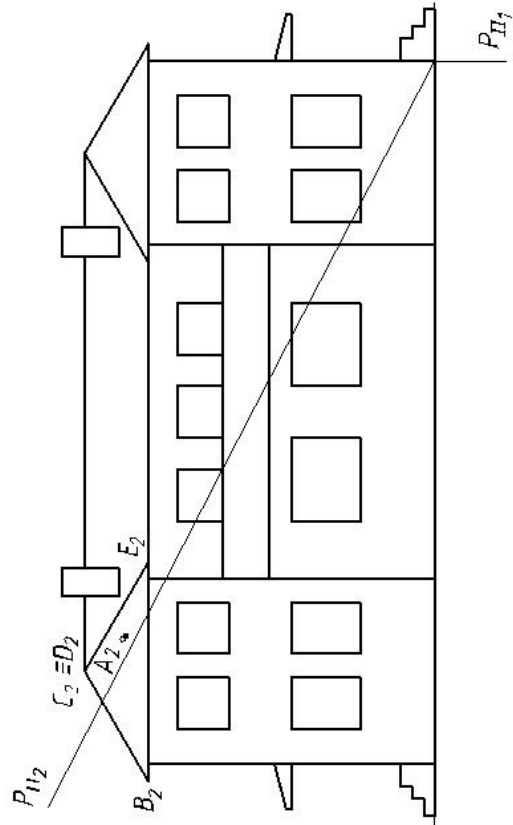




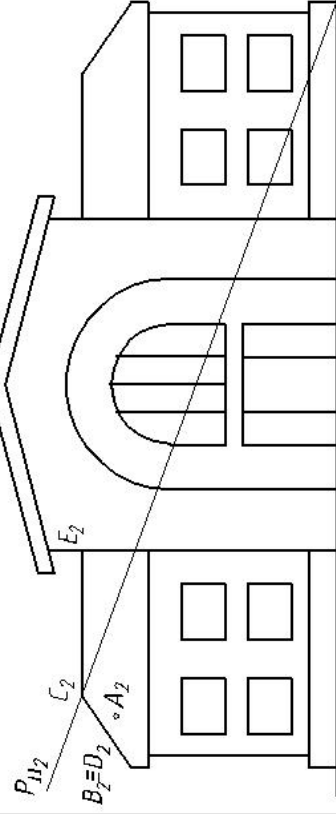
5, 15, 25



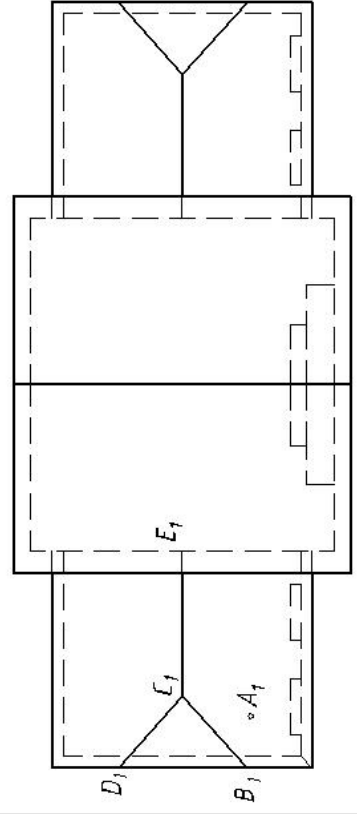
6, 16, 26



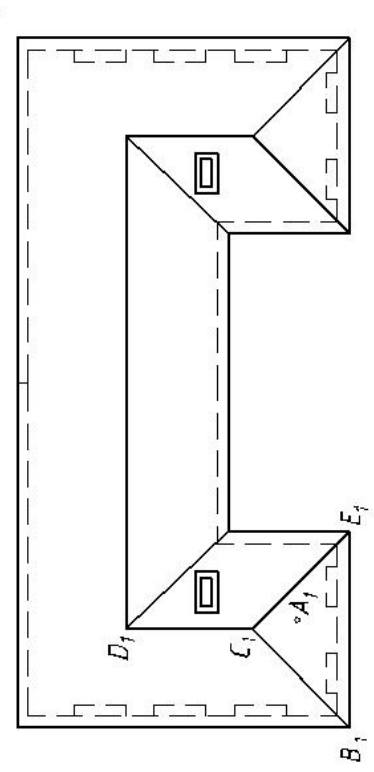
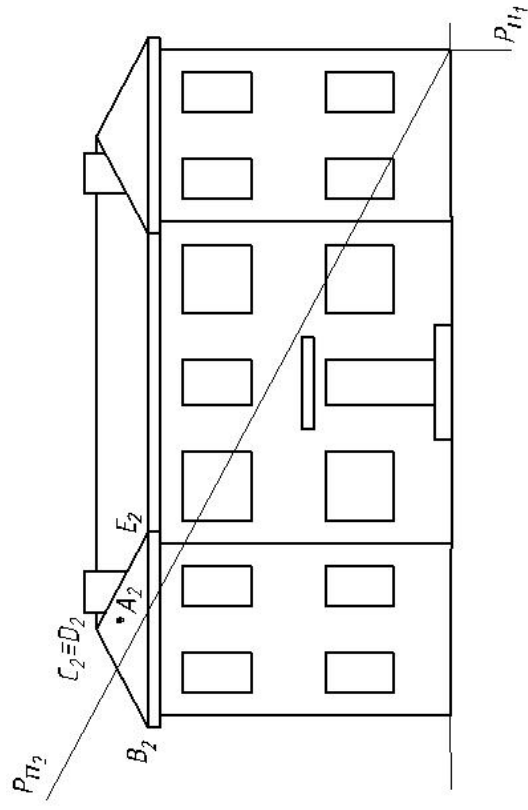
7, 17, 27

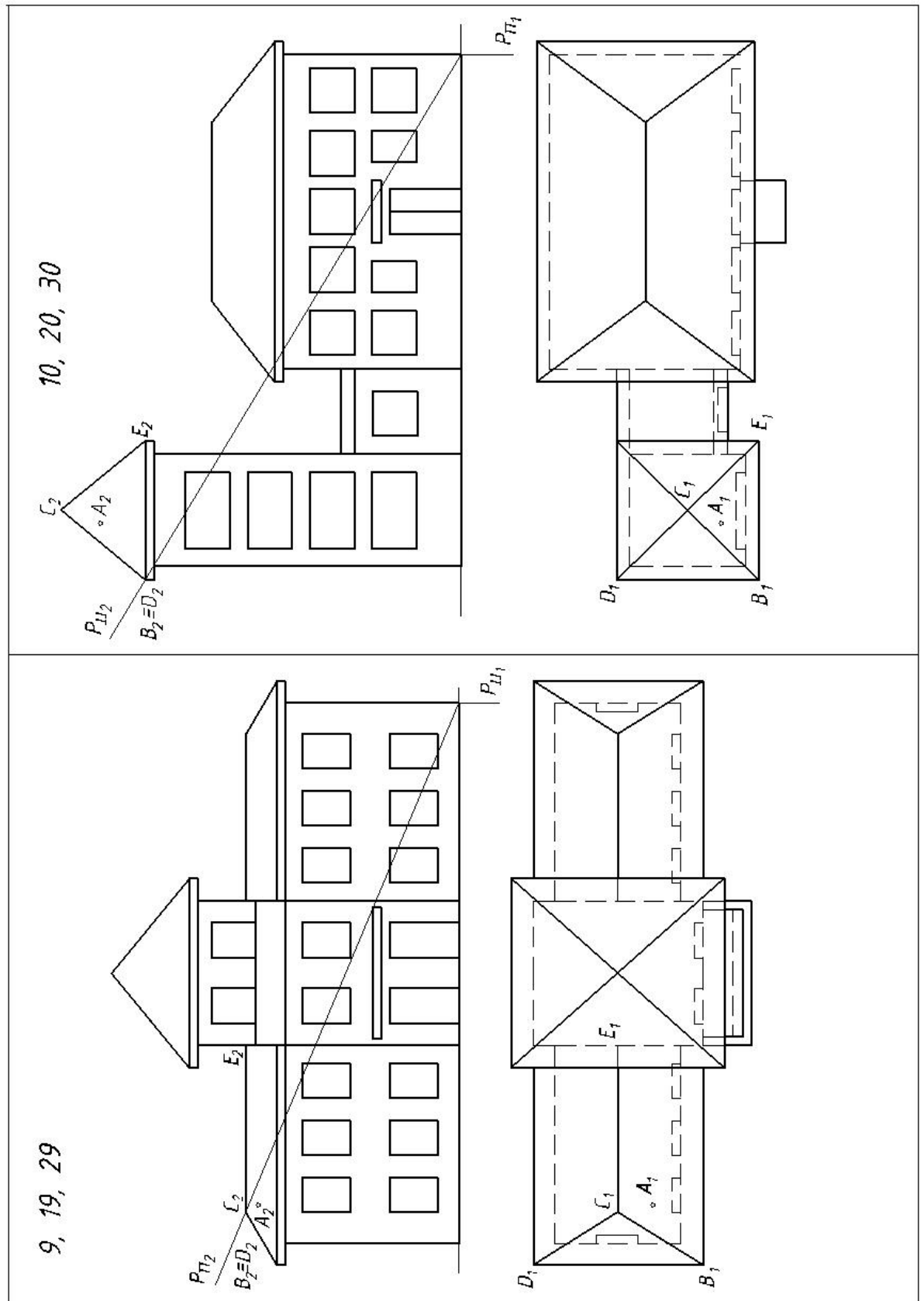


$P_{\Pi_1}$



8, 18, 28





Так как секущая плоскость  $P$  занимает фронтально-проецирующее положение, то фронтальная проекция фигуры сечения совпадает с фронтальным следом секущей плоскости. Из фронтальных проекций точек, принадлежащих элементам

фигуры сечения, проводят линии связи и находят их горизонтальные проекции. Горизонтальную проекцию фигуры сечения заштриховать. Теперь, имея горизонтальную и фронтальную проекции фигуры сечения, находят ее натуральную величину. Для этого надо, чтобы плоскость фигуры сечения была параллельна плоскости проекций. Поэтому новую плоскость проекций  $\Pi_4$  располагают параллельно фронтально-проецирующей проекции фигуры сечения и перпендикулярно плоскости проекций  $\Pi_2$ . Строят проекции точек в системе  $\Pi_1|\Pi_4$ , учитывая, что проекции точек лежат на линиях связи перпендикулярных оси, а расстояние новой проекции точки до новой оси должно равняться расстоянию от заменяемой проекции точки до предыдущей оси. Стороны полученной натуральной величины фигуры сечения обвести красной пастой или карандашом и заштриховать.

Для решения *задачи VI* рассмотреть пример в учебнике [6, с. 95, рис. 265, 266].

Расстояние от точки до прямой на чертеже будет проецироваться в натуральную величину в том случае, если прямая займет проецирующее положение. Соблюдая правила вращения геометрических фигур вокруг оси, перпендикулярной плоскости проекций, задачу решают в два действия.

1. Привести прямую  $BC$  в частное положение, т.е. параллельное плоскости проекций. Для получения фронтальной прямой необходимо горизонтальную проекцию прямой вместе с точкой  $A$ , не изменяя их геометрических размеров, расположить параллельно оси  $X$ . При этом фронтальные проекции точек будут перемещаться по прямым параллельным оси  $X$ .

2. Привести прямую  $BC$  из положения фронтальной прямой в положение проецирующей прямой, т.е. перпендикулярной плоскости проекций. Для получения горизонтально-проецирующей прямой необходимо фронтальную проекцию прямой вместе с точкой  $A$ , не изменяя их геометрических размеров, расположить перпендикулярно оси  $X$ . При этом горизонтальные проекции точек будут перемещаться по прямым параллельным оси  $X$ . Определить расстояние от точки  $A$  до прямой  $BC$ . Оно равно отрезку перпендикуляра  $AK$  опущенного из точки  $A$  на прямую  $BC$ , выродившуюся в горизонтальной плоскости проекций в точку. Используя правило проецирования прямого угла, достроить фронтальную проекцию перпендикуляра  $AK$ . Проекция перпендикуляра обвести красной пастой или карандашом.

Для решения *задачи VII* рассмотреть пример в учебнике [6, с. 56, рис. 167].

Двугранный угол измеряется линейным углом, составленным линиями пересечения граней двугранного угла с плоскостью, перпендикулярной к его ребру. Для того, чтобы линейный угол проецировался на плоскость проекций в натуральную величину, надо новую плоскость проекций поставить перпендикулярно к ребру двугранного угла.

При применении способа замены плоскостей проекций нужно иметь в виду, что фигура не меняет своего положения в пространстве, плоскость же проекций  $\Pi_1$ , а затем  $\Pi_2$  заменяют новой плоскостью, соответственно  $\Pi_4$  и  $\Pi_5$ . Решение задачи выполняется в два действия. Во время первого преобразования чертежа плоскость  $\Pi_4$  располагают параллельно ребру  $BC$ , во время второго – перпендикулярно.

Натуральную величину двугранного угла обвести красной пастой или карандашом.

### Графическая работа 3

#### ВЗАИМНОЕ ПЕРЕСЕЧЕНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ. РАЗВЕРТКА КОНУСА

**Цель работы:** закрепление знаний и приобретение навыков в решении позиционных задач на поверхностях вращения и построение Развертки боковой поверхности конуса.

#### Задание

**Задача VIII.** Построить проекции линии пересечения двух поверхностей способом вспомогательных секущих плоскостей.

**Задача IX.** Построить проекции линии пересечения двух поверхностей способом концентрических сфер.

**Задача X.** Построить развертку боковой поверхности конуса с нанесением линии пересечения по условию задачи VIII или задачи IX.

Пример выполнения задания приведен на рис. 2.13.

#### Порядок выполнения работы

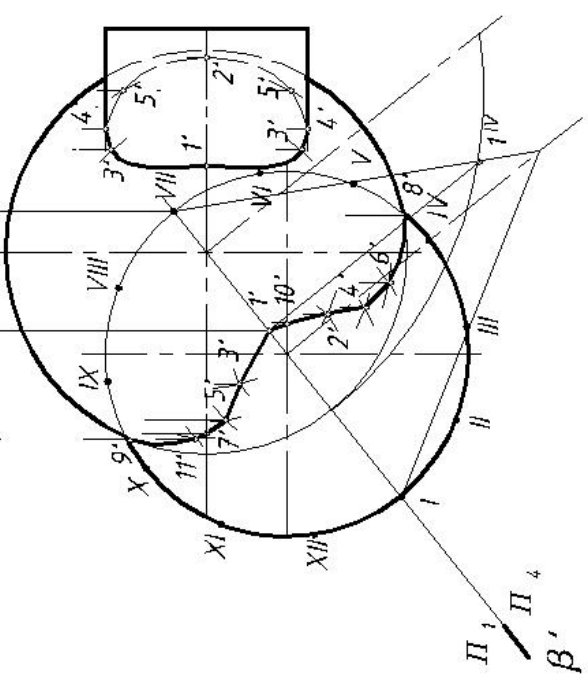
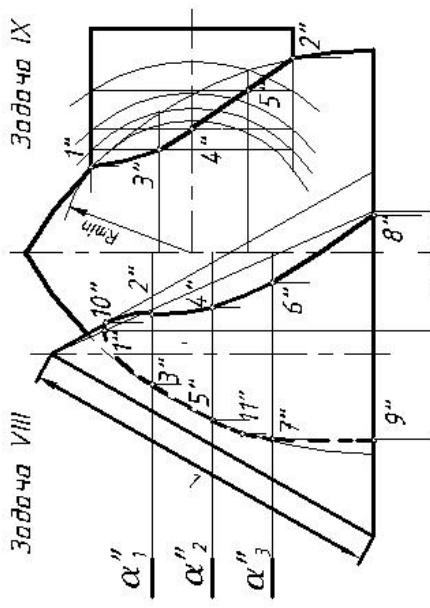
Для решения **задачи VIII** рассмотреть пример в учебнике [1, с. 200, рис. 398; с. 217–220, рис. 426, 428].

Задание выполняют на чертежной бумаге формата А3. В левой половине листа строят проекции трех поверхностей вращения согласно данным по вариантам (см. табл. 2.2 и рис. 2.14). Способом вспомогательных секущих плоскостей

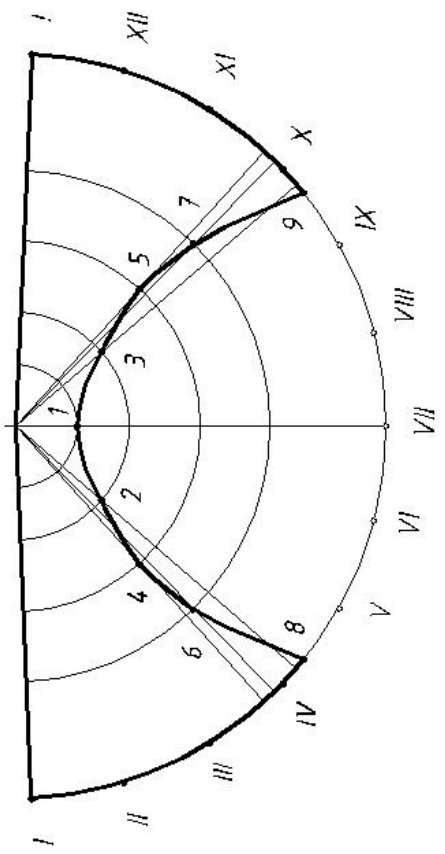
решают ту задачу, в условии которой проекции осей вращения смещены относительно друг друга в обеих плоскостях проекций.

## 2.2. Данные к задачам VIII, IX, X, мм

№ варианта	$a(\alpha^\circ)$	$b$	$c$	№ варианта	$a(\alpha^\circ)$	$b$	$c$	№ варианта	$a(\alpha^\circ)$	$b$	$c$
1	40	20	50	11	40	10	45	21	50	20	40
2	40	20	30	12	50	20	40	22	50	40	30
3	50	40	20	13	55	30	20	23	60	40	10
4	25	40	20	14	25	30	20	24	20	40	25
5	90	35	20	15	85	40	15	25	95	35	15
6	20	5	25	16	10	5	20	26	0	10	20
7	10	35	30	17	10	25	35	27	5	25	40
8	50	20	35	18	40	15	35	28	35	20	30
9	90	15	25	19	80	15	20	29	70	10	25
10	65	15	20	20	60	20	15	30	55	20	20



Задача X



ТГТУ 290300 101		Лист	Масса	Листов
Взаимное пересечение поверхностей.		№ докум.	Исполн.	Экз.
Развертка конуса		Разработ.	Петров	Лист
Лист		Лист	Лист	Лист
Лист		ЛГ и КГ гр.С-11		

