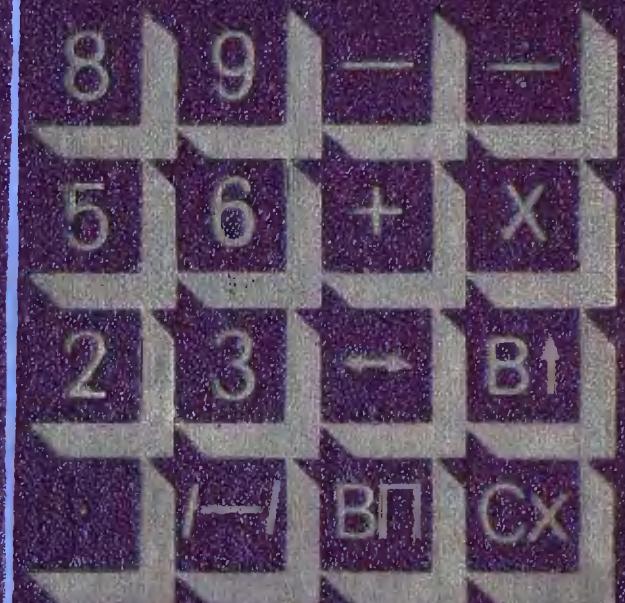


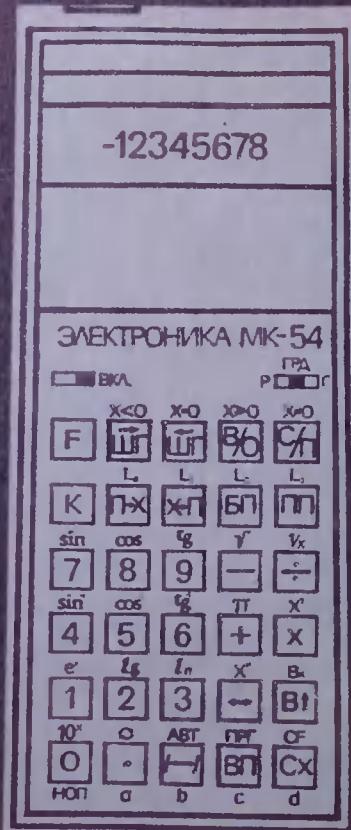
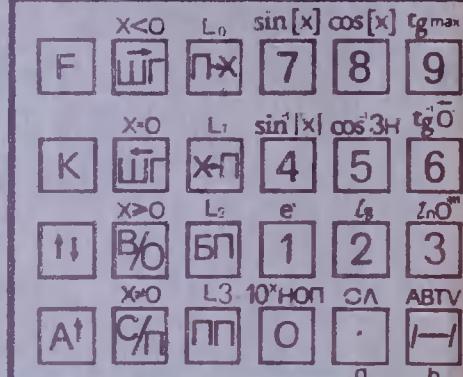
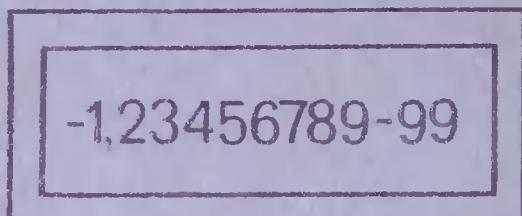
# **Справочник**

## **по расчету строительных конструкций на программируемых микрокалькуляторах**

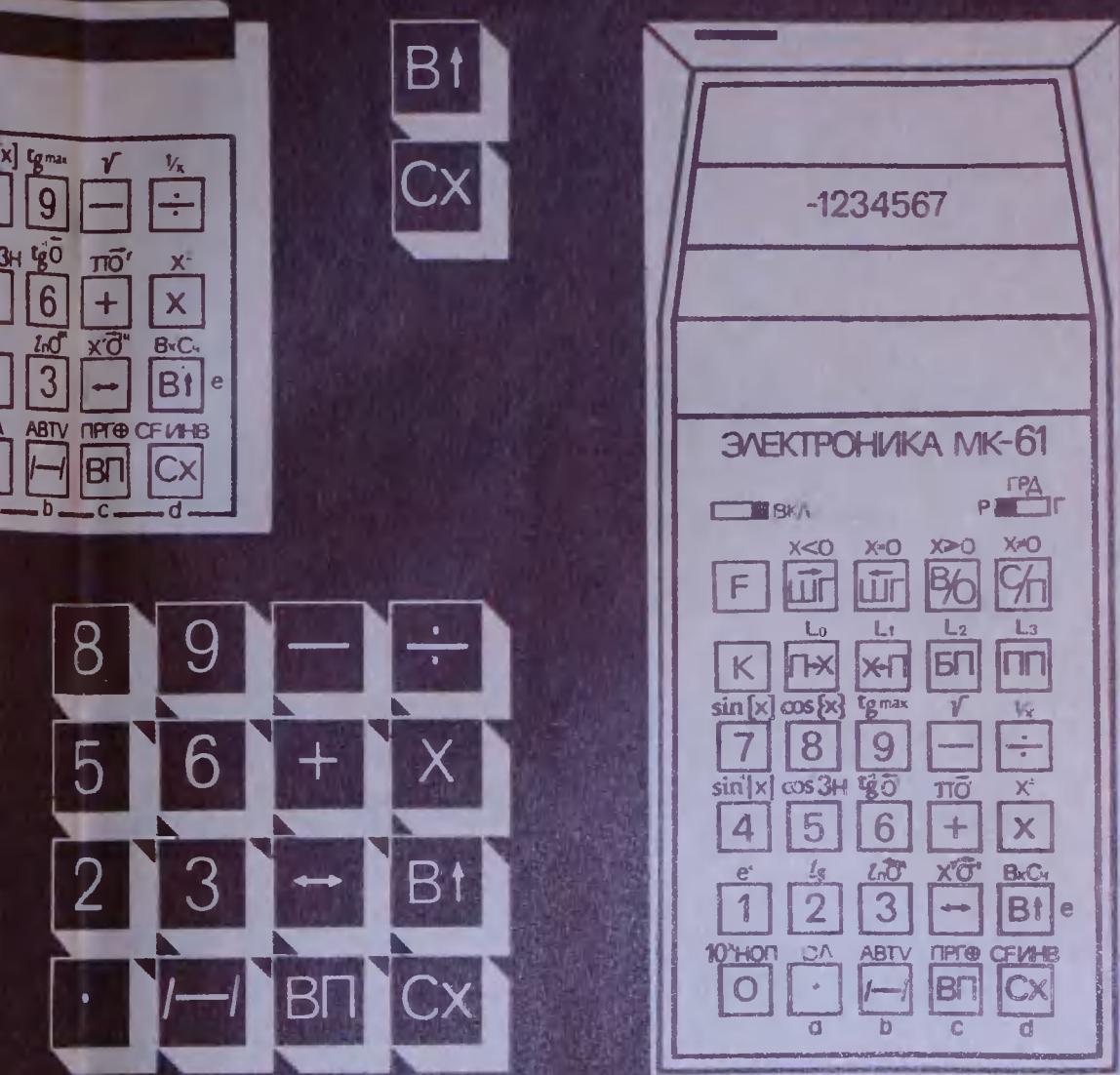


*Библиотека  
проектировщика*

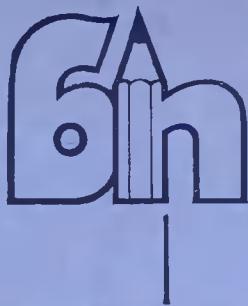
# ЭЛЕКТРОНИКА МК-52



ПР  
БЫ  
ВО  
ВЕ  
ПЛА  
ИН



ПРОГРАММИРУЕМЫЙ МИКРОКАЛЬКУЛЯТОР—  
БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕЕ, УДОБНОЕ И ПРОСТОЕ  
В ОБРАЩЕНИИ УСТРОЙСТВО, ПРИЗВАННОЕ  
ОБЛЕГЧИТЬ РУТИННУЮ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНУЮ РАБОТУ.  
ВЫСОКАЯ НАДЕЖНОСТЬ И ТОЧНОСТЬ  
ПМК ГАРАНТИРУЮТ РЕШЕНИЕ СЛОЖНЫХ  
ИНЖЕНЕРНЫХ И КОНСТРУКТОРСКИХ ЗАДАЧ.



Библиотека проектировщика

# **Справочник**

---

## **по расчету строительных конструкций на программируемых микрокалькуляторах**

Под редакцией  
д-ра техн. наук А. Я. Барашикова  
и канд. техн. наук В. А. Пермякова

КИЕВ «БУДІВЕЛЬНИК» 1989

ББК 38.5—02я2

C74

УДК 624.04 : 681.14

Библиотека основана в 1988 году

Авторы: А. Я. Барашиков, д-р техн. наук; М. Г. Гольдберг; Ю. Н. Кушнарев, В. И. Лишак, А. С. Лычев, В. А. Пермякова, кандидаты техн. наук; М. Н. Постернак; В. И. Симоненков

Рецензенты: кандидаты техн. наук М. Л. Гринберг, Н. Г. Лихогруд

Редакция литературы по строительным конструкциям, материалам и изделиям

Зав. редакцией А. А. Петрова

Редактор В. А. Шевчук

C74 Справочник по расчету строительных конструкций на программируемых микрокалькуляторах / А. Я. Барашиков, М. Г. Гольдберг, Ю. Н. Кушнарев и др.; Под ред. А. Я. Барашикова, В. А. Пермякова.— К. : Будивельник, 1989.—224 с.: ил.— (Б-ка проектировщика).

ISBN 5-7705-0168-5.

Систематизированы сведения об устройстве программируемых микрокалькуляторов с обратной бесскобочкой логикой вычисления (типа МК-54, МК-52, Электроника БЭ-34), о порядке работы ППЗУ. Включен комплекс программ расчета железобетонных, металлических и деревянных конструкций, а также конструкций каркасных и бескаркасных зданий в обычных инженерно-геологических условиях. Приведены примеры расчета.

Для инженерно-технических работников проектных организаций.

С 3305000000—041  
М203 (04)—89 72.89

ББК 38.5—02я2

ISBN 5-7705-0168-5

©Издательство «Будивельник», 1989

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Одним из направлений ускорения научно-технического прогресса решения XXVII съезда КПСС предусматривают широкое внедрение вычислительной техники во все отрасли народнохозяйственного комплекса, в частности в строительство. В настоящее время создано значительное число систем и технологических линий автоматизированного проектирования, пакетов прикладных программ, существенно повышающих производительность труда проектировщиков и технико-экономические показатели проектов.

Материальная база большинства средних и малых проектных организаций, учебных заведений не позволяет производить массовые расчеты с применением ЭВМ и подготавливать специалистов для выполнения подобных операций. Однако любой проектной организации и каждому инженеру доступны программируемые микрокалькуляторы (ПМК). Использование семейства программируемых микрокалькуляторов обеспечивает возможность выполнения расчетов по алгоритмам без значительных затрат времени и труда, поскольку не требуются знания специальных алгоритмических языков и операционной системы. ПМК характеризуются высокой оперативностью выполнения расчетов, малым энергопотреблением и высокой надежностью. В результате совершенствования конструкции возрастает их вычислительная мощность. Создание библиотек прикладных программ для решения задач позволяет значительно облегчить их применение во многих областях знания.

В настоящем справочнике сделана попытка обобщить результаты работы ряда проектных организаций и вузов по созданию библиотеки типовых программ расчета строительных конструкций, элементов, частей зданий и сооружений с применением ПМК. Представлены программы расчета железобетонных, металлических и деревянных конструкций. Примеры расчета иллюстрируют использование программ для выполнения комплексных расчетов реальных сооружений. Обозначения в тексте приняты в соответствии со строительными нормами и правилами, нестандартные оговорены. Параграфы 3.1 и 3.2, посвященные расчету элементов каркасных и бескаркасных зданий, который недостаточно полно отражен в инструктивно-нормативной

литературе, сопровождаются подробным изложением методики расчета. В отдельную главу выделены основные сведения о программировании ПМК, что достаточно для понимания работы всех программ, приведенных в справочнике.

Главу 1 написали М. Г. Гольдберг и А. С. Лычев, параграфы 2.1 и 2.2 — А. Я. Барашихов и М. Г. Гольдберг, 3.1 — М. Н. Постернак, 3.2 — В. И. Лишак и М. Г. Гольдберг, главу 4 — В. А. Пермяков и В. И. Симоненков, главу 5 — Ю. Н. Кушнарев, параграфы 6.1, 6.2 — М. Н. Постернак, 6.3, 6.4 — В. И. Лишак и М. Г. Гольдберг, 6.5 и 6.6 — В. А. Пермяков и В. И. Симоненков, 6.7...6.10 — Ю. Н. Кушнарев.

# ГЛАВА

1.1

÷

1.3

10

## ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОГРАММИРУЕМЫХ МИКРОКАЛЬКУЛЯТОРАХ

### 1.1. УСТРОЙСТВО, ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ И СИСТЕМА КОМАНД ПРОГРАММИРУЕМЫХ МИКРОКАЛЬКУЛЯТОРОВ

#### 1.1.1. УСТРОЙСТВО

Отечественная промышленность выпускает программируемые микрокалькуляторы (ПМК) марок Б3-34, МК-54, МК-52, МК-56, МК-61 (табл. 1.1). Программы, разработанные для МК с меньшими вычислительными возможностями (например, Б3-34, МК-54), можно выполнять без изменений в них на более совершенных МК (например, МК-52, МК-61).

Основные узлы ПМК:

пульт управления — для ввода чисел в память или команд в программную память. Служит и для обращения к подпрограммам постоянного запоминающего устройства при вычислении стандартных функций;

индикатор — для вывода информации в виде десятичных представлений и некоторых символов, характеризующих режим работы ПМК. При этом числа представляются в показательной форме  $a = M \cdot 10^n$  ( $1 \leq |M| < 10$ );

процессор памяти — для хранения кодов операторов и результатов операций при вычислениях. Содержит арифметико-логическое устройство, непосредственно выполняющее операции над двоичными кодами операторов, и операционное устройство (ОУ), имеющее пять взаимосвязанных регистров, содержимое которых изменяется после каждой выполненной команды. Процессор содержит 14 регистров (0, 1, 2, ...9, a, b, c, d), в которых числовая информация может помещаться в программном или в обычном режиме. Занесение данных в регистры памяти или их опрос осуществляется через регистр X. Память МК-52 и МК-61 имеет дополнительный регистр e;

постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) — для выполнения арифметических и логических действий, а также для вычисления стандартных математических функций, содержит множество микропрограмм;

программная память (ПрП) — фиксированное число ячеек для хранения кодов операторов и независимо от реальной конструкции может условно рассматриваться как кольцевой программный стек, соединенный со счетчиком шагов (операторов). В режиме програм-

мирования при вводе оператора нажатиями клавиш этот стек сдвигается на один шаг, код вводимого оператора заносится в его очередную ячейку, а содержимое счетчика шагов увеличивается на единицу.

Устройство управления регулирует работу узлов ПМК для всех режимов, задаваемых пользователем.

В модели МК-52 предусмотрено также перепрограммируемое запоминающее устройство (ППЗУ) и возможность подключения сменных модулей с постоянно хранящимися прикладными программами.

Принцип работы ПМК по заданной программе заключается в последовательном выполнении операторов, записанных в программном

Таблица 1.1. Основные показатели ПМК «Электроника»

Характеристика	Б3-34, МК-54, МК-56	МК-61	МК-52
Количество:			
регистров памяти	14	15	15
шагов программы	98	105	105 + 407
встроенных функций	14	28	28
встроенных команд организации			
циклов	4	4	4
то же, условных переходов	4	4	4
Наличие косвенной адресации	Есть	Есть	Есть

стеке ПрП. Код оператора, считанный с очередной ячейки ПрП, вызывает из ПЗУ соответствующую микропрограмму, после выполнения которой стек ПрП автоматически поворачивается на один или (для случаев условного, безусловного перехода или перехода на подпрограмму) несколько шагов, затем выполняется следующий оператор. Так как регистр постоянно связан с индикатором, в вычислительном процессе высвечивается результат каждой команды. Выполнение операторов программного стека продолжается до оператора «СТОП».

### 1.1.2. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

ПМК обладает следующими возможностями:

работать по программе, содержащей 98 или 105 команд, с числами в диапазоне  $-9,999999 \cdot 10^{-99} \dots 9,999999 \cdot 10^{99}$ ;

вычислять по одной команде тригонометрические функции  $\sin x$ ,  $\cos x$ ,  $\operatorname{tg} x$ ,  $\arcsin x$ ,  $\arccos x$ ,  $\operatorname{arctg} x$  (при этом угол  $x$  задается в градусах, радианах, градах), функции  $e^x$ ,  $\ln x$ ,  $\lg x$ ,  $\sqrt{x}$ ,  $1/x$ ,  $x^2$ ; по двум — функции  $x^y$ ; вызывать константу  $\pi$ ;

долговременно запоминать 14 или 15 чисел, кратковременно — 4 числа;

сигнализировать об ошибках;

организовывать по двум командам цикл (до 4 циклов в одной программе) и условный переход по результату сравнения с нулем ( $x \geq 0$ ,  $x = 0$ ,  $x \neq 0$ ), а также безусловный. Количество таких переходов и команд в пределах одной программы не ограничено;

выполнять по одной команде условный или безусловный переходы с косвенной адресацией;

остановить работу программы на любой команде и пустить ее с любой команды;

исключать из текста программы любую команду (группу команд) и контролировать исполнение каждой;

сбрасывать любое неправильно набранное число или команду; организовывать косвенную адресацию команд;

выделять по одной команде целую и дробную часть любого положительного числа, большего единицы;

выполнять набор и отладку программы, счет по ней в автоматическом и ручном режимах;

восстанавливать предыдущий результат вычислений;

организовывать по трем командам вычисление по подпрограмме.

«Электроника МК-52» и «МК-61» обладают возможностью предоставления сервисных услуг: взаимного перевода часов, минут, секунд; выделения модуля числа и максимального из двух чисел; определения знака числа, логического сложения и умножения, инверсии; генерации случайных чисел.

В ПМК «Электроника МК-52» одновременно можно ввести несколько программ с общим количеством команд до 512. Однако счет ведется только по одной, имеющей не более 105, остальные хранятся в ПМК и вызываются по необходимости.

ПМК имеет долговременную и кратковременную память для чисел и долговременную для программ. Информация, введенная в долговременную память, сохраняется без изменения в течение того времени, пока включено питание. При его отключении информация уничтожается (в «Электронике МК-52» при отключенном питании программы, введенные в ППЗУ, сохраняются 5000 ч). Информацию в кратковременной памяти ПМК возможно изменять по мере выполнения программы. ПМК, как правило, имеют 4 регистра такого рода памяти ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ,  $T$ ).

Команды программы исполняются автоматически, в ручном режиме и автоматически с остановкой после исполнения каждого шага. При этом на табло высвечивается результат вычисления по каждой команде.

### 1.1.3. РЕЖИМЫ РАБОТЫ ПМК

При работе с ПМК пользователю предлагается один из режимов вычислений:

обычный (элементарные вычисления с вводом операторов нажатиями клавиш);

программирования (ввод программы в запоминающее устройство, называемое программной памятью);

автоматических вычислений (автоматическое или пошаговое вычисление по программе, предварительно введенной в ПрП микрокалькулятора).

Режимы обычный и автоматических вычислений реализуются вводом с пульта управления оператора  $F$  АВТ. При работе с ПМК в

обычном режиме необходимо учитывать (при предварительно введенной пользователем программе) ограниченность памяти, занятой для хранения исходных и промежуточных данных.

Режим программирования осуществляется вводом с пульта управления оператора F ПРГ; для пользователя появляется доступ к программному стеку с начальным адресом 00 (адрес записывается двухпозиционным числом), после чего вводятся команды программы.

В зависимости от выбранного режима ПМК выполняет:

ввод исходных данных — в режиме автоматических вычислений с пульта управления набором «Число», « $x\Pi$ », «Номер регистра»;

контроль исходных и промежуточных данных — в режиме автоматических вычислений набором « $\Pi x$ », «Номер регистра»;

редактирование программы — в режиме программирования с помощью набора  $\overleftarrow{ШГ}$ ,  $\overleftarrow{ШГ}$ , КНОП и клавиш набора команд;

установление программного стека на начало — в режиме автоматических вычислений вводом оператора В/О или БП 00;

установление программного стека на нужный адрес для последующего редактирования команды программы данного адреса — в режиме автоматических вычислений вводом оператора БП  $n$ ;

пошаговый просмотр фрагмента программы — последовательным вводом оператора БП $n$ , (где  $n$  — адрес первой команды в фрагменте программы) в режиме автоматических вычислений и операторов  $\overrightarrow{ШГ}$ ,  $\overleftarrow{ШГ}$  в режиме программирования;

автоматическое выполнение программы начиная с команды, установленной оператором, В/О или БП $n$  — в режиме автоматических вычислений вводом оператора С/П;

останов выполнения программы — вводом оператора С/П;

пошаговое выполнение программы — в режиме автоматических вычислений вводом оператора ПП;

ввод программы — в режиме программирования в соответствии с текстом, содержащим множество команд (операторов) согласно разработанному пользователем алгоритму;

непрограммированное вычисление — в обычном режиме вводом операторов нажатием клавиш.

Таблица 1.2. Принятые обозначения команд

ПМК «Электроника Б3-34»	В других ПМК	В дальнейшем изложении
$\Pi$ , ИП $\arcsin$ , $\arccos$ , $\arctg$ $\overleftrightarrow{XY}$	$x \rightarrow \Pi$ , $\Pi \rightarrow x$ $\sin^{-1}$ , $\cos^{-1}$ , $\tg^{-1}$	$x\Pi$ , $\Pi x$ $\sin^{-1}$ , $\cos^{-1}$ , $\tg^{-1}$
$A$ , $B$ , $C$ , $D$ $\div$ $O$	$a, b, c, d$ $\pm$ $\times$	$a, b, c, d$ $\div$ $\uparrow$

### 1.1.4. КЛАССИФИКАЦИЯ ОПЕРАТОРОВ

В отечественных ПМК применяется язык программирования ЯМК-34. Существуют незначительные отличия буквенно-цифровых обозначений команд в различных марках ПМК. Из соображений удобства воспроизведения программ обозначения некоторых команд упрощены (табл. 1, 2). Операторы ЯМК-34, вводимые в память микрокалькуля

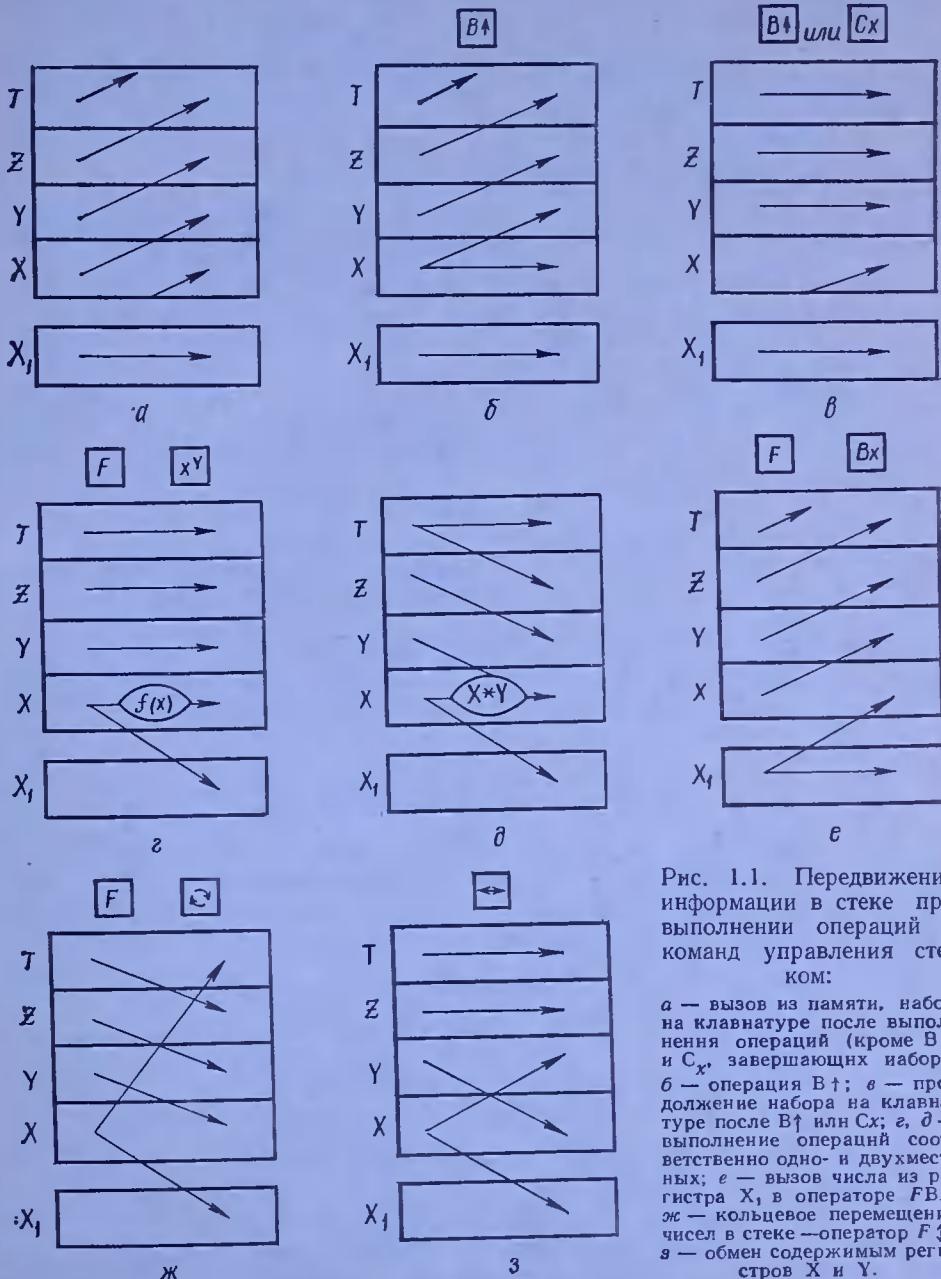


Рис. 1.1. Передвижение информации в стеке при выполнении операций и команд управления стеком:

*a* — вызов из памяти, набор на клавиатуре после выполнения операций (кроме *B↑* и *Cx*, завершающих набор);  
*b* — операция *B↑*; *c* — продолжение набора на клавиатуре после *B↑* или *Cx*; *d* — выполнение операций соответственно одно- и двухместных; *e* — вызов числа из регистра *X*, в операторе *FBx*; *ж* — кольцевое перемещение чисел в стеке — оператор *F\$*; *з* — обмен содержимым регистров *X* и *Y*.