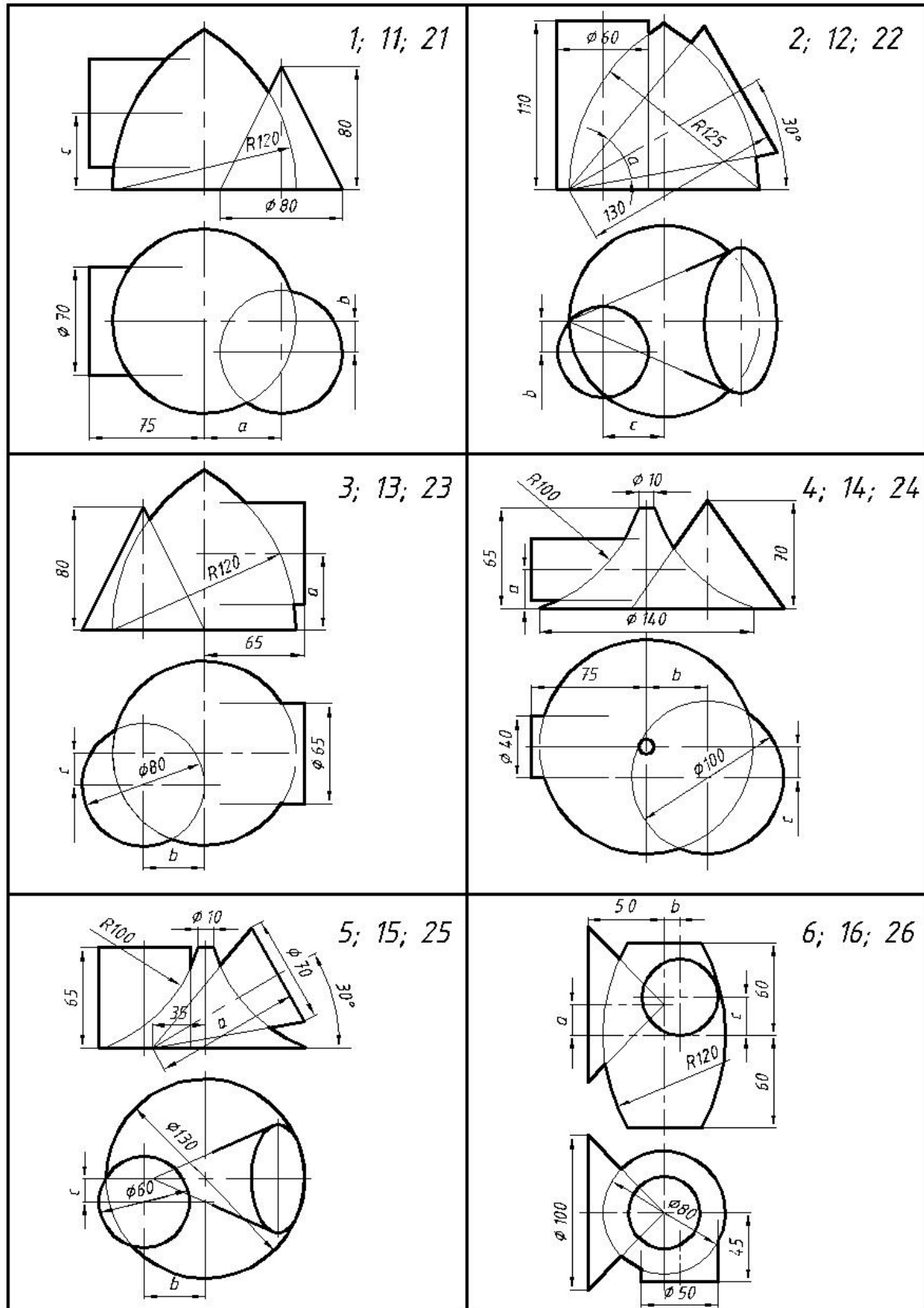


Рис. 2.14. Варианты индивидуальных заданий к графической работе 3



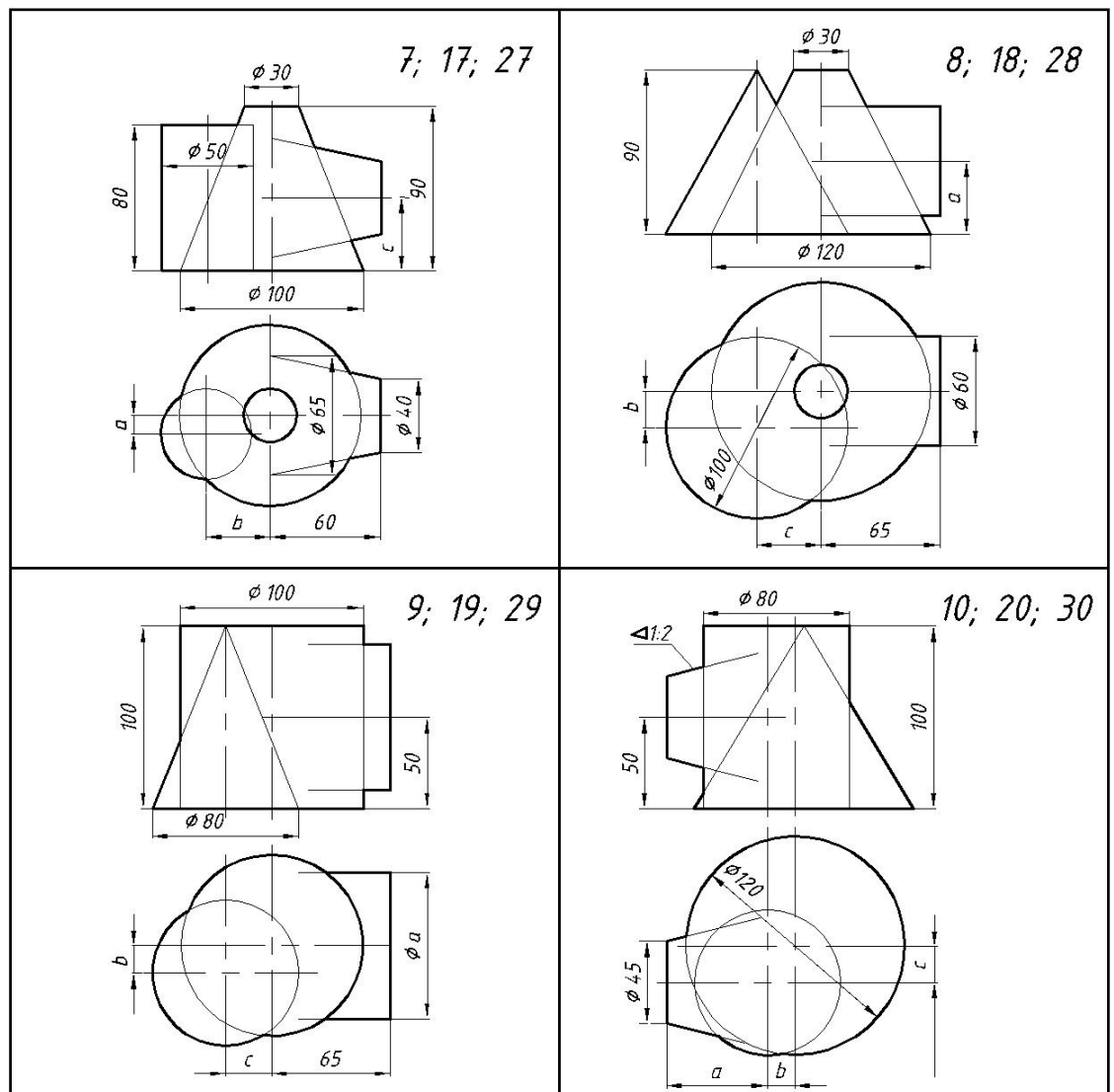


Рис. 2.14. (Окончание)

Для построения линии пересечения находят ряд точек, принадлежащих линии пересечения. Для этого проводят секущую плоскость, строят линии, по которым она рассекает каждую поверхность, и в пересечении построенных линий пересечения находят искомые точки. Для нахождения верхней точки линии пересечения тел вращения проводят секущую плоскость через оси вращения обеих поверхностей. В рассмотренном примере для построения натуральных величин образующих, лежащих в секущей плоскости  $\beta$ , использован способ перемены плоскостей проекций. В плоскости проекций  $\Pi_4$  образующие конуса и тора пересекаются в точке  $I^{IV}$ , проведя линии связи находят горизонтальную и фронтальную проекции точки  $I$ . Между верхней и нижними точками линии пересечения проводят промежуточные горизонтальные секущие плоскости. Каждая плоскость рассекает тор и конус по окружностям. Их горизонтальные проекции пересекаются в двух точках, принадлежащих искомой линии пересечения. Проведя линии связи этих точек до фронтального следа секущей плоскости, по-

лучают их фронтальные проекции. Построив определенное количество точек, принадлежащих линии пересечения, соединяют их горизонтальные проекции. Выделяют на горизонтальной проекции линии пересечения точку, лежащую на горизонтальной проекции очерковой образующей той поверхности, которая ближе расположена к наблюдателю. В примере это точка 10. Она будет определять видимость линии пересечения во фронтальной плоскости проекций. Линию пересечения выделить красным цветом.

Для решения *задачи IX* рассмотреть пример в учебнике [1, с. 206–212, рис. 409, 413, 416].

Для решения задачи методом вспомогательных концентрических сфер в условии задачи необходимо присутствие следующих пунктов:

- 1) обе поверхности должны быть поверхностями вращения;
- 2) оси вращения должны пересекаться;
- 3) оси вращения должны лежать в одной плоскости, параллельной одной из плоскостей проекций.

Центром сфер является точка пересечения осей вращения. Сфера пересекает обе поверхности по окружностям. Фронтальные проекции окружностей изображаются отрезками прямых линий, которые пересекаются в искомой точке. Сначала проводят сферу минимального радиуса, она касается поверхности одного тела и пересекает другое. При этом находят ближайшую к центру сфер точку линии пересечения, в примере это точка 3". Построив горизонтальную проекцию окружности, на которой она расположена, и проведя линию связи, находят ее горизонтальную проекцию. Изменяя радиус вспомогательной секущей сферы, можно получить последовательный ряд точек линий пересечения. Точки пересечения фронтальных меридианов заданных поверхностей вращения принадлежат искомой линии пересечения. Они определяются на чертеже без каких-либо дополнительных построений. Построив определенное количество точек, принадлежащих линии пересечения, сначала соединяют их фронтальные проекции. Определив точку видимости, в примере это точка 4, строят горизонтальную проекцию линии пересечения. Линию пересечения выделить красным цветом.

Для решения *задачи X* рассмотреть примеры в учебнике [1, с. 183–185, рис. 378].

В правой половине листа строят развертку боковой поверхности конуса.

Разверткой поверхности конуса вращения является круговой сектор с углом  $\omega = R/L \cdot 360$ , где  $R$  – радиус окружности основания конуса вращения;  $L$  – длина образующей. На развертке конуса вращения точки, принадлежащие линии пересечения, строят с помощью прямолинейных образующих и параллелей. Линию пересечения выделить красным цветом.

## **Графическая работа 4**

### **ТЕНИ В ОРТОГОНАЛЬНЫХ ПРОЕКЦИЯХ**

**Цель работы:** изучение способов построения теней в ортогональных проекциях и приобретение навыков в их построении.

#### **Задание**

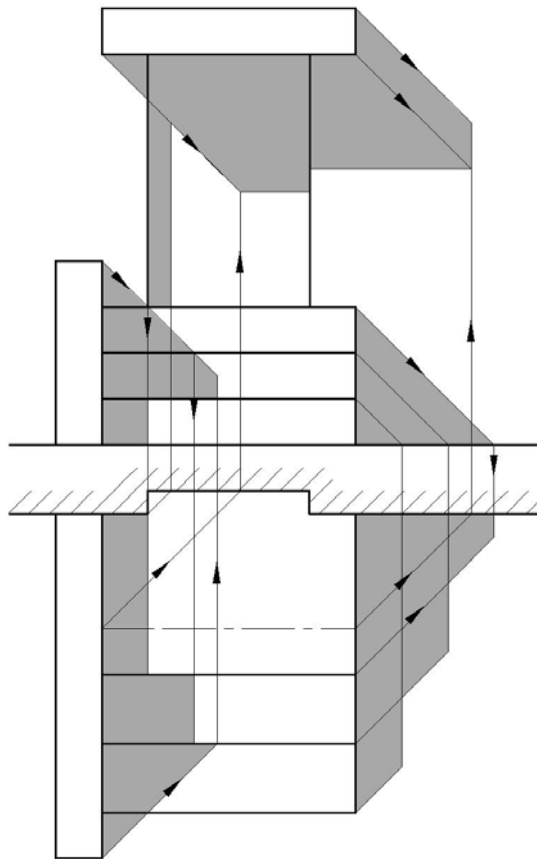
На плане и фасаде здания построить собственные и падающие тени, тени от здания на землю.

Пример выполнения приведен на рис. 2.15.

#### **Порядок выполнения работы**

Для выполнения задания рассмотреть пример в учебнике [6, с. 241, рис. 598 и с. 245–247, рис. 604–609; 7, с. 190–191, рис. 403, 404].





**Рис. 2.16. Тени от козырька и бокового ограждения ступеней**

Задание выполняют на чертежной бумаге формата А2 согласно своему варианту (см. рис. 2.12); увеличив исходные размеры в три раза, строят проекции здания, располагая фасад и план на достаточном расстоянии друг от друга, необходимом для построения падающей на землю тени. Положение проекций светового луча указывает преподаватель. В тонких линиях строят контуры собственных и падающих теней.

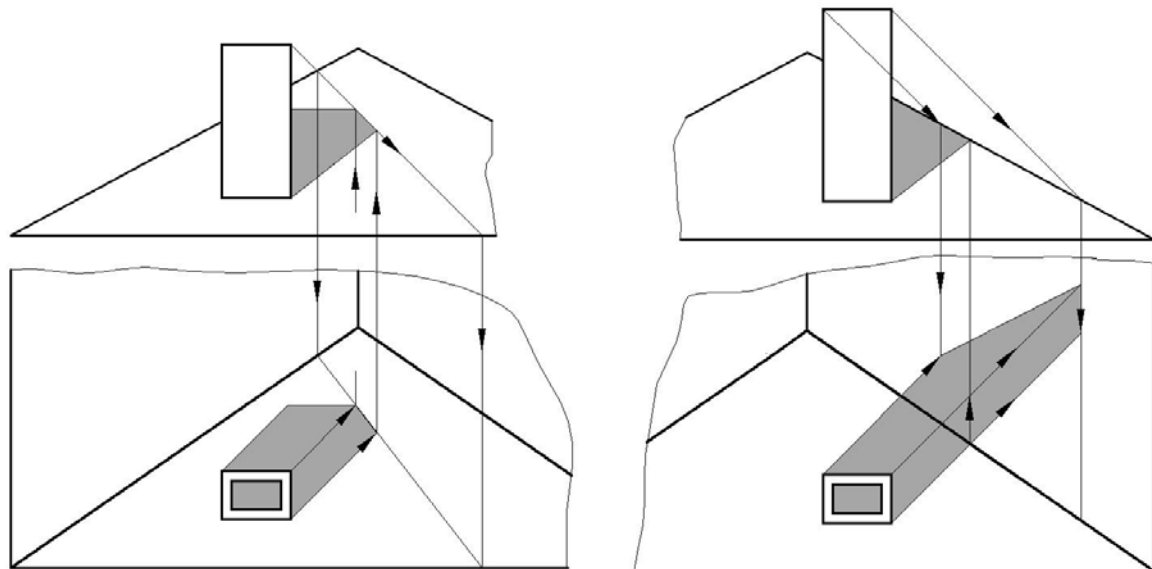
После проверки преподавателем выполненных построений чертеж отмывают. Отмывка выполняется сильно разведенной тушью или акварелью. Поверхности объекта покрываются одним слоем, собственные тени – двумя слоями, падающие тени – тремя слоями.

Чертеж обводят и заполняют основную надпись.

Построение теней на фасадах зданий основано на определении точек пересечения световых лучей с вертикальными и горизонтальными плоскостями фасада и его элементов.

Примеры построения теней от некоторых элементов здания рассмотрены на рис. 2.16.

На рис. 2.17 рассмотрено построение падающих теней от трубы на скаты крыши, основанное на определении точек пересечения световых лучей с плоскостями общего положения.



**Рис. 2.17. Построение падающих теней от трубы на скаты крыши**  
**Графическая работа 5**

### **ПЕРСПЕКТИВА ОБЪЕКТА И ТЕНИ**

**Цель работы:** закрепление знаний и приобретение навыков в построении перспективы строительных объектов и теней в перспективе.

#### **Задание**

По заданным ортогональным проекциям объекта (фасаду и плану) (рис. 2.22) методом архитекторов построить его перспективную проекцию с опущенным планом, тени собственные и падающие.

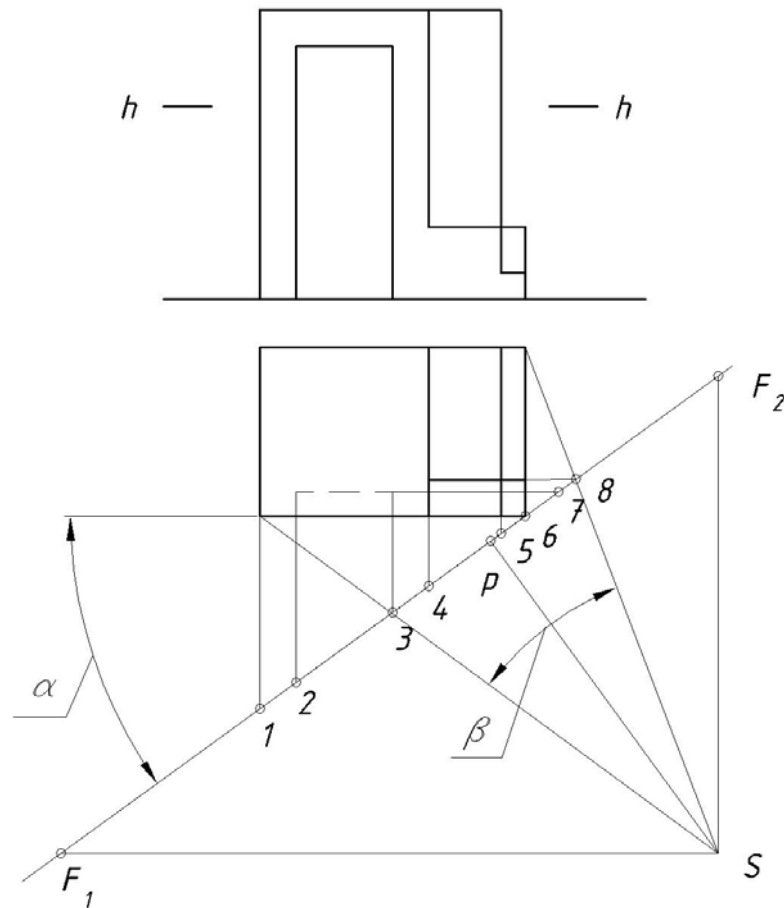
Пример выполнения приведен на рис. 2.20.

#### **Порядок выполнения работы**

Для выполнения задания рассмотреть пример в учебнике [6, с. 226–227, рис. 567–569 и с. 255–257, рис. 629–631; 7, с. 151–156, рис. 322–330].

Задание выполняют на листе чертежной бумаги формата А1 карандашом. В левом верхнем углу располагают ортогональные проекции объекта, которые выбирают согласно своему варианту (см. рис. 2.22), увеличив размеры проекций в 1,5 раза.

**Построение перспективы.** Для построения перспективы выполняют определенный геометрический аппарат (см. рис. 2.18). Для того чтобы обеспечить удачное перспективное изображение предмета, рекомендуется руководствоваться следующими правилами, выработанными практикой.



**Рис. 2.18. Геометрический аппарат для построения перспективы**

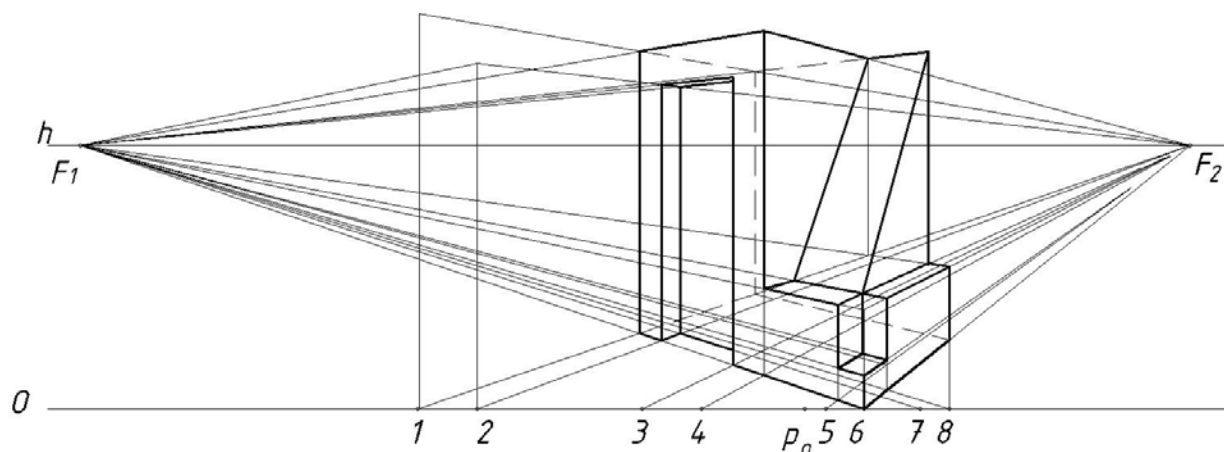
1. Картинную плоскость ориентируют так, чтобы ее горизонтальный след  $O - O$  составлял с главным фасадом угол  $\alpha$  от  $25^\circ$  до  $30^\circ$ . Боковой фасад при этом получит сильное перспективное искажение, а изображение, в целом, получится более выразительным.

2. Точку стояния  $S$  следует выбирать так, чтобы угол между проецирующими лучами, направленными в крайние точки плана предмета, угол  $\beta$  составлял величину от  $18^\circ$  до  $53^\circ$ . Оптимальное значение угла зрения равно  $28^\circ$ . При этом главная точка  $P$  должна располагаться в пределах средней трети участка картинной плоскости, охватываемой углом зрения.

3. Высоту горизонта обычно принимают на уровне глаза человека, стоящего на земле, т.е.  $h = 1,5 \dots 1,7$  м. В задании положение линии горизонта указано в исходных данных.

Поскольку метод архитекторов предусматривает построение перспективы с использованием точек схода параллельных прямых двух основных направлений, то определяют точки схода горизонтальных и вертикальных линий плана. Для этого через точку стояния  $S$  проводят вертикальные и горизонтальные линии. Пересечение их с основанием картинной плоскости и дает точку схода горизонтальных линий – точку  $F_1$  и вертикальных линий – точку  $F_2$ . Определяется начало всех вертикальных линий плана – точки  $1, 2, 3, 4, 5, 6$ , а также горизонтальных – точки  $7$  и  $8$ .

Для большей наглядности перспективы ее построение лучше выполнить в масштабе увеличения относительно размеров всех элементов ортогональных проекций. Размеры построения перспективы увеличить во столько раз, сколько раз расстояние между точками схода отложится на линии горизонта. При построении перспективы объекта прежде строится перспектива его основания, т.е. перспектива плоской фигуры, лежащей в предметной плоскости, а именно: перспектива плана заданного объекта. Строят картину (рис. 2.19) и переносят на нее главную точку картины  $P$ , для этого на основании картины  $O - O$  намечают горизонтальную проекцию точки  $P_0$  и из нее восстанавливают перпендикуляр до пересечения с линией горизонта. На линии горизонта наносят точки  $F_1$  и  $F_2$  на соответственных расстояниях от точки  $P$ . На основании картины  $O - O$  наносят точки начала прямых  $1, 2 - 8$ , которые наносят также на соответственных расстояниях вправо и влево от точки  $P$ . Эти расстояния переносятся с ортогонального чертежа.



**Рис. 2.19. Построение перспективы**

Затем точки  $1, 2, 3 - 6$  соединяют с точкой  $F_2$ , а точки  $6, 7, 8 - 8$  с точкой  $F_1$ . Пересечение этих линий дает перспективу плана также как, и в ортогональных проекциях.

После того, как построена перспектива основания объекта, приступают к построению его ребер. Через все угловые точки перспективы основания проводят вертикальные прямые. От точки  $6$  на вертикальной линии откладывают истинную величину высоты ребра, которую берут с ортогонального чертежа в соответствующем масштабе, так как этот отрезок расположен в плоскости картины. Учитывая направление горизонтальных ребер объекта, через вершину ребра  $6$  проводят соответствующие линии в точки  $F_1$  и  $F_2$ . Точки их пересечения с



вертикальными прямыми определяют высоту некоторых ребер объекта.

Для того чтобы построить перспективу ребра, основанием которого является точка пересечения линии  $l - F_2$  и  $b - F_1$ , его по прямой  $l - F_2$ , как бы выводят на картинную плоскость, т.е. высота этого ребра на картинной плоскости проецируется в натуральную величину, значение которой берут с ортогональных проекций и с учетом масштаба откладывают на вертикальной прямой, проведенной через точку  $l$ . Из вершины построенного отрезка проводят линию в точку  $F_2$ . В пересечении с вертикальными прямыми, проведенными из вершин перспективы плана, получают перспективу искомого ребра. Аналогично определяют высоту перспективных проекций ребер ниши.

*Построение опущенного плана.* Если высота горизонта мала и перспектива основания заданного объекта оказывается очень сжатой, то в таком случае рекомендуется пользоваться построением так называемого опущенного плана. Перспектива основания заданного объекта строится не на предметной плоскости, а на некоторой вспомогательной горизонтальной плоскости, смещенной к низу от основания  $O - O$  на произвольное расстояние. Прямая  $O_1 - O_1$ , параллельная линии горизонта, является линией пересечения вспомогательной плоскости с картиной; ее обычно называют опущенным основанием картины. Перспектива основания предмета строится между линией  $O - O$  и  $O_1 - O_1$ . Построение показано на рис. 2.20.

*Построение тени в перспективе.* Построение собственных и падающих теней рекомендуется выполнять для случая, когда световые лучи параллельны плоскости картины. Вторичные проекции таких лучей параллельны основанию картины, а перспективы лучей параллельны между собой. Для удобства построения рекомендуется угол наклона лучей к предметной плоскости принимать равным  $45^\circ$ .

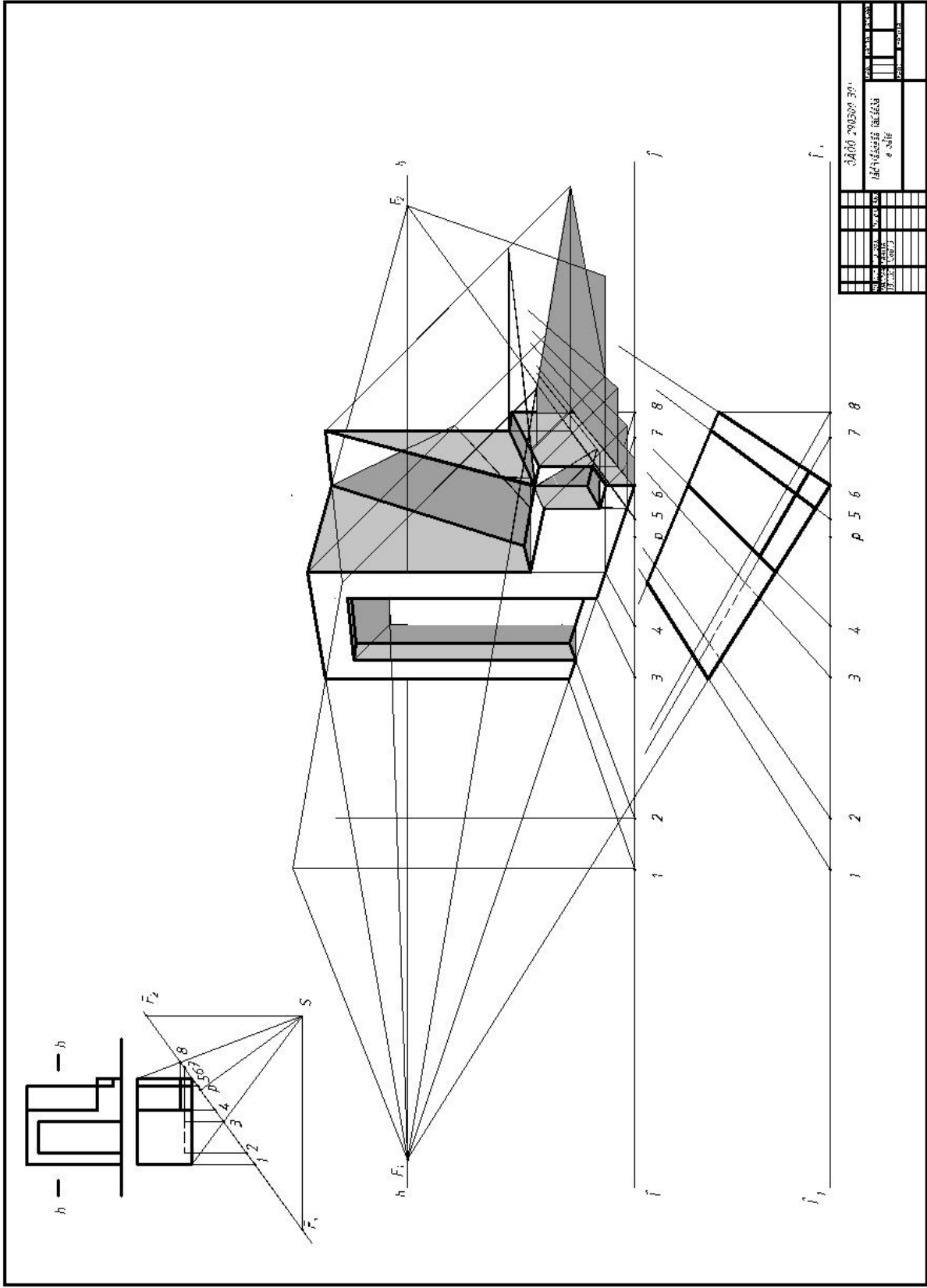
Принцип построения теней в перспективе такой же, как в ортогональных проекциях. На рис. 2.20 дано построение теней в перспективе для данного объекта.

После выполненных построений поверхности объекта отмываются слабым тоном акварели или разведенной туши. Освещенные поверхности отмывают одним слоем, собственные тени – двумя, падающие тени – тремя.

Обводку линий построения перспективы и теней, а также видимые контуры теней следует выполнять тонкими линиями

карандашом твердости Т без нажима. Обводку линий перспективы объекта следует выполнять линиями толщиной 0,6...0,8 мм.

На рис. 2.21 представлены примеры построения теней в перспективе для объектов различной конфигурации.



Имя	Фамилия	Группа	Дата
ШКОЛА № 100 МОСКВА			

1	2	3	4	5	6	7	8
1	2	3	4	5	6	7	8

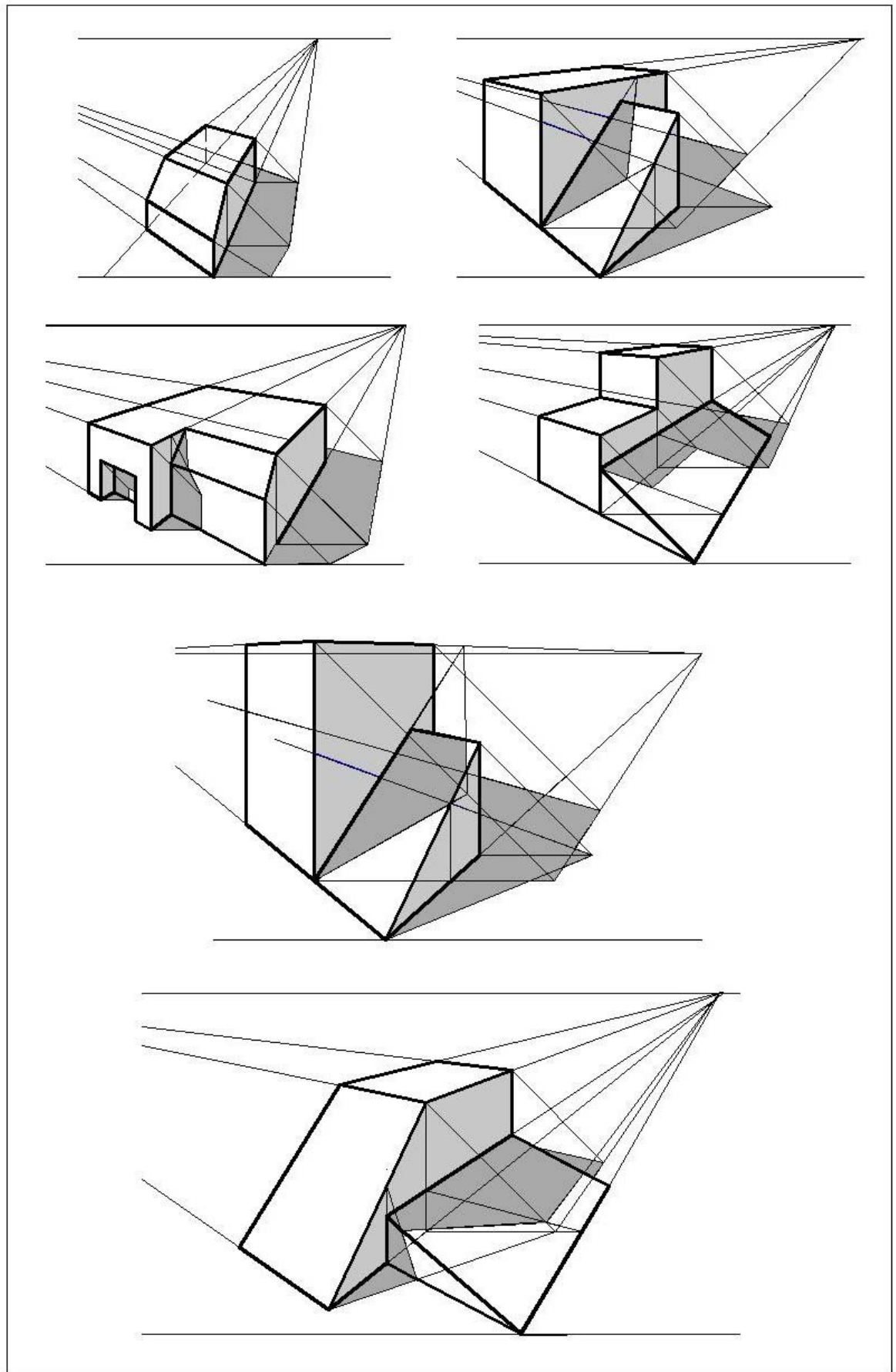


Рис. 2.21. Примеры построения теней в перспективе

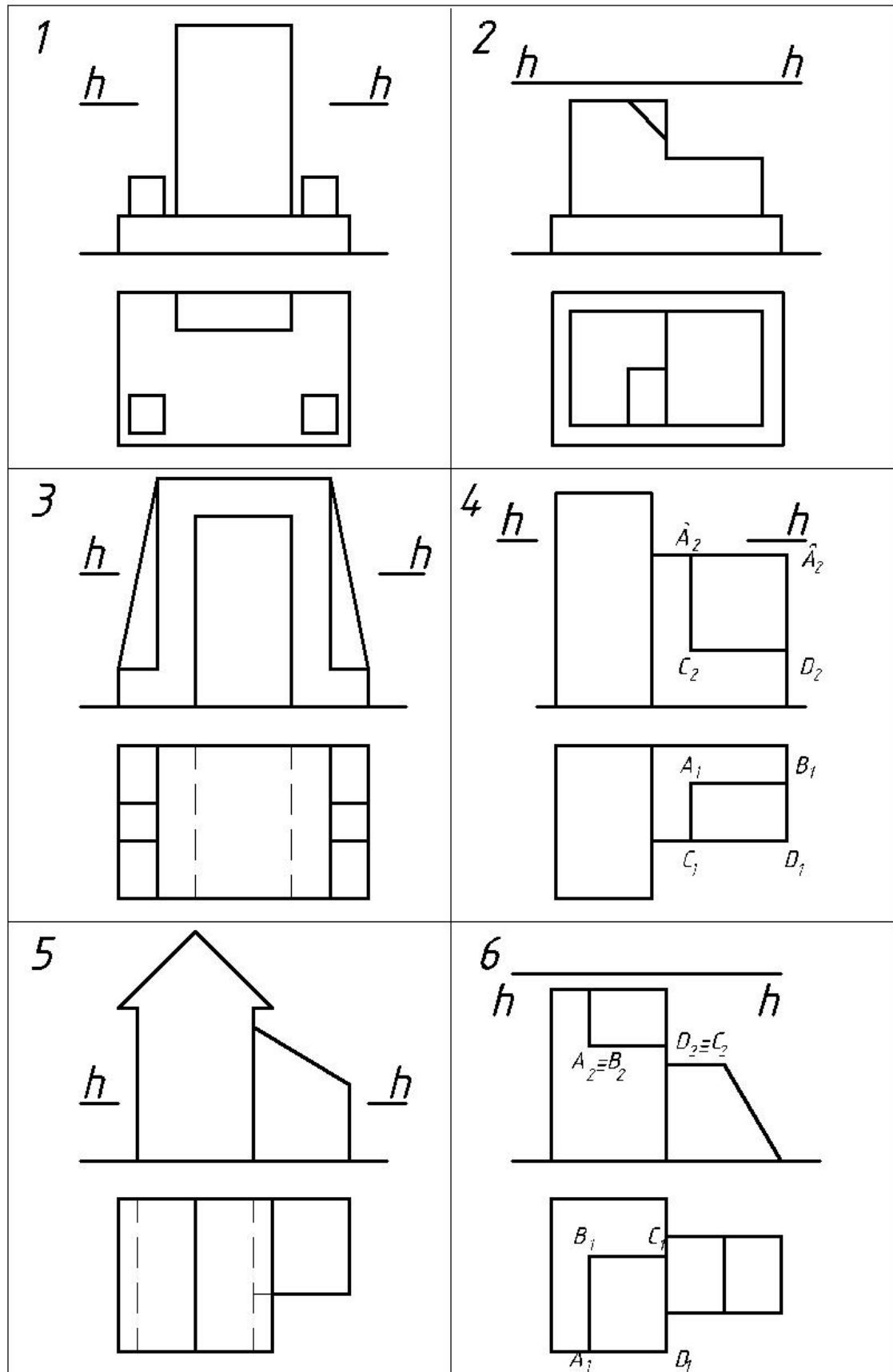


Рис. 2.22. Варианты индивидуальных заданий к графической работе 5

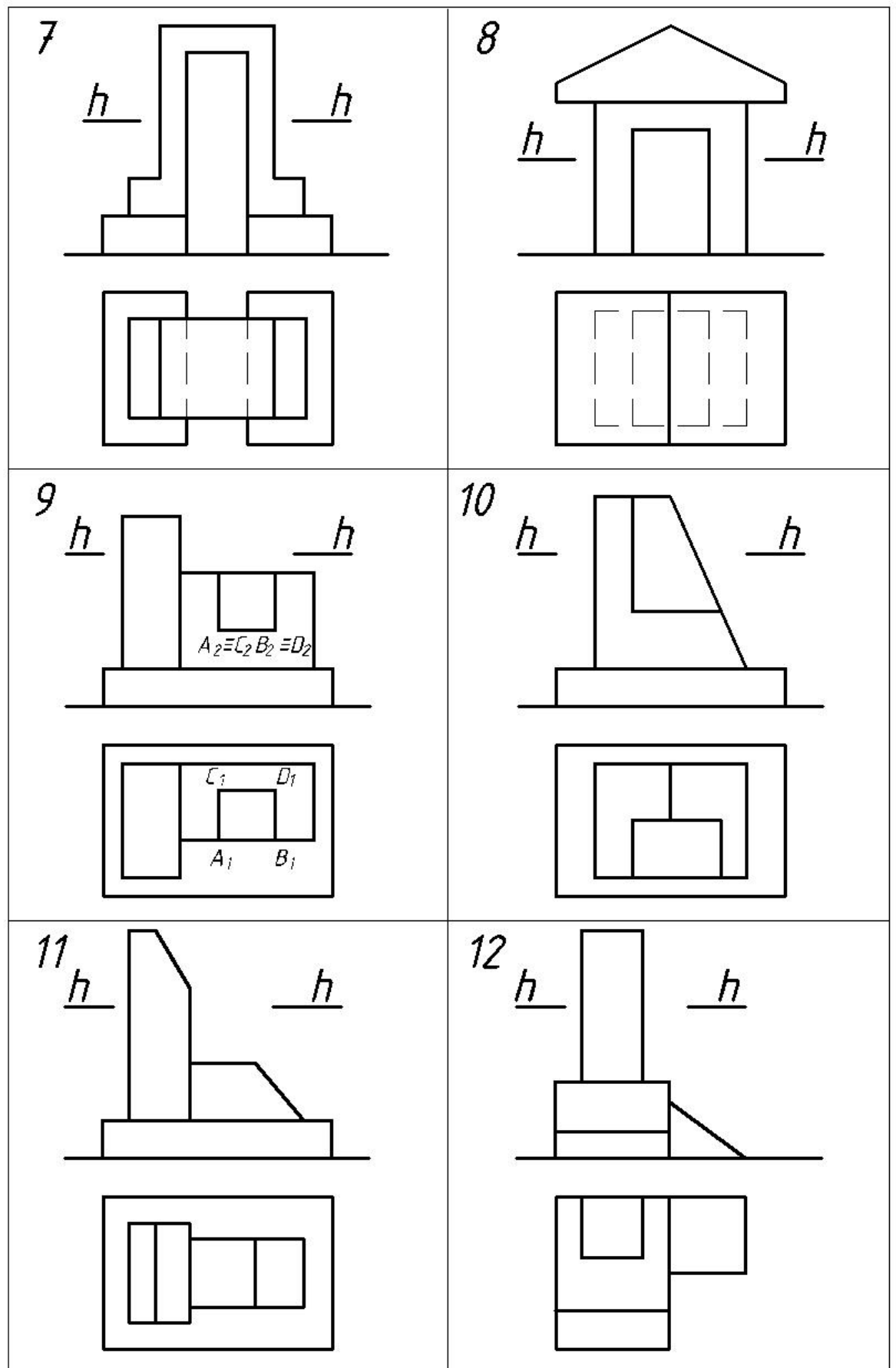


Рис. 2.22. (Продолжение)

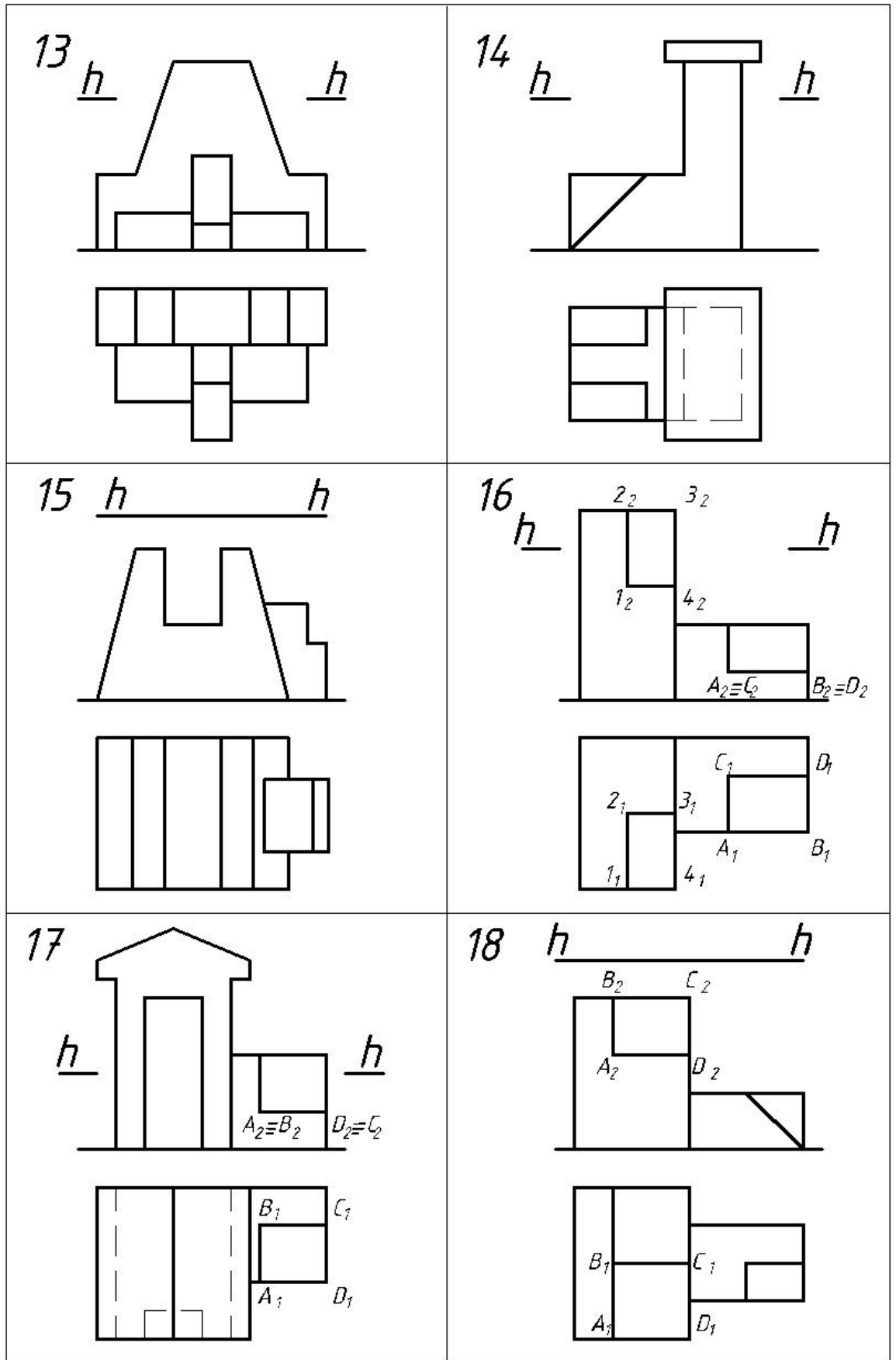


Рис. 2.22. (Продолжение)