**Таблица 1.3. Группы операторов и функции, выполняемые над операционным стеком**

№ группы	Операторы, принадлежащие группе	Функции, выполняемые оператором над операционным устройством
1	Ввод констант: 0, 1, 2,...9. Ввод переменных $Px_n$ , $KPx_n$	Смещение операционного стека «вверх», запись числа в $X$ . Если оператору предшествовал оператор $B\uparrow$ , то смещение стека исключается
2	Логические операторы: $Fx < 0$ , $Fx \neq 0$ , $Fx = 0$ , $Fx > 0$ , БП, С/П, ПП, В/О, $x\Pi$ , $Kx\Pi$ , $FL_0$ , $FL_1$ , $FL_2$ , $FL_3$ , КБП, $Kx < 0$ , $Kx \neq 0$ , $Kx = 0$ , $Kx \geq 0$	Состояние регистров операционного устройства не изменяется
3	$B\uparrow$	Смещение операционного стека «вверх»
4	$\leftrightarrow$	Обмен содержимым между регистрами $X$ и $Y$
5	Одноместные операторы: $\sin x$ , $\cos x$ , $\operatorname{tg} x$ , $\operatorname{arctg} x$ , $\arcsin x$ , $\arccos x$ , $\sqrt{x}$ , $e^x$ , $\lg x$ , $\ln x$ , $x^2$ , $10^x$ , $/-$	Запись содержимого из $X$ в $X_1$ , вычисление функции по аргументу из $X$ , запись результата в $X$
6	Двухместные операторы: $+$ , $-$ , $\times$ , $/$	Запись содержимого из $X$ в $X_1$ , выполнение арифметического действия над операндами № 1 из $Y$ и № 2 из $X$ , смещение операционного стека «вниз», запись результата в $X$
7	$F\downarrow$	Запись содержимого из $X$ в $X_1$ и $T$ , смещение операционного стека «вниз»
8	$Bx$	Смещение операционного стека «вверх», запись содержимого из $X_1$ в $X$

тора в режиме ПРГ, классифицируются на группы операторов (команд) в зависимости от функций оператора над операционным стеком (регистры  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ,  $T$ ) и дополнительным регистром  $X_1$  (табл. 1.3, рис. 1.1).

#### 1.1.5. ОПИСАНИЕ ГРУПП ОПЕРАТОРОВ

Существует восемь групп операторов (табл. 1.4). Оператор, вводимый в программную память, размещается в одной или в двух ячейках памяти. Номер первой ячейки называется адресом или меткой оператора (команды) программы.

**Таблица 1.4. Основные группы операторов, используемые в программах микрокалькуляторов**

Номер и наименование группы	Содержание операции
1. «Константа»  $Px_n$  $KPx_n$	Запись числа в регистр $X$ , где «коинстанта» $\in \{0, 1, 2, \dots, 9, \pi\}$ Запись содержимого регистра памяти в регистр $X$ , где $n \in \{0, 1, 2, \dots, 9, a, b, c, d, e\}$ Запись содержимого регистра памяти, модифицированный номер которого находится в регистре $n$ , в регистр $X$

Номер и наименование группы	Содержание операции
2. $x$ «отношение» $0m$	Условный переход, в котором «отношение» $\in \{x < 0; x = 0; x \geq 0; x \neq 0\}; m \in \{00, 01, 02, \dots, 97, 98 (105)\}$ . Если «отношение» содержимого регистра $X$ к нулю справедливо, выполняется следующий оператор в программе. В противном случае управление передается оператору с адресом $m$
БП $m$ С/П	Безусловный переход к оператору с адресом $m$
ПП $m$	1. Прекращение прохождения программы в режиме программирования и фиксация содержимого регистра $X$ на индикаторе. 2. Вычисление по программе в режиме автоматической работы и прекращение вычислений при зацикливании
В/О	Переход на подпрограмму в режиме программирования. Осуществляется потактовое прохождение программы в режиме автоматической работы
$xPn$ $KxPn$	Возврат из подпрограммы в режиме программирования. Управление передается оператору, следующему после ПП $m$
$Ln^*m$	Запись содержимого $X$ в регистр памяти $n$ Запись содержимого $X$ в регистр памяти, модифицированный номер которого находится в регистре $n$
КБП $n$	Организация циклов, где $n^* \in \{0, 1, 2, 3\}, m \in \{00, 01, 02, \dots, 98 (105)\}$ . Если содержимое регистра равно единице, выполняется следующий оператор. В противном случае из содержимого регистра $n^*$ вычитается единица и управление передается оператору с адресом $m$
$Kx$ «отношение» $0n$	Косвенный безусловный переход, где $n \in \{0, 1, 2, \dots, 9, a, b, c, d, e\}$ . Осуществляется переход к оператору с модифицированным адресом, значение которого хранится в регистре памяти $n$
3. $B \uparrow$ 4. $\leftrightarrow$	Косвенный условный переход. Если «отношение» содержимого регистра $X$ к нулю справедливо, выполняется следующий оператор в программе. В противном случае управление передается оператору с модифицированным адресом, значение которого хранится в регистре памяти $n$
5. «Функция»	Содержимое регистров $X, Y, Z, T$ смешается по стеку вверх
6. «Действие»	Обмен содержимым между регистрами $X$ и $Y$ . Содержимое остальных регистров $X_1, Z$ и $T$ остается неизменным
7. $F \downarrow$	Содержимое регистра переписывается в регистр $X_1$ . Затем вычисляется функция по аргументу, записанному в $X$ . В качестве понятия «функция» могут быть использованы: sin, cos, tg, arcsin, arccos, arctg, $x^2$ , $1/x$ , $\sqrt{x}$ , $e^x$ , $10^x$ , ln, lg, $x^y$ , $1/x^y$
8. $Bx$	Выполняется арифметическое действие над операторами № 1 и № 2, записанными соответственно в $Y$ и $X$ . Результат помещается в регистр $X$ . В качестве арифметического «действия» используется один из следующих операторов: +, -, ×, /
	Содержимое $X$ переписывается в регистры $X_1$ и $T$ , операционный стек смещается «вниз»
	Содержимое $X$ передается в регистр $Y$ , содержимое $Y$ — в $Z$ , $Z$ — в $T$ , $X_1$ — в $X$ , содержимое регистров смещается по стеку «вверх»

Оператор программы записывают с помощью одного или двух слов. Слова оператора отделяют пробелами, причем каждое слово помещают в отдельную ячейку памяти. При записи программы в столбик каждое слово записывают с указанием номера ячейки. При

записи в строку в каждой строке рекомендуется записывать по десять слов через пробел.

Адрес оператора  $m$  (номер ячейки памяти) записывают двухпозиционным числом. Адрес первого оператора в программе равен номеру 00.

Номер регистра памяти  $n$  записывают однопозиционным числом  $(0, 1, 2, \dots, 9, a, b, c, d, e)$ .

Операторы вводят с пульта управления нажатием одной или нескольких клавиш.

Перед выполнением операторов КП $x$ , КхП, КБП и (для случаев, если «отношение» не выполняется) К $x < 0$ , К $x = 0$ , К $x \geq 0$ , К $x \neq 0$  содержимое регистра  $n$  модифицируется следующим образом: при  $n \in \{0, 1, 2, 3\}$  — уменьшается на единицу; при  $n \in \{4, 5, 6\}$  — увеличивается на единицу; при  $n \in \{7, 8, 9, a, b, c, d, e\}$  — не изменяется.

#### 1.1.6. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЯЗЫКА МК-34

Предполагается, что читатель знаком с руководством по эксплуатации и может выполнять простейшие операции (ввод чисел, вычисление простых арифметических выражений и элементарных функций), поэтому рассмотрим возможности расчета конструкций на ПМК в режиме программирования.

**Безусловный переход.** По данной команде выполнение программы продолжается с шага, номер которого записан после команды безусловного перехода (БП).

**Пример 1.** В программе П $xa$  П $xb \times$  П $xc$  F $x^e$  БП 71... после выполнения команды с номером 04 происходит переход к команде с номером 71.

**Условный переход.** Переход при условиях  $x \geq 0$ ,  $x < 0$ ,  $x = 0$ ,  $x \neq 0$  реализуется командами F $x \geq 0n$ , F $x < 0n$ , F $x = 0n$ , F $x \neq 0n$ , в которых проверяется содержимое регистра  $X$ . В случае невыполнения условия следующей должна быть исполнена команда с адресом  $n$ . Если условие выполняется, то будет исполнена команда, записанная в программе после адреса перехода  $n$ .

**Пример 2.** В программе F $\pi$  F $x^2$  F $x = 0$  38... после проверки условия  $x = 0$  выполняется команда с адресом 38.

**Переход на подпрограмму.** При необходимости многократного вычисления одного и того же выражения в пределах программы можно использовать подпрограммы: две команды в основном тексте (команда ПП и адрес, с которого начинается подпрограмма) и одну в конце подпрограммы (В/О). После счета по подпрограмме программа переходит на счет по команде основной программы, расположенной после команд перехода на подпрограмму.

**Пример 3.** Найти значение выражения  $\sum_{i=1}^2 a \frac{1}{d} \left( \frac{b}{c} + \ln x_i \right)$  при  $x_1$  и  $x_2$ . Распределение исходных данных в регистрах долговременной памяти:  $a \rightarrow a$ ;  $b \rightarrow b$ ;  $c \rightarrow c$ ;  $d \rightarrow d$ ;  $x_1 \rightarrow 1$ ;  $x_2 \rightarrow 2$ . Программа: 0 xП5 П $x1$  ПП 09 П $x2$  ПП 09 С/П

Подпрограмма:  $FIn \quad \Pi xb \quad \Pi xc / + \Pi xd / \Pi xa \quad Fx^y$   
 $\Pi x5 + x\Pi 5 \quad B/O$

Первый переход на подпрограмму (команды 03 и 04) происходит при  $i = 1$  ( $x = x_1$ ). После счета по подпрограмме работа программы возобновляется с команды под номером 05. Второй переход происходит при  $i = 2$  ( $x = x_2$ ). После исполнения подпрограммы программа останавливается на команде с номером 08.

**Реализация циклов.** По команде  $FL0$  ( $FL1$ ,  $FL2$ ,  $FL3$ ) происходит обращение к регистру 0 (1, 2, 3). При каждом обращении к регистру из его содержимого вычитают единицу и результат сравнивают с нулем. Если содержимое регистра не равно нулю, то осуществляется переход к выполнению команды, записанной по адресу перехода, следующему за командой цикла. Если содержимое регистра равно нулю, то выполняют команду, записанную в программе за адресом перехода.

**Пример 4.** Вычислить сумму ряда  $\sum_{i=1}^T 1/(1+E)^i$ .

Распределение исходных данных в регистрах долговременной памяти:  $E \rightarrow a$ ;  $i \rightarrow 0$ ;  $T \rightarrow 1$ .

Программа 0  $x\Pi b$   $\Pi xa$   $1 + x\Pi d$   $\Pi x1$   $\Pi xd$   $Fx^y$   $F1/x$   
 $\Pi xb + x\Pi b$   $FL1$  06  $\Pi xb$  С/П

В программе суммирование производится начиная с максимального значения  $i = T$ . Учитывается, что после каждого цикла содержимое регистра 1 уменьшается на единицу по сравнению с номером регистра и принимает все значения от  $T$  до 1.

**Косвенный безусловный переход.** Производят клавишами КБП и клавишей адресуемого регистра (0...e) с целью проверки выполнения заданного условия в соответствии с содержанием регистра  $X$ . Если условие не выполнено, то происходит модификация адреса, хранящегося в адресуемом регистре, и осуществляется переход к команде, записанной по модифицированному адресу.

В случае выполнения условия переходят к следующей команде. При этом адрес, записанный в адресуемом регистре, не модифицируется.

**Косвенный переход на подпрограмму.** Команду осуществляют клавишами КПП и клавишей адресуемого регистра: модифицируется адрес, хранящийся в адресуемом регистре, запись следующей команды в стек возврата и переход к исполнению команды, записанной по модифицированному адресу.

**Косвенная адресация.** Эту команду используют для последовательного ввода и вывода чисел из соседних регистров долговременной памяти.

**Пример 5.** Ввести 3 числа в регистры долговременной памяти 9, 8, 7.

Программа:  $Kx\Pi 0$  С/П  $FL1$  00 С/П.

Ввести число 10 в регистр 0, а в регистр 1 — числа (3). Набрать программу и первое число (например, 21). Запустить программу в работу (B/O С/П). После первого останова набрать второе число (например, 11). Нажать клавишу С/П. После второго останова набрать

третье число (например, 145). Нажать клавишу С/П. Для проверки: Пх9 → 21, Пх8 → 11, Пх7 → 145.

**Пример 6.** Вывести из регистров долговременной памяти 4 числа. Занести в эти регистры: 5 → a, 10 → b, 15 → c, 20 → d. В регистр 0 ввести количество вызываемых чисел (4), в регистр 4 — начальный номер регистра, уменьшенный на единицу, из которого следует извлечь первое число (9). Необходимо учесть, что регистр a имеет номер 10, b — 11, c — 12, d — 13. Ввести программу: КПх4 С/П FL0 00 С/П. Запустить ее в работу. После каждого останова нажимать клавишу С/П до тех пор, пока не будут выведены все числа.

### 1.1.7. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПРИЕМЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

При недостатке регистров долговременной памяти 4 стековых регистра используют в начале программы. В этих же условиях константы вводят в адресуемые регистры, учитывая что каждый символ занимает одну команду.

Исходные данные в виде целых положительных чисел можно «упаковывать» в один регистр долговременной памяти, последовательно выбирая из него их при счете. Для этого в любой регистр, начиная с 7, заносят последовательный ряд чисел с одинаковым количеством знаков. После первого числа ставят запятую. Например, набор чисел 1 4 6 3 9 4 5 7 вводят как число 1,4639457, набор чисел 14 63 94 57 — как 14,639457. Числа из «упаковки» выбирают по подпрограмме: ПхТ хПМ КпхМ ПхТ ПхМ — n 10<sup>x</sup> хПТ ПхМ В/О. Здесь n — порядок числа (1, 2, 3, 4), Т, М — любые адресуемые регистры, начиная с седьмого.

Кроме 14 (15) регистров долговременной и 4 регистров кратковременной памяти в ПМК есть возможность долговременно записать еще 3 числа по программе: Т хП9 Сx K7 (ЕГГОГ) ВП КНОП (на табло — точка) В↑ Пх9 В↑ В↑ В↑ В↑ В↑ В↑ (где КНОП — команда «нет операции», Т — число). Второе и третье числа заносятся в память по той же программе. Для извлечения чисел необходимо: первого — Сx K7 ВП КНОП В↑ В↑ В↑ В↑ В↑ В↑; второго — Сx K7 ВП КНОП ↔ ↔; третьего — Сx K7 ВП КНОП ↔. Записанные числа хранятся и не изменяются, пока ПМК включен.

При выполнении длительно работающих программ для контроля правильности счета в программу вводят блок, состоящий из команд (9 0 Ftg КНОП), который по желанию пользователя может остановить программу. При положении переключателя единиц измерения углов «Г» программа останавливается с индикацией слова ЕГГОГ. После останова проверяют содержание интересующих регистров памяти, затем переводят переключатель в положение «Р», нажимают клавишу С/П и программа продолжает вычисления до тех пор, пока не закончится или пока ее не остановят переводом переключателя в положение «Г».

Константы, занесенные в регистры долговременной памяти, можно использовать в качестве адресов в командах косвенных переходов и косвенной адресации. При этом следует помнить об особенностях

регистров при обращении к ним через команду K, а также, что при исполнении команды с обозначением «K» число, находящееся в адресуемом регистре, становится целым.

При обращении к регистрам, в которые занесены константы, по командам КБПМ, КППМ,  $Kx < 0M$ ,  $Kx = 0M$ ,  $Kx \geq 0M$ ,  $Kx \neq 0M$  программа переходит на исполнение команды с номером, равным двум цифрам перед запятой константы.

При обращении к тем же регистрам по командам КПхМ, КхПМ дальнейшая работа происходит с числом, находящимся в регистре 0...3 или a...d (табл. 1.5).

**Таблица 1.5. Соответствие номера регистра константе, записанной в долговременной памяти**

Две последние цифры перед запятой в константе	Номер адресуемого регистра	Две последние цифры перед запятой в константе	Номер адресуемого регистра
14, 24, 34...94	0	19, 29, 39...99	3
15, 25, 35...95	1	20, 30, 40...90	a
16, 26, 36...96	0	21, 31, 41...91	b
17, 27, 37...97	1	22, 32, 42...92	c
18, 28, 38...98	2	23, 33, 43...93	d

Буквенные символы и слова в регистры долговременной памяти целесообразно ввести так. Получить нужные буквенные символы (—, Е, L, Г, С, .) по программе, начинающейся с команды с номером 00: 9 В↑Cx ↔ ↔ ВП С/П БП 01. Порядок появления на табло символов: —, L, С, Г, Е. Любой из них можно занести в регистр долговременной памяти.

Слова ЕГГОГ и ЗГГОГ получают по программе 1 ВП 99 Fx<sup>2</sup> (ЕГГОГ) 100 × (ЗГГОГ), записывают в любой регистр долговременной памяти.

Комбинацию буквенных и цифровых обозначений получают по программе 19 ВП 99 ВП xП0 (число E9) КПх0 Пх0 (число E8) КПх0 Пх0 (число E7)...КПх0 Пх0 (число Г9)...КПх0 Пх0 (число С9)..., записывают в любой регистр долговременной памяти.

## 1.2. МЕТОДИКА СОСТАВЛЕНИЯ, ПРОВЕРКИ И ОТЛАДКИ ПРОГРАММ

### 1.2.1. МЕТОДИКА СОСТАВЛЕНИЯ

Решение задачи с использованием ПМК состоит из следующих этапов:

- 1) постановка задачи;
- 2) выбор метода решения;
- 3) разработка схемы алгоритма решения;
- 4) распределение памяти для хранения исходных, промежуточных данных и конечных результатов;
- 5) корректировка алгоритма решения задачи для удобного программирования;
- 6) разработка программы по алгоритму;

7) составление инструкций к пользованию программой;

8) тестирование программы и при необходимости ее редактирование.

Схема алгоритма, составленная на этапе 3, приемлема для всех типов ЭВМ. Она включает блоки ввода исходных данных, печати, вычислений, сравнений и останова, а также связей между блоками. Перед программированием необходимо скорректировать схему с учетом архитектуры ПМК, структуры операторов языка и распределенной памяти для хранения данных программы. Для этого рекомендуется проанализировать алгоритм и исходные данные: выявляются ветвления хода вычислений, повторяющиеся блоки, необходимость организации циклов. Повторяющиеся блоки вычислений переносят в подпрограмму, а также вводят в циклы.

Анализ данных, включающих исходные, промежуточные и конечные результаты, состоит в выяснении их количества. Если количество данных превышает количество регистров долговременной памяти, производят укрупнение исходных данных. Оно заключается в том, что в регистры памяти вводят значения не отдельного аргумента, а вычисленное вручную значение функции от него. Иногда для освобождения регистров долговременной памяти исходные данные типа констант вводят в программу.

После составления алгоритма и размещения в регистрах долговременной памяти данных приступают к программированию. Если после составления программы окажется, что количество команд превышает 98 (или 105), приступают к ее «упаковке», часто вызывающей ее усложнение. Рекомендуем следующие приемы:

в большей степени укрупнять исходные данные;

использовать команды косвенных переходов и косвенной адресации, которые занимают один шаг программы;

меньше использовать регистры долговременной памяти для запоминания промежуточных результатов вычислений;

Таблица 1.6. Коды

	0	1	2	3	4	5	6
0	0	1	2	3	4	5	6
1	+	-	×	/	↔	$F10^x$	$Fe^x$
2	$F\pi$	$FV$	$Fx^2$	$F1/x$	$Fx^y$	$F\downarrow$	$K0^x$
3	$K0^{''}$	$ x $	$K3H$	$K0'$	$K[x]$	$K\{x\}$	$K_{max}$
4	$x\Pi0$	$x\Pi1$	$x\Pi2$	$x\Pi3$	$x\Pi4$	$x\Pi5$	$x\Pi6$
5	$C/P$	$B/P$	$B/0$	$P/P$	$KNO/P$		
6	$\Pi x0$	$\Pi x1$	$\Pi x2$	$\Pi x3$	$\Pi x4$	$\Pi x5$	$\Pi x6$
7	$Kx \neq 00$	$Kx \neq 01$	$Kx \neq 02$	$Kx \neq 03$	$Kx \neq 04$	$Kx \neq 05$	$Kx \neq 06$
8	$KBPO$	$KBP1$	$KBP2$	$KBP3$	$KBP4$	$KBP5$	$KBP6$
9	$Kx \geq 00$	$Kx \geq 01$	$Kx \geq 02$	$Kx \geq 03$	$Kx \geq 04$	$Kx \geq 05$	$Kx \geq 06$
—	$KPP0$	$KPP1$	$KPP2$	$KPP3$	$KPP4$	$KPP5$	$KPP6$
L	$Kx\Pi0$	$Kx\Pi1$	$Kx\Pi2$	$Kx\Pi3$	$Kx\Pi4$	$Kx\Pi5$	$Kx\Pi6$
C	$Kx < 00$	$Kx < 01$	$Kx < 02$	$Kx < 03$	$Kx < 04$	$Kx < 05$	$Kx < 06$
G	$KPx0$	$KPx1$	$KPx2$	$KPx3$	$KPx4$	$KPx5$	$KPx6$
E	$Kx = 00$	$Kx = 01$	$Kx = 02$	$Kx = 03$	$Kx = 04$	$Kx = 05$	$Kx = 06$

Примечание. Первые символы кода указаны слева, вторые — вверху.

видоизменять написание формул в алгоритме. Например, функцию  $y = e^{-x} \cos \varphi$  можно записать:  $y = \cos \varphi / e^x$ . При такой записи количество команд в программе уменьшается на единицу;

шире использовать стековую (кратковременную) память для запоминания промежуточных результатов;

использовать специальные приемы программирования;

ограничиваться одной командой С/П для останова вычислений, а все необходимые вычисленные данные хранить в регистрах долговременной памяти. Следует учесть, что часть исходных данных после их использования становится ненужной, и на их место можно записать промежуточные и окончательные результаты вычислений.

При невозможности разместить программу в 98 или 105 шагов целесообразно разбить ее на два блока и пользоваться ими одним из способов:

получив промежуточные данные по первому блоку программы, ввести в ПМК второй блок и получить окончательные результаты; работать на двух ПМК;

использовать ПМК «Электроника МК-52», в которой возможно одновременно занести несколько блоков программы длиной по 98 шагов каждый.

Для наглядности вывода результатов вычислений целесообразны видеосообщения в виде букв, слов и их комбинаций.