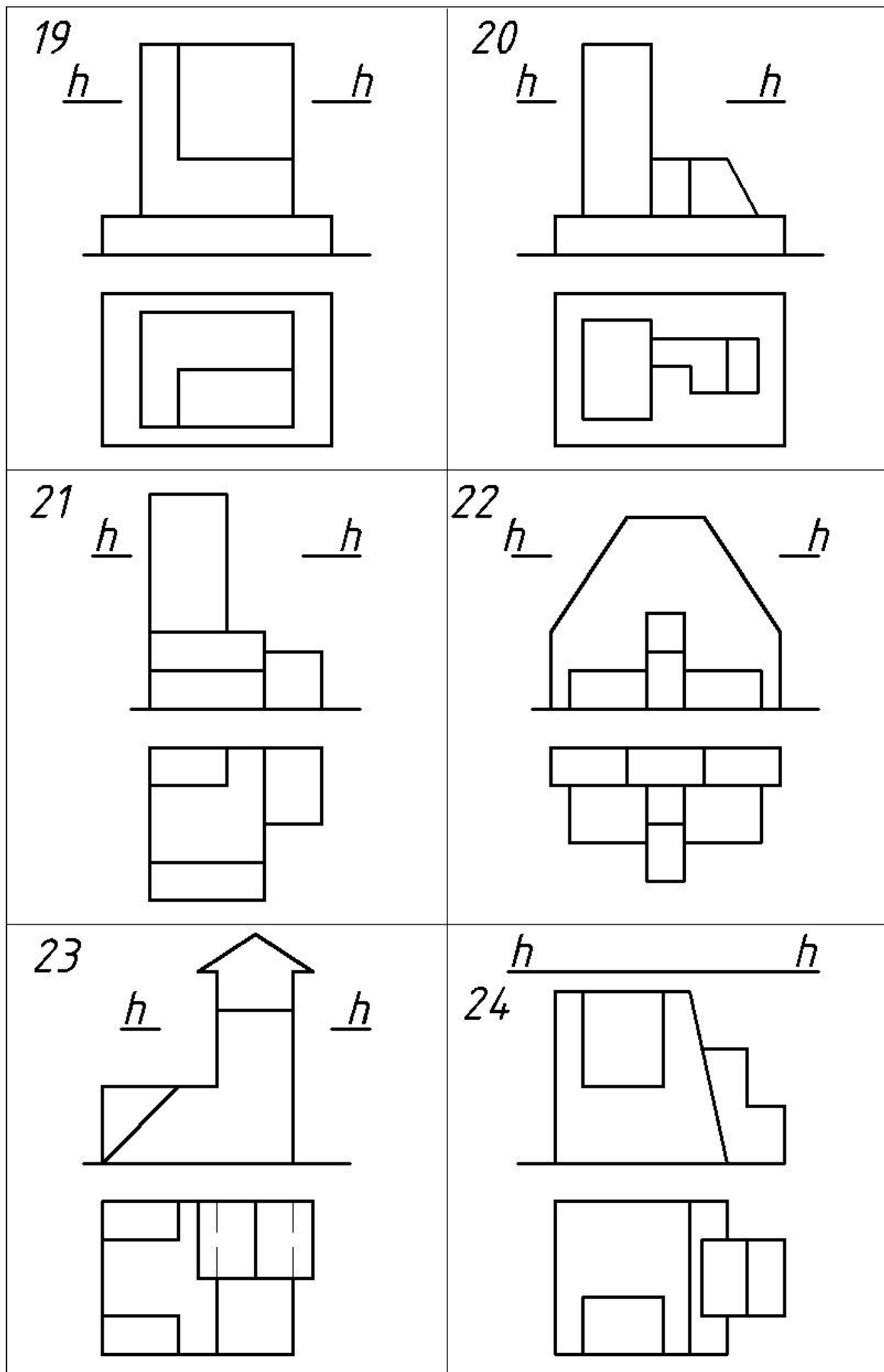


Рис. 2.22. (Продолжение)



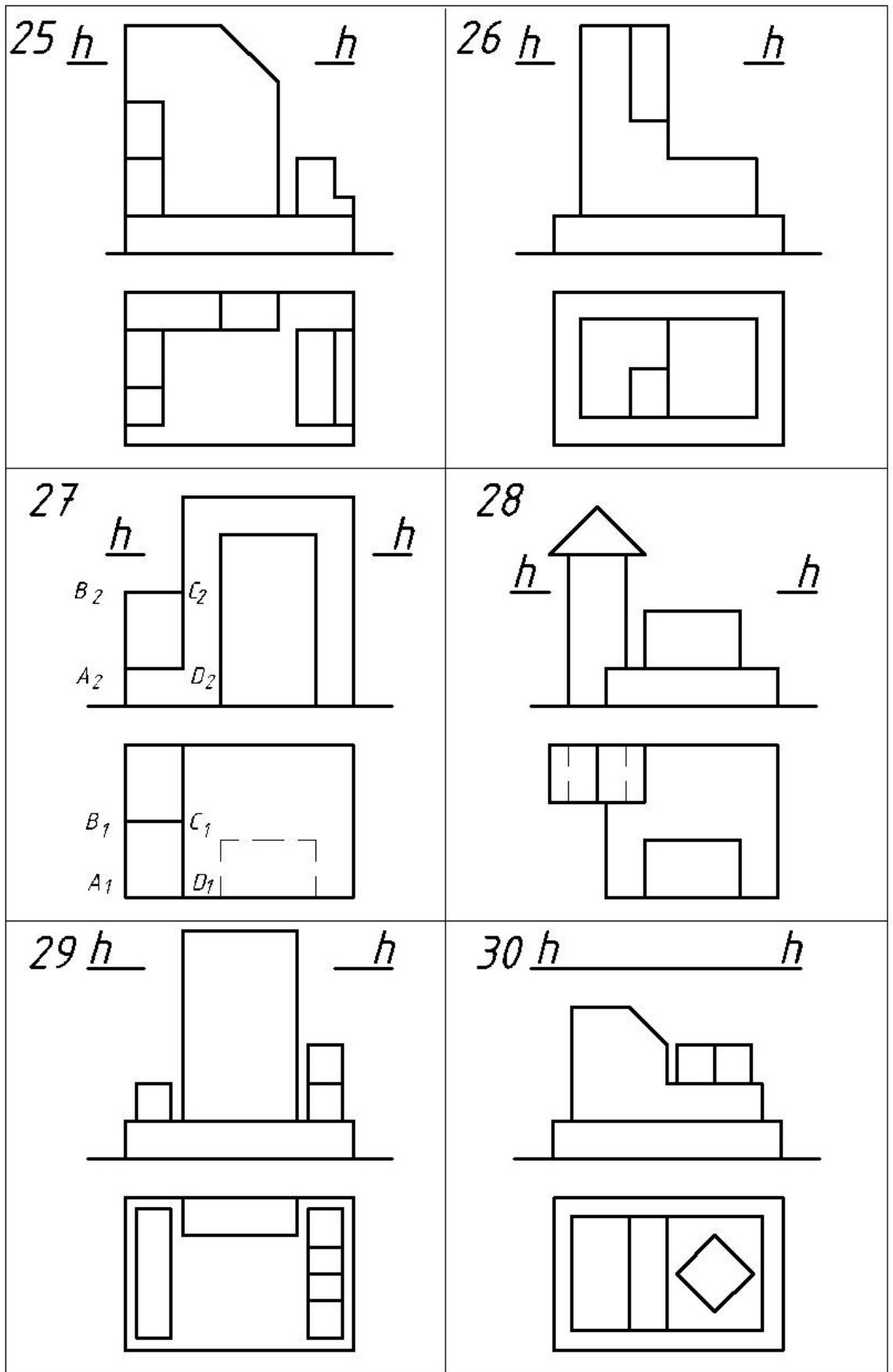


Рис. 2.22. (Окончание)

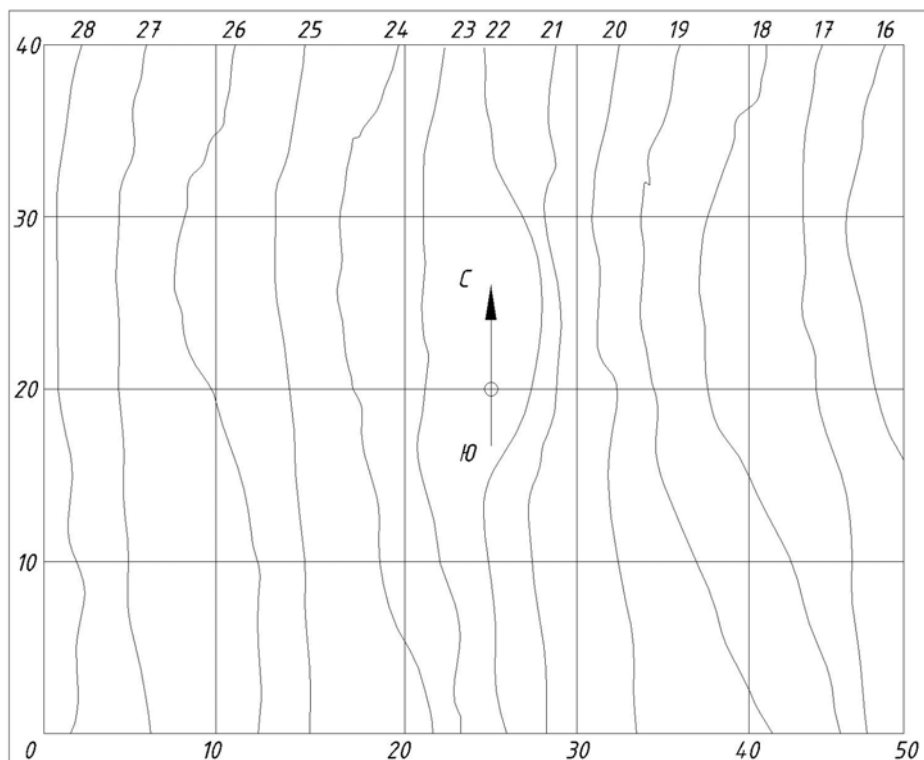
Графическая работа 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ

**Цель работы:** закрепление знаний и приобретение навыков в решении задач в разделе начертательной геометрии проекции с числовыми отметками, которые используются в строительном деле для изображения участков земной поверхности с расположенными на них сооружениями сравнительно небольшой высоты (дорог, мостов, плотин, каналов и других гидравлических сооружений)

### Задание

На бумаге формата А3 начертить в масштабе 1 : 200 план земельного участка размером 40 × 50 м, рельеф которого задан горизонталями (рис. 2.23). Нанести на него в том же масштабе план земельного сооружения так, чтобы центр сооружения 0 совместился с центром участка 0, и ось сооружения была наклонена к меридиану под углом  $\alpha$ .



**Рис. 2. 23. План земельного участка**

Тип земельного сооружения и величина угла  $\alpha$  определяется номером варианта по табл. 2.3 и рис. 2.25. Топографическую поверхность заключить в рамку, состоящую из двух линий, проведенных на расстоянии 10 мм друг от друга.

Требуется определить:

- 1) положение линии нулевых работ;
- 2) границы земляных работ, т.е. построить линии пересечения откосов насыпей и выемок как между собой, так и с топографической поверхностью;



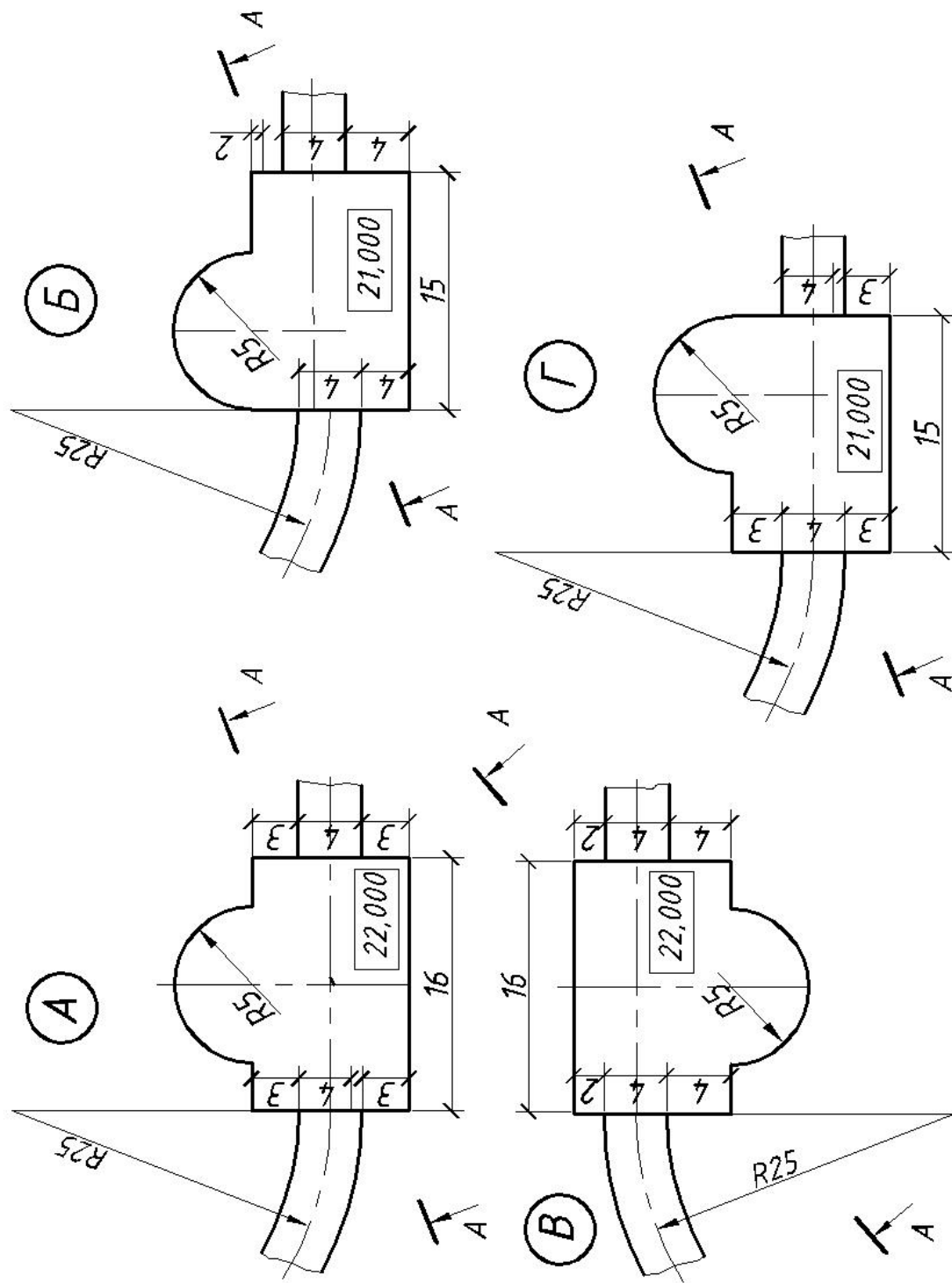


Рис. 2.25. Типы земляного сооружения

2.3. Данные к графической работе 5

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тип сооружения	А	Б	В	Г	А	Б	В	Г	А	Б
Отклонение оси	СЗ	СЗ	СЗ	СЗ	СВ	СВ	СВ	СВ	ЮЗ	ЮЗ
Угол отклонения	15°	15°	15°	15°	30°	30°	30°	30°	15°	15°
№ варианта	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Тип сооружения	В	Г	А	Б	В	Г	А	Б	В	Г
Отклонение оси	ЮЗ	ЮЗ	С	С	С	С	СЗ	СЗ	СЗ	СЗ
Угол отклонения	15°	15°	0°	0°	0°	0°	30°	30°	30°	30°
№ варианта	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Тип сооружения	А	Б	В	Г	А	Б	В	Г	А	Б
Отклонение оси	ЮВ	ЮВ	ЮВ	ЮВ	СВ	СВ	СВ	СВ	ЮВ	ЮВ
Угол отклонения	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	30°	30°

### Порядок выполнения работы

Для выполнения задания рассмотреть примеры в учебнике [6, с. 169–175, рис. 441–453].

1. Вычертить в масштабе 1 : 200 план земляного сооружения.
2. Построить линейный масштаб и масштаб уклонов.
3. Определить точки нулевых работ на кромке сооружения.
4. В местах нулевых работ построить объединенный масштаб уклона откоса выемки с масштабом уклона откоса насыпи.
5. Выполнить градуирование масштаба уклонов откосов, а также оси дороги.
6. Построить линии пересечения откосов выемок и насыпей земляного сооружения между собой.
7. Построить линии пересечения откосов выемок и насыпей земляного сооружения с топографической поверхностью.
8. Построить профиль земляного сооружения по секущей плоскости  $A - A$ .
9. Все горизонталы следует обвести тонкими (0,1 мм), но четкими линиями – как горизонталы выемок и насыпей, так и горизонталы топографической поверхности. Контур земляного сооружения и линии пересечения откосов с топографической поверхностью и между собой обводят карандашом линиями толщиной 0,4...0,6 мм. Надписи и цифры выполняются чертежным шрифтом № 3, 5 по ГОСТ 2.304–81. Отметки горизонталей топографической поверхности проставляют между рамками, ограничивающими поверхность. Внутренняя рамка должна иметь толщину линий 1 мм, а наружная – 0,5 мм.
10. Для большей наглядности и выразительности чертежа рекомендуется выполнить отмывку. Площадке и полотну до-

роги придать светло-серый, откосам насыпей и выемок – светло-коричневый, местности – светло-зеленый тон.

11. Перед отмывкой и обводкой чертежа необходимо тщательно проверить правильность графических построений, проконсультироваться у преподавателя.

Уклон прямой определяется тангенсом угла наклона прямой к плоскости уровня и обозначается  $i$ . Заложение отрезка прямой – длина его горизонтальной проекции ( $A_1B_1 = L$ , см. рис. 2.26). Подъем отрезка – разность числовых отметок его конечных точек ( $H$ ). Уклон отрезка – отношение его подъема к заложению ( $i = H/L$ ). Интервал прямой  $l$  – величина заложения при единичном подъеме  $A_1C_1 = l$ . Точка  $C$  на прямой выше точки  $A$  на 1 м. Градуирование прямой – построение проекций ее точек, имеющих целостное значение.

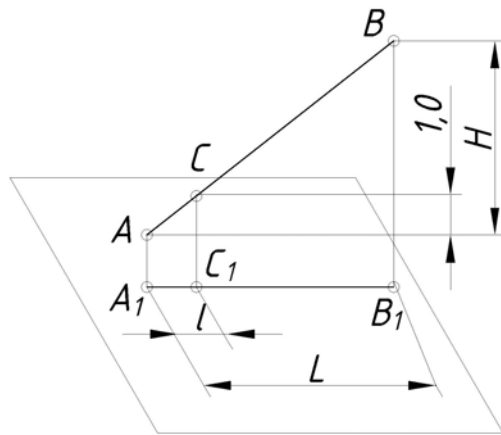


Рис. 2.26. Градуирование прямой

В проекциях с числовыми отметками плоскость задается масштабом уклона. Масштаб уклона плоскости – проградированная линия наибольшего ската плоскости (рис. 2.27).

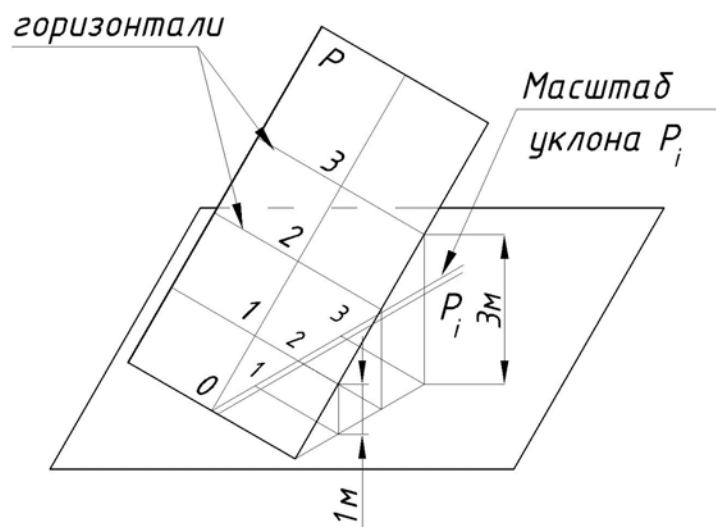
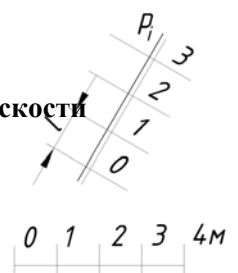


Рис. 2.27. Построение масштаба уклона плоскости



Интервал плоскости – интервал ее линии наибольшего ската (рис. 2.28).

Определим на линейном масштабе отрезок, соответствующий одному метру на местности, учитывая заданное значение масштаба 1 : 200. Подставляя единицу измерения длины, получим 1 см : 200 см. Следовательно, 5 мм соответствуют 1 м на местности.

Рис. 2.28. Задание плоскости на чертеже

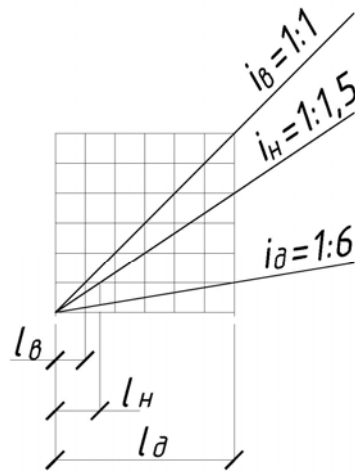


Рис. 2.29. Масштаб уклонов

Приступаем к вычерчиванию сетки плана топографической поверхности, горизонталей топографической поверхности, вычерчиваем контур земельного сооружения – площадку и прилегающие дороги.

Для построения горизонталей нужно определить интервал откоса насыпей  $l_n$ , интервал откоса выемки  $l_b$  и интервал уклона дороги  $l_d$ . Интервал

можно определить по формуле  $l = 1 : i$ , где  $i$  – уклон.

Уклон откосов выемок 1 : 1, т.е.  $i_b = 1 : 1$ .

Уклон откосов насыпей 1 : 1,5, т.е.  $i_n = 1 : 1,5$ .

Уклон дорог 1 : 6, т.е.  $i_d = 1 : 6$ .

$$l_b = 1/i_b = 1 : 1/1 = 1.$$

$$l_n = 1/i_n = 1 : 1/1,5 = 1,5.$$

$$l_d = 1/i_d = 1 : 1/6 = 6.$$

В правой части чертежа строят угловой масштаб уклонов. Для этого на линейном масштабе строят сетку квадратов, сторона каждого квадрата равна единице длины. Через начальную точку проводят прямую заданного уклона. Например, для построения углового масштаба уклонов насыпи  $i_n = 1 : 1,5$  или  $i_n = 2 : 3$  необходимо отсчитать от начальной точки в горизонтальном направлении три единицы (заложение), а в вертикальном направлении две единицы (превышение) и полученную точку соединить отрезком прямой линии с начальной точкой. Отрезок прямой отсекает на горизонталях масштаба расстояния, кратные длине интервала  $l_n$ . Также строят прямую уклона выемки  $l_b$  и дороги  $l_d$  (рис. 2.29).

Точки нулевых работ  $A$  и  $E$  на кромке строительной пло-

щадки можно определить отыскиванием мест пересечения горизонталей поверхности земли с кромкой площадки, имеющими одинаковые числовые отметки. В точках (пересечения горизонталей топографической поверхности с площадкой) проводят линии наибольшего ската. Градуируют их, откладывая полученные значения интервалов: для выемок – слева линии наибольшего ската; для насыпи – справа. Градуирование можно проделать на каждой стороне площадки и через полученные точки провести горизонталы параллельно кромкам площадки. На масштабе уклонов выемки откладываем интервалы  $l_b = 1 : 1 = 5$  мм и проводят горизонталы параллельно кромкам площадки  $AB$ ,  $BC$  и  $CD$ . Для изображения тел с кривыми поверхностями наносят горизонталы, представляющие собой линии пересечения поверхности данного тела плоскостями параллельными горизонтальной плоскости. Так прямой круговой конус будет проецироваться на горизонтальной плоскости в виде концентрических окружностей – горизонталей с центром в точке проекции оси вращения конуса расстояние между проекциями горизонталей определяют интервалы образующей данной конической поверхности.

Построение плана откоса выемки на горизонтальном криволинейном участке кромки ничем не отличается от предыдущего примера, разница состоит в том, что поверхность откоса, идущая вверх от части окружности, представляет коническую поверхность, уклон которой равен  $i_b = 1 : 1$ . Проекция горизонталей поверхности откоса представляют равноудаленные друг от друга линии – концентрические окружности, расстояние между которыми равно интервалу.

Определим линию пересечения откосов выемки  $BK$ , которая делит угол  $ABC$  пополам (рис. 2.30). Аналогично строят линию пересечения откосов выемки  $CL$ , которая делит угол  $BCD$  пополам. Линия пересечения откосов  $DM$  – кривая линия, так как коническая поверхность  $EDM$  пересекается плоскостью  $CDML$ .

Строят горизонталы на правой части строительной площадки. Здесь интервал будет соответствовать интервалу насыпи  $l_n = 7,5$  мм. Получаем линии пересечения откосов насыпи  $FN$ ,  $GP$ ,  $HR$ . Причем,  $FN$  – кривая линия, так как коническая поверхность  $EFN$  сечется плоскостью  $FGPN$ .

Так как топографическая поверхность в проекциях с числовыми отметками изображается с помощью горизонталей, то линию пересечения поверхностей откосов выемок и насыпей –  $AK$ ,  $KM$ ,  $ML$  и т.д., строят, соединив точки пересечения однозначных горизонталей откосов и поверхности земли.

Рассмотрим построение плана откосов насыпи на прямолинейном наклонном участке дороги (рис. 2.31).



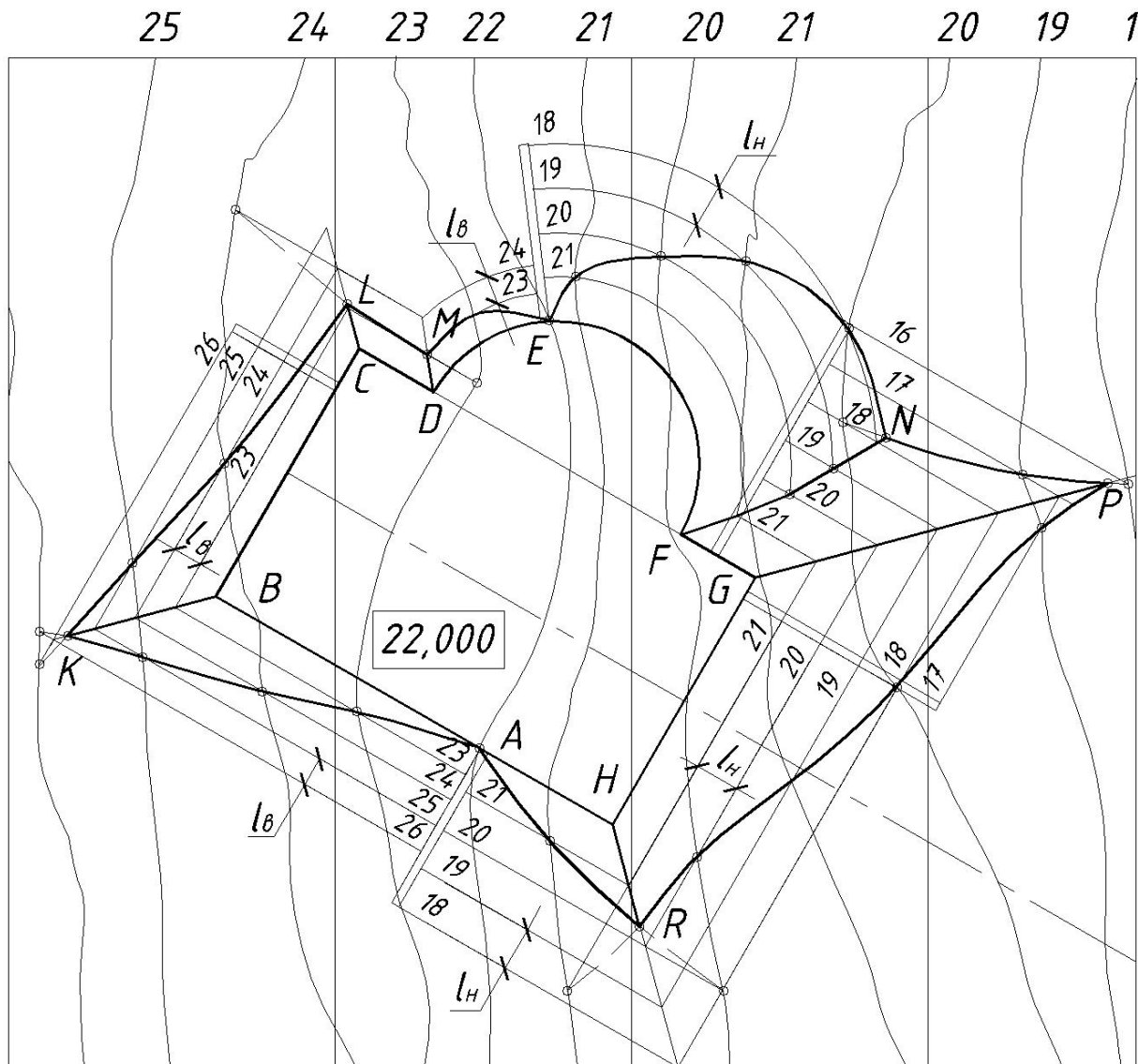
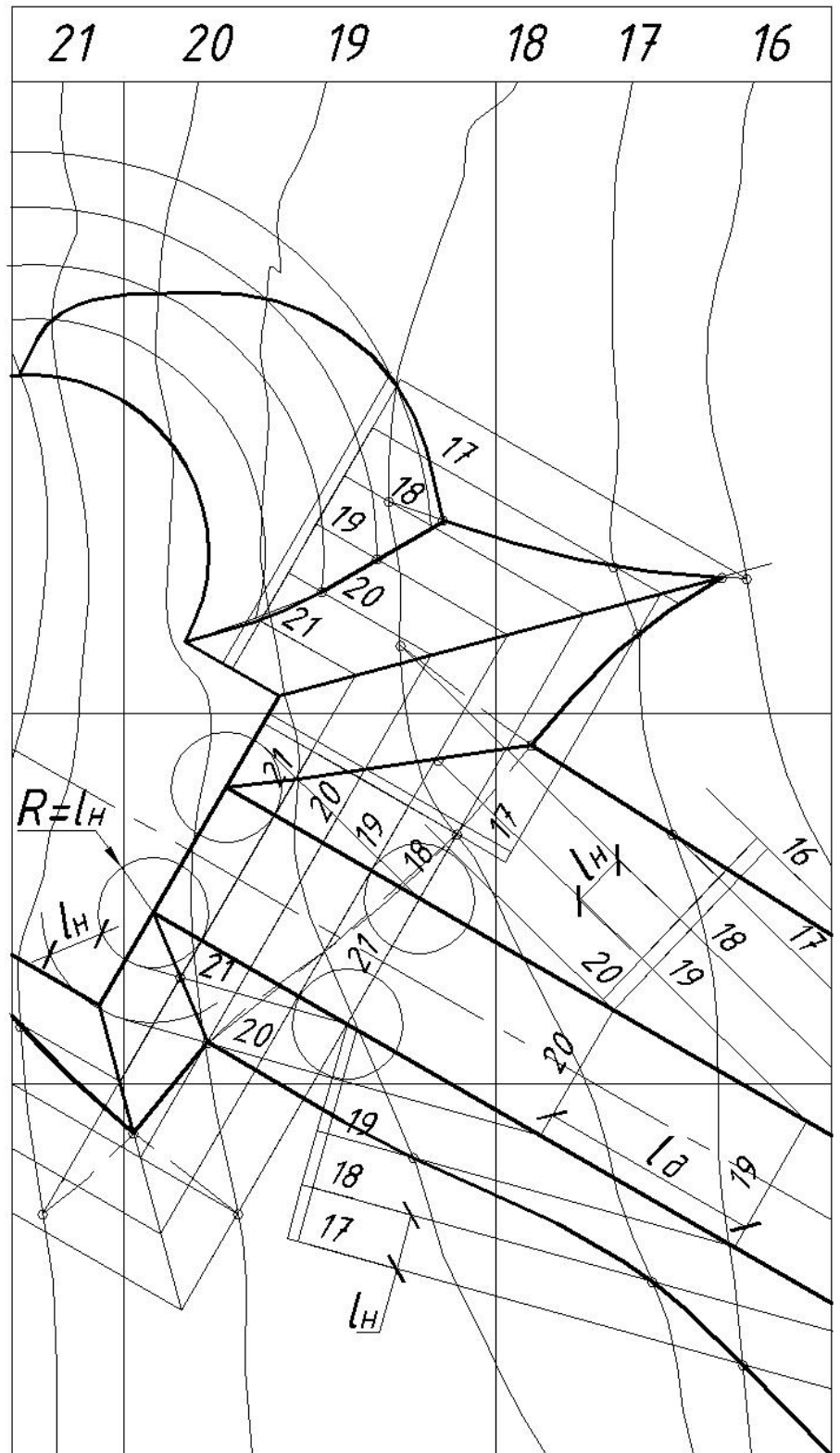


Рис. 2.30. Границы откосов вокруг площадки

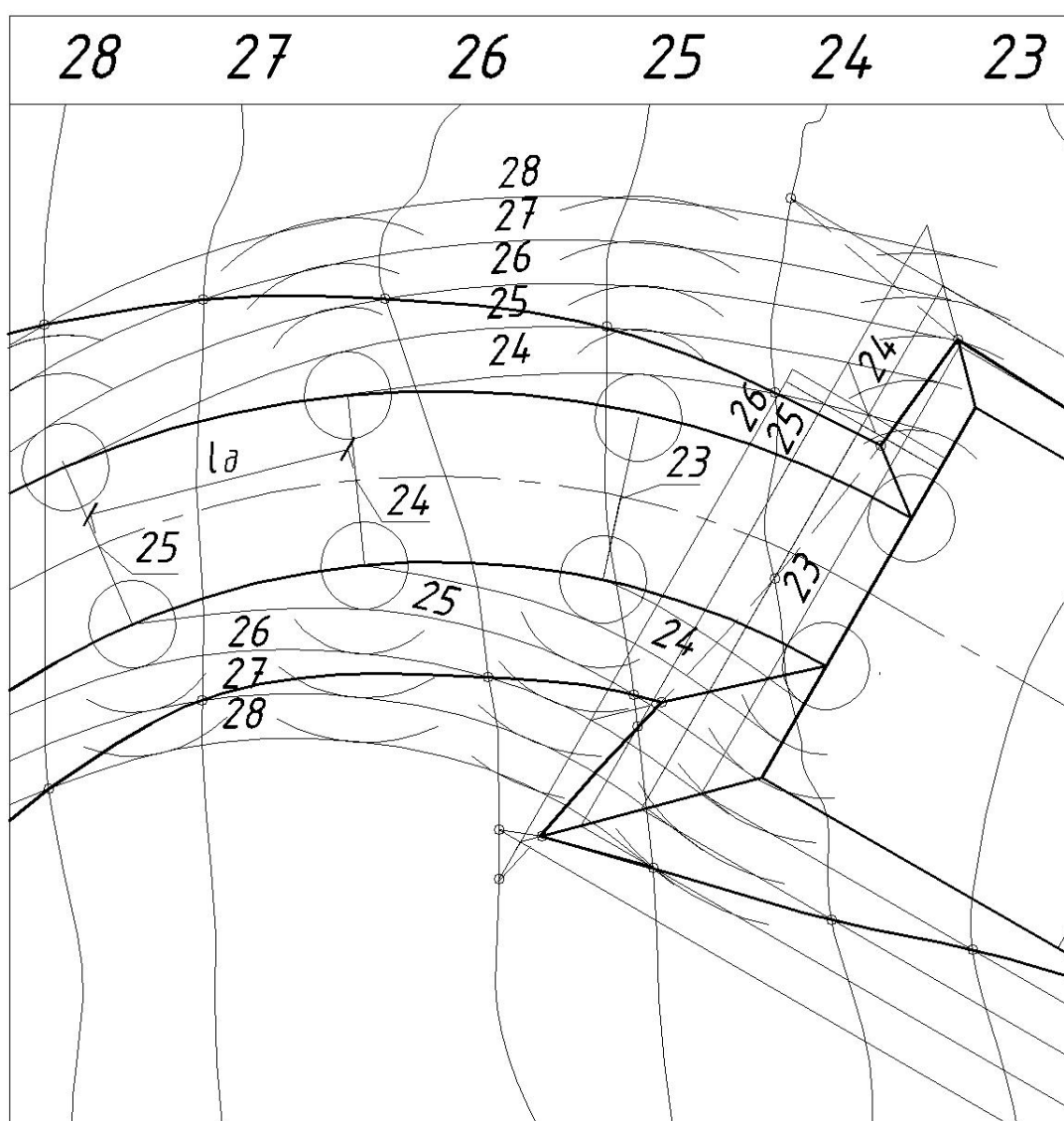


**Рис. 2.31. План откосов насыпи на прямолинейном участке дороги**

Кромки откосов насыпи, расположенные вдоль дороги, не горизонтальны, поэтому горизонталь откоса не параллельна ей. Так как откос насыпи представляет плоскость, имеющую интервал  $l_n = 7,5$  мм, то горизонталь 20 пересекающая кромку дороги в точке с отметкой 20, расположена на расстоянии одного интервала от точки с отметкой 21, а от точки 22 –

на расстоянии двух интервалов. Проекция горизонтали 20 коснется окружности, проведенной из точки на кромке дороги с отметкой 21 радиусом  $R = l_n = 7,5$  мм, а также коснется окружности, проведенной из точки с отметкой 22 радиусом  $R = 2l_n = 15$  мм. Проведя одну горизонталь, например, с отметкой 20, перпендикулярно ей проводим масштаб уклонов и откладываем на нем интервалы  $l_n = 7,5$  мм. Затем проводим остальные горизонтали откоса насыпи. Линии пересечения откосов насыпей вдоль дороги с откосами вдоль кромки площадки, также как с поверхностью земли, строят аналогично ранее построенным на других участках земляных работ.

Рассмотрим построение плана откосов на криволинейном наклонном участке дороги. (рис. 2.32).



**Рис. 2.32. План откосов насыпи на криволинейном участке дороги**

Необходимость экспериментального исследования величин электропроводности мембран обуславливается отсутствием обобщенного теоретического описания электропроводности мембран равновесных с различными растворами электролитов.

При рассмотрении и моделировании электробаромембранного процесса требуются величины электропроводности как мембран, так и растворов. Если изучению электропроводности растворов электролитов посвящено достаточно много работ [58, 89, 90, 96, 99], то электропроводность мембран в различных растворах и условиях изучено не в полном объеме. Электропроводность мембран, как и растворов, зависит от множества факторов: природы мембран электролита, с которой она уравновешена, концентрации и температуры раствора. В литературе встречается много работ по исследованию электропроводности мембран равновесных с однокомпонентными растворами электролитов [30, 57, 89, 91, 93], однако рассмотренные случаи не описывают полностью всех растворов, использование которых возможно при электролизном разделении. Данных по поводу электропроводности мембран с внешним двух- и более компонентным раствором значительно меньше [91 – 95]. Анализируя имеющиеся работы, можно сделать вывод, раствора влечет к увеличению электропроводности мембран, а замена более подвижного иона на менее подвижный приводит к уменьшению электропроводности.

Электропроводность ультрафильтрационных и обратноосмотических мембран определялась по сопротивлению влажного набухшего образца мембраны четырехэлектродным методом (методом зондов). Выбор четырехэлектродного метода обусловлен низкой электропроводностью раствора. Этот метод был реализован на экспериментальной установке, схема которой приведена на рис. 2.23.

Установка состояла из измерительной ячейки и блока питания-измерения (БПИ). В БПИ использовались приборы – автотрансформатор с напряжением до 220 В, диодный мостик, состоящий из четырех диодов типа Д245Б и вольтамперметра типа М2044 с пределами измерения по напряжению до 600 В, а по току до 30 А. Измерительная ячейка состояла из цилиндрического сосуда 1 с раствором, в который помещался исследуемый образец мембраны 2. Мембрана 2 зажималась между двумя основными 3 и индикаторными 4 электродами.

В качестве материала для электродов 3 и 4 использовался платинированный титан с нанесенной на его поверхность платиновой чернью. Температура раствора в ячейке устанавливалась с помощью водяной бани 5 и контролировалась по термометру 6. Регулировка высоты поднятия или опускания в цилиндрическом сосуде 1 испытываемого образца мембраны 2 с электродами 3 и 4 производилась с помощью лабораторного штатива 7.

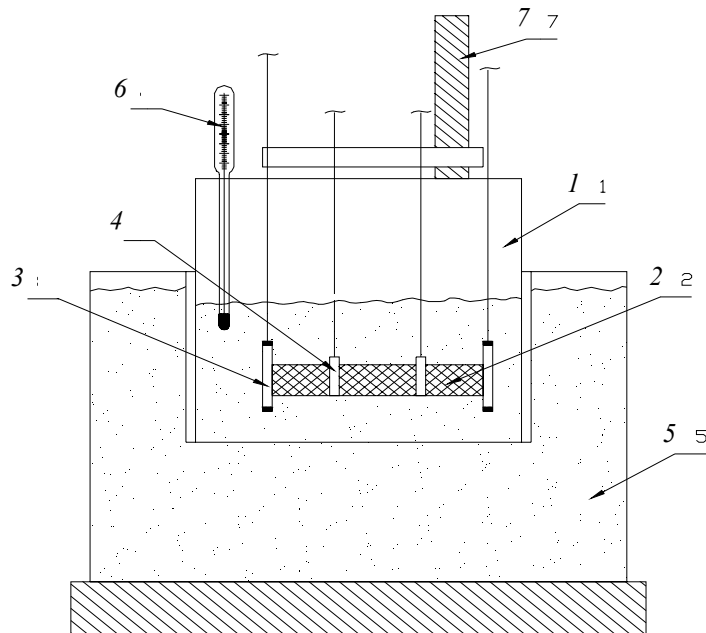


Рис. 2.23 Схема установки для измерения электропроводности мембран

Методика по определению электропроводности ультрафильтрационных и обратноосмотических мембран сводилась к следующему. Из листов ультрафильтрационных и обратноосмотических мембран марки УАМ-150, УПМ-К, МГА-100 и ОПМ-К вырезали образцы размером  $(6 \cdot 2,5) \cdot 10^{-2}$  м и подготавливали их к работе (см. подготовку мембран к работе). Затем вырезанные образцы помещали в колбы с раствором различной концентрации различных веществ на 24 часа. После суточной выдержки в растворе мембраны вынимали и измеряли их геометрические размеры (толщину и ширину). Согласно схеме, показанной на рис. 2.23, собирали измерительную ячейку и выводили мембрану и раствор на температурный режим в течение 30 минут с помощью водяной бани 5, в которой мембрана находилась в процессе суточной выдержки. Далее мгновенно образец мембраны с электродами поднимали из раствора на некоторую величину в пределах высоты цилиндрического сосуда 1 посредством лабораторного штатива 7. Потом через систему электроды-мембраны пропускали постоянный электрический ток известной силы и в это же время измеряли разность потенциалов между двумя индикаторными электродами 4.

По замеренной силе тока, напряжению, расстоянию между индикаторными электродами и площадью поперечного сечения образца мембраны рассчитывали электропроводность ультрафильтрационной и обратноосмотической мембраны по следующей формуле

$$\chi = \frac{Jl}{\Delta E F_c}, \quad (2.34)$$

где  $\bar{\chi}$  – электропроводность ультрафильтрационной или обратноосмотической мембраны;  $J$  – сила тока;  $l$  – расстояние между индикаторными электродами;  $\Delta E$  – разность потенциалов между двумя индикаторными электродами;  $F_c$  – площадь поперечного сечения мембраны.

**Полученные данные при определении электропроводности мембран в равновесном однокомпонентном растворе аналогично закону Аррениуса аппроксимировалось уравнением**

$$\bar{\chi} = Kc^n \exp\left(-\frac{A}{T}\right), \quad (2.35)$$

где  $\chi$  – электропроводность мембран; см/м;  $c$  – концентрация растворов, кг-экв/м<sup>3</sup>;  $T$  – температура, К;  $K, n, A$  – численные коэффициенты.

При изучении электропроводности мембран с равновесными двухкомпонентными растворами имеем более сложную картину. Полученные данные не подчиняются правилу аддитивности, что говорит о влиянии одного компонента на другой. При описании экспериментальных данных используется более сложная форма уравнения:

$$\bar{\chi} = \chi_1 \gamma_1^{m_1} + \bar{\chi}_2 \gamma_2^{m_2} + m_3 \bar{\chi}_1 \bar{\chi}_2, \quad (2.36)$$

где  $\chi_1$  и  $\chi_2$  – электропроводность мембран в однокомпонентном растворе, см/м;  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  – объемные доли компонентов в смеси;  $m_1$  и  $m_2$  – численные коэффициенты.

## 2.9 ПОЛЯРИЗАЦИИ МЕМБРАН

Как известно, характер протекания процесса электробаромембранного разделения растворов зависит от режима его проведения (допредельного, предельного и запредельного). Режим работы определяется условиями концентрационной поляризации, возникающей на границе мембраны – раствор из-за различия чисел переноса ионов в растворе и мембране [22, 83, 61, 61].

Наибольший интерес для нас представляет рассмотрение условий запредельного режима, как наиболее эффективного при разделении растворов электролитов с малым содержанием солей. Однако при проведении электробаромембранного процесса в запредельном режиме необходимо знать величину предельного тока, т.е. величину тока, при котором концентрация солей в поляризационном слое стремится к нулю. Эта величина зависит от характеристик раствора и мембран, гидродинамических и тепловых условий проведения процесса. Наиболее распространенным методом измерения предельной плотности тока является потенциометрический. Такой метод основан на пленочной концепции описания концентрационной поляризации. Для определения плотности тока по этому методу необходимо построить поляризационную кривую в системе координат плотность тока–разность потенциалов и определить перегиб, который будет означать наступление предельного состояния.