### 1.2.2. НАБОР ПРОГРАММ И СЧЕТ

Перед набором программы ПМК переводят в режим программирования. Для этого нажимают клавиши  $F\text{ПРГ}$  и на табло справа высвечивается номер команды 00. Если программа набирается после работы ПМК по предыдущей программе, то перед нажатием клавиш

команд ПМК

7	8	9	-	L	BП	Cx	Г	E	
$F\lg$	$F\ln$	$F\sin^{-1}$	$F\cos^{-1}$	$F\tg^{-1}$	$F\sin$	$F\cos$	$F\uparrow$	$F\tg$	$FBx$
$K\wedge$	$K\vee$	$K\oplus$	Кинв	КСЧ					
$x\Pi 7$	$x\Pi 8$	$x\Pi 9$	$x\Pi a$	$x\Pi b$	$x\Pi c$	$x\Pi d$	$x\Pi e$		
$Fx \neq 0$	$FL2$	$Fx \geq 0$	$FL3$	$FL1$	$Fx < 0$	$FL0$	$Fx = 0$		
$\Pi x^7$	$\Pi x^8$	$\Pi x^9$	$\Pi x a$	$\Pi x b$	$\Pi x c$	$\Pi x d$	$\Pi x e$		
$Kx \neq 07$	$Kx \neq 08$	$Kx \neq 09$	$Kx \neq 0a$	$Kx \neq 0b$	$Kx \neq 0c$	$Kx \neq 0d$	$Kx \neq 0e$		
$K\bar{B}\Pi 7$	$K\bar{B}\Pi 8$	$K\bar{B}\Pi 9$	$K\bar{B}\Pi a$	$K\bar{B}\Pi b$	$K\bar{B}\Pi c$	$K\bar{B}\Pi d$	$K\bar{B}\Pi e$		
$Kx \geq 07$	$Kx \geq 08$	$Kx \geq 09$	$Kx \geq 0a$	$Kx \geq 0b$	$Kx \geq 0c$	$Kx \geq 0d$	$Kx \geq 0e$		
$K\Pi\Pi 7$	$K\Pi\Pi 8$	$K\Pi\Pi 9$	$K\Pi\Pi a$	$K\Pi\Pi b$	$K\Pi\Pi c$	$K\Pi\Pi d$	$K\Pi\Pi e$		
$Kx\Pi 7$	$Kx\Pi 8$	$Kx\Pi 9$	$Kx\Pi a$	$Kx\Pi b$	$Kx\Pi c$	$Kx\Pi d$	$Kx\Pi e$		
$Kx < 07$	$Kx < 08$	$Kx < 09$	$Kx < 0a$	$Kx < 0b$	$Kx < 0c$	$Kx < 0d$	$Kx < 0e$		
$K\Pi x 7$	$K\Pi x 8$	$K\Pi x 9$	$K\Pi x a$	$K\Pi x b$	$K\Pi x c$	$K\Pi x d$	$K\Pi x e$		
$Kx = 07$	$Kx = 08$	$Kx = 09$	$Kx = 0a$	$Kx = 0b$	$Kx = 0c$	$Kx = 0d$	$Kx = 0e$		

FПРГ следует нажать клавишу В/О. Затем набирают программу. После набора каждой команды значение номера команды увеличивается на единицу. Правильность ввода текста программы контролируют по кодам команд (табл. 1.6).

После набора программы ПМК переводят в автоматический режим нажатием клавиш FABT.

До запуска необходимо в долговременную и кратковременную памяти ввести исходные данные и выйти на начало программы. Если программа начинается с команды 00, то перед ее запуском нажимают на клавишу В/О, если — с другой команды, то необходимо нажать клавишу БП и двухзначный номер команды. Затем нажимают клавишу пуска С/П.

### 1.2.3. МЕТОДИКА ОТЛАДКИ

После написания программы и «упаковки» ее и исходные данные вводят в ПМК и пускают на выполнение. Результаты сравнивают с заранее подсчитанными «вручную» (с точностью до 8 значащих цифр). Если результаты не совпадают, это означает, что допущена ошибка.

Характер и место ошибки выясняют при пошаговом решении по программе. Для этого проверяют сохранность исходных данных, выходят на начало программы и нажимают клавишу ГП. После исполнения одной команды на табло высвечивается результат, который следует сравнить с соответствующим результатом по примеру, рассчитанному вручную. При совпадении результатов вновь нажимают клавишу ГП и т. д. Действуя таким образом, находят ту команду в программе, где соответствующие результаты расходятся, выясняют причину расхождения, устраняют ее и продолжают пошаговую отладку.

При внесении изменений в программу могут возникнуть два характерных случая: следует исключить или добавить в программу команды. В первом случае соответствующие команды заменяют специальной командой КНОП. Во втором случае делают вставку в программу (подпрограмму). Для этого в месте предполагаемой вставки две команды заменяют командой ГП ТМ (где ТМ — двухзначный номер команды, с которой начнется программная вставка). Вставку начинают с восстановления двух замененных команд (если они нужны), и далее набирают ту часть программы, которую следует добавить. В конце вставки набирают команду В/О.

Например, функция  $y = (e^{-x} + (1/\sin \alpha) \ln x)/(5 - c)$  была запрограммирована следующим образом ( $x$  находится в регистре 1,  $\alpha$  — в регистре 2,  $c$  — в регистре 3): Пх1 Fe<sup>x</sup> Пх2 F ln Пх2 F sin / + 5Пх3 — / С/П.

В этой программе « $x$ » ошибочно введена положительной. Поэтому между командами 00 и 01 необходимо ввести команду смены знака / — /. Для этого делают программную вставку: ГП 20 после команды с номером 00, а, начиная с адреса 20, записывают / — / Fe<sup>x</sup> Пх2 В/О.

В случае замены одной команды на другую, необходимо в автоматическом режиме выйти на нужный адрес, используя клавишу БП, затем перейти в режим программирования и набрать команду. Для корректировки программы также используют команды пошагового просмотра ШГ и ШГ.

В некоторых случаях ПМК сам сигнализирует об ошибках в программе. Тогда на табло появляется слово ЕГГОГ (при делении на нуль, извлечении корня из отрицательного числа, переполнении и т. п.).

#### 1.2.4. ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ

После отладки программы ее переписывают в окончательном варианте, набирают, вводят исходные данные, запускают в работу, и, убедившись в правильности ее работы, оформляют.

Документация программы состоит из основных элементов:

*название программы (ее назначение)* — должно быть по возможности более полным и четко определять функции. В необходимых случаях дано описание реализуемого метода расчета (алгоритма) или ссылка на него, указан тип ПМК, на котором возможно реализовать программу. Если указание отсутствует, то программу можно осуществить на любом микрокалькуляторе;

*текст* — на языке МК-34 записывают построчно по 10 команд, разделенных пробелами, в одной строке. При записи используются введенные ранее обозначения (см. табл. 1.2);

*инструкция:*

а) описание исходных данных; ввод *A* в адресуемый регистр *a* обозначается *A → a*. При необходимости в справочнике приводится размерность *A*. Исходные данные, которые следует обновлять при каждом последующем использовании программы, в инструкции подчеркнуты;

б) описание порядка работы; включает перечень действий, необходимых для осуществления программой своих функций. В простейших случаях используются команды В/О и С/П;

в) описание результата; состоит из сведений об индикации промежуточных величин и индикации окончательного результата (с указанием размерности).

В необходимых случаях приводится продолжение описания порядка работы в зависимости от промежуточной индикации. Указываются адреса хранения промежуточных результатов, представляющих интерес для пользователя. Так, вывод *B* из адресуемого регистра *b* обозначается *B ← b*;

*контрольный пример* служит для проверки правильности работы программы. Содержит исходные данные, результаты (конечные и промежуточные) и время счета. Для контроля правильности ввода программ может быть приведен текст программы в кодах команд.

### 1.3. РАБОТА С ПЕРЕПРОГРАММИРУЕМЫМ ЗАПОМИНАЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ \*

Электрически стираемое перепрограммируемое полупостоянное запоминающее устройство (ППЗУ) в «Электронике МК-52» предназначено для записи, длительного хранения и многократного считывания информации, первоначально вводимой в программную память или адресуемые регистры.

Его память имеет 1024 четырехбитовых ячеек с адресами от 0000 до 1023. Один шаг программы и содержимое одного адресуемого регистра хранятся соответственно в 2 и 14 ячейках. Адресное поле памяти разбито на 64 строки по 16 ячеек с адресом начальной ячейки в  $m$ -й строке  $A_{m0} = 16(m - 1)$  и адресом последней  $A_{mk} = 16m - 1$ .

Режим обращения к ППЗУ характеризуется положением переключателей С—З—СЧ (стирание — запись — считывание) и Д—П (данные — программа).

Выбор участка памяти ППЗУ определяется адресом обращения  $A$  — целым семизначным десятичным числом с любой значащей (отличной от нуля) первой цифрой. Следующие четыре разряда служат для записи адреса  $A_0$  начальной ячейки участка памяти, а последние две цифры — для записи числа  $N$  программных шагов, соответствующих длине участка. Содержимое остальных разрядов адреса не считывается и может быть произвольным.

Информация вводится в ППЗУ порциями по 7 байтов и в адресе обращения число должно быть кратно 7. В ППЗУ можно хранить программы, имеющие до 98 шагов и содержимое первых 14 регистров долговременной памяти.

После набора адреса и выбора режима обращения к ППЗУ необходимо нажать клавишу  $A \uparrow$  для запоминания адреса обращения и клавишу  $\Downarrow$  — для выполнения обращения в выбранном режиме. Во время обращения к ППЗУ во всех знакоместах индикатора высвечиваются черточки, указывающие на недопустимость нажатия любых клавиш.

До и после обращения к ППЗУ переключатель С—З—СЧ должен находиться в положении СЧ, чтобы случайное нажатие клавиши не искалило содержимое ППЗУ, программную или долговременную памяти. В режиме стирания одновременно с очисткой участка памяти ППЗУ очищается соответствующее количество ячеек программной памяти (начиная с адреса 00) или содержимое адресуемых регистров в зависимости от положения переключателя Д—П. Поэтому при переходе в режим стирания следует установить этот переключатель в такое положение, при котором не будет стерта нужная информация.

Стирание участка памяти ППЗУ необходимо для устранения наложения вводимой информации на неочищенное содержимое выбранного участка памяти. Это действие выполняют по строкам, начиная с той, в которой находится начальная ячейка и кончая той, в которой есть последняя ячейка выбранного участка памяти. При максималь-

\* Написан по материалам книги Я. К. Трохименко [12].

ном числе  $N = 98$  в адресе обращения будет полностью стерто содержимое 13 (при  $A_0 = 0000$ ) или 14 (при  $A_0 = 0015$ ) строк памяти ППЗУ. Если требуется очистить участок памяти, содержащий больше 13 или 14 строк, то стирание повторяют при изменении адреса обращения.

При записи в ППЗУ информации, которую в дальнейшем не предполагается изменять, целесообразно очередное сообщение записывать на участок памяти, непосредственно следующий за предыдущим, что обеспечит полное использование емкости ППЗУ. В тех случаях, когда записываемая информация может изменяться, каждое новое сообщение следует записывать с новой строки, чтобы при стирании этого сообщения не стереть другую нужную информацию. Если стирание, запись и считывание выполняются при обращении к одному и тому же участку памяти ППЗУ, то при изменении режима обращения достаточно нажать клавишу  $\text{N}$ .

При хранении информации в ППЗУ пользователь должен отмечать ее в таблице адресов ячеек ППЗУ, в записи адресов ячеек ППЗУ или в записи адресов обращения с указанием содержания хранящейся информации. В противном случае затрудняется учет хранимой и считываемой информации, что неизбежно приводит к ошибкам.

В ППЗУ целесообразно хранить лишь достаточно длинные и часто используемые программы, а также пакеты из нескольких программ для решения сложных задач.

Программы пакета следует составлять таким образом, чтобы результаты выполнения предыдущей программы могли быть непосредственно использованы при выполнении следующей без дополнительной пересылки данных.

Рассмотрим использование ППЗУ для хранения пакета из двух программ объемом соответственно 98 и 61 шаг при условии, что первые 10 строк памяти ППЗУ заняты другой информацией.

Так как программы 1 и 2 содержат соответственно 98 и 61 шаг, то очистку требуемого участка памяти следует выполнить в два приема с использованием адресов  $A_1 = 7016098$  и  $A_2 = 7025663$ , соответствующих записи программы 2 непосредственно после программы 1. В адресе  $A_2$  число  $N = 63$  выбрано кратным 7.

Установив переключатель С—З—СЧ в положение З, переключатель Д—П в положение П, следует ввести в программную память программу 1, перейти в рабочий режим, набрать адрес  $A_1$  и нажать клавиши  $A \uparrow$  и  $\text{N}$ , после чего ввести в программную память программу 2, набрать адрес  $A_2$ , нажать клавиши  $A \uparrow$ ,  $\text{N}$  и после окончания записи перевести переключатель С—З—СЧ в положение С.

При необходимости использования введенного в ППЗУ пакета программ следует установить переключатель Д—П в положение П, С—З—СЧ — в положение СЧ, набрать адрес  $A_1$  с последующим нажатием клавиш  $A \uparrow$   $\text{N}$ . После выполнения программы 1 (не изменяя содержимого долговременной памяти) набрать адрес  $A_2$  и нажать клавиши  $A \uparrow$   $\text{N}$ , после чего можно использовать пакет для решения задачи.

# ГЛАВА

# 2

2.1

÷

2.2

## РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В настоящей главе приведены прикладные программы расчета прочности и деформативности железобетонных элементов, а также программы приближенных методов статического расчета каркасных и бескаркасных зданий и их основных конструктивных элементов по двум группам предельных состояний.

Программы параграфов 2.1 и 2.2 используют методику расчета, принятую в СНиП 2.03.01-84 [1] и излагаются с минимальными пояснениями. Характер записи блок-схем программ аналогичен приведенным в приложении к работе [4].

Принятые обозначения соответствуют СНиП за исключением оговоренных случаев. Размерности приняты одинаковыми для всех программ: усилия — Н · см, Н; напряжения, расчетные сопротивления, модули упругости —  $10^{-2}$  · МПа; линейные размеры — см; площади — см<sup>2</sup>; статические моменты и моменты сопротивления — см<sup>3</sup>; моменты инерции — см<sup>4</sup>; ширина раскрытия трещин — мм.

В тех случаях, когда объем памяти ПМК Б3-34, МК-54 и МК-62 недостаточен, следует использовать МК-52, МК-61 (см. ссылки в программах).

### 2.1. РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ПЕРВОЙ ГРУППЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ

#### 2.1.1. ИЗГИБАЕМЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ \*

Расчет сечений изгибаемых элементов, нормальных к продольной оси по изгибающему моменту, действующему в плоскости оси симметрии сечения, и при арматуре, сосредоточенной у граней элемента, производится в зависимости от соотношения между значениями относительной высоты сжатой зоны бетона  $\xi = x/h_0$  и граничной относительной высоты сжатой зоны бетона  $\xi_R$  (программа 2.1). Значение  $\xi_R$ , при котором предельное состояние элемента наступает одновременно с достижением в растянутой арматуре напряжения, равного расчетному сопротивлению  $R_s$  с учетом соответствующих коэффициентов условий работы арматуры (кроме  $\gamma_{s6}$ ), определяют по программе 2.1.

\* Программы настоящего параграфа составлены для расчета железобетонных конструкций, изготавляемых из тяжелого бетона. При применении конструкций из легких, мелкозернистых и других бетонов необходимо корректировать значения эмпирических коэффициентов и отдельных зависимостей.

Изгибающие железобетонные элементы прямоугольного сечения (рис. 2.1) рассчитывают по формулам (28) и (29) [1] (программы 2.2...2.10).

Сечения, имеющие полку в сжатой зоне и арматуру, сосредоточенную у сжатой и растянутой граней, при  $\xi \leq \xi_R$  следует рассчитывать в зависимости от положения границы сжатой зоны (рис. 2.1,  $\partial$ ... $\text{ж}$ ). Если граница сжатой зоны проходит в полке, расчет ведут как для прямоугольного сечения шириной  $b = b_f$ , а если в ребре, то в соот-

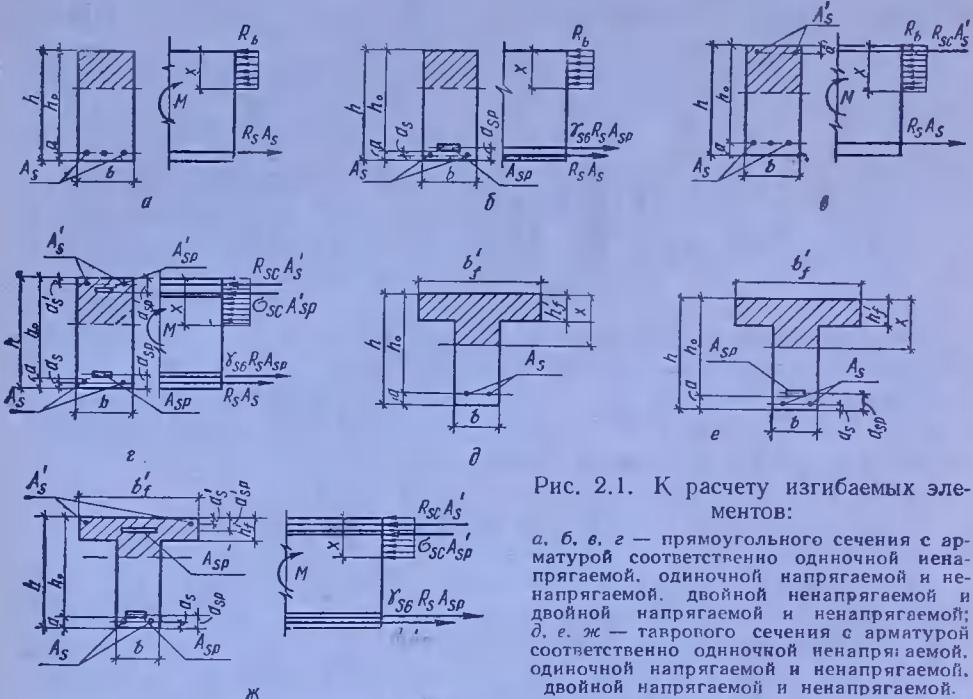


Рис. 2.1. К расчету изгибаемых элементов:

а, б, в, г — прямоугольного сечения с арматурой соответственно одиночной ненапрягаемой, одиночной напрягаемой и ненапрягаемой; двойной ненапрягаемой и двойной напрягаемой и ненапрягаемой; д, е, ж — таврового сечения с арматурой соответственно одиночной ненапрягаемой, одиночной напрягаемой и ненапрягаемой, двойной напрягаемой и ненапрягаемой.

вествии с формулами (31) и (32) [1]. Причем ширину сжатой полки  $b_f$  определяют по указаниям п. 3.16 [1]. Тавровые сечения рассчитывают по программам 2.11...2.17.

Расчет железобетонных элементов по наклонным сечениям необходим для обеспечения прочности на действие поперечной силы: по наклонной полосе между наклонными трещинами; по наклонной трещине; по наклонной сжатой полосе между грузом и опорой (для коротких консолей колонн, см. п. 3.34 [1]), а также на действие изгибающего момента по наклонной трещине (п. 3.35 [1]). Прочность наклонной полосы между наклонными трещинами на действие поперечной силы определяют на основе формулы (72) [1] по программам 2.18 и 2.19.

Расчет железобетонных элементов с поперечной арматурой (рис. 2.2) на действие поперечной силы для обеспечения прочности по наклонной трещине производят в наиболее опасном наклонном сечении по формулам (75)...(83) [1] (программы 2.19 и 2.20).

Шаг поперечных стержней в изгибающихся элементах постоянной высоты из условия прочности наклонных сечений на действие поперечной силы при  $a_1 \geq \varphi_{b_2} h_0 / \varphi_{b_3}$  вычисляют по программе 2.21.

Поперечную арматуру из условия прочности наклонных сечений на действие поперечной силы для изгибающихся элементов постоянной

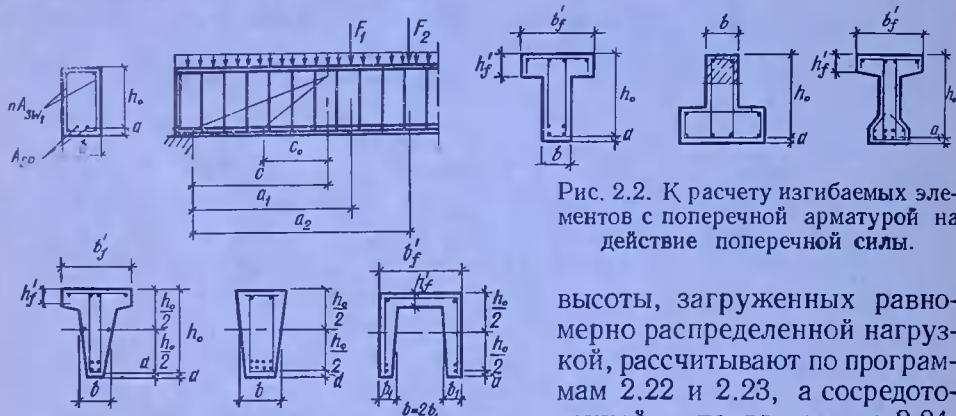


Рис. 2.2. К расчету изгибающихся элементов с поперечной арматурой на действие поперечной силы.

высоты, загруженных равномерно распределенной нагрузкой, рассчитывают по программам 2.22 и 2.23, а сосредоточенной — по программе 2.24.

Железобетонные элементы с наклонными сжатыми гранями на действие поперечной силы рекомендуется также рассчитывать по программам 2.18...2.25. При этом рассматривают ряд наклонных сечений, принимая в качестве рабочей высоты сжатой зоны наибольшее значение  $h_0$  в пределах каждого из них.

### 2.1.2. СЖАТЫЕ И РАСТЯНУТЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

При расчете внецентренно сжатых элементов следует учитывать влияние прогиба на их несущую способность, как правило, расчетом конструкций по деформированной схеме. Коэффициент увеличения начального эксцентриситета сжатых элементов прямоугольного профиля определяют по программам 2.26 и 2.27.

При отсутствии расчетных эксцентриситетов элементы прямоугольного сечения с симметричным армированием стержнями из стали класса А-I, А-II, А-III при  $l_0/h \leq 20$  рассчитывают как центрально сжатые. Прочность подобных элементов проверяют по программе 2.28, а арматуру рассчитывают по программе 2.29. Используемые в расчете коэффициенты  $\varphi_b$  и  $\varphi_r$ , определяют по табл. 2.1.

Таблица 2.1. Коэффициенты  $\varphi_b$  и  $\varphi_r$

Бетон	$N_f/N$	Значения $l_0/h$							
		6	8	10	12	14	16	18	26
Коэффициент $\varphi_b$									
Тяжелый (обычный), мелкозернистый	0,0 0,5 1,0	0,93 0,92 0,92	0,91 0,91 0,91	0,91 0,90 0,89	0,90 0,88 0,86	0,89 0,85 0,81	0,86 0,80 0,74	0,83 0,73 0,63	0,80 0,65 0,55

Бетон	$N_f/N$	Значения $l_0/h$							
		6	8	10	12	14	16	18	26
Легкий	0,0	0,93	0,91	0,89	0,85	0,80	0,78	0,74	0,70
	0,5	0,92	0,90	0,88	0,84	0,77	0,72	0,68	0,60
	1,0	0,92	0,90	0,87	0,81	0,74	0,67	0,60	0,51

Коэффициент  $\varphi_r$ 

а) при площади сечения промежуточных стержней, расположенных у граней, параллельных рассматриваемой плоскости,  $A_{sm} < \frac{1}{3} (A_s + A'_s)$

Тяжелый (обычный), мелкозернистый	0	0,93	0,92	0,81	0,90	0,89	0,87	0,84	0,81
	0,5	0,92	0,92	0,91	0,90	0,87	0,84	0,80	0,75
	1	0,92	0,91	0,90	0,88	0,86	0,82	0,77	0,70
Легкий	0	0,93	0,91	0,89	0,85	0,83	0,79	0,75	0,71
	0,5	0,92	0,91	0,89	0,84	0,78	0,76	0,72	0,67
	1,0	0,92	0,90	0,88	0,83	0,77	0,74	0,68	0,62

б) то же,  $A_{sm} \geq \frac{1}{3} (A_s + A'_s)$

Тяжелый (обычный), мелкозернистый	0	0,92	0,92	0,91	0,89	0,87	0,84	0,80	0,75
	0,5	0,92	0,91	0,90	0,87	0,89	0,79	0,72	0,65
	1	0,92	0,91	0,89	0,86	0,80	0,74	0,66	0,58
Легкий	0	0,92	0,91	0,89	0,84	0,79	0,75	0,71	0,66
	0,5	0,92	0,90	0,88	0,83	0,77	0,71	0,68	0,60
	1,0	0,92	0,90	0,87	0,81	0,74	0,68	0,61	0,52

П р и м е ч а н и е. При промежуточных значениях  $N_f/N$  и  $l_0/h$  коэффициенты  $\varphi_b$  и  $\varphi_r$  определяются по интерполяции.

Прямоугольные сечения внецентренно сжатых элементов рассчитывают по формулам (36)...(39) [1]. Их прочность при симметричном армировании проверяют по программе 2.30.

Площадь сечения арматуры во внецентренно сжатых элементах прямоугольного профиля при симметричном армировании определяют по программе 2.31, а при несимметричном — по программам 2.32 и 2.33 (рис. 2.3, а, б).

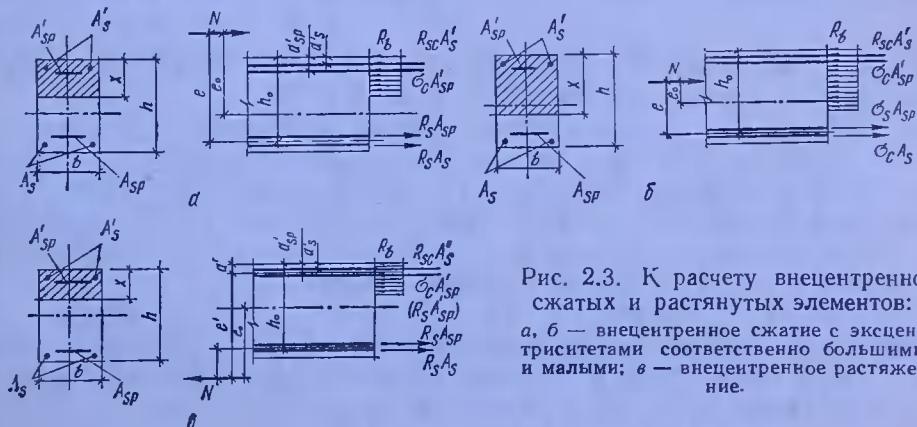


Рис. 2.3. К расчету внецентренно сжатых и растянутых элементов:  
а, б — внецентренное сжатие с эксцентрикитетами соответственно большими и малыми; в — внецентренное растяжение.