Изучению концентрационной поляризации в системе мембрана–однокомпонентный раствор посвящено достаточно много работ [11 – 14, 22, 23, 57, 61, 100 – 102, 104 – 106], чего нельзя сказать об изучении систем с многокомпонентными растворами [107 – 113]. В данной работе для снятия поляриза-

ционных кривых используется установка, схема которой представлена на рис. 2.24.

Пакет аппарата 1 собирается из мембран одно вида состоит из семи рабочих камер и двух электродных. Межмембранное расстояние в камерах равно 1 мм, а рабочая поверхность мембраны составляет  $78 \text{ см}^2$ . В рабочие камеры вложен турбулизатор (полиэтиленовая сетка).

Для снятия поляризационной кривой в первую и последнюю рабочие камеры помещены измерительные электроды 2, изготовленные в виде сетки из платинированной проволоки, с помощью которых измерялось падение напряжения на пакете мембран. Растворы в рабочие и электродные камеры подаются с помощью насосов 3 объемного действия из емкостей 4. Напряжение на рабочие электроды электробаромембранного пакета подается от блока питания постоянного тока 5. Измеряемое падение напряжения 7. Необходимая температура растворов поддерживается с помощью термостата 8.

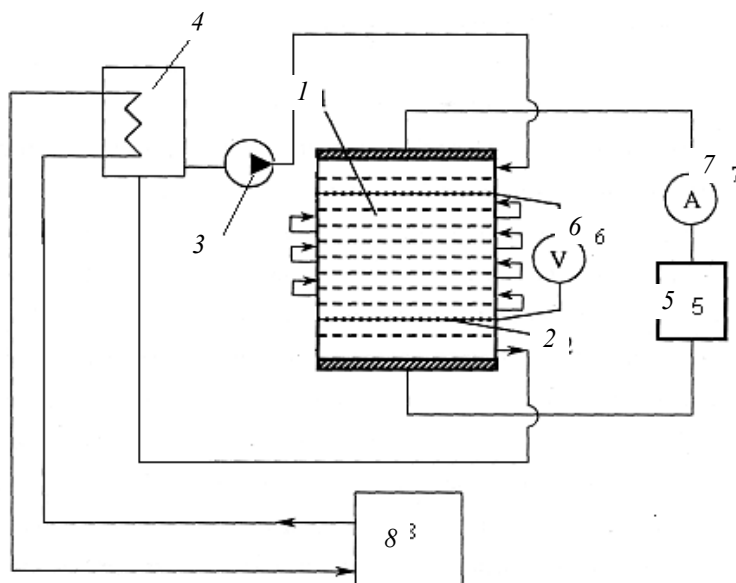


Рис. 2.24 Установка для изучения поляризации мембран в электробаромембранных процессах

Методика проведения экспериментов сводится к следующему. Электробаромембранный пакет заполняется из емкостей рабочим и электродными растворами и выдерживается в таком состоянии 10 ч для приведения в равновесие мембран с раствором. Производят термостатирование мембранного пакета. Затем насосы включают и производят холостой эксперимент в течение 30 минут при плотности подаваемого тока около  $100 \text{ А/м}^2$ . Затем напряжение выключается, подача растворов прекращается, и растворы обновляются. Задается определенная скорость подачи и температура растворов. На рабочие электроды подается постоянное напряжение, при этом фиксируется сила тока в цепи. Изменяя подаваемое напряжение, а следовательно, и силу тока, измеряется падение напряжения на

измерительных электродах. В итоге получается зависимость напряжения на измерительных электродах от величины тока. По полученным данным строится поляризационная кривая и определяется величина предельного тока. Данные эксперименты проводятся при различных скоростях подачи, температуры раствора, а также для электролитов различного рода.

## 2.10 ВЫХОД ПО ТОКУ

Изучение влияния различных технологических параметров на величину выхода по току произведено на установке, изображенной на рис. 2.25. Установка состоит непосредственно из пакета мембран 1, включающего в себя восемь рабочих камер и две электродные и электродов 2, на которые подается напряжение. Рабочая площадь мембран составляет  $78 \text{ см}^2$ , межмембранное расстояние 1 мм, в межмембранное пространство помещены турбулизаторы, изготовленные из полиэтиленовой сетки.

Рабочие растворы пермеата и концентрата насосами 3 и 4 подаются из соответствующих емкостей 4. Скорость подачи растворов варьируется от 25 см/с. Силовая часть установки состоит из источника постоянного тока 5 и амперметра 6 для контроля силы тока в цепи. Необходимая сила тока в цепи устанавливается в зависимости от нужной величины плотности тока в мембранном пакете. Температуры рабочих растворов измеряются на входе и выходе термометрами 7.

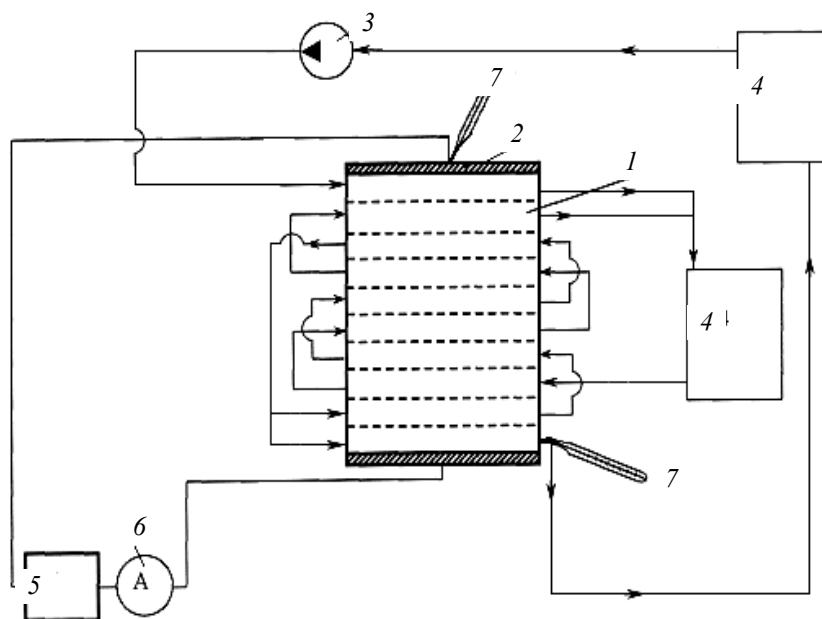


Рис. 2.25 Установка для измерения выхода по току

Методика измерения заключается в следующем. Перед проведением эксперимента мембраны переводятся в нужную форму, затем уравниваются с исследуемым раствором путем заполнения нужным раствором всей системы приблизительно на 8 часов. Далее растворы обновляются, и проводится пробный опыт в течение 30 минут при необходимой плотности тока. Растворы вновь обновляются, и проводится эксперимент, в ходе которого замеряются начальные и конечные концентрации ( $c_n$ ,  $c_k$ ,  $n$ ), объемы ( $V_n$ ,  $V_k$ ,  $m^3$ ) и температуры растворов концентрата и пермеата, а также время проведения ( $c$ ,  $\tau$ ) процесса. Фиксируются плотность тока ( $i$ ,  $A/m^2$ ) и скорости подачи растворов концентрата и пермеата. После чего рассчитывается выход по току

$$\eta^N = \frac{(V_n c_n^N - V_k c_k^N) F}{\sin \tau}, \quad (2.40)$$



где  $\eta^N$  – выход по току для  $N$ -го компонента;  $F$  – число Фарадея;  $n$  – количество камер.

Выход по току рассчитывается отдельно для каждого компонента и каждого потока, причем выход по току в потоках концентрата и пермеата по отдельно взятому компоненту должен быть одинаковым, вследствие сохранения массы пермеата в системе в целом. По различию значений выхода по току концентрата и пермеата можно судить об ошибке эксперимента.

## 2.11 ИССЛЕДОВАНИЕ ОТРАВЛЕНИЯ МЕМБРАН И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ РЕГЕНЕРАЦИИ

**Широкое использование мембранного разделения предполагает и большую область применения полупроницаемых и ионообменных мембран, как основного элемента в электробаромембранном аппарате. Основные требования, предъявляемые к мембранам: высокая электропроводность, высокая водопроницаемость и высокий коэффициент задерживания. Из-за ухудшения свойств мембран резко снижаются выходные характеристики электробаромембранного процесса разделения в целом и падает его эффективность. Вследствие чего поставлена задача изучения зависимостей электропроводности и коэффициента задерживания мембран от различных параметров процесса при электробаромембранном разделении растворов.**

**Определение коэффициента задерживания и водопроницаемости (удельного потока) мембран осуществляется по стандартным методикам и на установках. Все экспериментальные исследования проводятся на растворе NaCl, так как все паспортные характеристики мембран определяются по этому раствору.**

$$K_3 = \left( 1 - \frac{2C_{\text{пер}}}{C_{\text{исх}} + C_{\text{пен}}} \right) 100 \% ; \quad (2.41)$$

$$\alpha = \frac{V}{S\Delta P\tau} ; \quad (2.42)$$

$$K_B = \frac{C_{\text{пер}}}{C_{\text{пен}}} , \quad (2.43)$$

где  $C_{\text{исх}}$ ,  $C_{\text{пер}}$ ,  $C_{\text{пен}}$  – концентрации растворенных веществ в исходном растворе, пермеате и ретентате;  $V$  – объем пермеата;  $S$  – рабочая площадь мембраны;  $\tau$  – время проведения эксперимента.

Транспортные свойства, характеризуемые выходом по току, всего электробаромембранного пакета, в целом, со временем работы ухудшаются, что говорит об ухудшении

свойств отдельно взятых мембран. Данное явление можно объяснить несколькими факторами: осадкообразованием, «отравлением» мембран [115]. Однако промывка электробаромембранного пакета (без электрического тока) слабым раствором кислоты, которая позволила бы растворить образовавшийся на мембране осадок гидроксида солей, никакого результата не дала. Это говорит о процессе отравление мембран.

## 2.12 ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАГОЕМКОСТИ МЕМБРАН

Исследования влагоемкости ультрафильтрационных и обратноосмотических мембран проводились на установке, состоящей из сушильного шкафа, водяного термостата, стеклянной тары и весов.

В качестве сушильного шкафа использовался шкаф с температурой обогрева камеры осушения 0...150 °С. Водяной термостат представлял собой обогреваемый металлический ящик с рабочим объемом 0,024 м<sup>3</sup> и температурой до 60 °С. Стеклянная тара – это бюксы ( $V = 50$  мл) и колбы ( $V = 250$  мл). Для определения веса исследуемого образца мембраны применялись аналитические весы типа А-31, с точностью до  $\pm 0,5 \cdot 10^{-4}$  г.

Методика измерения влагоемкости мембран состояла в следующем. Из стандартных листов мембран вырезали образцы размером  $(14 \cdot 4) \cdot 10^{-2}$  м<sup>2</sup> и подготавливали их к работе по описанной ранее методике. Затем удаляли водные пленки с поверхности мембран и взвешивали их (мембраны) на аналитических весах. Далее образцы мембран помещали в герметичные бюксы с исследуемыми растворами различных концентраций. Бюксы с мембранами помещались на 24 часа в термостат (раствор в бюксах периодически обновлялся за это время). После суточной выдержки образцов их вынимали, аккуратно удаляли водные пленки фильтровальной бумагой и проводили повторное взвешивание образцов. После этого проводили высушивание образцов в сушильном шкафу при температуре 50 °С.

В основе метода измерения влагоемкости было предположение, что при контактировании с раствором все поры заполняются жидкостью. При этом предполагалось также, что при высушивании вся влага полностью удаляется. После этого мембраны вновь взвешивались.

Влагоемкость мембран рассчитывалась по формуле

$$\zeta = \frac{\Delta G}{G}, \quad (2.44)$$

где  $\Delta G$  – масса раствора в мембране;  $G$  – вес кондиционированной мембраны.

## Г л а в а 3

### ЭЛЕКТРОБАРОМЕМБРАННЫЕ АППАРАТЫ

---

---

Определяющей проблемой при реализации электробаромембранных процессов является разработка гибких конструкций мембранных аппаратов, в максимальной степени отвечающая задачам и условиям проведения процесса разделения.

Наиболее перспективными конструкциями баромембранных аппаратов является конструкции аппаратов с плоскими и трубчатыми разделительными элементами. Аппараты с плоскими мембранными элементами выпускают в различных модификациях: корпусные и безкорпусные, с цен-

тральными и периферийным выводами, с общим отводом и с отдельным, т.е. отдельно от каждого элемента. Для элементов данного типа положительной особенностью является простота конструктивных решений. Устройство аппаратов с трубчатыми мембранными элементами определяется конструкцией комплекствующих их мембранных элементов. Трубчатый мембранный элемент состоит из мембраны и дренажного каркаса. Каркас изготовляется из трубки, являющейся опорой для мембранного элемента и обеспечивающей отвод пермеата, и микропористой подложки, исключающей вдавливание мембраны в дренажные каналы трубки под воздействием давления разделяемой смеси. Различают трубчатые мембранные элементы с мембраной внутри, снаружи трубки и с комбинированным ее расположением. Предпочтение отдают элементам с мембраной внутри трубки. Преимуществами трубчатых разделительных элементов являются простота и малая материалоемкость.

Общим существенным недостатком конструкций мембранных аппаратов с плоскими и трубчатыми элементами является отсутствие возможности наложения на систему мембрана-раствор физических полей различной природы, например, электрического постоянного поля. В результате этого невозможно отделение неэлектролита от электролита, выделение вещества из промышленных и сточных вод, дифференцированного выделения ионов и получения особо чистых веществ. Так, в процессах, работающих под давлением в многокомпонентных системах ионы проходят через мембрану практически в эквимолекулярных соотношениях. К сожалению, невозможно на промышленном уровне решить эти проблемы из-за отсутствия электробаромембранных аппаратов промышленного типа [116].

На основании вышеизложенного предполагается разработать многокамерные электробаромембранные аппараты промышленного образца. Разрабатываемые электробаромембранные аппараты целесообразнее из технологических и конструктивных целей представлять в виде последовательно соединенных камер разделения. Камеры разделения должны образовываться из торцевых и биполярных электродов. Биполярный электрод предполагается представить в виде нескольких элементов – средней части для отвода пермеата и двух пористых электродов (анода и катода). В качестве анода и катода целесообразнее использовать микропористую нержавеющую сталь марки Х18Н15-ПМ, Х18Н15-МП, ППТМ-ПМ, ПНПИТ, Н-МП, ЛПН-ПМ с порозностью 20...45 %, а также микропористый никель и титан. На средней части с одной стороны располагают анод, а с другой – катод и соединяют между собой коррозионно-стойкой шпилькой. В средней части предполагаются переточное отверстие для перетекания раствора из одной камеры разделения в другую и отверстия для отвода прикатодного и прианодного пермеата. Аппарат, по сравнению с существующими конструкциями, должен обладать следующими преимуществами:

- 1 обладать гибкостью, т.е. возможностью применения, как в электробаромембранных, так и в баромембранных процессах;

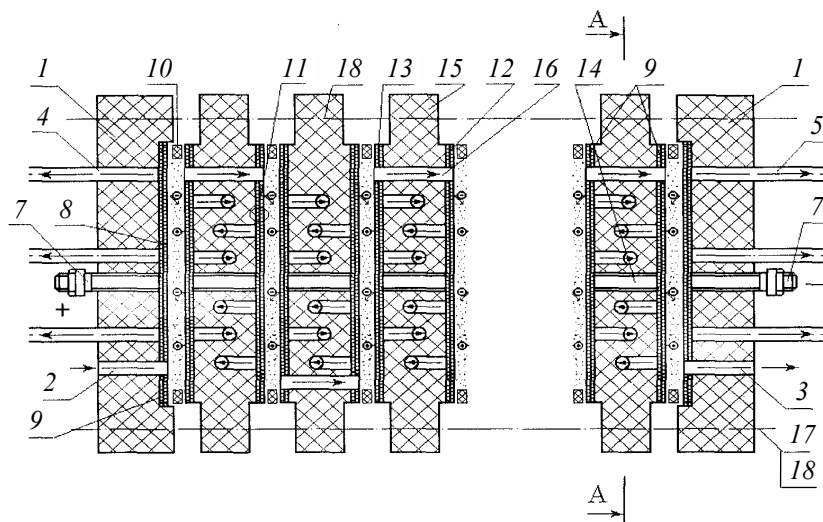
- 2 иметь возможность применения в процессах выделения, концентрирования и получения веществ из природных и промышленных водных растворов, а также в процессах дифференцированного выделения ионов из многокомпонентных растворов;

- 3 позволить увеличить период работоспособности мембраны за счет уменьшения отложений на поверхности мембраны, вследствие изменения толщины пограничных слоев жидкости и улучшения его гидродинамических условий работы, ввиду изменения потенциала мембраны.

### **3.1 ЭЛЕКТРОБАРОМЕМБРАННЫЕ АППАРАТЫ ПЛОСКО-КАМЕРНОГО ТИПА**

Электробаромембранный аппарат с плоскими фильтрующими элементами – одна из самых удобных конструкций для разделения растворов электролитов методами электромикрофльтрации, электроультрафльтрации и электроосмофльтрации. Мембранный аппарат с плоскими разделительными элементами может также с успехом применяться и для проведения обратноосмотических, ультрафльтрационных и микрофльтрационных

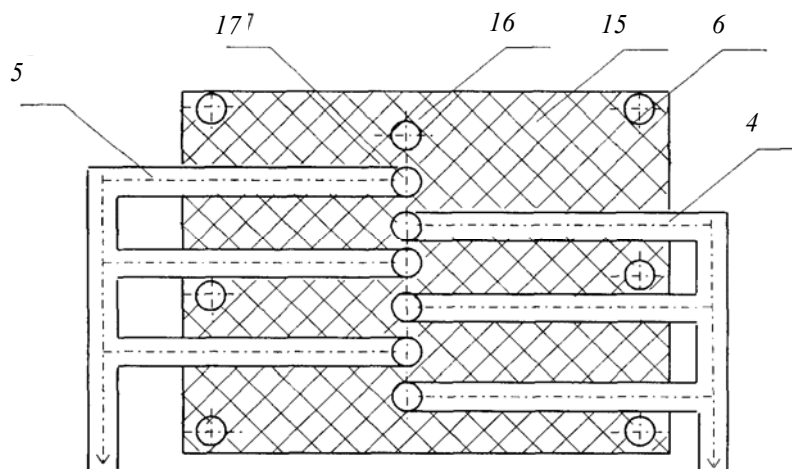
процессов [117, 118]. Схема плоскокамерного аппарата приведена на рис. 3.1, а на рис. 3.2 – показано сечение пористого биполярного электрода.



**Рис. 3.1** Схема электробаромембранного аппарата с плоскими разделительными элементами

Аппарат состоит из двух фланцев 1 с каналами 2 и 3 ввода и вывода разделяемого раствора, каналами 4 и 5 для отвода пермеата, отверстиями 6 для стяжки пакета болтами, клемм 7 для отвода постоянного электрического напряжения, пористых подложек 8, выполненных из пористого проката типа Х18Н15-ПМ, Х18Н15-МП, ППТМ-ПМ, ЛНПИТ, Н-МП и ЛПН-ПМ [119] с пористостью 20...45 %, которые одновременно служат электродами и дренажом для отвода пермеата, мембран 9, между которыми расположены эластичные уплотнения 10, пористых биполярных электродов 11. Пористый биполярный электрод, служащий одновременно и дренажом для отвода пермеата, состоит из диэлектрической плиты 15, по обе стороны которой укреплены пористые электроды – анод 12 и катод 13, соединенные между собой шпилькой 14, изготовленной из коррозионно-стойкого металла. На пористом биполярном электроде расположены мембраны 9, а в самом электроде имеется переточное отверстие 16.

Средняя часть пористого биполярного электрода, показанного на рис. 3.2, выполнена из диэлектрического материала. В ней имеются каналы 4 и 5 для отвода пермеата, отверстие 17 для шпильки 14, соединяющей между собой анод и катод, отверстия 6 для стяжных болтов и переточное отверстие 16. Все детали аппарата стягиваются болтами 18.



**Рис. 3.2** Средняя часть биполярного электрода электробаромембранного аппарата с плоскими разделительными элементами

Работа аппарата заключается в следующем. Исходный раствор под давлением, превышающем осмотическое, по каналу 2 подается в первую камеру разделения. На крайние электроды подается постоянное электрическое напряжение, вызывающее в растворе определенную плотность тока. Из камеры разделения анионы транспортируются через мембрану 9 (прианодную) к аноду, где в результате электродных реакций образуются кислоты, которые выводятся из аппарата с прианодным потоком пермеата. Аналогичные явления происходят с катионами. Катионы из камеры разделения транспортируются через мембрану (прикатодную) к катоду, где в результате электродных реакций образуются щелочи, которые удаляются из аппарата с прикатодным потоком пермеата [120 – 121]. Разделяемый раствор перетекает из камеры в камеру по переточным отверстиям 16, где происходит аналогичное разделение. Из аппарата раствор выводится по каналу 3.

Для проверки работоспособности разработанной конструкции электробаромембранного аппарата, она была изготовлена в лабораторном виде. Основные технические характеристики изготовленного аппарата были следующие.

- 1 Габаритные размеры – (250 × 160 × 230) мм.
- 2 Количество разделяемых камер – 7.
- 3 Размеры рабочего окна камер – (130 × 60) мм.
- 4 Рабочее давление в аппарате – до 4,0 МПа.
- 5 Типы используемых мембран – ацетилцеллюлозные (МГА-100), полисульфоамидные (ОПМ-К).
- 6 Материал биполярных электродов – пористый прокат марки Х18Н15-МП; материал анода – платинированный титан, катода – пористый прокат марки Х18Н15-МП.

### 3.2 ЭЛЕКТРОБАРОМЕМБРАННЫЕ АППАРАТЫ ТРУБЧАТОГО ТИПА

Схема аппарата трубчатого типа представлена на рис. 3.3 – 3.5. Электробаромембранный аппарат с трубчатыми разделительными элементами состоит из следующих деталей и узлов: цилиндрического корпуса 1 (рис. 3.3), выполненного из диэлектрического материала, с расположенным на его внешней поверхности штуцером 2 для ввода разделяемой жидкости, устройством 3 для подвода электрического напряжения и выполненными внутренней поверхности корпуса продольных каналов 4; микропористой подложки 5, служащей одновременно электродом (анодом); прианодной мембраны 6; решеток 7; концентрических разделительных элементов 8 с с переточными каналами 9 (рис. 3.4), выполненных в виде щелей и повернутых друг относительно друга на 180°; последовательно соединенных камер разделения 10, образованных концентрическими разделительными элементами 8; центральной трубы 11, выполненной из диэлектрического материала с отверстием 12 и геометрично установленным во внутренней поверхности патрубком 13, служащим для вывода продуктов разделения; внешней поверхности микропористой подложки 14, служащей электродом (катодом); прикатодной мембраны 15; торцевых крышек 16, имеющих штуцера 17 и 18 для кислого и щелочного пермеата, соответственно [120].

Разделительный элемент 8 (рис. 3.5), выполненный из диэлектрического материала, с продольными каналами подложкой, изготовленной из микропористого проката типа Х18Н15-ПМ, Х18Н15-МП, ЛНПИТ, Н-МП, ЛПН-ПМ [119] с пористостью 20...45 %, служащей одновременно биполярным электродом (внешняя сторона является катодом 14, а внутренняя – анодом 5). На внешней и внутренней поверхностях микропористого электрода расположены, соответственно, прикатодная 15 и прианодная 6 мембраны.

При этом могут использоваться как полимерные мембраны (ацетилцеллюлозные, этилцеллюлозные, полисульфоамидные и т.п.), так и динамические мембраны, получаемые фильтрованием раствора, содержащего специальные диспергированные вещества, через микропористую подложку [19].

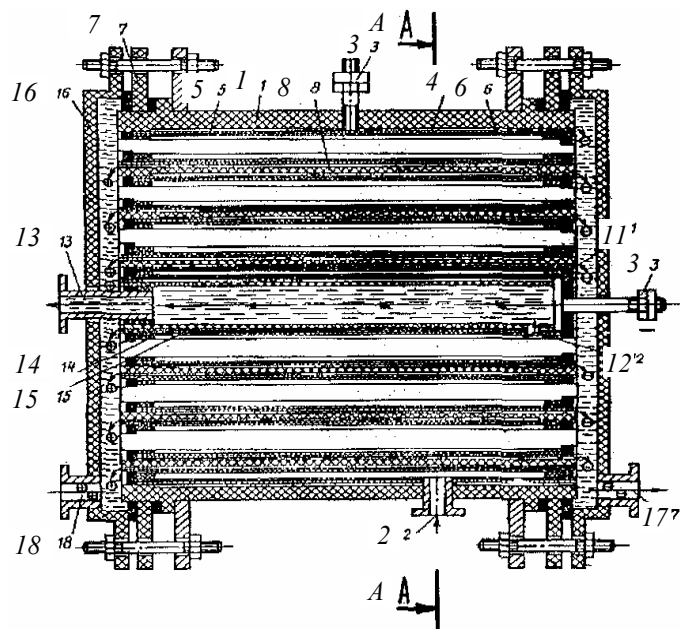


Рис. 3.3 Схема электробаромембранного аппарата с трубчатыми элементами

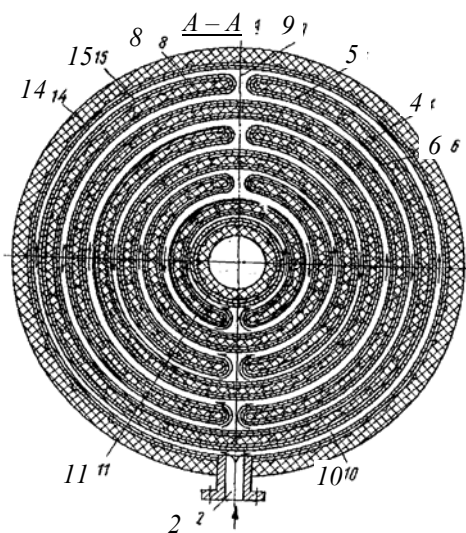


Рис. 3.4 Сечение электробаромембранного аппарата с трубчатыми элементами

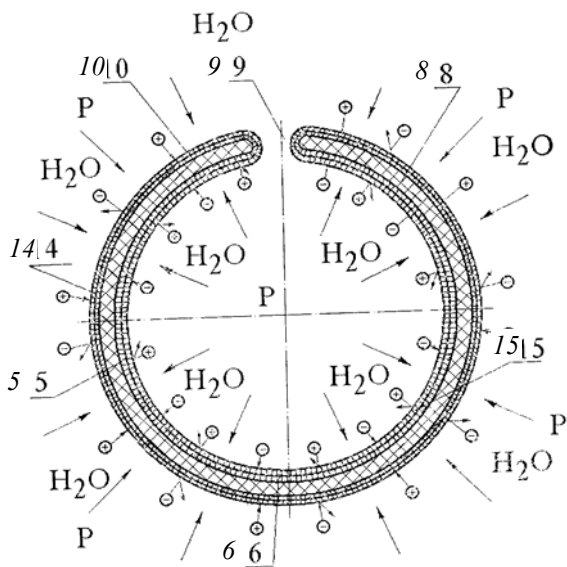
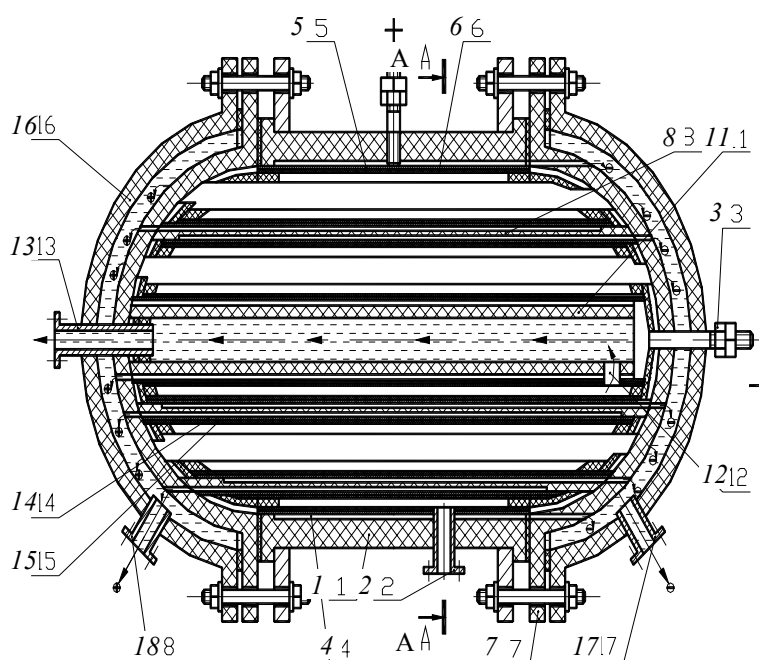


Рис. 3.5 Разрез разделительного элемента трубчатого электробаромембранного аппарата

Мембранный аппарата работает следующим образом. Разделяемая жидкость под давлением, превышаемом осмотическое, через патрубок 2 (рис. 3.3) поступающий в ближайшую к корпусу 1 камеру разделения 10. После заполнения аппарата жидкостью на клеммы 3 подается постоянное электрическое напряжение, вызывающее определенную плотность тока в растворе. Под действием электрического поля анионы транспортируются через прианодную мембрану 6 к аноду 5, расположенному на корпусе 1. Катионы транспортируются через прикатодную мембрану к поверхности ближайшего микропористого биполярного электрода, который по отношению к аноду является катодом. В результате электрохимических реакций в прикатодном и прианодном пространствах образуются, соответственно, щелочь и кислота, а также выделяются газы [120, 121]. Эти продукты (щелочь, кислота, газы) вымываются пермеатом, продавливаемым под действием перепада давления через мембраны. Далее, пермеат перемещается по соответствующим продольным каналам 4 и выводится из аппарата через патрубок 17 и 18. Разделяемая жидкость через переточный канал 9 в микропористом биполярном электроде 8 поступает в следующую камеру разделения 10, расположенную ближе к центру аппарата, где происходят аналогичные описанные выше процессы.



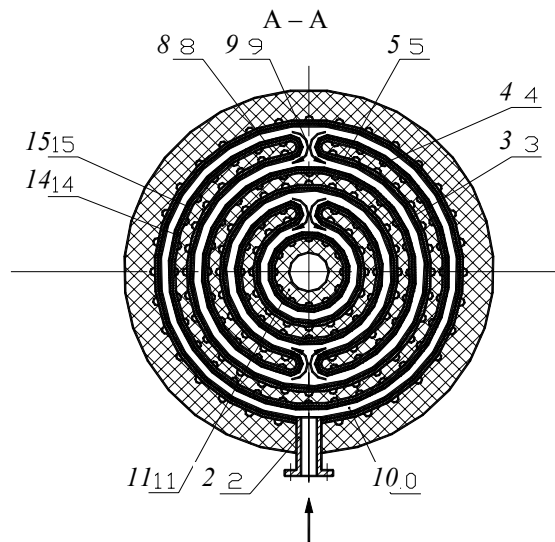
**Рис. 3.6 Электробаромембранный аппарат трубчатого типа:**

1 – цилиндрический корпус; 2 – штуцер для ввода разделяемой жидкости; 3 – устройство для подвода электрического напряжения; 4 – продольный канал; 5 – микропористая подложка; 6 – прианодная мембрана; 7 – эллиптическая решетка; 8 – разделительный элемент; 9 – переточные каналы; 11 – центральная труба; 12 – отверстие в центральной трубе; 13 – патрубок; 14 – микропористая подложка; 15 – прикатодная мембрана; 16 – торцевая сферическая крышка; 17, 18 – штуцера

Таким образом, из раствора, последовательно протекающего по всем камерам аппарата в виде анионном и катионов, удаляются растворенные вещества. Обедненный раствор отводится через отверстие 12 в центральную трубу 11, а далее через патрубок 13 выводится из аппарата.

На рис. 3.6 и 3.7 показан в разрезе модернизированный электробаромембранный аппарат трубчатого типа.

Аппарат состоит из следующих основных деталей и узлов: цилиндрического корпуса 1, выполненного из диэлектрического материала, с расположенным на его внешней поверхности штуцером 2 для ввода разделяемой жидкости, устройством 3 для подвода электрического напряжения и выполненными на внутренней поверхности корпуса продольных каналов 4; микропористой подложки 5, служащей



**Рис. 3.7 Сечение электробаромембранного аппарата трубчатого типа:**

2 – штуцер; 3 – устройство для подвода электрического напряжения; 4 – продольный канал; 5 – микропористая подложка; 6 – прианодная мембрана; 7 – эллиптическая решетка; 8 – разделительный элемент; 9 – переточные каналы; 10 – камера; 11 – центральная труба; 14 – микропористая подложка; 15 – прикатодная мембрана

одновременно электродом (анодом); прианодной мембраны 6; решеток 7; концентрических фильтрующих элементов различной длины  $\delta$  с переточными каналами 9, выполненных в виде щелей и повернутых друг относительно друга на  $180^\circ$ ; последовательно соединенных камер разделения 10 образованных концентрическими разделительными элементами различной длины  $\delta$ ; центральной трубы 11, выполненной из диэлектрического материала с отверстием 12 и герметично установленным во внутренней поверхности патрубком 13, служащим для вывода продуктов разделения; внешней поверхности микропористой подложки 14, служащей электродом (катодом); прикатодной мембраны 15; торцевых крышек 16, имеющих штуцера 17 и 18 для кислого и щелочного пермеата, соответственно.

Длину трубчатых разделительных элементов можно найти из соотношения

$$D_{\text{ср},i}/D_{\text{ср},i+1} = L_{i+1}/L_i, \quad (3.1)$$

где  $D_{\text{ср},i}$  – средний диаметр  $i$ -го трубчатого разделительного элемента;  $D_{\text{ср},i+1}$  – средний диаметр  $(i + 1)$  трубчатого разделительного элемента;  $L_i$  – длина  $i$ -го трубчатого разделительного элемента;  $L_{i+1}$  – длина  $(i + 1)$  трубчатого фильтрующего элемента.

Электробаромембранный аппарат трубчатого типа работает следующим образом.

Разделяемая жидкость под давлением (рис. 3.6), превышающем осмотическое, через патрубок 2 поступает в ближайшую к корпусу 1 камеру разделения 10. После заполнения аппарата жидкостью, на клеммы 3 подается постоянное электрическое напряжение, вызывающее определенную плотность тока в растворе. Под действием электрического поля анионы транспортируются через прианодную мембрану 6 к аноду 5, расположенному на корпусе 1. Катионы транспортируются через прикатодную мембрану к поверхности ближайшего микропористого биполярного электрода, который по отношению к аноду является катодом. В результате электрохимических реакций в прикатодном и прианодном пространствах образуются соответственно, щелочь и кислота, а также выделяются различные газы. Эти продукты (щелочь, кислота, газы) вымываются пермеатом, продавливаемым под действием перепада давления через мембраны. Далее пермеат перемещается по соответствующим продольным каналам 4 и выводится из аппарата через патрубки 17 и 18. Разделяемая жидкость через переточный канал 9 в микропористом биполярном электроде 8 поступает в следующую камеру разделения 10, расположенную ближе к центру аппарата, где происходят аналогичные, описанным выше процессы.

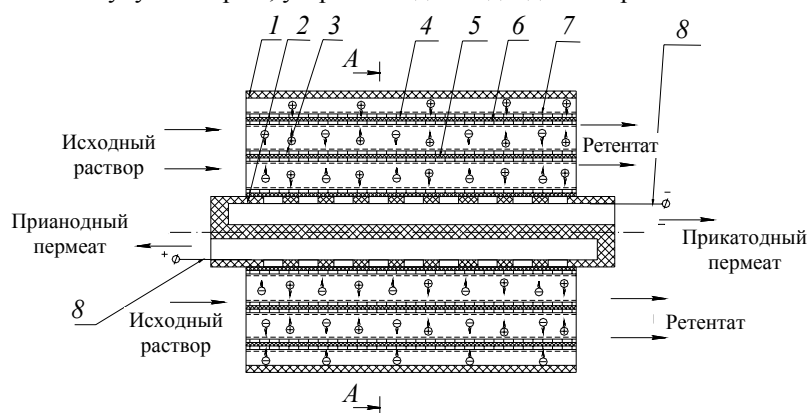


Таким образом, из раствора, последовательно протекающего по всем камерам аппарата в виде анионов и катионов, удаляются растворенные вещества. Обедненный раствор отводится через отверстие 12 в центральную трубу 11, а далее через патрубок 13 выводится из аппарата. Мембранный аппарат с трубчатыми разделительными элементами может использоваться для проведения и чисто обратнoсмотических процессов.

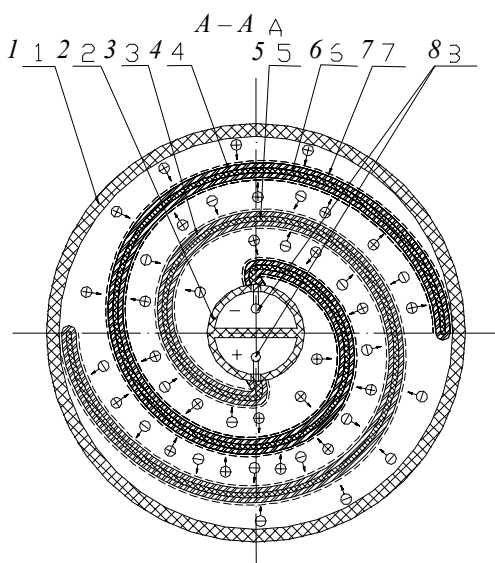
### 3.3 ЭЛЕКТРОБАРОМЕМБРАНЫЙ АППАРАТ РУЛОННОГО ТИПА

На рис. 3.8 и 3.9 изображен электробаромембранный аппарат рулонного типа.

Электробаромембранный аппарат рулонного типа состоит из следующих основных деталей и узлов: цилиндрического корпуса 1, выполненного из диэлектрического материала; секционированной перфорированной трубки 2, служащей для отвода прианодного и прикатодного пермеата; обратноосмотической прианодной мембраны 3 и обратноосмотической прикатодной мембраны 4; монополярных электродов анода 5 и катода 6, выполненных из графитовой ткани, которая также является подложкой для мембран и дренажом для отвода прикатодного и прианодного пермеата; сетки – турбулизатора 7; устройства для подвода электрического тока 8.



**Рис. 3.8** Электробаромембранный аппарат рулонного типа  
1 – корпус; 2 – перфорированная трубка; 3 – прианодная мембрана; 4 – прикатодная мембрана; 5 – монополярный электрод анод; 6 – монополярный электрод катод; 7 – сетка-турбулизатор; 8 – устройство для подвода электрического тока



**Рис. 3.9** Сечение электробаромембранного аппарата рулонного типа:  
1 – корпус; 2 – перфорированная трубка; 3 – прианодная мембрана; 4 – прикатодная мембрана; 5 – монополярный электрод анод; 6 – монополярный электрод катод; 7 – сетка-турбулизатор; 8 – устройство для подвода электрического тока

Электробаромембранный аппарат рулонного типа работает следующим образом.

Исходный раствор под давлением, превышающем осмотическое давление растворенных в нем веществ, поступает в межмембранное пространство камеры разделения, в которой находится сетка-турбулизатор, обеспечивающая необходимую скорость движения разделяемого раствора. В этот же момент времени к аппарату подводится внешнее постоянное электрическое поле. В камере разделения растворенное вещество распадается на ионы, и под действием электрического тока анионы стремятся к аноду через прикатодную мембрану, а катионы – через прикатодную мембрану к катоду. В это же время под действием давления пермеат (вода) протекает через прикатодную и прианодную мембраны и выдавливает анионы, катионы и газ, образующиеся в результате электролиза на электродах, выполненных из графитовой ткани, через микропористый анод и катод по каналам в перфорированную секционированную трубку. Отвод пермеата из прикатодной и прианодной секции перфорированной трубки осуществляется самотеком по мере заполнения объема в секции.

Кроме того, на предлагаемой конструкции электробаромембранного аппарата рулонного типа без наложения электрического поля можно проводить баромембранные процессы, например, обратный осмос, ультрафильтрацию и микрофильтрацию.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 
- 1 Matsuura T., Sourirajan S. Reverse osmosis separation of organic acids in aqueous solutions using porous cellulose acetate membranes // *Journal of applied polymer science*. 1973. Vol. 17. N 12. P. 3661 – 3682.
  - 2 Matsuura T., Sourirajan S. Reverse osmosis separation of hydrocarbons in aqueous solution using porous cellulose acetate membranes // *Journal of applied polymer science*. 1973. Vol. 17. N 12. P. 3661 – 3682.
  - 3 Matsuura T., Sourirajan S. Reverse osmosis separation of phenols in aqueous solution using porous cellulose acetate membranes // *Journal of applied polymer science*. 1972. Vol. 16. N 10. P. 2531 – 2554.
  - 4 Мацуура Т. Выделение веществ / ВЦП. № Ц 53579. М.: 1975, 98 с. Пер. ст. из журн. Йки госай кагаку кекай си. 1973. Т. 31. № 9. С. 717 – 746.
  - 5 Sourirajan S. The science of reverse osmosis. Mechanisms, membranes, transport and application // *Pure and applied chemistry*. 1978. Vol. 50. P. 593 – 615.
  - 6 Ивара М. Механизм разделения растворенных веществ методом обратного осмоса / Пер. с японского языка статьи из журнала «Хёмзи», 1978. Т. 16, И 7. С 399-412 / Пер. № Г-16892 ВШ. М., 1981. 38 с.
  - 7 Эман М.И., Кузьмицкая Н.Б., Фишман Г.Т. Исследование диффузии ионов при очистке воды обратным осмосом // *Химия и технология воды*. 1981. Т. 3. № 4. С. 315 – 317.
  - 8 Эман М.И. Разделение обратного осмоса // *Химия и технология воды*. 1980. Т. 2. № 2. С. 107 – 111.
  - 9 Эман М.И., Кузьмицкая Н.Б., Фишман Г.Т. Зависимости селективности обратноосмотической мембраны от ее проницаемости при переменном давлении разделяемого раствора // *Производство и переработка пластмасс и синтетических смол*. 1989. № 8. С. 10 – 12.
  - 10 Николаев Н.И. Диффузия в мембранах. М.: Химия, 1980. 232 с.
  - 11 Чалых А.Е. Диффузия в полимерных системах. М.: Химия, 1987. 312 с.
  - 12 Чалых А.Е., Злобин В.Б. Современные представления о диффузии в полимерных системах // *Успех химии*. 1988. Т. 57. Вып. 6. С. 903 – 928.
  - 13 Рейтленгер С.А. Проницаемость полимерных материалов. М.: Химия, 1974. 272 с.
  - 14 Брык М.Т., Цапюк Е.А. Ультрафильтрация. Киев.: Наукова думка, 1989.
  - 15 Применение мембран для создания систем кругового водопотребления / М.Т. Брык, Е.А. Цапюк, К.Б. Греков и др. М.: Химия, 1990. 40 с.