При расчете сжатых элементов коэффициент армирования предварительно назначают  $0,01 \leq \mu \leq 0,02$ . Полученный в результате расчета коэффициент  $\mu$  следует сопоставлять с предварительно назначенным  $\mu$ ; при большом расхождении повторить расчет.

Прямоугольные сечения внецентренно растянутых элементов в зависимости от положения продольной силы рассчитывают по формулам (61) ... (64) [1]. Их прочность проверяют по программам 2.34... 2.35 (рис. 2.3, б).

## 2.2. РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ВТОРОЙ ГРУППЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ

### 2.2.1. РАСЧЕТ ПО ОБРАЗОВАНИЮ И РАСКРЫТИЮ ТРЕЩИН

Геометрические характеристики приведенного сечения изгибающегося элемента для расчета по второй группе предельных состояний определяют по программе 2.36 (рис. 2.4, а, в).

Изгибаемые, внецентренно сжатые и внецентренно растянутые элементы по образованию трещин рассчитывают из условия (124) [1]. Момент образования трещин, нормальных к продольной оси

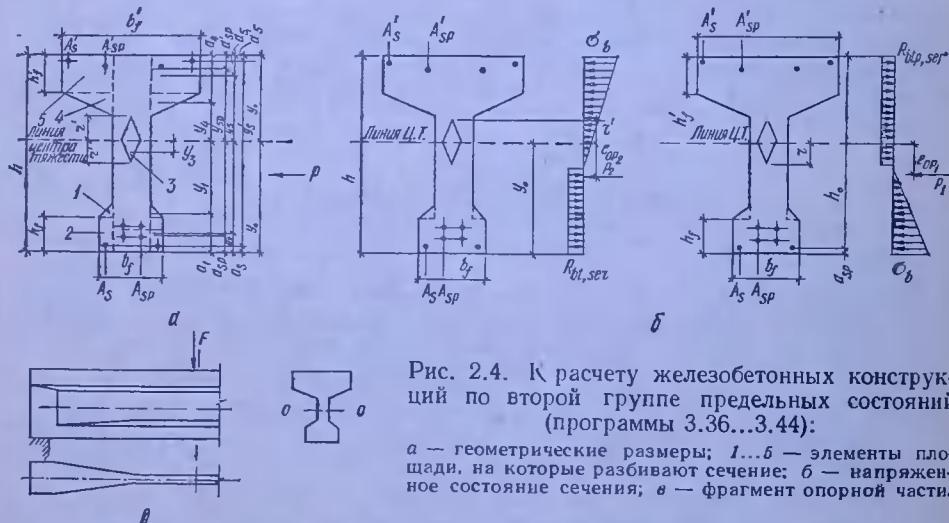


Рис. 2.4. К расчету железобетонных конструкций по второй группе предельных состояний (программы 3.36...3.44):

а — геометрические размеры; 1...6 — элементы площади, на которые разбивают сечение; б — напряженное состояние сечения; в — фрагмент опорной части.

элемента, вычисляют по программе 2.37, образования трещин в стадии изготовления — по программе 2.38 (рис. 2.4, б).

При расчете по образованию трещин элементов на участках с начальными трещинами в сжатой зоне значение момента трещинообразования для зоны, растянутой от действия внешней нагрузки, необходимо снижать на  $\Delta M_{crc} = \lambda M_{crc}$ . Коэффициент  $\lambda$ , учитывающий влияние начальных трещин на трещиностойкость и кривизну изгибающегося элемента, вычисляют по программе 2.39.

Расчет по образованию трещин, наклонных к продольной оси элемента, выполняют исходя из условия (141) [1]. Для изгибаемых элементов с прямолинейной предварительно напрягаемой арматурой его производят по программе 2.40.

Ширину раскрытия трещин, нормальных к продольной оси изгибаемого элемента, устанавливают по формуле (144) [1] (программа 2.41). При расположении растянутой арматуры в несколько рядов по высоте сечения в изгибаемых, внецентренно сжатых, а также внецентренно растянутых элементах при  $e_{0,1,ot} \geq 0,8h_0$  полученное напряжение необходимо умножить на коэффициент

$$\delta_n = \frac{h - x - a_2}{h - x - a_1},$$

где  $x = \xi h_0$ ;  $a_1, a_2$  — расстояние от центра тяжести площади сечения соответственно всей арматуры  $s$  и крайнего ряда стержней до наиболее растянутого волокна бетона.

Для обеспечения надежного закрытия трещин, нормальных к продольной оси элемента, при действии постоянных и длительных нагрузок должны соблюдаться требования п. 4.19 [1], расчет — по программе 2.42.

## 2.2.2. РАСЧЕТ ПО ДЕФОРМАЦИЯМ

Деформации элементов железобетонных конструкций вычисляют по формулам строительной механики, определяя входящие в них значения кривизны следующим образом:

а) для участков элемента, где в растянутой зоне не образуются трещины, нормальные к продольной оси элемента,— как для сплошного тела в соответствии с указаниями п. 4.24 СНиП [1] и по программе 2.43;

б) для участков элемента, где в растянутой зоне имеются трещины, нормальные к продольной оси,— как отношение разности средних деформаций крайнего волокна сжатой зоны бетона и продольной растянутой арматуры к рабочей высоте сечения элемента по п. 4.27 [1] и программе 2.44. Кривизны  $(1/r)_1, (1/r)_2, (1/r)_3$  определяют соответственно от непродолжительного действия всей нагрузки, непродолжительного действия постоянных и длительных нагрузок по программе 2.44. Полную кривизну вычисляют по формуле  $1/r = (1/r)_1 - (1/r)_2 + (1/r)_3 - (1/r)_4$ , где  $(1/r)_4 = \varepsilon_b - \varepsilon'_b/h_0$ .

Прогиб, обусловленный деформациями изгиба и сдвига, определяют по формулам (171) и (172) [1].

Для изгибаемых элементов постоянного сечения полный прогиб при  $l/h \geq 10$

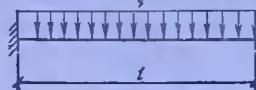
$$f_m = \frac{1}{r} \rho_m l^2, \quad (2.1)$$

где  $\rho_m$  — коэффициент, зависящий от расчетной схемы элемента и вида нагрузки (табл. 2.2). При загружении элемента одновременно по нескольким схемам

$$\rho_m = \sum_i \rho_{mi} M_i / \sum_i M_i,$$

где  $\rho_{mi}$ ,  $M_i$  — соответственно коэффициенты  $\rho_m$  и наибольшие изгибающие моменты для каждой схемы загружения. В этом случае в формуле прогиба  $f_m$  величина  $1/r$  определяется при значении  $M$ , равном сумме

Таблица 2.2. Значение коэффициента  $\rho_m$

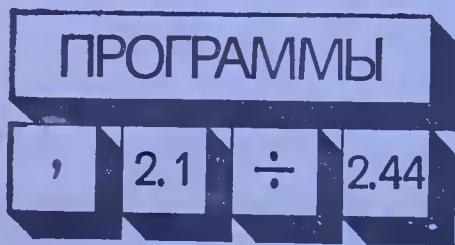
Схема загружения консольной балки	$\rho_m$	Схема загружения свободно опертой балки	$\rho_m$
	$1/4$		$5/48$
	$1/3$		$1/12$
	$\frac{a}{6L} \left( 3 - \frac{a}{L} \right)$		$\frac{1}{8} - \frac{a^2}{6L^2}$

наибольших изгибающих моментов, определяемых для каждой схемы загружения.

При  $l/h < 10$  полный прогиб элемента вычисляют как сумму прогибов, вызванных деформациями изгиба  $f_m$  и сдвига  $f_q$  от поперечной силы. Прогиб коротких свободно опертых элементов постоянного сечения

$$f = f_m [1 + k(h/l)^2], \quad (2.2)$$

где  $k$  — коэффициент, учитывающий влияние на прогиб элемента поперечных сил, при отсутствии нормальных и наклонных трещин  $k = 0,5\rho_m$ , при их наличии  $k = 1,5\rho_m$ .



### Программа 2.1

Определение граничной относительной высоты сжатой зоны изгибающихся элементов

$\Pi x 0$	$\Pi x 1$	$-$	$x \Pi a$	$\Pi x 4$	$Fx \geq 0$	31	$\Pi x 2$	$Fx \geq 0$	58
$\Pi x 3$	$Fx = 0$	62	$\Pi x 5$	$\Pi x 6$	$\times$	$\Pi x b$	/	$\Pi x c$	—
$x \Pi d$	$Fx \geq 0$	58	$\Pi x b$	$\Pi x 7$	+	$\Pi x 5$	—	$\Pi x d$	—
$x \Pi d$	$\Pi x 9$	1	$-$	$\Pi x 7$	$Fx \geq 0$	$\Pi x 7$	$F1/x$	$\Pi x d$	$\times$
$\Pi x a$	1	.	1	$Fx \geq 0$	$/ - /$	1	+	$\times$	1
+	$F1/x$	$\Pi x a$	$\times$	$C/P$	$\Pi x 8$	$B_P$	37	0	$x \Pi d$
$B_P$	23	$\Pi x 3$	$Fx \geq 0$	67	$B_P$	13	$B_P$	58	

**Инструкция.** Ввод:  $\alpha \rightarrow 0$ ;  $8 \cdot 10^{-5}$ ;  $R_b \rightarrow 1$ ;  $l \rightarrow 2$ ;  $K \rightarrow 3$ ;  $L \rightarrow 4$ ;  $\gamma_{sp_1} \sigma_{sp_2} \rightarrow 5$ ;  $1500 \rightarrow 6$ ;  $\sigma_{scu} = 4 \cdot 10^4 \rightarrow 7$ ;  $\sigma_{scu} = 5 \cdot 10^4 \rightarrow 8$ ;  $\gamma_{b_2} \rightarrow 9$ ;  $R_s \rightarrow b$ ;  $d \rightarrow 1200 \rightarrow c$ . В/О С/П. Индикация —  $\xi_R$ .

**П р и м е ч а н и я:**  $I = 1$  — для арматуры классов A-IV, A-V, A-VI;  $I = -1$  — для арматуры классов B-П, B<sub>p</sub>-П, K-7, K-19. 2.  $K = 0$  — при механическом способе предварительного напряжения;  $K = 1$  — при электротермическом и электромеханическом автоматизированном натяжении;  $K = -1$  — то же, неавтоматизированном натяжении; 3.  $L = 1$  — при предварительном напряжении арматуры,  $L = -1$  — в противном случае. 4. В регистры 2, 3, 5, 6, с данные вводятся только при  $L = 1$ .

**Контрольный пример.**  $0,85 \rightarrow 0$ ;  $8 \cdot 10^{-5} \rightarrow 1$ ;  $1305 \rightarrow 1$ ;  $1 \rightarrow 2$ ;  $-1 \rightarrow 3$ ;  $1 \rightarrow 4$ ;  $0,9 \cdot 4,2 \cdot 10^1 \rightarrow 5$ ;  $1500 \rightarrow 6$ ;  $4 \cdot 10^3 \rightarrow 7$ ;  $5 \cdot 10^4 \rightarrow 8$ ;  $0,9 \rightarrow 9$ ;  $5,1 \cdot 10^4 \rightarrow b$ ;  $1200 \rightarrow c$ ;  $5,1 \cdot 10^1 \rightarrow d$ .

**Результат:**  $\xi_R = 0,555$ .

**Время счета:** 8 с.

### Программа 2.2

**Проверка прочности нормальных сечений изгибаемых элементов прямоугольного профиля с одиночной ненапрягаемой арматурой**

Пх4	Пх3	×	Пх5	Пх1	×	хП8	/	хП7	Пх6
Пх2	×	xП9	Пх7	—	$F_x \geq 0$	36	Пх7	2	/
/—/	Пх2	+	Пх7	×	Пх8	×	xПa	Пх0	—
$F_x \geq 0$	34	1	C/П	0	C/П	Пхb	$F_x \geq 0$	43	Пх9
xП7	БП	17	0	.	2	Пх6	+	0	.
2	Пх7	Пх2	/	+	/	Пх4	×	Пх3	×
Пх8	/	xП7	БП	17					

**Инструкция.** Ввод  $M \rightarrow 0$ ;  $b \rightarrow 1$ ;  $h_0 \rightarrow 2$ ;  $A_s \rightarrow 3$ ;  $R_s \rightarrow 4$ ;  $R_b \rightarrow 5$ ;  $\xi_R \rightarrow 6$ ;  $I \rightarrow b$ . В/О С/П. Индикация — 1, прочность достаточна ( $M_u \leftarrow a$ ). Индикация — 0, прочность недостаточна.

**П р и м е ч а н и е.**  $I = 1$  для бетонов класса B30 и ниже и арматуры классов A-I, A-II, A-III, B<sub>p</sub>-I. В противном случае  $I = -1$ .

**Контрольный пример.**  $95 \cdot 10^6 \rightarrow 0$ ;  $20 \rightarrow 1$ ;  $35 \rightarrow 2$ ;  $18 \rightarrow 3$ ;  $3,65 \cdot 10^5 \rightarrow 4$ ;  $1035 \rightarrow 5$ ;  $0,628 \rightarrow 6$ ;  $1 \rightarrow b$ .

**Результат:** 1 ( $M_u = 9,67 \cdot 10^6$ ).

**Время счета:** 10 с.

### Программа 2.3

**Определение прочности нормальных сечений изгибаемых элементов прямоугольного профиля с одиночной предварительно напрягаемой арматурой**

Пх1	Пх2	+	Пх3	/	хП8	Пх0	/	хПb	Пх4
/	xПc	Пхb	Пх4	—	$F_x < 0$	60	Пхc	2	×
1	—	Пх5	1	—	×	/—/	Пх5	+	xПd
Пх5	—	$F_x < 0$	95	Пх9	Пх1	×	Пх2	+	Пх3
/	xП8	Пх0	/	xПb	Пх4	—	$F_x < 0$	60	Пх8
2	/	/—/	Пх0	+	Пх8	×	Пх3	×	C/П
Пх4	5	$F1/x$	+	xП7	Fbx	Пхb	+	xПa	$F1/x$
Пх7	×	Пх2	×	xП9	Пхc	1	—	/—/	Пх6
×	Пхa	+	$F1/x$	Пх7	×	Пх1	×	Пх9	+
Пх3	/	xП8	БП	49	Пх5	xП8	БП	34	

**Инструкция.** Ввод  $h_0 \rightarrow 0$ ;  $R_{sp}A_{sp} \rightarrow 1$ ;  $R_sA_s \rightarrow 2$ ;  $R_{bb} \rightarrow 3$ ;  $\xi_R \rightarrow 4$ ;  $\eta \rightarrow 5$ ;  $0,35\gamma_{sp}, \sigma_{sp}/R_{sp} \rightarrow 6$ . В/О С/П. Индикация —  $M_u$ .

**Контрольный пример.**  $65 \rightarrow 0$ ;  $1,65 \cdot 10^6 \rightarrow 1$ ;  $6,33 \cdot 10^1 \rightarrow 2$ ;  $4,35 \cdot 10^1 \rightarrow 3$ ;  $0,628 \rightarrow 4$ ;  $1 \rightarrow 5$ ;  $0,189 \rightarrow 6$ .

**Результат:**  $M_u = 7,76 \cdot 10^7$ .

**Время счета:** 20 с.

## Программа 2.4

Определение прочности нормальных сечений изгибаемых элементов прямоугольного профиля с двойной ненапрягаемой арматурой

Пх0	Пх7	$\times$	Пх0	Пх3	Пх8	$\times$	xП3	Пх4	Пх9
$\times$	xП4	Пх3	Пх4	—	Пх0	/	xПб	$F_x \geq 0$	71
Пх5	Пх1	$\times$	xПа	Пхб	—	$F_x \geq 0$	45	Пхб	2
/	/—/	Пх1	+	Пхб	$\times$	Пх0	$\times$	Пх1	Пх2
—	Пх4	$\times$	+	С/П	Пх6	$F_x \geq 0$	52	Пха	xПб
БП	28	Пх5	5	F1/x	+	FВх	Пхб	Пх1	/
+	/	Пх3	$\times$	Пх4	—	Пх0	/	xПб	БП
28	Пх3	Пх4	2	/	—	Пх0	/	Пх2	—
$F_x < 0$	85	1	/—/	FV	Пх1	Пх2	—	Пх3	$\times$
C/P									

**Инструкция.** Ввод  $b \rightarrow 0$ ;  $h_0 \rightarrow 1$ ;  $a' \rightarrow 2$ ;  $A_s \rightarrow 3$ ;  $A'_s \rightarrow 4$ ;  $\xi_R \rightarrow 5$ ;  $I \rightarrow 6$ ;  $R_b \rightarrow 7$ ;  $R_s \rightarrow 8$ ;  $R_{sc} \rightarrow 9$ . В/О С/П. Индикация —  $M_u$ . Индикация ЕГГОГ — выполнить расчет по программе 2.2 при  $A'_s = 0$ .

П р и м е ч а н и е.  $I = 1$  для бетона В30 и ниже, арматуры A-I, A-II, A-III,  $B_p$ -I;  $I = -1$  в противном случае.

**Контрольный пример.**  $30 \rightarrow 0$ ;  $65 \rightarrow 1$ ;  $4 \rightarrow 2$ ;  $16,3 \rightarrow 3$ ;  $3,93 \rightarrow 4$ ;  $0,434 \rightarrow 5$ ;  $1 \rightarrow 6$ ;  $1450 \rightarrow 7$ ;  $10^5 \rightarrow 8$ ;  $1,05 \cdot 10^5 \rightarrow 9$ ;

**Результат:**  $M_u = 8,76 \cdot 10^7$ .

**Время счета:** 12 с.

## Программа 2.5

Определение прочности нормальных сечений изгибаемых элементов прямоугольного профиля с двойной предварительно напрягаемой арматурой при  $\xi \leq \xi_R$

Пх3	Пх4	+	Пх5	—	Пх7	/	xП6	$F_x \geq 0$	68
Пх1	Пх6	—	$F_x \geq 0$	76	Пх6	2	$\times$	Пх1	$\times$
1	—	Пх8	1	—	$\times$	/—/	Пх8	+	xПа
/—/	Пх8	+	$F_x \geq 0$	78	Пха	Пх3	$\times$	Пх4	+
Пх5	—	Пх7	/	xП8	/—/	Пх1	+	$F_x \geq 0$	76
Пх8	2	/	/—/	1	+	Пх8	$\times$	xП2	Пх7
$\times$	Пх0	$\times$	Пхd	+	Пхс	+	C/P	Пх8	Пх3
$\times$	Пх4	+	Пх9	$\times$	C/P	0	F ln	Пх8	БП
36									

**Инструкция.** Ввод  $h_0 \rightarrow 0$ ;  $\xi_R \rightarrow 1$ ;  $R_s A_{sp} \rightarrow 3$ ;  $R_s A_s \rightarrow 4$ ;  $R_s A'_s + \sigma_{sc} A'_{sp} \rightarrow 5$ ;  $R_b b h_0 \rightarrow 7$ ;  $\underline{\eta}^* \rightarrow 8$ ;  $h_0 - a' \rightarrow 9$ ;  $(h_0 - a'_s) \sigma_{sc} A'_{sp} \rightarrow c$ ;  $(h_0 - a'_s) R_{sc} A'_s \rightarrow d$ . В/О С/П. Индикация —  $M_u$ . Индикация — ЕГГОГ, продолжить расчет по программе 2.6.

**Контрольный пример.**  $65 \rightarrow 0$ ;  $0,434 \rightarrow 1$ ;  $105 \cdot 10^4 \rightarrow 3$ ;  $633 \cdot 10^4 \rightarrow 4$ ;  $3,46 \times 10^5 \rightarrow 5$ ;  $2,83 \cdot 10^6 \rightarrow 7$ ;  $1,2 \rightarrow 8$ ;  $61 \rightarrow 9$ ;  $0 \rightarrow c$ ;  $21096240 \rightarrow d$ .

**Результат:**  $M_u = 7,36 \cdot 10^7$ .

**Время счета:** 20 с.

## Программа 2.6

Определение прочности нормальных сечений изгибаемых элементов прямоугольного профиля с двойной предварительно напрягаемой арматурой при  $\xi > \xi_R$

5	F1/x	Пх1	+	5	F1/x	Пх6	+	/	Пха
$\times$	xПа	Пх6	Пх1	/	/—/	1	+	Пх0	$\times$
Пх6	+	5	F1/x	+	F1/x	Пх3	$\times$	5	F1/x

\* Исходные данные, подчеркнутые двумя линиями, следует заново вводить при повторном счете.

$$\begin{array}{ccccccccc}
 \text{Пx1} & + & \times & \text{Пx4} & + & \text{Пx8} & - & \text{Пx7} & / & x\text{Пb} \\
 2 & / & /-/- & 1 & + & \text{Пx}b & \times & \text{Пx7} & \times & \text{Пx9} \\
 \times & \text{Пx}d & + & \text{Пx}c & + & \text{C/P} & & & &
 \end{array}$$

**Инструкция.** Ввод  $0,35\gamma_{sp_1}\sigma_{sp_1}/R_{sp} \rightarrow 0$ ;  $\xi_R \rightarrow 1$ ;  $R_{sp}A_{so} \rightarrow 3$ ;  $\xi \rightarrow 6$ ;  $R_bbh_0 \rightarrow 7$ ;  $R_{sc}A_s' + \sigma_{sc}A_{sp}' \rightarrow 8$ ;  $h_0 \rightarrow 9$ ;  $R_sA_s \rightarrow a$ ;  $(h_0 - a_{sp}')\sigma_{sc}A_{sp}' \rightarrow c$ ;  $(h_0 - a_s') \times R_{sc}A_s' \rightarrow d$ . В/О С/П. Индикация —  $M_u$ .

П р и м е ч а н и е. Значение  $\xi \leftarrow 6$  после окончания работы программы 2.5.

**Контрольный пример.**  $0,189 \rightarrow 0$ ;  $0,434 \rightarrow 1$ ;  $1,65 \cdot 10^8 \rightarrow 3$ ;  $0,483 \rightarrow 6$ ;  $2,83 \times 10^8 \rightarrow 7$ ;  $3,46 \cdot 10^6 \rightarrow 8$ ;  $65 \rightarrow 9$ ;  $6,33 \cdot 10^4 \rightarrow a$ ;  $2,11 \cdot 10^7 \rightarrow c$ ;  $0 \rightarrow d$ .

Результат:  $M_u = 8,59 \cdot 10^7$ .

Время счета: 15 с.

### Программа 2.7

Определение площади сечения ненапрягаемой арматуры в изгибающихся элементах прямоугольного профиля из условия прочности нормальных сечений

$$\begin{array}{ccccccccc}
 \text{Пx0} & \text{Пx3} & / & \text{Пx1} & / & \text{Пx2} & Fx^2 & / & 2 & \times \\
 /-/- & 1 & + & FV & /-/- & 1 & + & x\text{П7} & \text{Пx5} & \underline{-} \\
 Fx < 0 & 52 & \text{Пx7} & 2 & / & /-/- & 1 & + & F1/x & \text{Пx0} \\
 \times & \text{Пx4} & / & \text{Пx2} & / & x\text{П8} & \text{Пx1} & \text{Пx2} & \times & / \\
 \text{Пx6} & - & Fx \geq 0 & 46 & \text{Пx8} & \text{C/P} & \text{Пx}b & \text{Пx1} & \text{Пx2} & \times \\
 \times & \text{C/P} & 1 & /-/- & FV & & & & & 
 \end{array}$$

**Инструкция.** Ввод  $M \rightarrow 0$ ;  $b \rightarrow 1$ ;  $h_0 \rightarrow 2$ ;  $R_b \rightarrow 3$ ;  $R_s \rightarrow 4$ ;  $\xi_R \rightarrow 5$ ;  $\mu_{min} \rightarrow 6$ . В/О С/П. Индикация —  $A_s$ . Индикация — ЕГГОГ, требуется сжатая ненапрягаемая арматура (см. программу 2.9).

**Контрольный пример.**  $95 \cdot 10^5 \rightarrow 0$ ;  $20 \rightarrow 1$ ;  $35 \rightarrow 2$ ;  $1035 \rightarrow 3$ ;  $3,65 \cdot 10^6 \rightarrow 4$ ;  $0,628 \rightarrow 5$ ;  $0,0005 \rightarrow 6$ .

Результат:  $A_s = 9,91 \cdot 10^{-1}$ .

Время счета: 12 с.

### Программа 2.8

Определение площади сечения предварительно напрягаемой растянутой одиночной арматуры в изгибающихся элементах прямоугольного профиля.

$$\begin{array}{ccccccccc}
 \text{Пx0} & \text{Пx5} & \text{Пx1} & \text{Пx2} & Fx^2 & \times & \times & / & 2 & \times \\
 /-/- & 1 & + & FV & /-/- & 1 & + & x\text{Пd} & \text{Пx8} & \underline{-} \\
 Fx < 0 & 84 & \text{Пx6} & 1 & - & \text{Пx}d & 2 & \times & \text{Пx8} & / \\
 1 & - & \times & /-/- & \text{Пx6} & + & x\text{Пb} & \text{Пx6} & - & Fx < 0 \\
 87 & \text{Пx}d & 2 & / & /-/- & 1 & + & x\text{Пa} & \text{Пx2} & \times \\
 \text{Пx3} & \times & \text{Пx4} & \times & /-/- & \text{Пx0} & + & \text{Пx}b & / & \text{Пx9} \\
 / & \text{Пx}a & / & \text{Пx2} & / & x\text{Пc} & \text{Пx3} & + & \text{Пx1} & / \\
 \text{Пx2} & / & \text{Пx7} & - & Fx < 0 & 91 & FBx & \text{Пx1} & \times & \text{Пx2} \\
 \times & \text{Пx3} & \underline{C/P} & 1 & /-/- & FV & \text{Пx}b & \text{Пx6} & x\text{Пb} & \text{БП} \\
 41 & \text{Пx}c & & & & & & & & 
 \end{array}$$

**Инструкция.** Ввод  $M \rightarrow 0$ ;  $b \rightarrow 1$ ;  $h_0 \rightarrow 2$ ;  $A_s \rightarrow 3$ ;  $R_s \rightarrow 4$ ;  $R_b \rightarrow 5$ ;  $\eta \rightarrow 6$ ;  $\mu_{min} \rightarrow 7$ ;  $\xi_R \rightarrow 8$ ;  $R_{sp} \rightarrow 9$ . В/О С/П. Индикация —  $A_{sp}$ . Индикация — ЕГГОГ, требуется сжатая ненапрягаемая арматура (см. программу 2.9).

**Контрольный пример.**  $57 \cdot 10^6 \rightarrow 0$ ;  $30 \rightarrow 1$ ;  $65 \rightarrow 2$ ;  $2,26 \rightarrow 3$ ;  $28 \cdot 10^3 \rightarrow 4$ ;  $1450 \rightarrow 5$ ;  $1,2 \rightarrow 6$ ;  $0,0005 \rightarrow 7$ ;  $0,434 \rightarrow 8$ ;  $10,5 \cdot 10^4 \rightarrow 9$ .

Результат:  $A_{sp} = 9,30$ .

Время счета: 20 с.

## Программа 2.9

Определение площади сечения продольной ненапрягаемой двойной арматуры в изгибающихся элементах из условия прочности нормальных сечений

Пх3	Пх1	/	хПа		Пх2	2	/	/—/	1	×	
Пх2	×	Пха	—		$F_x < 0$	49	Пха	Пх7	—	$F_x < 0$	
90	Пх3	Пха	Пх1		—		Пх4	/	$x\text{П}b$	Пхс	
/	Пх9	—	$F_x \geq 0$		61	Пха	Пх7	—	$F_x > 0$	51	
Пх2	Пх0	×	Пхб		Пх6	×	+	Пх5	/	0	
Flн	Пх8	Пх0	×		Пхб	Пх6	×	+	Пх5	/	
С/П	Пх9	Пхс	×		хПб	Пх3	Пхб	Пх4	×	—	
Пх1	/	2	×		/—/	1	+	$F_V$	/—/	1	
+	Пх0	×	Пхб		Пх6	×	+	Пх5	/	С/П	
Пх3	Пх1	Пх7	×		—	Пх4	/	БП	28		

**Инструкция.** Ввод  $R_b b h_0 \rightarrow 0$ ;  $R_b b h_0^2 \rightarrow 1$ ;  $\xi_R \rightarrow 2$ ;  $M \rightarrow 3$ ;  $R_{sc} (h_0 - a') \rightarrow 4$ ;  $R_s \rightarrow 5$ ;  $R_{sc} \rightarrow 6$ ;  $0,4 \rightarrow 7$ ;  $0,55 \rightarrow 8$ ;  $\mu_{min} \rightarrow 9$ ;  $b h_0 \rightarrow c$ . В/О С/П. Индикация —  $A_s$ ,  $A'_s \leftarrow b$ . Индикация — ЕГГОГ, скатая арматура по расчету не требуется (программа 2.7).

**Контрольный пример.**  $2827500 \rightarrow 0$ ;  $1,84 \cdot 10^8 \rightarrow 1$ ;  $0,6187 \rightarrow 2$ ;  $5 \cdot 10^7 \rightarrow 3$ ;  $1708 \cdot 10^3 \rightarrow 4$ ;  $2,8 \cdot 10^4 \rightarrow 5$ ;  $2,8 \cdot 10^4 \rightarrow 6$ ;  $0,4 \rightarrow 7$ ;  $0,55 \rightarrow 8$ ;  $0,0005 \rightarrow 9$ ;  $1950 \rightarrow c$ .

**Результат:**  $A_s = 65,19$ ;  $A'_s = 9,65$ .

**Время счета:** 10 с.

## Программа 2.10

Определение площади сечения продольной растянутой ненапрягаемой арматуры в изгибающихся элементах прямоугольного профиля при заданной сжатой арматуре

Пх4	Пх1	×	Пх2	×	хП9	Пх6	Пх7	×	Пх2	
Пх3	—	×	/—/	Пх0	+	Пх6	/	Пх2	/	
$x\text{П}a$	$F_x \geq 0$		57	Пх8	2	/	/—/	1	+	Пх8
×	хПб			Пха	—	$F_x \geq 0$	65	Пх9	2	—
1	+		F	/—/	1	+	Пх9	×	Пх5	/—/
Пх6	Пх5	/	Пх7	×	1	+	С/П	Пх0	Пх5	/
Пх2	Пх3	—	/	С/П		Пхс	С/П			

**Инструкция.** Ввод  $M \rightarrow 0$ ;  $b \rightarrow 1$ ;  $h_0 \rightarrow 2$ ;  $a' \rightarrow 3$ ;  $R_b \rightarrow 4$ ;  $R_s \rightarrow 5$ ;  $R_{sc} \rightarrow 6$ ;  $A'_s \rightarrow 7$ ;  $\xi_R \rightarrow 8$ ;  $3333 \rightarrow c$ . В/О С/П. Индикация —  $A_s$ . Индикация — 3333, площадь сжатой арматуры недостаточна (расчет по программе 2.9).

**Контрольный пример.**  $57 \cdot 10^6 \rightarrow 0$ ;  $30 \rightarrow 1$ ;  $65 \rightarrow 2$ ;  $4 \rightarrow 3$ ;  $1450 \rightarrow 4$ ;  $28 \times 10^3 \rightarrow 5$ ;  $28 \cdot 10^3 \rightarrow 6$ ;  $16 \rightarrow 7$ ;  $0,434 \rightarrow 8$ ;  $3333 \rightarrow c$ .

**Результат:**  $A_s = 33,89$ .

**Время счета:** 11 с.

## Программа 2.11

Определение прочности нормальных сечений изгибающихся элементов таврового профиля с одиночной ненапрягаемой арматурой

Пх0	Пх7	—	$F_x \geq 0$	82	Пх0	Пх4	Пх3	×	—	
Пх1	/	$x\text{П}8$	Пх5	—	$F_x < 0$	50	Пх8	хПd	ПП	
39	Cx	Пхс	Пх1	×	Пх2	×	Пх3	2	/	
/—/	Пх2	+	Пх3	×	Пх4	×	+	С/П	Cx	
Пхd	2	/	/—/	1	+	Пхd	×	хПс	B/O	
Cx	Пх6	$F_x \geq 0$	60	Пх5	хПd	ПП	39	БП	21	
Cx	Пх5	5	$F_{1/x}$	+	FBx	Пх8	+	/	Пх0	
×	Пх4	Пх3	×	—	Г	Г	Г	ПП	39	
БП	21	0	$F_{ln}$							

**Инструкция.** Ввод  $R_s A_s \rightarrow 0$ ;  $R_b b h_0 \rightarrow 1$ ;  $h_0 \rightarrow 2$ ;  $b_f' \rightarrow 3$ ;  $R_b (b_f' - b) \rightarrow 4$ ;  $\xi_R \rightarrow 5$ ;  $I \rightarrow 6$ ;  $R_b b_f' h_f' \rightarrow 7$ . В/О С/П. Индикация —  $M_u$ . Индикация — ЕГГОГ, расчет по программе 2.2 при  $b = b_f'$ .

Причение.  $I = 1$  для бетона В30 и ниже и арматуры А-I, А-II, А-III,  $B_p$ -I;  $I = -1$  в противном случае.

**Контрольный пример.**  $496 \cdot 10^5 \rightarrow 0$ ;  $1,17 \cdot 10^6 \rightarrow 1$ ;  $45 \rightarrow 2$ ;  $8 \rightarrow 3$ ;  $2,61 \times 10^1 \rightarrow 4$ ;  $0,556 \rightarrow 5$ ;  $1 \rightarrow 6$ ;  $4,18 \cdot 10^5 \rightarrow 7$ .

**Результат:**  $M_u = 1,99 \cdot 10^7$ .

Время счета: 10 с.

### Программа 2.12

Определение прочности нормальных сечений изгибаемых элементов таврового профиля с одиночной предварительно напрягаемой и ненапрягаемой арматурой при  $\xi < \xi_R$

Пх2	Пх0	—	Пх1	—	$F_x \geq 0$	09	0	С/П	Пх0
Пх1	+	Пх2	—	Пх3	+	Пх4	/	$x_{\text{П}} b$	/—/
Пх7	+	$F_x \geq 0$	79	Пх6	2	×	Пх7	/	1
—	Пх6	1	—	×	/—/	Пх6	+	/—/	Пх6
+	$F_x \geq 0$	82	Пх5	Пх0	×	Пх1	+	Пх2	—
Пх3	+	Пх4	/	х <sub>п</sub> 5	/—/	Пх7	+	$F_x \geq 0$	79
Пх5	2	/	/—/	1	+	Пх5	×	Пх4	×
Пхс	×	Пх2	Пх3	—	Пхd	×	+	С/П	1
/—/	$FV$	Пх6	БП	44					

**Инструкция.** Ввод  $R_{sp} A_{sp} \rightarrow 0$ ;  $R_s A_s \rightarrow 1$ ;  $R_b b_f' h_f' \rightarrow 2$ ;  $R_b b h_0 \rightarrow 3$ ;  $R_b b h_0 \rightarrow 4$ ;  $\eta \rightarrow 6$ ;  $\xi_R \rightarrow 7$ ;  $0,35 \gamma_{sp_1} \sigma_{sp_2} / R_{sp} \rightarrow 9$ ;  $A_s \rightarrow a$ ;  $h_0 \rightarrow c$ ;  $h_0 - 0,5 h_f' \rightarrow d$ . В/О С/П. Индикация —  $M_u$ . Индикация — 0, расчет по программе 2.3 при  $b = b_f'$ . Индикация — ЕГГОГ, расчет по программе 2.13.

**Контрольный пример.**  $4,03 \cdot 10^5 \rightarrow 0$ ;  $8,62 \cdot 10^4 \rightarrow 1$ ;  $418 \cdot 10^6 \rightarrow 2$ ;  $2,09 \times 10^5 \rightarrow 3$ ;  $1,17 \cdot 10^6 \rightarrow 4$ ;  $1,2 \rightarrow 6$ ;  $0,556 \rightarrow 7$ ;  $0,189 \rightarrow 9$ ;  $3,08 \rightarrow a$ ;  $45 \rightarrow c$ ;  $41 \rightarrow d$ .

**Результат:**  $M_u = 2,23 \cdot 10^7$ .

Время счета: 15 с.

### Программа 2.13

Определение прочности нормальных сечений изгибаемых элементов таврового профиля с одиночной предварительно напрягаемой и ненапрягаемой арматурой при  $\xi > \xi_R$

Пхб	Пх0	+	Пхб	Пх1	+	/	Пхб	×	$x_{\text{П}} d$
Пх2	Пх1	+	Пхб	+	$F_{1/x}$	Пх4	×	Пхб	Пх0
+	×	Пхd	+	Пхб	—	Пх7	/	—	Пх2
/	/—/	1	+	Пхс	×	Пх7	×	Пх8	×
Пх6	Пхa	×	+	С/П					

**Инструкция.** Ввод  $\xi_R \rightarrow 0$ ;  $\xi \rightarrow 1$ ;  $0,35 \gamma_{sp_1} \sigma_{sp_2} / R_{sp} \rightarrow 2$ ;  $R_{sp} A_{sp} \rightarrow 4$ ;  $R_s A_s \rightarrow 5$ ;  $R_b (b_f' - b) h_f' \rightarrow 6$ ;  $R_b b h_0 \rightarrow 7$ ;  $h_0 \rightarrow 8$ ;  $h_0 - 0,5 h_f' \rightarrow a$ ;  $0,2 \rightarrow b$ . В/О С/П. Индикация —  $M_u$ .

Причение.  $\xi \leftarrow b$  после счета по программе 2.12.

**Контрольный пример.**  $0,556 \rightarrow 0$ ;  $0,239 \rightarrow 1$ ;  $0,189 \rightarrow 2$ ;  $4,03 \cdot 10^5 \rightarrow 4$ ;  $8,62 \times 10^4 \rightarrow 5$ ;  $2,09 \cdot 10^6 \rightarrow 6$ ;  $1,17 \cdot 10^6 \rightarrow 7$ ;  $45 \rightarrow 8$ ;  $41 \rightarrow a$ ;  $0,2 \rightarrow b$ .

**Результат:**  $M_u = 2,42 \cdot 10^7$ .

Время счета: 8 с.

### Программа 2.14 (МК-81, МК-52)

Определение прочности нормальных сечений изгибаемых предварительно напряженных элементов таврового профиля с двойной напрягаемой и ненапрягаемой арматурой

Ограничение:  $R_{sp}A_{sp} + R_sA_s \leq R_b b_f h_f' + R_{sc}A_s' + \sigma_{sc}A_{sp}'$ , в противном случае рассчитывать по программе 2.5 при  $b = b_f$

ПП	58	Пх7	—	$F_x < 0$	71	Пхд	Пх7	/	2
×	1	—	Пхб	1	—	×	Пхб	↔	—
xПе	Пхб	—	$F_x < 0$	74	Пхе	Пх0	×	xП0	ПП
58	Пх7	—	$F_x < 0$	71	Пхд	В↑	$Fx^2$	2	/
—	Пх5	×	Пхс	—	Пх2	Пх8	×	+	Пх3
Пх9	×	+	Пх4	Пха	—	+	С/П	Пх0	Пх1
+	Пх2	—	Пх3	—	Пх4	—	Пх5	/	хПд
В/О	0	0	С/П	Пхб	хПе	БП	26		

**Инструкция.** Ввод  $R_{sp}A_{sp} \rightarrow 0$ ;  $R_sA_s \rightarrow 1$ ;  $R_b(b_f' - b)h_f' \rightarrow 2$ ;  $R_{sc}A_s' \rightarrow 3$ ;  $\sigma_{sc}A_s' \rightarrow 4$ ;  $R_b b h_0 \rightarrow 5$ ;  $0,35\gamma_{sp_1}\sigma_{sp_2}/R_s \rightarrow 6$ ;  $\xi_R \rightarrow 7$ ;  $h_0 - 0,5h_f' \rightarrow 8$ ;  $h_0 - 0,5a_s' \rightarrow 9$ ;  $h_0 - 0,5a_{sp} \rightarrow a$ ;  $\eta \rightarrow b$ ;  $h_0 \rightarrow c$ . В/О С/П. Индикация —  $M_u$ . Индикация — 00, продолжить по программе 2.15, не меняя содержимого ячеек памяти.

**Контрольный пример.**  $4,03 \cdot 10^6 \rightarrow 0$ ;  $8,62 \cdot 10^4 \rightarrow 1$ ;  $2,09 \cdot 10^6 \rightarrow 2$ ;  $431 \times \times 20 \rightarrow 3$ ;  $1,0 \cdot 10^6 \rightarrow 4$ ;  $1,17 \cdot 10^6 \rightarrow 5$ ;  $0,189 \rightarrow 6$ ;  $0,556 \rightarrow 7$ ;  $41 \rightarrow 8$ ;  $43 \rightarrow 9$ ;  $41 \rightarrow \rightarrow a$ ;  $1,2 \rightarrow b$ ;  $45 \rightarrow c$ .

Результат:  $M_u = 2,34 \cdot 10^7$ .

Время счета: 20 с.

### Программа 2.15

Определение прочности нормальных сечений изгибаемых предварительно напряженных элементов таврового профиля с двойной напрягаемой и ненапрягаемой арматурой (продолжение)

Пх7	5	$F1/x$	+	FBx	Пхд	+	/	Пх1	×
xП1	Пхд	Пх7	/	/—	1	+	Пх6	×	Пхд
+	5	$F1/x$	+	FBx	Пх7	+	↔	/	Пх0
×	xП0	Пх1	+	Пх2	—	Пх3	—	Пх4	—
Пх5	/	xПд	В↑	$Fx^2$	2	/	—	Пх5	×
Пхс	×	Пх2	Пх8	×	+	Пх3	Пх9	×	+
Пх4	Пха	×	+	С/П					

**Инструкция.** В/О С/П. Индикация —  $M_u$ .

Результат:  $M_u = 3,30 \cdot 10^7$ .

Время счета: 5 с.

### Программа 2.16 (МК-52, МК-81)

Определение площади сечения ненапрягаемой арматуры в изгибаемых элементах таврового профиля из условия прочности нормальных сечений

Пх0	Пх1	Пх3	×	—	$F_x \geq 0$	55	Пх0	Пх1	Пх2
—	Пх3	×	—	Пх4	/	Пх5	/	xПс	2
×	/—	1	+	FX	/—	1	+	xПд	Пхб
—	$F_x < 0$	57	Пхд	Пх4	×	Пх1	Пх2	—	+
Пх6	/	xПе	Пха	/	Пх9	—	$F_x < 0$	53	Пх9
Пха	×	C/П	Пхе	C/П	0	F ln	0	C/П	Пхс
0	.	4	—	$F_x < 0$	97	Пх0	Пх1	Пх2	—
Пх3	×	—	Пх4	Пх5	×	Пхс	×	—	Пх7
/	Пх8	/	xП0	Пх7	×	Пх1	Пх2	—	+
Пх4	Пхд	×	+	Пх6	/	C/П			

**Инструкция.** Ввод  $M \rightarrow 0$ ;  $R_b b_f h_f' \rightarrow 1$ ;  $R_b b h_f' \rightarrow 2$ ;  $h_0 \rightarrow 0,5 h_f' \rightarrow 3$ ;  $R_b b h_0 \rightarrow 4$ ;  $h_0 \rightarrow 5$ ;  $R_s \rightarrow 6$ ;  $R_{sc} \rightarrow 7$ ;  $h_0 - a' \rightarrow 8$ ;  $\mu_{min} \rightarrow 9$ ;  $b h_0 \rightarrow a$ ;  $\xi_R \rightarrow b$ . В/О С/П. Индикация —  $A_s$ . Индикация — 0, требуется сжатая арматура. С/П. Индикация —  $A_s$ ;  $A_s' \leftarrow 0$ . Индикация — 0, 0,4  $x_{Pc}$  0,55  $x_{Pd}$  БП 66 С/П. Индикация ЕГГОГ — расчет по программе 2.6 при  $b = b_f'$ .

**Контрольный пример.**  $21 \cdot 10^6 \rightarrow 0$ ;  $4,18 \cdot 10^6 \rightarrow 1$ ;  $2,09 \cdot 10^5 \rightarrow 2$ ;  $41 \rightarrow 3$ ;  $1,17 \cdot 10^6 \rightarrow 4$ ;  $45 \rightarrow 5$ ;  $3,65 \cdot 10^4 \rightarrow 6$ ;  $3,65 \cdot 10^4 \rightarrow 7$ ;  $40 \rightarrow 8$ ;  $0,0005 \rightarrow 9$ ;  $900 \rightarrow a$ ;  $0,556 \rightarrow b$ .

**Результат:**  $A_s = 14,488$ .

**Время счета:** 10 с.

### Программа 2.17 (МК-52, МК-61)

Определение площади сечения предварительно напрягаемой растянутой одиночной арматуры в изгибающихся элементах таврового профиля

$\Pi x0$	$\Pi x1$	$\Pi x3$	$\times$	$/$	$Fx \geqslant 0$	87	$\Pi x2$	$\Pi x3$	$\times$
$+ \quad FV$	$\Pi x4$	$/$	$\Pi x7$	$/$	$\frac{1}{2}$	$\times$	$/ - /$	$1$	$+$
$\Pi x6$	$/ - /$	$1$	$+$	$x_{Pd}$	$\Pi x6$	$-$	$\Pi x5$	$84$	$\Pi x d$
$\Pi x5$	$/$	$2$	$\times$	$1$	$-$	$Fx < 0$	$1$	$-$	$\times$
$\times$	$\Pi x5$	$+$	$x_{Pe}$	$\Pi x5$	$-$	$Fx < 0$	$80$	$\Pi x4$	$\Pi x d$
$/$	$\Pi x1$	$\Pi x2$	$-$	$+$	$\Pi x8$	$\Pi x9$	$\times$	$-$	$\Pi x a$
$Fx < 0$	$\Pi x e$	$/$	$x_{Pe}$	$\Pi x8$	$+$	$\Pi x b$	$/$	$\Pi x c$	$-$
$\Pi x5$	$78$	$\Pi x c$	$\Pi x b$	$\times$	$\Pi x 9$	$-$	$C/P$	$\Pi x e$	$C/P$
	$x_{Pe}$	$B P$	$48$	$0$	$0$	$C/P$	$0$	$F l n$	

**Инструкция.** Ввод  $M \rightarrow 0$ ;  $R_b b_f h_f' \rightarrow 1$ ;  $R_b b h_f' \rightarrow 2$ ;  $h_0 \rightarrow 0,5 h_f' \rightarrow 3$ ;  $R_b b h_0 \rightarrow 4$ ;  $\eta \rightarrow 5$ ;  $\xi_R \rightarrow 6$ ;  $h_0 \rightarrow 7$ ;  $A_s \rightarrow 8$ ;  $R_s \rightarrow 9$ ;  $R_{sp} \rightarrow a$ ;  $b h_0 \rightarrow b$ ;  $\mu_{min} \rightarrow c$ . В/О С/П. Индикация —  $A_{sp}$ . Индикация — 00, увеличить высоту сечения  $h_0$  или повысить класс бетона. Индикация — ЕГГОГ, рассчитывать по программе 2.7 при  $b = b_f'$ .

**Контрольный пример.**  $220,9 \cdot 10^5 \rightarrow 0$ ;  $4,18 \cdot 10^6 \rightarrow 1$ ;  $2,09 \cdot 10^5 \rightarrow 2$ ;  $41 \rightarrow 3$ ;  $1,17 \cdot 10^6 \rightarrow 4$ ;  $1,2 \rightarrow 5$ ;  $0,556 \rightarrow 6$ ;  $45 \rightarrow 7$ ;  $3,08 \rightarrow 8$ ;  $2,8 \cdot 10^4 \rightarrow 9$ ;  $10,5 \cdot 10^4 \rightarrow a$ ;  $900 \rightarrow b$ ;  $0,0005 \rightarrow c$ .

**Результат:**  $A_{sp} = 3,836$ .

**Время счета:** 20 с.

### Программа 2.18

Проверка прочности наклонной полосы между наклонными трещинами на действие поперечной силы

$\Pi x9$	$\Pi x1$	$\times$	$/ - /$	$1$	$+$	$x_{Pc}$	$\Pi x3$	$\Pi x8$	$/$
$\Pi x6$	$/$	$\Pi x5$	$\Pi x2$	$/$	$\times$	$5$	$\times$	$1$	$+$
$x_{Pb}$	$\Pi x a$	$-$	$Fx < 0$	$43$	$\times$	$\Pi x b$	$\Pi x c$	$\Pi x 1$	$\times$
$\Pi x8$	$\times$	$\Pi x7$	$\times$	$\Pi x4$	$\times$	$x_{Pd}$	$\Pi x0$	$-$	$Fx \geqslant 0$
$47$	$1$	$C/P$	$\Pi x a$	$x_{Pb}$	$B P$	$25$	$0$	$C/P$	

**Инструкция.** Ввод  $Q \rightarrow 0$ ;  $R_b \rightarrow 1$ ;  $E_b \rightarrow 2$ ;  $A_{sw_1} \cdot n \rightarrow 3$ ;  $0,3 \rightarrow 4$ ;  $E_s \rightarrow 5$ ;  $s \rightarrow 6$ ;  $h_0 \rightarrow 7$ ;  $b \rightarrow 8$ ;  $\beta \rightarrow 9$ ;  $1,3 \rightarrow a$ . В/О С/П. Индикация — 1, прочность достаточна ( $Q_u \leftarrow d$ ). Индикация — 2, прочность недостаточна, увеличить размеры сечения или класс бетона.

**Контрольный пример.**  $2 \cdot 10^5 \rightarrow 0$ ;  $783 \rightarrow 1$ ;  $2,35 \cdot 10^6 \rightarrow 2$ ;  $1,006 \rightarrow 3$ ;  $0,3 \rightarrow 4$ ;  $2 \cdot 10^7 \rightarrow 5$ ;  $20 \rightarrow 6$ ;  $56,5 \rightarrow 7$ ;  $20 \rightarrow 8$ ;  $0,00006 \rightarrow 9$ ;  $1,3 \rightarrow a$ .