- 16 Яминов А.А., Калгада В.Т., Кожевников А.В. Разделение растворов низкомолекулярных органических веществ методом обратного осмоса // Химическая промышленность. 1978. № 10. С. 25 – 30.
- 17 Michaels A. Membrane permeation: theory and practice / ВЦП. № 3228. М, 1978. 65 с. Пер. ст. из журн.: Progress in separation and Purification. 1978. Vol. 1. P. 143 – 186. Перевод.
- 18 Separation of aromatic substances from aqueous solutions using a reverse osmosis technique with thin, dense cellulose acetate membranes/ Tone S., Shinohara K., Igarashi Y., Otake T. // Journal of membrane science. 1984. Vol. 19. P. 195 – 208.
- 19 Дытнерский Ю.И., Баромембранные процессы. Теория и расчет. М.: Химия, 1986. 272 с. (Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии).
- 20 Дытнерский Ю.И. Мембранные процессы разделения жидких смесей. М.: Химия, 1975. 252 с.
- 21 Дытнерский Ю.И. Обратный осмос и ультрафильтрация. М.: Химия, 1978. 352 с.
- 22 Технологические процессы с применением мембран / Пер. с англ. Л.А. Мазитова, Т.М. Мнацаканян; под ред. Р.Е. Лейси и С. Лёба. М.: Мир, 1976. 372 с.
- 23 Хванг С.-Т. Каммермейер К. Мембранные процессы разделения / Пер. с англ.; под ред. Ю.И. Дытнерского. М.: Химия, 1981. 464 с.
- 24 Карелин Ф.Н. Обессоливание воды обратным осмосом. М.: Стройиздат, 1988. 208 с.
- 25 Chhn J.Y., Nomura V., Pusch W. Temperature dependence of membrane transport in hyperfiltration // Desalination. 1983. Vol. 46. P. 437 – 446.
- 26 Прохоренко Н.И., Корбутян М.А., Чураев Н.В. Влияние концентрации растворов электролитов и температуры на проницаемость и селективность обратноосмотических мембран / Химия и технология воды. 1989. № 4. С. 315 – 318.
- 27 Комплексная переработка минерализованных вод / А.Т. Пилипенко, Г.И. Вахнин, Т.И. Горюновский и др. Киев: Наукова думка, 1981. 284 с.
- 28 Пивницкая М.В., Козина А.А., Евсеев Н.Г. Электроосмотическая проницаемость ионообменных мембран // Изв. СО АН СССР. Сер. Химическая. 1974. № 4. С. 137 – 141.
- 29 Гнусин Н.П., Березина Н.П., Демина О.А. К вопросу об электроосмотической проницаемости ионообменных мембран // ЖПК. 1986. Т. 59. № 3. С. 679 – 682.
- 30 Гнусин Н.П., Березина Н.П., Демина О.А. Транспорт воды в ионообменных мембранах во внешнем электрическом поле // Электрохимия. 1987. Т. 23. № 9. С. 1247 – 1249.
- 31 Гнусин Н.П., Березина Н.П., Демина О.А. Модельное описание электротранспорта воды в ионообменных мембранах // Электрохимия. 1990. Т. 26. № 9. С. 1098 – 1104.
- 32 Электропроводность и числа переноса в обратноосмотических ацетилцеллюлозных мембранах / М.П. Сидорова, О.В. Арсентьева, Е.Е. Каталевский и др. // Химия и технология воды. 1983. Т. 5. № 6. С. 596 – 499.
- 33 Гнусин Н.П., Пивницкая М.В. Электрохимические свойства технологических катионообменных мембран // Известия СО АН СССР. Сер. Химическая. 1965. № 7. Вып. 2. С. 3 – 8.
- 34 Wodzki Romuald, Narebska Anna, Ceynowa Jozef/ Permselectivity of Vion excheng membranes from aorption and its relation to nonuliformity of membranes // Die Angewandte Makromolekulare Chemi. Basel. 1982. Vol. 106. № 1685. P. 23 – 25.
- 35 Тимашев С.Ф. Физика-химия мембран. М.: Химия, 1988. 240 с.
- 36 Сухов Г.Д. Разделение многокомпонентных растворов электролитов методом электроосмофильтрации: Дис. ... канд. техн. наук. М., 1983. 165 с.
- 37 Карлин Ю.В. Влияние электрического поля на ионный транспорт через обратноосмотические мембраны: Дис. ... канд. хим. наук. М., 1984. 179 с.

- 38 Дытнерский Ю.И., Моргунова Е.П., Саенко В.М. Влияние постоянного электрического поля на проницаемость воды через обратноосмотические ацетатцеллюлозные мембраны / МХТИ. 1982. 7 с. Деп. в ВИНТИ 27.04.82. № 2353-82 Деп.
- 39 Обработка воды обратным осмосом / А.А. Яминов, А.К. Орлов, Ф.Н. Карелин и др. М.: Стройиздат, 1978. 122 с.
- 40 Айтнулиев К., Соболев В.Д., Чураев Н.В. Влияние скорости течения и концентрации электролита на селективность обратноосмотических мембран // Коллоидный журнал. 2984. Т. 46. № 2. С. 211 – 217.
- 41 Абоносимов О.А., Коробов В.Б., Коновалов В.И. Продольное перемещение в обратноосмотических аппаратах с рулонными разделительными элементами // I научая конференция ТГТУ: краткие тез. докл. Тамбов, 1994. С. 160 – 161.
- 42 Абоносимов О.А., Коробов В.Б. Гидродинамические характеристики промышленных обратноосмотических аппаратов с рулонным разделительными элементами // ИВУЗ. Химия и химическая технология. 1999. Т. 42. Вып. 2. С. 131 – 134.
- 43 Горбатьюк В.И., Старов В.М. Гидродинамика мембранных процессов при ламинарном режиме течения // ИВУЗ. Химия и технология воды. 1983. Т. 5. № 1. С. 65 – 67.
- 44 Расчет концентрационной поляризации в аппаратах обратного осмоса с плоско-камерными фильтрующими элементами / С.В. Поляков, В.Д. Волгин, Е.Д. Максимов, Ю.Е. Синяк // Химия и технология воды. 1982. Т. 4. № 3. С. 299 – 304.
- 45 Старов В.М., Чураев Н.В., Дорохов М.В. Влияние ассоциации ионов в зоне концентрационной поляризации и выпадение кристаллов на селективность обратноосмотических мембран // Химия и технология воды. 1986. Т. 8. № 2. С. 67 – 72.
- 46 Дмитриев Е.А. Исследование явления концентрационной поляризации и его учет в процессах разделения растворов обратным осмосом: Дис. ... канд. техн. наук. М, 1980. 16 с.
- 47 Дытнерский Ю.И., Дмитриев Е.А. Исследования влияния концентрационной поляризации на процесс обратного осмоса // Труды МХТИ. 1982. Вып. 122. С. 64 – 72.
- 48 Концентрирование сточных вод ионнообменных колонн методом обратного осмоса / Н.Н. Брагер, Н.М. Корольков, Ю.П. Лобанов, Ю.П. Мушинский, А.Л. Коваленко // ДИИ. Днепродзержинск, 1989. 12 с. Деп. в УкрНИИНТИ 31.03.89, 3953-хп.
- 49 Байков В.И., Вильдюкевич А.В. Нестационарная концентрационная поляризация при ламинарной ультрафильтрации в плоском канале // ИФЖ. 1994. Т. 67. № 1-2. С. 103 – 107.
- 50 Брык М.Т., Цапюк Е.А., Твердый А.А. Мембранная технология в промышленности. Киев: Тэхника, 1999. 247 с.
- 51 Брок Т. Мембранная фильтрация / Пер. с англ. М.: Мир, 1987. 464 с.
- 52 Срибная В.П., Кучерук Д.Д. Влияние растворенных органических веществ на полупроницаемые мембраны и способы стабилизации их обратноосмотических свойств // Химия и технология воды. 1981. Т. 3. № 3. С. 204 – 207.
- 53 А.с. 617041, СССР. Способ очистки водных растворов от органических соединений / Ю.А. Авдонин, Л.В. Корнева, И.И. Константинов и др. Опубл. 30.03.78, Бюл. № 28.
- 54 Мазанко А.Ф., Камарьян Г.М., Ромашин О.П. Промышленный мембранный электролиз. М.: Химия, 1989. 240 с.
- 55 А.с. 581616 СССР, МКИ В 01 D13/ 01. Способ разделения растворов.
- 56 А.с. 924063 СССР, МКИ С 08 J 5/22. Способ изготовления селективной мембраны.
- 57 Шапошник В.А. Кинетика электролиза. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1989. 179 с.
- 58 Ньюман Дж. Электрохимические системы / Пер. с англ.; под ред. Ю.А. Чизмадзева. М.: МИР, 1977. 464 с.

- 59 Гринчик Н.Н. Процессы переноса в пористых средах, электролитах и мембранах. Минск: Изд-во АНК «Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова», 1991. 252 с.
- 60 Коновалов В.И., Коробов В.Б. О методах описания массо- и теплопереноса в процессах электродиализа // ЖПХ. 1989. № 9. С. 1975 – 1982.
- 61 Деминерализация методом электродиализа / Пер. с англ.; под ред. Б.Н. Ласкорина, Ф.В. Раузен. М.: Госатомиздат, 1963. 351 с.
- 62 Смагин В.Н. Обработка воды методом электродиализа. М.: Стройиздат, 1986. 172 с.
- 63 Бобровник Л.Д., Загородний П.П. Электромембранные процессы в пищевой промышленности. Киев: Выща школа, 1989, 1989. 272 с.
- 64 Лазарев С.И., Коробов В.Б., Коновалов В.И. Выделение анилина из водного раствора методом обратного осмоса // Ученые вуза – производству: Тез. докл. XXV обл. конф. 1989. С. 50.
- 65 Лазарев С.И., Коробов В.Б., Коновалов В.И. Разделение анилинсодержащих сточных вод мембранными методами и кинетические характеристики процесса // Создание и внедрение современных аппаратов с активными гидродинамическими режимами для текстильной промышленности и производств химических волокон: Тез. докл. III Всесоюз. конф. М.: ЦНИИТЭИлегпром, 1989. С. 153.
- 66 Лазарев С.И., Коробов В.Б., Коновалов В.И. Мембранное разделение сточных вод производств химикатов-добавок // Синтез и исследование эффективности химикатов для полимерных материалов: Тез. докл. IX Всесоюз. науч.-техн. конф. Тамбов, 1990. С. 206 – 207.
- 67 Лазарев С.И., Коробов В.Б., Каталов В.С. Применение обратного осмоса в процессе водоподготовки // I научная конференция ТГТУ: тез. докл. Тамбов, 1994. С. 44.
- 68 Лазарев С.И., Коробов В.Б., Клиот М.Б. Очистка сточных вод спиртовых производств // II Межгосударственная научно-практическая конференция: тез. докл. Пенза, 1994. С. 94 – 95.
- 69 Лазарев С.И., Коробов В.Б. Обратноосмотическая очистка сточных вод от низкомолекулярных органических веществ // II областная экологическая конференция: тез. докл. Тамбов, 1995. С. 44 – 45.
- 70 Коробов В.Б., Лазарев С.И., Коновалов В.И. Обратноосмотическое разделение водных растворов низкомолекулярных органических веществ // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 1995. № 3-4. С. 296 – 302.
- 71 Абоносимов О.А., Коробов В.Б., С.И. Лазарев. Обратноосмотическая очистка некоторых видов гальванометров // Труды молодых ученых и студентов ТГТУ. 1997. Вып. 1. С. 8 – 12.
- 72 Лазарев С.И., Коробов В.Б. Электроосмофильтрационное выделение низкомолекулярных органических веществ из водных растворов // Тез. докл. XIII сов. по электрохимии органических соединений. Тамбов, 1994. С. 155 – 157.
- 73 Лазарев С.И. Применение электроосмофильтрации для получения, концентрирования – выделения органических веществ из водных растворов // II научная конференция: тез. докл. Тамбов, 1994. С. 94 – 95.
- 74 Коробов В.Б., Лазарев С.И., Абоносимов О.А. Обратноосмотическое и ультрафильтрационное концентрирования растворов спиртовых и дрожжевых производств // Проблемы химии и химической технологии: тез. докл. науч.-техн. конф. Тамбов, 1996. С. 90 – 91.
- 75 А.с. 1614432 СССР, МКИ С 07 С 211/46, 209/86. Способ выделения анилина из водного раствора / С.И. Лазарев, В.Б. Коробов, В.И. Коновалов (СССР) – 4667678/23-04: Заявл. 30.01.89 – не публ.
- 76 А.с. 1691316 СССР, МКИ С 02 Р 1/45. Способ очистки сточных вод от анилина методом электроосмофильтрации / С.И. Лазарев, В.Б. Коробов, В.И. Коновалов (СССР) – 4493659/26: Заявл. 14.10.88. Опубл. 15.11.91. Бюл. № 42.
- 77 Лазарев С.И., Коробов В.Б., Коновалов В.И. Применение электроосмофильтрации для очистки сточных вод от примесей органического характера // Экологические проблемы производства синтетических каучуков: тез. докл. Всесоюз. конф. Воронеж, 1990. С. 38 – 39.

- 78 Листовые материалы, полученные методом прокатки порошков. Проспект. Выкса, 1990. ВМЗ.
- 79 Ковалева И.Г. Ковалев В.Г. Биохимическая очистка сточных вод предприятий химической промышленности. М.: Химия, 1987. 160 с.
- 80 Х. Агилар Перис. Явления переноса через мембрану: Пер. с англ. М., 1985. 34 с.
- 81 Рудобашта С.П. Массоперенос в системах с твердой фазой. М.: Химия, 1980. 248 с.
- 82 Рудобашта С.П., Карташов Э.М. Диффузия в химико-технологических процессах. М.: Химия, 1993. 238 с.
- 83 Тихомолова К.П. Электроосмос. Л.: Химия, 1989. 724 с.
- 84 Справочник химика. М.: Химия, 1964. Т. 3. 1008 с.
- 85 Гельперин Н.И., Пибалк В.Л., Костянян А.Е. Структура потоков и эффективность колонных аппаратов химической промышленности. М.: Химия, 1977. 264 с.
- 86 Левеншиль О. Инженерное оформление химических процессов. М.: Химия, 1969. 621 с.
- 87 А.с. 471104 СССР, МКИ В 01 D13/00. Аппарат для обратного осмоса и ультрафильтрации.
- 88 Эрдеи-Груз Т. Явления переноса в водных растворах. М.: Мир, 1976. 592 с.
- 89 Фиошин М.М., Шутова Л.А., Кришталик Л.И. Исследование переноса ионов и воды через катионообменную мембрану МФ-4СК в концентрационных щелочах // Электрохимия. 1986. Т. 22. № 6. С. 814 – 819.
- 90 Шапот Д.М., Демидов А.И., Морачевский А.Г. Электропроводность растворов системы  $H_2SO_4 - ZnSO_4 - H_2O$  // ЖПХ. 1985. Т. 58. № 5. С. 1137 – 1138.
- 91 Певницкая М.В., Гнусин Н.П., Лаврова Т.А. Электрический перенос ионов через катионообменную мембрану в смешанных растворах солей // Известия СО АН СССР. Сер. хим. наук. 1965. № 7. Вып. 2. С. 13 – 18.
- 92 Кирдун В.А. Исследование методов интенсификации работы электродиализных установок для опреснения природных вод: Дис. ... канд. наук. М., 1972. 235 с.
- 93 Первов Г.Г., Ушаков Л.Д., Кирдун В.А. Влияние состава и концентрации солей в опресняемой воде на электропроводность ионообменных мембран // Труды ин-та «ВОДГЕО». 1975. С. 48 – 53.
- 94 Березин Н.П., Шеретова Г.М., Витильская Н.В. Электропроводность катионообменных мембран в многокомпонентных растворах // Теория и практика сорбционных процессов. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1981. № 14. С. 73 – 76.
- 95 Антропов Л.И. Теоретическая электрохимия. М.: Высшая школа, 1875. 558 с.
- 96 Кирдун В.А. Исследование электрического сопротивления ионообменных мембран // Труды ин-та «ВОДГЕО». 1972. Вып. 39. С. 58 – 64.
- 97 Шапошник В.А., Емельянов Д.Е., Дробышева И.В. Контактноразностный метод измерения электропроводности мембран // Коллоидный журнал. 1984. № 4. С. 820 – 822.
- 98 Робинсон Р., Стокс Р. Растворы электролитов: Пер. с англ. А.Н. Фрумника. М.: Иностранная литература, 1963. 646 с.
- 99 Шапошник В.В. Диффузия и электропроводность в водных растворах сильных электролитов // Электрохимия. 1994. Т. 30. № 5. С. 638 – 643.
- 100 Гребенюк В.Д. Электродиализ. Киев: Техника, 1976. 159 с.
- 101 Смагин В.Н. Обработка воды методом электродиализа. М.: Стройиздат, 1986. 172 с.
- 102 Бобровников Л.Д., Загородний П.П. Электромембранные методы в пищевой промышленности. Киев: Выща школа, 1989. 272 с.
- 103 Гельферих Ф. Иониты. Основы ионного обмена / Пер. с нем.; под ред. С.М. Черноброва. М.: НИИ, 1962. 492 с.
- 104 Хладик Дж. Физика электролитов. М.: Мир, 1987. 556 с.
- 105 Sata T., Yamane R., Mizutani Y. Concentration Polarization Phenomena in Ionexchange Membrane Electrodialysis // Bulletin of the Chemical Society of Japan. Vol. 42. N 2. P. 279 – 284.

- 106 Формирование предельного состояния на ионообменных мембранах в электролитах различной природы / В.П. Гребень, В.Л. Лацков, Н.Я. Коварская и др. // Электрохимия. 1986. Т. 22. № 2. С. 175 – 179.
- 107 Мукин С.В. Кинетика массо- и теплопереноса при электродиализном обессоливании – концентрировании двухкомпонентных растворов производств химикатов – добавок для полимерных материалов: Дис. ... канд. техн. наук. Тамбов, 1995. 271 с.
- 108 Никоненко В.В. Стационарная электродиффузия в системе ионообменная мембрана – двухкомпонентный раствор: Дис. ... канд. хим. наук. Краснодар, 1979. 156 с.
- 109 Гнусин Н.П., Заболоцкий В.И., Никоненко В.В. Влияние внешнего электрического поля на массоперенос в диффузионном слое в системе ионит – двухкомпонентный раствор // Электрохимия. 1978. Т. 14. № 5. С. 660 – 666.
- 110 Исследование стационарного состояния ионообменной системы гранулированный ионит – двухкомпонентный раствор во внешнем электрического поля / В.И. Заболоцкий, Н.П. Гнусин, С.Л. Репринцев и др. // Электрохимия. 1979. Т. 15. № 8. С. 1124 – 1132.
- 111 Никоненко В.В., Заболоцкий В.И., Гнусин Н.П. Стационарная электродиффузия в ионообменной системе мембрана – раствор // Электрохимия. 1979. Т. 15. № 10. С. 1494 – 1502.
- 112 Никоненко В.В., Заболоцкий В.И., Гнусин Н.П. Влияние внешнего постоянного электрического поля на селективные свойства ионообменных мембран // Электрохимия. 1980. Т. 16. № 4. С. 556 – 564.
- 113 Стационарная электродиффузия трех сортов ионов через ионообменную мембрану / К.А. Лебедев, В.В. Никоненко, В.И. Заболоцкий и др. // Электрохимия. 1986. Т. 22. № 5. С. 638 – 643.
- 114 Савельев А.В. Кинетика массопереноса при электродиализе растворов в производствах химикатов-добавок для полимерных материалов: Дис. ... канд. техн. наук. Тамбов, 1986. 213 с.
- 115 Поляков С.В., Волгин В.Д., Максимов Е.Д. Зависимость от концентрации параметров, используемых при математическом описании процесса опреснения воды обратным осмосом // Химия и технология воды. 1984. Т. 4. № 2. С. 107 – 111.
- 116 Дытнерский Ю.И., Кочаров Р.Г. Некоторые проблемы теории и практики использования баромембранных процессов // ЖВХО им. Д.И. Менделеева. 1987. Т. 23. № 6. С. 669 – 673.
- 117 Лазарев С.И., Абоносимов О.А., Коробов В.Б. К вопросу о разработке конструкций мембранных аппаратов плоско-камерного типа // Труды ТГТУ: сб. науч. ст. молодых ученых и студентов. Тамбов, 2001. Вып. 1. С. 133 – 136.
- 118 Лазарев С.И. Разделения водных растворов содержащих анилин на электробаромембранном аппарате плоско-камерного типа // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2001. Вып. 3. С. 45 – 48.
- 119 Листовые материалы, полученные методом прокатки порошков. Проспект. Выкса, 1990. ВМЗ.
- 120 Электрохимия органических соединений / Пер. с англ.; под ред. А.П. Томилина, Л.Г. Феоктистова. М.: Мир, 1976. 731 с.
- 121 Корыта Ирши. Ионы, электроды, мембраны: Пер. чешск. М.: Мир, 1983. 264 с.
- 122 А.с. 1681926 СССР, МКИ В 01 2) 61/42. Мембранный аппарат / С.И. Лазарев, В.Б. Коробов, В.И. Коновалов (СССР) № 4696715/26: Заявл. 24.05.89 – 6 с. Оpubл. 07.10.91. Бюл. № 37.
- 123 Кочаров Р.Г., Захаров С.Л. К расчету истинной селективности обратноосмотического разделения бинарных растворов сильных электролитов на промышленных ацетатцеллюлозных мембранах. М., 1987. Т. 2. С. 91 – 92.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

---

---

ВВЕДЕНИЕ .....	3
Глава 1 КИНЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАССОПЕ- РЕНОСА В ЭЛЕКТРОБАРОМЕМБРАННЫХ АППА- РАТАХ .....	5
1.1 Диффузионная проницаемость .....	5
1.2 Водопроницаемость .....	6
1.3 Осмотическая проницаемость .....	7
1.4 Электроосмотическая проницаемость .....	7
1.5 Электропроводность мембран .....	8
1.6 Число переноса .....	8
1.7 Факторы, влияющие на кинетические параметры электробаромембранных процессов .....	9
Глава 2 КИНЕТИЧЕСКИЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ЭЛЕКТРОБА- РОМЕМБРАННЫХ ПРОЦЕССОВ .....	15
2.1 Коэффициенты задерживания, выделения и во- допроницаемости мембран .....	15
2.2 Коэффициент диффузионной проницаемости	25
2.3 Коэффициент осмотической проницаемости ...	31
2.4 Коэффициент электроосмотической проницае- мости .....	33
2.5 Коэффициент распределения растворенного вещества в мембране .....	35
2.6 Коэффициент продольного перемешивания ....	37
2.7 Числа переноса в мембране .....	41
2.8 Электропроводность мембран .....	46
2.9 Поляризация мембран .....	50
2.10 Выход по току .....	53
2.11 Исследование отравления мембран и возможно- сти их регенерации .....	54
2.12 Измерения влагоемкости мембран .....	55
Глава 3 ЭЛЕКТРОБАРОМЕМБРАННЫЕ АППАРАТЫ .....	57
3.1 Электробаромембранные аппараты плоско- камерного типа .....	58
..	58
3.2 Электробаромембранные аппараты трубчатого типа .....	61



3.3 Электробаромембранный аппарат рулонного	
типа .....	66
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	67