**Результат:** 1 ( $Q_u = 2,8 \cdot 10^5$ ).

**Время счета:** 13 с.

### Программа 2.19 (МК-52, МК-61)

**Проверка прочности наклонных сечений изгибаемых элементов постоянной высоты на действие поперечной силы ( $a_1 \geq (\Psi b_2 / \Psi b_3) h_0$ )**

$\Pi x_5$	$\Pi x_7$	1	+	$\times$	$\Pi x_0$	$\times$	$x \Pi e$	$\Pi x_3$	—
$Fx \geqslant 0$	14	1	C/P	$\Pi x_d$	$\Pi x_2$	—	$Fx \geqslant 0$	50	Px <sub>c</sub>
2	$\Pi x_2$	/	K max	$F1/x$	$\Pi x_9$	—	$Fx \geqslant 0$	62	Px <sub>b</sub>
$\Pi x_7$	1	+	$\times$	$\Pi x_0$	$\times$	$\Pi x_1$	$\times$	$\Pi x_3$	/
$x \Pi 2$	$\Pi x_9$	—	$Fx \geqslant 0$	47	0	$F \ln$	9	9	C/P
3	$\Pi x_2$	/	$\Pi x_b$	K max	$F1/x$	$\Pi x_9$	—	$Fx \geqslant 0$	62
БП	29	0	C/P						

**Инструкция.** Ввод  $R_{bt}bh_0 \rightarrow 0$ ;  $h_0 \rightarrow 1$ ;  $h \rightarrow 2$ ;  $Q \rightarrow 3$ ;  $\varphi_{b_2} \rightarrow 4$ ;  $\varphi_{b_3} \rightarrow 5$ ;  $\varphi_{b_4} \rightarrow 6$ ;  $\varphi_n \rightarrow 7$ ;  $\varphi_f \rightarrow 8$ ;  $s \rightarrow 9$ ;  $R_{sw}nA_{sw_1} \rightarrow a$ ;  $1/b_0 \rightarrow b$ ;  $1/b_1 \rightarrow c$ ;  $45 \rightarrow d$ . В/О С/П. Индикация — 1, прочность достаточна ( $Q_u \leftarrow e$ ). Индикация — 0, прочность недостаточна (не выполнены конструктивные требования). Индикация — 99, прочность недостаточна ( $s > s_{max}$ ,  $s_{max} \leftarrow 2$ ). Индикация — ЕГГОГ, продолжить счет по программе 2.20, не меняя содержимого ячеек памяти.

**Контрольный пример.**  $7,8 \cdot 10^4 \rightarrow 0$ ;  $56,5 \rightarrow 1$ ;  $60 \rightarrow 2$ ;  $2 \cdot 10^5 \rightarrow 3$ ;  $2 \rightarrow 4$ ;  $1 \rightarrow 5$ ;  $0,6 \rightarrow 6$ ;  $0 \rightarrow 7$ ;  $0 \rightarrow 8$ ;  $10 \rightarrow 9$ ;  $2,87 \cdot 10^4 \rightarrow a$ ;  $\frac{1}{50} \rightarrow b$ ;  $\frac{1}{15} \rightarrow c$ ;  $45 \rightarrow d$ .

*Результат:* ЕГГОГ.

*Время счета: 10 с.*

## Программа 2.20

## Проверка прочности наклонных сечений изгибаемых элементов постоянной высоты на действие поперечной силы (продолжение)

$\Pi x_7$	$\Pi x_8$	+	1	+	$x\Pi_8$	1	.	5	$\overline{1}$
$Fx < 0$	82	$\Pi x_5$	$\Pi x_8$	$\times$	$\Pi x_0$	$\times$	$x\Pi_7$	$\Pi x_1$	$Fx \geqslant 0$
2	/	$x\Pi_5$	$\Pi x_a$	$\Pi x_9$	/	$x\Pi_a$	$\Pi x_5$	-	$\overline{x}$
71	$\Pi x_4$	$\Pi x_8$	$\times$	$\Pi x_0$	$\times$	$\Pi x_1$	$\times$	$\Pi x_a$	$\overline{x}$
$F\sqrt{ }$	$x\Pi_4$	$\Pi x_1$	2	$\times$	-	$Fx < 0$	71	$\Pi x_4$	$\Pi x_1$
-	$Fx \geqslant 0$	67	$\Pi x_4$	$\Pi x_a$	$\times$	$\Pi x_7$	+	$x\Pi_e$	$\Pi x_3$
-	$Fx \geqslant 0$	65	1	$C/\Pi$	0	$C/\Pi$	$\Pi x_1$	$x\Pi_4$	$\overline{B\Pi}$
49	$\Pi x_1$	2	$\times$	$x\Pi_4$	$\Pi x_a$	$\times$	2	$\times$	$x\Pi_e$
БП	59	1	-	5	$x\Pi_8$	БП	12		

**Инструкция.** В/О С/П. Индикация — 1, прочность достаточна. Индикация — 0, прочность недостаточна ( $Q_{\mu_0} \leftarrow e$ ).

**Контрольный пример.** В/О С/П (содержимое ячеек памяти не изменяется после выполнения контрольного примера к программе 2.19).

Результат: 1 ( $Q_{\mu_0} = 2,4 \cdot 10^5$ ).

Время счета: 13 с.

### Программа 2.21 (МК-52, МК-61)

## Расчет поперечной арматуры в изгибаемых элементах постоянной высоты из условия прочности наклонных сечений на действие поперечной силы, постоянной в пределах наклонного сечения

$\Pi x_2$	$\Pi x_c$	—	$Fx \geq 0$	07	0	C/P	$\Pi x_c$	$\Pi x_4$	/
1	—	$x_1 l d$	1	—	$Fx < 0$	48	$\Pi x_c$	$\Pi x_1$	/
4	/	$F l / x$	$\Pi x_7$	×	$x_1 \leq e$	$\Pi x_2$	$\Pi x_8$	×	$x_1 \leq 8$
$\Pi x_9$	$\Pi x_0$	—	$Fx \geq 0$	42	2	$\Pi x_0$	/	$\Pi x_a$	K max
БП	88	3	$\Pi x_0$	/	$\Pi x_b$	БП	39	$\Pi x_5$	$\Pi x_1$
/	2	/	$\Pi x_d$	—	$Fx \geq 0$	66	$\Pi x_c$	$\Pi x_4$	—
$\Pi x_1$	/	—	2	/	БП	22	$\Pi x_5$	$\Pi x_1$	$\Pi x_d$

$\frac{F_x \geq 0}{22}$	$\frac{81}{\text{П}x_c}$	$\frac{\text{П}x_c}{\text{П}x_4}$	$\frac{\text{П}x_4}{\text{П}x_1}$	$\frac{-}{\text{Б}P}$	$\frac{F_x^2}{22}$	$\frac{\text{П}x_6}{5}$	$\frac{/}{\text{П}x_8}$	$\frac{\text{Б}P}{K [x]}$
$K \max$	$\text{П}x_e$	$F1/x$	$K \max$	$F1/x$	2	.	5	

**Инструкция.** Ввод  $h \rightarrow 0$ ;  $h_0 \rightarrow 1$ ;  $Q_b \rightarrow 2$ ;  $k \rightarrow 3$ ;  $Q_{b,\min} \rightarrow 4$ ;  $c \rightarrow 5$ ;  $M_b \rightarrow 6$ ;  $R_{sw}nA_{sw} \rightarrow 7$ ;  $(\Phi_{b_4}h_0)/(\Phi_{b_3}Q) \rightarrow 8$ ;  $45 \rightarrow 9$ ;  $1/_{15} \rightarrow a$ ;  $1/_{50} \rightarrow b$ ;  $Q \rightarrow c$ , В/О С/П. Индикация —  $s$ , кратное 25 мм. Индикация — 0, поперечная арматура устанавливается по конструктивным требованиям.

**Контрольный пример.**  $60 \rightarrow 0$ ;  $56,5 \rightarrow 1$ ;  $7,8 \cdot 10^4 \rightarrow 2$ ;  $1 \rightarrow 3$ ;  $7,8 \cdot 10^4 \rightarrow 4$ ;  $56,5 \rightarrow 5$ ;  $8,7 \cdot 10^6 \rightarrow 6$ ;  $2,87 \cdot 10^4 \rightarrow 7$ ;  $1,695 \cdot 10^{-4} \rightarrow 8$ ;  $45 \rightarrow 9$ ;  $1/_{15} \rightarrow a$ ;  $1/_{50} \rightarrow b$ ;  $2 \cdot 10^5 \rightarrow c$ .

**Результат:**  $s = 12,5$ .

**Время счета:** 14 с.

### Программа 2.22 (МК-52, МК-61)

Расчет поперечной арматуры в изгибающихся элементах постоянной высоты, загруженных равномерно распределенной нагрузкой, из условия прочности наклонных сечений на действие поперечной силы

$\text{П}x_1$	$\text{П}x_0$	$\frac{-}{\times}$	$\frac{F_x \geq 0}{\text{П}x_3}$	$\frac{88}{+}$	$\text{П}x_a$	$\text{П}x_7$	$\times$	$x\Pi_2$	$\text{П}x_0$
$\times$	$/ \_\_ /$	$\text{П}x_3$	$+ \text{П}x_4$	$\text{П}x_2$	$/$	$-$	$F_x \geq 0$	$22$	
$0$	$C/P$	$\text{П}x_6$	$\text{П}x_0$	$\times F\sqrt{}$	$2$	$\times$	$x\Pi_2$	$\text{П}x_b$	
$/$	$\text{П}x_3$	$\frac{-}{F_x \geq 0}$	$63$	$\text{П}x_3$	$F_x^2$	$\text{П}x_2$	$F_x^2$		
$\text{П}x_6$	$/$	$4$	$\text{П}x_b$	$\text{П}x_3$	$\text{П}x_2$	$-$	$\text{П}x_7$		
$2$	$/$	$x\Pi_a$	$\text{П}x_b$	$F_x < 0$	$60$	$\text{П}x_b$	$x\Pi_5$		
$\text{П}x_a$	$x\Pi_5$	$C/P$	$\text{П}x_6$	$\text{П}x_7$	$/$	$\text{П}x_2$	$+$	$\text{П}x_3$	
$F_x \geq 0$	$79$	$\text{П}x_3$	$\text{П}x_2$	$- F_x^2$	$\text{П}x_6$	$/$	$x\Pi_5$		
$45$	$\text{П}x_3$	$\text{П}x_2$	$-$	$\text{П}x_7$	$/$	$x\Pi_5$	$C/P$	$\text{П}x_2$	$B/P$
$09$									

**Инструкция.** Ввод  $q_1 \rightarrow 0$ ;  $q_a \rightarrow 1$ ;  $c \rightarrow 2$ ;  $Q_{\max} \rightarrow 3$ ;  $\Phi_{b_4}(1 + \varphi_n)R_{bt}bh_0^2 \rightarrow 4$ ;  $1 + \varphi_n + \varphi_f \rightarrow 5$ ;  $M_B \rightarrow 6$ ;  $h_0 \rightarrow 7$ ;  $q_{sw,\min} \rightarrow 8$ ;  $\Phi_{b_4}/\Phi_{b_3} \rightarrow 9$ ;  $2,5 \rightarrow a$ ;  $0,6 \rightarrow b$ ;  $R_{sw}nA_{sw} \rightarrow c$ ;  $h \rightarrow e$ . В/О С/П. Индикация —  $q_{sw}$ , продолжить расчет по программе 2.23. Индикация — 0, поперечная арматура устанавливается по конструктивным требованиям.

**Контрольный пример.**  $10^3 \rightarrow 0$ ;  $220,8 \rightarrow 1$ ;  $20,9 \rightarrow 2$ ;  $2,2 \cdot 10^5 \rightarrow 3$ ;  $4,4 \cdot 10^6 \rightarrow 4$ ;  $1 \rightarrow 5$ ;  $8,81 \cdot 10^6 \rightarrow 6$ ;  $56,5 \rightarrow 7$ ;  $10^3 \rightarrow 8$ ;  $2 \rightarrow 9$ ;  $2,5 \rightarrow a$ ;  $0,6 \rightarrow b$ ;  $2,87 \cdot 10^4 \rightarrow c$ ;  $60 \rightarrow e$ .

**Результат:**  $q_{sw} = 373,3$ .

**Время счета:** 12 с.

### Программа 2.23 (МК-52, МК-61)

Определение шага поперечных стержней при равномерно распределенной нагрузке

$\text{П}x_5$	$\text{П}x_8$	$\frac{-}{/}$	$\frac{F_x \geq 0}{\text{П}x_7}$	$\frac{45}{/}$	$\text{П}x_c$	$\frac{/}{\text{П}x_5}$	$x\Pi_c$	$\text{П}x_4$
$\text{П}x_3$		$/$	$\text{П}x_7$	$2$	$/$	$x\Pi_d$	$4$	$5$
$\frac{-}{F_x \geq 0}$		$34$	$2$	$\text{П}x_e$	$/$	$1$	$F1/x$	$\text{П}x_e$
$F1/x$	$x\Pi_e$	$B/P$	$67$	$3$	$\text{П}x_e$	$/$	$5$	$K \max$
$K \max$	$F1/x$	$x\Pi_e$	$B/P$	$67$	$\text{П}x_3$	$\text{П}x_7$	$0$	$F1/x$
$x\Pi_3$	$\text{П}x_9$	$\text{П}x_0$	$\times$	$+$	$x\Pi_9$	$F_x^2$	$2$	
$F\sqrt{}$	$/ \_\_ /$	$\text{П}x_9$	$+$	$x\Pi_5$	$B/P$	$05$	$\text{П}x_c$	$F1/x$
$F1/x$	$K \max$	$\text{П}x_e$	$F1/x$	$K \max$	$F1/x$	$2$	$5$	$\text{П}x_d$
$K [x]$	$2$	$.$	$5$	$\times C/P$				

**Инструкция.** В/О С/П. Индикация —  $s$  (окончательное значение).

**Результат:**  $s = 20$ .

**Время счета:** 15 с.

### Программа 2.24 (МК-52, МК-61)

Расчет поперечной арматуры в изгибаемых элементах постоянной высоты, загруженных сосредоточенной нагрузкой, из условия прочности наклонных сечений на действие поперечной силы

$\Pi x1$	$\Pi x0$	—	$Fx \geq 0$	12	$\Pi x2$	$\Pi x6$	—	$Fx \geq 0$	34
0	С/П	$\Pi x3$	$\Pi x2$	$\Pi x4$	×	$x\Pi 2$	—	$Fx \geq 0$	28
$\Pi x2$	$\Pi x6$	—	$Fx < 0$	32	9	9	С/П	$\Pi x3$	$x\Pi 2$
БП	21	БП	10	$\Pi x5$	$\Pi x1$	—	$Fx \geq 0$	91	$\Pi x8$
$\Pi x1$	/	$\Pi x6$	$\Pi x3$	/	1	—	$xPa$	$\Pi x0$	2
×	$x\Pi b$	$\Pi x1$	—	$Fx \geq 0$	60	$\Pi x1$	$x\Pi d$	БП	62
$\Pi xb$	$x\Pi d$	$\Pi xc$	×	$\Pi x3$	-	/	$\Pi xb$	/	$xPe$
—	$Fx \geq 0$	89	$\Pi x6$	$\Pi xd$	/	$\Pi xe$	$B \uparrow$	1	$\Pi xa$
/	×	$x\Pi 2$	$\Pi x6$	$\Pi x9$	—	$x\Pi 7$	2	С/П	+
С/П	1	С/П							3

**Инструкция.** Ввод  $h_0 \rightarrow 0$ ;  $a_1 \rightarrow 1$ ;  $Q_b \rightarrow 2$ ;  $Q_{b_1} \rightarrow 3$ ;  $\Phi_{b_3}/(\Phi_{b_4} a_1 h_0) \rightarrow 4$ ;  $c \rightarrow 5$ ;  $Q \rightarrow 6$ ;  $M_B \rightarrow 8$ ;  $F_1 \rightarrow 9$ ;  $Q_{b,\min} \rightarrow c$ . В/О С/П. Индикация — 0, поперечную арматуру устанавливают по конструктивным требованиям. Индикация — 99, увеличить размер сечения или класс бетона. Индикация — 1, продолжить по программе 2.25, введя дополнительно 0 → 2. Индикация — 2, при  $\kappa < \kappa_0$  — продолжить расчет по программе 2.25, введя дополнительные исходные данные в соответствии с инструкцией; при  $\kappa \geq \kappa_0$ :

если  $\kappa \leq c_1/c_0$   $q_{sw_1} = (Q_1 - Q_{b_1})/c_0$ ;  
 если  $c_1/c_0 < \kappa \leq c_1/h_0$   $q_{sw_1} = (Q_1 - Q_{b_1})^2/M_B$ ;  
 если  $\kappa > c_1/h_0$   $q_{sw_1} = (Q_1 - Q_{b_1})/h_0$ ;  
 $q_{sw_1} \rightarrow 2$ ;  $\kappa \rightarrow a$ ;  $\kappa_0 \rightarrow e$ ;  $c_0 \rightarrow d$ .

Индикация — 3, продолжить расчет по программе 2.25 в соответствии с инструкцией.

**Контрольный пример.** 56,5 → 0; 60 → 1;  $7,8 \cdot 10^4 \rightarrow 2$ ;  $1,95 \cdot 10^6 \rightarrow 3$ ;  $1,88 \rightarrow 4$ ; 113 → 5;  $2 \cdot 10^6 \rightarrow 6$ ;  $8,81 \cdot 10^6 \rightarrow 8$ ;  $5 \cdot 10^4 \rightarrow 9$ ;  $7,8 \cdot 10^4 \rightarrow c$ .

**Результат:** 2.

**Время счета:** 12 с.

### Программа 2.25 (МК-52, МК-61)

Определение шага поперечных стержней при сосредоточенной нагрузке

$\Pi x7$	$\Pi xc$	/	1	—	$xPa$	1	—	$Fx < 0$	17
$\Pi x7$	$\Pi xd$	/	2	/	БП	51	$\Pi xa$	$\Pi x5$	$\Pi xd$
/	—	$Fx < 0$	31	$\Pi x7$	$\Pi xc$	—	$\Pi xd$	/	БП
51	$\Pi xa$	$\Pi x5$	$\Pi x0$	/	—	$Fx < 0$	46	$\Pi x7$	$\Pi xc$
/	$Fx^2$	$\Pi x8$	/	БП	51	$\Pi x7$	$\Pi xc$	—	$\Pi x0$
$x\Pi 0$	$\Pi x2$	—	$Fx < 0$	59	$\Pi x0$	БП	62	$\Pi x2$	
БП	62	$F1/x$	$\Pi x9$	×	$xPa$	$\Pi xc$	$\Pi x4$	×	$x\Pi 6$
$\Pi x1$	$\Pi x3$	—	$Fx < 0$	97	2	$\Pi x1$	/	$\Pi xb$	К так
$\Pi xa$	$F1/x$	К так	$\Pi x6$	$F1/x$	К так	$F1/x$	2	.	5
/	$K[x]$	2	.	5	×	С/П	3	$\Pi x1$	/
$\Pi xe$	БП	79							

**Инструкция.** Ввод  $h \rightarrow 1$ ; 45 → 3;  $(\Phi_{b_4} h_0 (1 + \Phi_n)) / (\Phi_{b_3} Q (1 + \Phi_f + \Phi_n)) \rightarrow 4$ ;  $R_{sw} n A_{sw_1} \rightarrow 9$ ;  $1/_{15} \rightarrow b$ ;  $2h_0 \rightarrow d$ ;  $1/_{50} \rightarrow e$ . В/О С/П. Индикация —  $s$  (окончательное), кратное 2,5 см.

**Контрольный пример.** 56,5 → 0; 60 → 1; 389 → 2; 45 → 3;  $2,26 \cdot 10^{-4} \rightarrow 4$ ;  $1,5 \cdot 10^6 \rightarrow 7$ ;  $8,81 \cdot 10^6 \rightarrow 8$ ;  $2,87 \cdot 10^4 \rightarrow 9$ ;  $1/_{16} \rightarrow b$ ;  $7,8 \cdot 10^4 \rightarrow c$ ; 113 →  $d$ ;  $1/_{50} \rightarrow e$ .

**Результат:**  $s = 17,5$ .

**Время счета:** 12 с.

### Программа 2.26

#### Определение коэффициентов $\delta_e$ и $\varphi_I$

Пх6	Пх2	×	2	/	Пх0	+	xП0	Пх6	Пх3
×	2	/	Пх1	+	xП1	Пх7	$F_x \geq 0$	52	Пх1
Пх0	/	Пх $a$	×	1	+	xПс	1	—	Пх $a$
—	$F_x < 0$	46	Пх8	Пх9	+	1	0	0	/
/—/	2	$F_{1/x}$	+	$x\bar{P}d$	С/П	Пх $a$	1	+	$x\bar{P}c$
БП	33	Пх $b$	Пх5	1	0	/	—	$F_x \geq 0$	64
1	$x\bar{P}c$	БП	33	Пх6	Пх2	×	2	1	$F_{1/x}$
Пх1	×	Пх $a$	×	1	+	$x\bar{P}a$	1	—	Пх $a$
—	$F_x < 0$	46	Пх $c$	—	Пх8	×	—	1	0
×	Пх $a$	+	БП	33					

**Инструкция.** Ввод  $M \rightarrow 0$ ;  $M_l \rightarrow 1$ ;  $N \rightarrow 2$ ;  $N_l \rightarrow 3$ ;  $b \rightarrow 4$ ;  $h \rightarrow 5$ ;  $h_0 = a' \rightarrow 6$ ;  $I \rightarrow 7$ ;  $l_0/h \rightarrow 8$ ;  $R_b \rightarrow 9$ ;  $\beta \rightarrow a$ ;  $e_0 \rightarrow b$ . В/О С/П. Индикация —  $\delta_{e,\min}$ ;  $\varphi_I \leftarrow c$ . Продолжить счет по программе 2.27.

**Примечание.**  $I = 1$  при  $M_n$  и  $M_l$  одного знака;  $I = -1$  в противном случае.

**Контрольный пример.**  $2 \cdot 10^6 \rightarrow 0$ ;  $10^6 \rightarrow 1$ ;  $2 \cdot 10^5 \rightarrow 2$ ;  $10^5 \rightarrow 3$ ;  $20 \rightarrow 4$ ;  $20 \rightarrow 5$ ;  $34 \rightarrow 6$ ;  $1 \rightarrow 7$ ;  $7 \rightarrow 8$ ;  $7,395 \rightarrow 9$ ;  $1 \rightarrow a$ ;  $10 \rightarrow b$ .

**Результат:**  $\delta_{e,\min} = 0,356$ ;  $\varphi_I = 1,5$ .

**Время счета:** 8 с.

### Программа 2.27

Определение коэффициента увеличения начального эксцентрикитета сжатых элементов прямоугольного профиля (при  $l_0/h < 10$ , принять  $\eta = 1$ , при  $l_0/h > 10$  и  $\mu < 0,025$  определить  $N_{cr} = E_b b h^3 / (2l_0^2)$ ) и при  $N \leq N_{cr}$   $\eta = (1 - N/N_{cr})^{-1}$

Пх8	$F_x \geq 0$	81	Пх0	Пх1	+	xП0	Пх2	/	Пх3
—	$F_x \geq 0$	20	Пх0	Пх2	/	xПb	xПc	БП	26
Пх3	$x\bar{P}b$	Пх0	Пх2	/	xПc	Пxd	Пxс	—	$F_x \geq 0$
78	Пхс	Пх5	×	1	+	xП8	Пхb	Пх8	/
0	.	1	+	$F_{1/x}$	0	.	1	1	×
0	.	1	+	Пх $a$	/	3	/	Пх7	$F_{x^2}$
Пх4	×	+	Пх6	×	xПd	Пх9	↔	/	/—/
1	+	$F_x \geq 0$	76	$F_{1/x}$	С/П	0	С/П	Пxd	БП
32	Пх1	Пх0	—	$F_x < 0$	89	Пх0	БП	07	Пх1
xП0	БП	07							

**Инструкция.** Ввод  $e_0 \rightarrow 0$ ;  $e_a \rightarrow 1$ ;  $h \rightarrow 2$ ;  $\delta_{e,\min} \rightarrow 3$ ;  $a\mu \rightarrow 4$ ;  $12\sigma_{bp}/R_b \rightarrow 5$ ;  $1,6E_b b h^3 / e_0^2 \rightarrow 6$ ;  $(h_0 - a)/h \rightarrow 7$ ;  $I \rightarrow 8$ ;  $N \rightarrow 9$ ;  $\varphi_I \rightarrow a$ ;  $1,5 \rightarrow d$ . В/О С/П. Индикация —  $\eta$ . Индикация — 0, увеличить размеры сечения.

**Примечание.**  $I = 1$  — для статически определимых конструкций;  $I = -1$  в противном случае.

**Контрольный пример.**  $10 \rightarrow 0$ ;  $1 \rightarrow 1$ ;  $40 \rightarrow 2$ ;  $3,56 \cdot 10^{-1} \rightarrow 3$ ;  $0,07 \rightarrow 4$ ;  $8 \rightarrow 5$ ;  $620 \cdot 10^5 \rightarrow 6$ ;  $0,85 \rightarrow 7$ ;  $1 \rightarrow 8$ ;  $2 \cdot 10^6 \rightarrow 9$ ;  $1,5 \rightarrow a$ ;  $1,5 \rightarrow d$ .

**Результат:**  $\eta = 1,017$ .

**Время счета:** 12 с.

### Программа 2.28

Проверка прочности сжатых элементов прямоугольного профиля при случайных эксцентрикитетах (при  $l_0/h \leq 20$ ; в противном случае рассчитывают по программе 2.30)

Пх3	Пх8	×	xПa	Пх4		Пх5	×	Пх6	×	xПb
/	Пх2	Пх1	—	×		2	×	Пх1	+	xП9

$\Pi x2$	$-$	$Fx < 0$	$40$	$\Pi xb$	$\Pi xa$	$+$	$\Pi x9$	$\times$	$\Pi x7$
$\times$	$x\Pi c$	$\Pi x0$	$-$	$Fx \geq 0$	$38$	$1$	$C/P$	$0$	$C/P$

$\Pi x2$	$-$	$x\Pi 9$	$\Pi x0$	$-$	$24$
----------	-----	----------	----------	-----	------

**Инструкция.** Ввод  $M \rightarrow 0$ ;  $\varphi_b \rightarrow 1$ ;  $\varphi_r \rightarrow 2$ ;  $A_s + A'_s \rightarrow 3$ ;  $R_b \rightarrow 4$ ;  $b \rightarrow 5$ ;  $h \rightarrow 6$ ;  $\eta \rightarrow 7$ ;  $R_{sc} \rightarrow 8$ . В/О С/П. Индикация — 0, прочность недостаточна. Индикация — 1, прочность достаточна ( $N_u \leftarrow c$ ).

**Контрольный пример.**  $1,5 \cdot 10^6 \rightarrow 0$ ;  $0,78 \rightarrow 1$ ;  $0,837 \rightarrow 2$ ;  $30,41 \rightarrow 3$ ;  $870 \rightarrow 4$ ;  $40 \rightarrow 5$ ;  $40 \rightarrow 6$ ;  $1 \rightarrow 7$ ;  $28\,000 \rightarrow 8$ .

**Результат:** 1 ( $N_u = 1,88 \cdot 10^6$ ).

**Время счета:** 8 с.

### Программа 2.29 (МК-52, МК-61)

Определение площади сечения арматуры в сжатых элементах прямоугольного профиля при случайных эксцентрикитетах (при  $l_0/h \leq 20$ , в противном случае рассчитывают по программам 2.31 и 2.32)

$\Pi x4$	$\Pi x5$	$/$	$\Pi x3$	$\times$	$\Pi x2$	$\Pi x1$	$-$	$\times$	$2$
$\times$	$\Pi x1$	$+$	$x\Pi a$	$\Pi x2$	$-$	$Fx < 0$	$64$	$\Pi x0$	$\Pi xb$
$/$	$\Pi xa$	$/$	$\Pi x5$	$\Pi x7$	$\times$	$\Pi x8$	$\times$	$-$	$\Pi x4$
$/$	$x\Pi b$	$\Pi x7$	$/$	$\Pi x8$	$/$	$\Pi x3$	$-$	$K x $	$\Pi x9$
$\frac{-}{F_x \geq 0}$	$56$	$\Pi xb$	$C/P$	$\Pi xb$	$3$	$\Pi xb$	$/$	$\Pi xc$	$-$
$\frac{F_x \geq 0}{\frac{54}{x\Pi 3}}$	$\Pi xb$	$C/P$	$0$	$C/P$	$\Pi xb$	$\Pi xb$	$/$	$\Pi x7$	$\Pi xb$
	$x\Pi 3$	$\Pi x2$	$x\Pi a$	$\Pi x2$	$x\Pi a$	$\Pi x2$	$18$		

**Инструкция.** Ввод  $N \rightarrow 0$ ;  $\varphi_b \rightarrow 1$ ;  $\varphi_r \rightarrow 2$ ;  $\underline{\mu_1} \rightarrow 3$ ;  $R_{sc} \rightarrow 4$ ;  $R_b \rightarrow 5$ ;  $\eta \rightarrow 6$ ;  $b \rightarrow 7$ ;  $h \rightarrow 8$ ;  $0,002 \rightarrow 9$ ;  $A_{sm} \rightarrow c$ . В/О С/П. Индикация —  $A_s + A'_s$ . Принять по сортаменту армирование, ввести  $A_s + A'_s$  в  $b$ . С/П. На индикаторе  $A_s + A'_s$ . Индикация — 0, принять  $\varphi_r$  при  $A_{sm} \geq (A_s + A'_s)/3$  (см. табл. 2.1), ввести в 2. В/О С/П. На индикаторе  $A_s + A'_s$ .

**Контрольный пример.**  $1,5 \cdot 10^6 \rightarrow 0$ ;  $0,78 \rightarrow 1$ ;  $0,837 \rightarrow 2$ ;  $0,01 \rightarrow 3$ ;  $2,8 \cdot 10^4 \rightarrow 4$ ;  $739,5 \rightarrow 5$ ;  $1 \rightarrow 6$ ;  $40 \rightarrow 7$ ;  $40 \rightarrow 8$ ;  $0,002 \rightarrow 9$ ;  $7,6 \rightarrow c$ .

**Результат:**  $A_s + A'_s = 21,74$ ;  $x\Pi b$  С/П 0 0,8  $x\Pi 2$  В/О С/П  $A_s + A'_s = 24,71$ .

**Время счета:** 11 с + 10 с.

### Программа 2.30

Проверка прочности внерадиально сжатых элементов прямоугольного профиля (симметричное армирование)

$\Pi x3$	$\Pi x1$	$\times$	$\Pi x0$	$\Pi x1$	$\times$	$\Pi x4$	$/$	$x\Pi c$	$-$
$Fx \geq 0$	$37$	$\Pi xc$	$2$	$/$	$/-$	$\Pi x1$	$+$	$\Pi xc$	$\times$
$\Pi x4$	$\times$	$\Pi x1$	$/$	$\Pi xa$	$+$	$\Pi x2$	$/$	$x\Pi d$	$\Pi x0$
$\frac{-}{x\Pi 8}$	$Fx \geq 0$	$35$	$1$	$C/P$	$0$	$C/P$	$\Pi x0$	$\Pi x4$	$/$
$x\Pi 8$	$\Pi x5$	$\Pi x4$	$/$	$x\Pi 9$	$\Pi xb$	$Fx \geq 0$	$72$	$\Pi x9$	$\Pi x3$
$\times$	$2$	$\times$	$\Pi x8$	$1$	$\Pi x3$	$-$	$\times$	$+$	$\Pi x9$
$2$	$\times$	$1$	$+$	$\Pi x3$	$-$	$/$	$\Pi x1$	$\times$	$x\Pi c$
$B/P$	$13$	$\Pi x6$	$\Pi x9$	$\times$	$x\Pi 6$	$\Pi x9$	$\times$	$\Pi x8$	$-$
$2$	$/$	$x\Pi 8$	$\Pi x6$	$\Pi x7$	$\times$	$\Pi x8$	$Fx^2$	$+$	$FV$
$\Pi x8$	$+$	$B/P$	$67$						

**Инструкция.** Ввод  $N \rightarrow 0$ ;  $h_0 \rightarrow 1$ ;  $e \rightarrow 2$ ;  $\xi_R \rightarrow 3$ ;  $R_b h_0 \rightarrow 4$ ;  $R_s A_s \rightarrow 5$ ;  $\underline{x} \rightarrow 6$ ;  $\omega \rightarrow 7$ ;  $R_{sc} A'_s (h_0 - a') \rightarrow a$ ;  $I \rightarrow b$ . В/О С/П. Индикация — 1, прочность достаточна ( $N_u \leftarrow d$ ). Индикация — 0, прочность недостаточна.

**Примечания:** 1. Ячейки 6, 7 заполняются при  $I = -1$ ; 2.  $I = 1$  при бетоне класса В30 и ниже, арматуре А-I, А-II, А-III;  $I = -1$  — в противном случае.

**Контрольный пример.**  $5 \cdot 10^6 \rightarrow 0$ ;  $35 \rightarrow 1$ ;  $26 \rightarrow 2$ ;  $0,334 \rightarrow 3$ ;  $1,22 \cdot 10^6 \rightarrow 4$ ;  $5,6 \cdot 10^6 \rightarrow 5$ ;  $168 \cdot 10^6 \rightarrow a$ ;  $1 \rightarrow b$ .

**Результат:**  $1 (N_u = 1,14 \cdot 10^6)$ .

**Время счета:** 13 с.

### Программа 2.31

**Определение площади сечения арматуры во внерадиально сжатых элементах прямоугольного профиля при симметричном армировании**

Пх1	Пх2	/	хП1	Пх3	Пх4	/	хП3	Пх0	×
Пх2	/	хП0	Пх3	Пх5	—	$F_x < 0$	48	Пх3	$B \uparrow$
$Fx^2$	2	/	—	—/—	Пх0	+	1	Пх1	—
/	Пх4	×	Пх6	/	хПб	Пха	/	Пх9	—
$Fx < 0$	46	Пх9	Пха	×	С/П	Пхb	С/П	Пх3	$B \uparrow$
$Fx^2$	2	/	—	—/—	Пх0	+	1	Пх1	—
/	хПс	Пх7	×	хП7	Пхс	+	Пх3	—	2
/	хПd	Пх7	Пх8	×	Пхd	$Fx^2$	+	$F \vee$	Пхa
+	хП3	БП	18						

**Инструкция.** Ввод  $e \rightarrow 0$ ;  $a' \rightarrow 1$ ;  $h_0 \rightarrow 2$ ;  $N \rightarrow 3$ ;  $R_b h_0 \rightarrow 4$ ;  $\xi_R \rightarrow 5$ ;  $R_s \rightarrow 6$ ;  $\chi \rightarrow 7$ ;  $\omega \rightarrow 8$ ;  $\mu_{min} \rightarrow 9$ ;  $bh_0 \rightarrow a$ . В/О С/П. Индикация —  $A_s = A'_s$ . Расчетное значение  $A_{sl} \leftarrow b$ .

**Контрольный пример.**  $20 \rightarrow 0$ ;  $4 \rightarrow 1$ ;  $16 \rightarrow 2$ ;  $5,32 \cdot 10^6 \rightarrow 3$ ;  $1,28 \cdot 10^5 \rightarrow 4$ ;  $0,334 \rightarrow 5$ ;  $3,4 \cdot 10^4 \rightarrow 6$ ;  $1 \rightarrow 7$ ;  $0,84 \rightarrow 8$ ;  $0,01 \rightarrow 9$ ;  $2 \cdot 10^3 \rightarrow a$ .

**Результат:**  $20 (A_{sl} = 7,037)$ .

**Время счета:** 18 с.

### Программа 2.32 (МК-52, МК-61)

**Определение площади сечения арматуры во внерадиально сжатых элементах прямоугольного профиля при несимметричном армировании**

Пх0	$Fx \geq 0$	57	ПП	07	БП	20	Пх1	Пх8	×
Пхс	Пх2	×	Пх3	×	—	Пх4	/	хПс	$B/O$
Пх6	/	Пх7	—	$Fx \geq 0$	29	ПП	84	С/П	Пх7
Пхb	×	хПе	Пх1	Пх8	×	Пх4	Пхе	×	—
Пх2	/	Пх3	/	2	×	—/—	1	+	$F \vee$
/—/	1	+	хПd	ПП	84	С/П	Пх5	Пхс	ПП
$Fx < 0$	03	Пх5	БП	$Fx^2$	2	/	—	хПс	ПП
07	Пх6	/	Пх7	—	$Fx < 0$	79	БП	29	Пх5
хПd	ПП	84	С/П	Пхd	Пх2	×	Пхе	Пхa	×
+	Пх1	—	Пх9	/	Б/О				

**Инструкция.** Ввод  $I \rightarrow 0$ ;  $N \rightarrow 1$ ;  $R_b h_0 \rightarrow 2$ ;  $h_0 \rightarrow 3$ ;  $R_{sc} (h_0 - a') \rightarrow 4$ ;  $\xi_R \rightarrow 5$ ;  $bh_0 \rightarrow 6$ ;  $\mu_{min} \rightarrow 7$ ;  $e \rightarrow 8$ ;  $R_s \rightarrow 9$ ;  $R_{sc} \rightarrow a$ ;  $\omega \rightarrow b$ ;  $0,4 \rightarrow c$ ;  $0,55 \rightarrow d$ . В/О С/П. Индикация —  $A_{sl}$ .

**Примечание.**  $I = 1$  — при бетоне В30 и ниже;  $I = -1$  — в противном случае.

Продолжить счет по программе 2.33, сохранив содержимое регистров.

**Контрольный пример.**  $1 \rightarrow 0$ ;  $8 \cdot 10^6 \rightarrow 1$ ;  $1,8 \cdot 10^6 \rightarrow 2$ ;  $45 \rightarrow 3$ ;  $1,36 \cdot 10^6 \rightarrow 4$ ;  $0,334 \rightarrow 5$ ;  $1,8 \cdot 10^4 \rightarrow 6$ ;  $0,015 \rightarrow 7$ ;  $76,2 \rightarrow 8$ ;  $3,4 \cdot 10^4 \rightarrow 9$ ;  $3,4 \cdot 10^4 \rightarrow a$ ;  $0,84 \rightarrow b$ ;  $0,4 \rightarrow c$ ;  $0,55 \rightarrow d$ .

**Результат:**  $A_s = 22,87$ .

**Время счета:** 13 с.

### Программа 2.33 (МК-52, МК-61)

Определение площади сечения двойной арматуры во внерадиально сжатых элементах прямоугольного профиля при несимметричном армировании

$x\text{Пc}$	$Fx \geq 0$	15	$\Pi x_6$	/	$\Pi x_7$	-	$Fx \geq 0$	11	$\Pi x_c$
C/P	$\Pi x_6$		$\Pi x_7$	X	C/P	$\Pi x_4$	$\Pi x_a$		$\Pi x_8$
$\Pi x_1$	X		$\Pi x_3$	$\Pi x_4$	$\Pi x_a$	/	2	/	$\Pi x_2$
/—/	+		$\Pi x_4$	/	$x\Pi 0$	$Fx \geq 0$	47	$\Pi x_1$	$\Pi x_2$
$\Pi x_a$	/		$\Pi x_0$	—	$x\Pi e$	$\Pi x_0$	C/P	$\Pi x_b$	$B \uparrow$
2	/	—	/—/		$\Pi x_2$	X	$\Pi x_3$	X	$Fx^2$
X	+		$\Pi x_4$	/	БП	44		$\Pi x_1$	$\Pi x_8$

**Инструкция.** В/О С/П. Индикация —  $A_s, A'_s \leftarrow e$ .

**Контрольный пример.** В/О С/П.

**Результат:**  $A_s = 27; A'_s = 27$ .

Время счета: 3 с.

### Программа 2.34 (МК-52, МК-61)

Проверка прочности внерадиально растянутых элементов прямоугольного профиля при симметричном армировании ( $A_s = A'_s, A_{sp} = A'_{sp}$ ) и при выполнении

условия  $e' \leq h_0 - a'$  для несимметричного армирования

$\Pi x_0$	$\Pi x_1$	/	$x\Pi 9$	$\Pi x_4$	$\Pi x_5$	X	$\Pi x_7$	X	$\Pi x_6$
$\Pi x_8$	X	+	$x\Pi a$	$\Pi x_2$	2	/	$\Pi x_9$	+	$\Pi x_3$
—	/		$x\Pi b$	$\Pi x_a$	$\Pi x_2$	2	/	$\Pi x_9$	—
—	K  x	/	$F1/x$	$\Pi x_b$	$F1/x$	K $\max$	$F1/x$	$x\Pi b$	$\Pi x_1$
—	$Fx \geq 0$	45	1	C/P	0	C/P			

**Инструкция.** Ввод  $M \rightarrow 0; N \rightarrow 1; h \rightarrow 2; a' \rightarrow 3; \eta \rightarrow 4; R_{sp}A_{sp} \rightarrow 5; R_sA_s \rightarrow 6; h_0 - a'_{sp} \rightarrow 7; h_0 - a'_s \rightarrow 8$ . В/О С/П. Индикация — 1, прочность достаточна ( $N_u \leftarrow b$ ). Индикация — 0, прочность недостаточна.

**Контрольный пример.**  $4,35 \cdot 10^8 \rightarrow 0; 6 \cdot 10^3 \rightarrow 1; 20 \rightarrow 2; 3 \rightarrow 3; 1,2 \rightarrow 4; 1,53 \cdot 10^5 \rightarrow 5; 1,7 \cdot 10^5 \rightarrow 6; 13 \rightarrow 7; 15 \rightarrow 8$ .

**Результат:** 1 ( $N_u = 6,2 \cdot 10^4$ ).

Время счета: 8 с.

### Программа 2.35

Проверка прочности внерадиально растянутых элементов прямоугольного профиля с несимметричным армированием при  $e' > h_0 - a'$

ПП	64	$\Pi x_6$	—	$Fx < 0$	77	$\Pi x_c$	$\Pi x_6$	/	2
X	1	—	$\Pi x_9$	1	—	X	/—/	$\Pi x_9$	+
$x\Pi d$	$\Pi x_9$	—	$Fx < 0$	81	$\Pi x_d$	$\Pi x_0$	X	$x\Pi 0$	ПП
64	$\Pi x_6$	—	$Fx < 0$	77	$\Pi x_c$	$B \uparrow$	$Fx^2$	2	/
—	$\Pi x_b$	X	$\Pi x_8$	X	$\Pi x_2$	$\Pi x_a$	X	+	$\Pi x_3$
$\Pi x_b$	X	+	$\Pi x_7$	/	$x\Pi d$	$\Pi x_4$	—	$Fx \geq 0$	62
1	C/P	0	C/P	$\Pi x_0$	$\Pi x_1$	+	$\Pi x_2$	$x\Pi c$	$\Pi x_3$
—	$\Pi x_4$	—	$\Pi x_5$	/	$x\Pi c$	B/O	$\Pi x_6$	$x\Pi c$	БП
35	$\Pi x_9$	$x\Pi d$	БП	26					

**Инструкция.** Ввод  $R_{sp}A_{sp} \rightarrow 0; R_sA_s \rightarrow 1; R_{sc}A'_s \rightarrow 2; \sigma_{sc}A'_{sp} \rightarrow 3; N \rightarrow 4$ ;

$R_bbh_0 \rightarrow 5; \xi_R \rightarrow 6; e_0 - 0,5h + a \rightarrow 7; h_0 \rightarrow 8; \eta \rightarrow 9; h_0 - a'_s \rightarrow a; h_0 - a'_{sp} \rightarrow b$ . В/О С/П. Индикация — 1, прочность достаточна ( $N_u \leftarrow d$ ). Индикация — 0, прочность недостаточна.

**Контрольный пример.**  $1,7 \cdot 10^5 \rightarrow 0$ ;  $1,53 \cdot 10^5 \rightarrow 1$ ;  $10^4 \rightarrow 2$ ;  $5 \cdot 10^4 \rightarrow 3$ ;  $6 \cdot 10^4 \rightarrow 4$ ;  $1,5 \cdot 10^6 \rightarrow 5$ ;  $0,344 \rightarrow 6$ ;  $65,5 \rightarrow 7$ ;  $17 \rightarrow 8$ ;  $1,2 \rightarrow 9$ ;  $15 \rightarrow a$ ;  $13 \rightarrow b$ .

**Результат:**  $1 (N_u = 6,89 \cdot 10^3)$ .

**Время счета:** 18 с.

### Программа 2.36 (МК-52, МК-61)

#### Определение геометрических характеристик приведенного сечения изгибающегося элемента

$\Pi x0$	+	$x\Pi0$	$F \uparrow$	$\times$	$\Pi x1$	+	$x\Pi1$	C/П	$\Pi x2$
+	$x\Pi2$	$F \uparrow$	$\times$	$\Pi x d$	$\times$	$\Pi x 3$	+	$x\Pi3$	C/П
$\Pi x 4$	+	$x\Pi4$	$F \uparrow$	$\times$	$\Pi x c$	$\times$	$\Pi x 5$	+	$x\Pi5$
C/П	$\Pi x 2$	$\Pi x 4$	+	$\Pi x 0$	$\Pi x b$	$\times$	$\Pi x 0$	$\geq 0$	50
$\Pi x 4$	$\Pi x c$	$\times$	$\Pi x 2$	$\Pi x d$	$\times$	+	$\Pi x 0$	+	$x\Pi0$
$\Pi x 1$	$\Pi x 3$	$\Pi x 5$	+	$\times$	$\Pi x 0$	/	$x\Pi a$	C/П	$\Pi x a$
$\underline{-}$	$Fx^2$	$\times$	+	$\Pi x 7$	+	$x\Pi 7$	C/П	$\Pi x a$	—
$Fx^2$	$\times$	$\Pi x d$	$\times$	$\Pi x 8$	+	$x\Pi 8$	C/П	$\Pi x a$	—
$Fx^2$	$\times$	$\Pi x c$	$\times$	$\Pi x 9$	+	$x\Pi 9$	C/П	$\Pi x 8$	+
$\Pi x 7$	+	$x\Pi 1$	$\Pi x a$	/	$x\Pi 2$	$\Pi x 6$	$\times$	$x\Pi 6$	$\Pi x 1$
$\Pi x e$	$\Pi x a$	—	/	C/П	—				

**Инструкция.** Ввод  $0 \rightarrow 1$ ;  $0 \rightarrow 2$ ;  $0 \rightarrow 3$ ;  $0 \rightarrow 4$ ;  $0 \rightarrow 5$ ;  $\gamma \rightarrow 6$ ;  $0 \rightarrow 7$ ;  $0 \rightarrow 8$ ;  $0 \rightarrow 9$ ;  $0,008 \rightarrow b$ ;  $a_s \rightarrow c$ ;  $a_p \rightarrow d$ ;  $h \rightarrow e$ .

**Порядок работы:** 1. Ввести значения  $a_i$  и  $A_{b,i}$  (см. рис. 2.4);  $a_i$  В  $\uparrow A_{b,i}$  В  $\uparrow$  В/О С/П. Если введены все значения, то перейти к п. 2, иначе продолжить действия по п. 1.

2. Ввести значения  $a_{p,i}$  и  $A_{p,i}$  (или  $a'_{p,i}$ ,  $A'_{p,i}$ ):  $a_{p,i}$  В  $\uparrow A_{p,i}$  В  $\uparrow$  БП 09 С/П. Если введены все значения, то перейти к п. 3, иначе продолжить действия по п. 2.

3. Ввести значения  $a_{s,i}$  и  $A_{s,i}$  (или  $a'_{s,i}$ ,  $A'_{s,i}$ ):  $a_{s,i}$  В  $\uparrow A_{s,i}$  В  $\uparrow$  БП 20 С/П. Если введены все значения, то нажать С/П и перейти к п. 4, иначе продолжить действия по п. 3.

4. Ввести значения  $I_{b,i}$ ,  $A_{b,i}$ ,  $a_i$ :  $I_{b,i}$  В  $\uparrow A_{b,i}$  В  $\uparrow a_i$  БП 59 С/П. Если введены все значения, перейти к п. 5, иначе продолжить действия по п. 4.

5. Ввести значения  $A_{p,i}$  и  $a_{p,i}$  (или  $A'_{p,i}$  и  $a'_{p,i}$ ):  $A_{p,i}$  В  $\uparrow a_{p,i}$  БП 68 С/П. Если введены все значения, то перейти к п. 6, иначе продолжить действия по п. 5.

6. Ввести значения  $A_{s,i}$  и  $a_{s,i}$  (или  $A'_{s,i}$  и  $a'_{s,i}$ ):  $A_{s,i}$  В  $\uparrow a_{s,i}$  БП 78 С/П. Если введены все значения, то нажать С/П и перейти к п. 7, иначе продолжить действия по п. 6.

7. Нажать  $x\Pi 3$ . Ввести значение  $\gamma'$ . Нажать  $\times$ . Индикация —  $W'_{pl}$ . Остальные результаты хранятся:  $I_{red} \leftarrow 1$ ;  $W_0 \leftarrow 2$ ;  $W'_0 \leftarrow 3$ ;  $W_{pl} \leftarrow 6$ ;  $A_{red} \leftarrow 0$ ;  $y_0 \leftarrow a$ .

**Контрольный пример.**  $0 \rightarrow 0$ ;  $0 \rightarrow 1$ ;  $0 \rightarrow 2$ ;  $0 \rightarrow 3$ ;  $0 \rightarrow 4$ ;  $0 \rightarrow 5$ ;  $0,9 \rightarrow 6$ ;  $0 \rightarrow 7$ ;  $0 \rightarrow 8$ ;  $0 \rightarrow 9$ ;  $0,008 \rightarrow a$ ;  $7 \rightarrow c$ ;  $10 \rightarrow d$ ;  $70 \rightarrow e$ .

35	B $\uparrow$	1400	B $\uparrow$	B/O	C/П	61	B $\uparrow$	720	B $\uparrow$	B/O	C/П
5	B $\uparrow$	3	B $\uparrow$	BП	09	C/П					
67	B $\uparrow$	1,3	B $\uparrow$	BП	20	C/П					
571666,66	B $\uparrow$	1400	B $\uparrow$	35	BП	59	C/П	19440	B $\uparrow$		
720	B $\uparrow$	61	BП	59	C/П						
5	B $\uparrow$	3	BП	68	C/П						
1,3	B $\uparrow$	67	BП	78	C/П	C/П					
$x\Pi 3$	0,9	X									

**Результат:**  $W'_{pl} = 3,36 \cdot 10^4$  ( $0 \rightarrow 2,12 \cdot 10^3$ ,  $1 \rightarrow 9,33 \cdot 10^5$ );  $2 \rightarrow 2,18 \cdot 10^4$ ;  $3 \rightarrow 3,73 \cdot 10^4$ ;  $6 \rightarrow 1,96 \cdot 10^4$ ;  $a \rightarrow 44,188$ ).

**Время счета:** 1 мин.

### Программа 2.37

Определение момента образования трещин, нормальных к продольной оси изгибающегося элемента

$x\Pi 0$	C/П	$\times$	$x\Pi 1$	C/П	$\Pi x 0$	+	$x\Pi 0$	$\leftrightarrow$	C/П
$\times$	$\Pi x 1$	$\leftrightarrow$	$-$	$x\Pi 1$	C/П	$\Pi x 0$	$+$	$x\Pi 0$	$\leftrightarrow$
C/П	$\Pi x 1$	$\Pi x 0$	/	$x\Pi 1$	$\Pi x 0$	$\Pi x 8$	/	$\Pi x 2$	$\Pi x 0$
$\times$	$\Pi x 1$	$\times$	$\Pi x 9$	$\times$	$\Pi x 0$	$\Pi x a$	/	$\Pi x 3$	$\leftrightarrow$
$-$	$x\Pi d$	$\Pi x 4$	$-$	$Fx \geq 0$	93	1	$\Pi x d$	$-$	$Fx \geq 0$
89	$\Pi x d$	$\Pi x b$	$\times$	$\Pi x 8$	/	$x\Pi 3$	$\Pi x c$	$Fx \geq 0$	78
$\Pi x 1$	$\Pi x 3$	$+$	$\Pi x 0$	$\times$	$\Pi x 5$	$\Pi x 6$	$\times$	$+$	$x\Pi 7$
$\Pi x 2$	$-$	$Fx \geq 0$	76	1	C/П	0	C/П	$\Pi x 7$	B↑
$-$	$\Pi x 5$	$\times$	$x\Pi 5$	$\leftrightarrow$	$\Pi x 0$	$\times$	$x\Pi 0$	BП	60
1	$x\Pi d$	BП	52	$\Pi x 4$	x\Pi d	BП	52		

Инструкция. Ввод  $M_{r_2} \rightarrow 2; 1,6 \rightarrow 3; 0,7 \rightarrow 4; R_{bt,sez} \rightarrow 5; W_{pl} \rightarrow 6; 1 - \lambda \rightarrow$

$\rightarrow 7; A_{red} \rightarrow 8; h - y_0/I_{red} \rightarrow 9; R_{b,sez} \rightarrow a; W_{red} \rightarrow b; \frac{W'_{pl} R_{bt,ser}}{P_1(e_{op_1} - r) - M_g} - 1 \rightarrow c.$

$\sigma_{sp_2} A_{sp}$  В/О С/П  $y_{sp}$  С/П  $\sigma'_{sp} A'_{sp}$  В↑ С/П  $y'_{sp}$  С/П.

$-\sigma_s A_s$  В↑ С/П  $y_s$  БП 10 С/П

$-\sigma_s' A'_s$  В↑ БП 16 С/П  $y'_s$  БП 10 С/П БП 21 С/П. Индикация — 1, трещиностойкость обеспечена. Индикация — 0, трещиностойкость не обеспечена; увеличить  $\sigma_{sp_2}, A_{sp}$  и повторить расчет.  $M_{crc} (\Delta M_{crc}) \leftarrow 7$ .

Контрольный пример.  $2,62 \cdot 10^7 \rightarrow 2; 1,6 \rightarrow 3; 0,7 \rightarrow 4; 180 \rightarrow 5; 2,11 \cdot 10^4 \rightarrow \rightarrow 6; 0,983 \rightarrow 7; 1,76 \cdot 10^3 \rightarrow 8; 3,86 \cdot 10^{-5} \rightarrow 9; 2,2 \cdot 10^3 \rightarrow a; 1,2 \cdot 10^3 \rightarrow b; -0,02 \rightarrow c$ .

913920	В/О	C/П	23,7	C/П
130560	B↑	C/П	11,3	C/П
-4836	B↑	C/П	-27	БП
-2340	B↑	БП	16	C/П
БП	21	C/П	10	C/П
			13	БП
				10
				C/П

Результат: 1 ( $M_{crc} = 3,05 \cdot 10^7$ ).

Время счета: 20 с.

### Программа 2.38

Расчет нормальных сечений изгибающихся элементов по образованию трещин в стадии изготовления

$x\Pi 0$	C/П	$\times$	$x\Pi 1$	C/П	$\Pi x 0$	+	$x\Pi 0$	$\leftrightarrow$	C/П
$\times$	$\Pi x 1$	$\leftrightarrow$	$-$	$x\Pi 1$	C/П	$\Pi x 0$	$+$	$x\Pi 0$	$\leftrightarrow$
C/П	$\Pi x 1$	$\Pi x 0$	/	$x\Pi 1$	$\Pi x 0$	$\Pi x 2$	/	$\Pi x 0$	$\Pi x 1$
$\times$	$\Pi x 4$	$+$	$\Pi x 3$	$\times$	$\Pi x 4$	$+$	$\Pi x 5$	/	$\Pi x 6$
$-$	$Fx < 0$	79	$\Pi x 8$	$\Pi x 9$	$\Pi x 7$	/	$x\Pi c$	1	
$-$	$Fx < 0$	81	$\Pi x c$	$\Pi x 9$	$-$	$Fx \geq 0$	85	$\Pi x c$	$\Pi x a$
$\times$	$\Pi x 2$	/	/—/	$\Pi x 1$	$+$	$\Pi x 0$	$\times$	$\Pi x b$	$+$
$x\Pi 8$	$\Pi x 4$	$-$	$Fx \geq 0$	77	1	C/П	0	C/П	2
C/П	1	$x\Pi c$	БП	59	$\Pi x 9$	$x\Pi c$	БП	59	

Инструкция. Ввод  $A_{red} \rightarrow 2; y_0/I_{red} \rightarrow 3; M_g \rightarrow 4; R_{bp} \rightarrow 5; k \rightarrow 6; R_{b,ser} \rightarrow \rightarrow 7; 1,6 \rightarrow 8; 0,7 \rightarrow 9; W'_{red} \rightarrow a; R_{bt,ser} W_{pl} \rightarrow b$ . Индикация — 0, образуются нормальные трещины. Индикация — 1, нормальные трещины не образуются ( $M_{crc} \leftarrow \leftarrow 8$ ). Индикация — 2, уменьшить значение  $\sigma_{sp}$  и повторить расчет.

Порядок работы — см. программу 2.37.

$$\times \cdot 10^3 \rightarrow 5; \quad 1 \rightarrow 6; \quad 2,4 \cdot 10^3 \rightarrow 7; \quad 1,6 \rightarrow 8; \quad 0,7 \rightarrow 9; \quad 1,2 \cdot 10^4 \rightarrow a; \quad 6,2 \cdot 10^6 \rightarrow b.$$

Результат: 1 ( $M_{cyc} = 2,13 \cdot 10^7$ ).

Время счета: 18 с.

### Программа 2.39

## Определение коэффициента $\lambda$

Px6	Px7	×	Px9	Pxa	—	Px8	×	Pxb	+
/	xPc	Px1	Px0	Px1	—	/	Px2	Px4	+
B↑	Px3	+	Px5	+	/	×	xPd	/—/	
.	4	+	Fx ≥ 0	69	0	4	5		Pxc
—	Fx < 0	75	Pxc	1	—	Fx < 0	82	1	
5	B↑	0	.	9	Pxd	/	—	1	Pxc
—	×	xPd	Fx ≥ 0	67	Pxd	C/P	0	C/P	1
.	4	xPd	БП	35	0	.	4	5	xPc
БП	35	1	xPc	БП	35	.			

**Инструкция.** Ввод  $h \rightarrow 0$ ;  $y_0 \rightarrow 1$ ;  $A_{sp} \rightarrow 2$ ;  $A'_{sp} \rightarrow 3$ ;  $A_s \rightarrow 4$ ;  $A'_s \rightarrow 5$ ;  $R_{tbl, ser} \rightarrow 6$ ;  $W'_{pl} \rightarrow 7$ ;  $P_1 \rightarrow 8$ ;  $e_{op} \rightarrow 9$ ;  $r \rightarrow a$ ;  $M_g \rightarrow b$ . В/О С/П. Индикация —  $\lambda$ .

**Контрольный пример.**  $45 \rightarrow 0; 30,7 \rightarrow 1; 7,14 \rightarrow 2; 1,02 \rightarrow 3; 0,39 \rightarrow 4; 0,39 \rightarrow 5; 160 \rightarrow 6; 3,89 \cdot 10^7; 8,82 \cdot 10^6 \rightarrow 8; 19,3 \rightarrow 9; 11,8 \rightarrow a; -2,22 \cdot 10^5 \rightarrow b.$

*Результат:  $\lambda = 0,0239$ .*

Время счета: 10 с.

## Программа 2.40 (МК-52, МК-61)

## Расчет по образованию трещин, наклонных к продольной оси изгибающего элемента с прямолинейной предварительно напрягаемой арматурой

Px0	Px2	/	Px0	Px1	X	Px4	-	Px3	X
+	xPx	Px5	Fx ≥ 0	82	Px6	Px3	×	Px8	X
Fx^2	Px c	2	/	xPx	Fx^2	+	F	V	xPx d
+	xPx 0	Pxd	/ - /	Px c	+	xPx 1	Px 9	0	Px c .
3	-	Fx ≥ 0	76	1	Px1	K   x	Pxa	/	-
0	.	2	Px9	+	/	xPx d	1	-	Fx < 0
72	Pxd	Pxb	X	Px0	-	Fx ≥ 0	70	1	C/P
0	C/P	1	xPx d	BП	62	0	.	3	xPx 9
БП	44	Px6	Px7	-	xPx 6	BП	16		

**Инструкция.** Ввод  $P_2 \rightarrow 0$ ;  $e_{0P_2} \rightarrow 1$ ;  $A_{red} \rightarrow 2$ ;  $y/I_{red} \rightarrow 3$ ;  $M_{r_3} \rightarrow 4$ ;  $I \rightarrow 5$ ;  $Q_i \rightarrow 6$ ;  $M_1 \operatorname{tg} \beta/h_0 \rightarrow 7$ ;  $s_{red}/(yb) \rightarrow 8$ ;  $\alpha B$  (МПа)  $\rightarrow 9$ ;  $R_{b,ser} \rightarrow a$ ;  $R_{bt,ser} \rightarrow b$ . Индикация — 0, наклонные трещины образуются. Индикация — 1, наклонные трещины не образуются ( $\sigma_{mt} \leftarrow 0$ ,  $\sigma_{mc} \leftarrow 1$ ).

Причесан и я: 1.  $I = 1$  — при постоянной высоте сечения;  $I = -1$  — в противном случае. 2. Данные в 7 вводят только при  $I = -1$ . 3. Усилия  $P_2$  и  $M_{r_2}$  принимают со знаком «+» при растяжении и со знаком «—» при сжатии.

**Контрольный пример.**  $10^6 \rightarrow 0$ ;  $20 \rightarrow 1$ ;  $1,8 \cdot 10^3 \rightarrow 2$ ;  $10^{-4} \rightarrow 3$ ;  $18 \cdot 10^7 \rightarrow 4$ ;  
 $1 \rightarrow 5$ ;  $10^5 \rightarrow 6$ ;  $20 \rightarrow 8$ ;  $0,35 \rightarrow 9$ ;  $2,2 \cdot 10^3 \rightarrow a$ ;  $180 \rightarrow b$ .

Результат: 0 ( $\sigma_{mt} = 805,23$ ;  $\sigma_{mp} = -49,67$ ).

Rne

## Программа 2.41 (МК-52, МК-61)

Определение ширины раскрытия трещин, нормальных к продольной оси изгибающегося элемента

$\Pi x0$	$\Pi x4$	$\times$	$x\Pi d$	$\Pi x6$	$\Pi x7$	$\times$	$\Pi x9$	$\Pi x8$	$\times$
$+$	$\Pi x a$	$/$	$x\Pi c$	$\Pi x7$	$\Pi x a$	$/$	$2$	$/$	$/ - /$
$1$	$+$	$\times$	$\Pi x d$	$+$	$5$	$\times$	$1$	$+$	$\Pi x 2$
$/$	$\Pi x 3$	$+$	$F1/x$	$\Pi x 0$	$\Pi x a$	$/$	$1$	$1$	$.$
$5$	$\times$	$5$	$-$	$F1/x$	$\Pi x c$	$1$	$5$	$\times$	
$\times$	$+$	$x\Pi 2$	$1$	$-$	$Fx < 0$	$94$	$\Pi x 7$	$\Pi x a$	$/$
$\Pi x 2$	$-$	$Fx < 0$	$98$	$\Pi x 7$	$\Pi x a$	$/$	$\Pi x c$	$\times$	$\Pi x 2$
$Fx^2$	$+$	$\Pi x c$	$\Pi x 2$	$+$	$2$	$\times$	$/$	$/ - /$	$1$
$+$	$\Pi x a$	$\times$	$x\Pi 3$	$\Pi x e$	$\Pi x b$	$\times$	$/$	$\Pi x 5$	
$/$	$\Pi x 3$	$/$	$C/P$	$1$	$x\Pi 2$	$\Pi x 3$	$\times$	$-$	$\Pi x 6$
$C/P$					$B/P$	$57$	$0$		

**Инструкция.** Ввод  $(M_r + P_2 e_{sp_2})/P_2 \rightarrow 0$ ;  $0,2\delta\varphi_I\eta$  ( $3,5 - 100\mu$ )  $\sqrt{d/E_s} \rightarrow 1$  ( $E_s$  — в МПа,  $d$  — в мм);  $10\mu\alpha \rightarrow 2$ ;  $\beta \rightarrow 3$ ;  $P_2/R_{b,ser}bh_0^2 \rightarrow 4$ ;  $A_{sp} + A_s \rightarrow 5$ ;  $(b_f' - b)/b \rightarrow 6$ ;  $h_f' \rightarrow 7$ ;  $A_{sp}' + A_s' \rightarrow 8$ ;  $\alpha/(2vb) \rightarrow 9$ ;  $h_0 \rightarrow a$ ;  $P_2 \rightarrow b$ ;  $M_r + P_2 e_{sp_2} \rightarrow e$ . В/О С/П. Индикация —  $a_{crc}$ . Индикация — 0, ввести значение  $2a'$  в 7. В/О С/П.

**Примечания:** 1. При трещинах в сжатой зоне вместо  $P_2$  вводят  $(1 - \lambda) P_2$ , где  $\lambda$  вычисляют по программе 2.39. 2. Для продольных сечений в 6 вводится 0. 3. Для прямоугольных сечений при арматуре в сжатой зоне  $h_f' = 2a'$ ; при отсутствии арматуры в сжатой зоне  $h_f' = 0$ . 4. При определении  $\xi$  равнодействующее усилие принято сжимающим. В противном случае необходимо в шагах программы 43 и 51 изменить знаки на противоположные. Если  $\sigma_s + \sigma_{sp_2} \leq R_{s,ser}$ , то выполнить:  $\Pi x 1 \times$ . В противном случае принять  $\sigma_s = R_{s,ser} - \sigma_{sp_2}$ ,  $\Pi x 1 \times$ .

**Контрольный пример.**  $37,83 \rightarrow 0$ ;  $7,016 \cdot 10^{-6} \rightarrow 1$ ;  $0,582 \rightarrow 2$ ;  $1,8 \rightarrow 3$ ;  $9,05 \cdot 10^{-3} \rightarrow 4$ ;  $7,53 \rightarrow 5$ ;  $10,875 \rightarrow 6$ ;  $2,5 \rightarrow 7$ ;  $1,41 \rightarrow 8$ ;  $0,277478 \rightarrow 9$ ;  $38 \rightarrow a$ ;  $6,9 \cdot 10^6 \rightarrow b$ ;  $2,6 \cdot 10^7 \rightarrow e$ .

**Результат:**  $a_{crc} = 0,035$ ;  $\sigma_s = 5034,05$ .

Время счета: 15 с.

## Программа 2.42

Расчет по закрытию трещин, нормальных к продольной оси изгибающегося элемента

$\Pi x 1$	$\Pi x 0$	$\times$	$\Pi x 3$	$2$	$/$	$-$	$\Pi x 4$	$-$	$Fx \geq 0$
$53$	$\Pi x b$	$\Pi x 0$	$\times$	$/ - /$	$\Pi x 7$	$+$	$\Pi x 8$	$/$	$\Pi x 9$
$/$	$x\Pi 0$	$\Pi x c$	$\Pi x b$	$-$	$\Pi x b$	$-$	$\Pi x c$	$\Pi x 6$	
$\Pi x a$	$-$	$/$	$\Pi x 0$	$\times$	$x\Pi 0$	$\Pi x d$	$-$	$Fx < 0$	$55$
$\Pi x 2$	$\Pi x 0$	$+$	$\Pi x d$	$0$	$.$	$8$	$\times$	$-$	$Fx < 0$
$53$	$1$	$C/P$	$0$	$C/P$	$\Pi x d$	$x\Pi 0$	$B/P$	$40$	

**Инструкция.** Ввод  $P_2 \rightarrow 0$ ;  $e_{0p_2} + r' \rightarrow 1$ ;  $\sigma_{sp} \rightarrow 2$ ;  $W_{red} \cdot 10^2 \rightarrow 3$ ;  $M_r \rightarrow 4$ ;  $z - e_{sp_2} \rightarrow 5$ ;  $\xi h_0 \rightarrow 6$ ;  $M_{r_s} \rightarrow 7$ ;  $A_{sp} + A_s \rightarrow 8$ ;  $z \rightarrow 9$ ;  $a_1 \rightarrow a$ ;  $a_2 \rightarrow b$ ;  $h \rightarrow c$ ;  $R_{s,ser} \rightarrow d$ . В/О С/П. Индикация — 1, закрытие трещин обеспечено. Индикация — 0, увеличить  $\sigma_{sp}$  и  $A_{sp}$ , повторить расчет.

**Примечания:** 1. При трещинах в сжатой зоне вместо  $P_2$  следует вводить  $1,1(1 - \lambda) P_2$ , но не более  $P_2$ . Вместо  $\sigma_{sp}$  вводят  $(1 - \lambda) \sigma_{sp}$ . 2. Значение  $\lambda$  определяют по программе 2.39. 3. Значение  $r'$  вычисляют по программе 2.40 ( $r' \leftarrow 3$ ), значения  $\xi$  и  $z$  — по программе 2.41 (соответственно в 2 и 3). 4.  $a_1$ ,  $a_2$  — см. инструкцию к программе 2.41.

**Контрольный пример.**  $69 \cdot 10^4 \rightarrow 0$ ;  $28,97 \rightarrow 1$ ;  $8,5 \cdot 10^4 \rightarrow 2$ ;  $12,08 \cdot 10^5 \rightarrow 3$ ;  $18 \cdot 10^6 \rightarrow 4$ ;  $22,1 \rightarrow 5$ ;  $6,27 \rightarrow 6$ ;  $18 \cdot 10^6 \rightarrow 7$ ;  $7,53 \rightarrow 8$ ;  $32,3 \rightarrow 9$ ;  $3 \rightarrow a$ ;  $3 \rightarrow b$ ;  $40 \rightarrow c$ ;  $1,35 \cdot 10^5 \rightarrow d$ .

**Результат:**  $1 (R_0 = 11310,8)$ .

**Время счета:** 8 с.

### Программа 2.43

**Определение кривизны изгибающего предварительного напряженного элемента на участках без трещин в растянутой зоне**

Пх1	Пх0	/	хПа	Пх2		Пх5	×	Пх0	/	хПб
Пх3	Пх0	/	хПс	Пх4	+	хПд	Пх3	Пх5	×	хП
Пх0	/	хП2	—	Fx	≥ 0	74	Пх8	Пх1	—	Fx ≥ 0
53	Пх7	Fx	≥ 0	47	1	1	5	xП8	1	
.	2	5	xП9	ПП		78	С/П	1	xП8	1
xП9	БП	44	Пх6	Fx	≥ 0	72	Пх7	Fx	≥ 0	66
.	3	8	xП8	БП		39	1	.	2	xП8
БП	49	0	С/П	Пх2		xПд	БП	26	Пх9	Пхб
+	Пхд	Пх4	—	—		Пх8	×	Пх4	Пх9	×
—	B/O									

**Инструкция.** Ввод  $\Phi_b, E_b I_{red} \rightarrow 0$ ;  $M_{r_1} \rightarrow 1$ ;  $M_{r_2} \rightarrow 2$ ;  $P_2 e_{0p_2} \rightarrow 3$ ;  $(\sigma_s - \sigma'_s)/(E_s h_0) \rightarrow 4$ ;  $\Phi_{b_2} \rightarrow 5$ ;  $I \rightarrow 6$ ;  $K \rightarrow 7$ ;  $M_{crc} \rightarrow 8$ . В/О С/П.

**Примечания:** 1.  $I = 1$  при  $\sigma_{sp} + \sigma_s \leq 0,8 R_{s,ser}$  и  $\sigma_b \geq 0,5$  МПа;  $I = -1$  в противном случае. 2.  $K = 1$  — при трещинах в сжатой зоне;  $K = -1$  — в противном случае. 3. Значение  $M_{crc}$  задают с учетом наличия или отсутствия трещин в сжатой зоне. Индикация —  $1/r$ . Индикация — 0, кривизну определяют как для элемента с трещинами в растянутой зоне по программе 2.44.

**Контрольный пример.**  $1,008 \cdot 10^{12} \rightarrow 0$ ;  $7 \cdot 10^6 \rightarrow 1$ ;  $1,8 \cdot 10^7 \rightarrow 2$ ;  $1,52 \cdot 10^7 \rightarrow 3$ ;  $9,35 \cdot 10^{-6} \rightarrow 4$ ;  $2 \rightarrow 5$ ;  $1 \rightarrow 6$ ;  $1 \rightarrow 7$ ;  $2,46 \cdot 10^7 \rightarrow 8$ .

**Результат:**  $1/r = 1,332 \cdot 10^{-5}$ .

**Время счета:** 10 с.

### Программа 2.44

**Определение кривизны изгибающего предварительно напряженного элемента на участках с трещинами в растянутой зоне**

Пх7	Пх0		Пх6	—	/	хПб	1	—	Fx ≥ 0	60
3	.		5	В↑	1	.	8	Пхб	×	
Пх9	×		F1/x	1	Пхб	Fx <sup>2</sup>	—	Х/—	Пхб	
Пх8	×	—	—	1	.	2	5	+	хПс	1
—	Fx < 0		64	Пхс	Пх4	×	xПд	Пх4	+	Пх2
Пх0	+		×	Пх5	/	Пхд	Пх1	×	—	C/П
1	хПб		БП	10	1	хПс	БП	43		

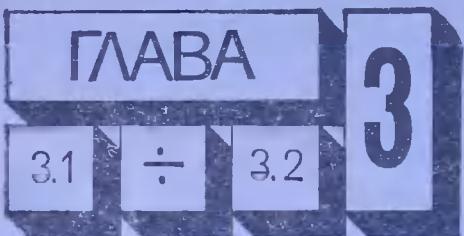
**Инструкция.** Ввод  $M_r \rightarrow 0$ ;  $P_2/h_0 \rightarrow 1$ ;  $P_2 e_{sp_2} \rightarrow 2$ ;  $bh_0^2 R_{b,ser} \rightarrow 3$ ;  $\psi_b / ((\varphi_f + \xi) bh_0 E_b v) \rightarrow 4$ ;  $zh_0 \rightarrow 5$ ;  $M_{rp} \rightarrow 6$ ;  $R_{bt,ser} W_{pl} \rightarrow 7$ ;  $\varphi_{ls} \rightarrow 8$ ;  $e_{s,tot}/h_0 \rightarrow 9$ ;  $(E_s A_s + E_{sp} A_{sp})^{-1} \rightarrow a$ . В/О С/П. Индикация —  $1/r$ .

**Примечания:** 1. При трещинах в сжатой зоне вместо  $P_2$  вводят  $(1 - \lambda) P_2$ . Коэффициент  $\lambda$  определяют по программе 2.39. 2.  $\xi$  и  $v$  вычисляют по программе 2.41 (соответственно в 2 и 3). 3. Значение  $e_{s,tot}/h_0$  принимают не менее  $1,2/\varphi_{ls}$ .

**Контрольный пример.**  $25 \cdot 10^6 \rightarrow 0$ ;  $1,82 \cdot 10^4 \rightarrow 1$ ;  $1,1 \cdot 10^6 \rightarrow 2$ ;  $7,62 \cdot 10^7 \rightarrow 3$ ;  $7,61 \cdot 10^{-10} \rightarrow 4$ ;  $1,37 \cdot 10^3 \rightarrow 5$ ;  $2,12 \cdot 10^7 \rightarrow 6$ ;  $3,8 \cdot 10^8 \rightarrow 7$ ;  $1,1 \rightarrow 8$ ;  $0,98 \rightarrow 9$ ;  $3 \cdot 10^{-9} \rightarrow a$ .

**Результат:**  $1/r = 1,49 \cdot 10^{-5}$ .

**Время счета:** 10 с.



## РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ЗДАНИЙ

### 3.1. РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ

#### 3.1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ. КОНСТРУКТИВНЫЕ СХЕМЫ ЗДАНИЙ

Расчет многоэтажных зданий практически невозможно выполнить без предварительного назначения размеров и конструктивных схем, которые могут быть выполнены с помощью программируемых микроКалькуляторов. Окончательный точный расчет здания производится на более мощных ЭВМ.

Условие достижения высоких эксплуатационных качеств многоэтажного здания — обеспечение его надежного сопротивления горизонтальным нагрузкам и воздействиям. Пространственная жесткость достигается различными вариантами компоновки конструктивной схемы, отличающимися способами восприятия горизонтальных нагрузок. Так, при поперечных многоэтажных рамках и поперечных вертикальных связевых диафрагмах горизонтальные нагрузки воспринимаются вертикальными конструкциями совместно и каркасное здание в поперечном направлении работает по рамно-связевой системе.

При поперечном расположении вертикальных связевых диафрагм и продольном расположении многоэтажных рам здание в поперечном направлении работает по связевой, а в продольном направлении — по рамной системам. Конструктивная схема каркаса при шарнирном соединении ригелей с колоннами будет связевой в обоих направлениях.

Возможны и другие конструктивные схемы многоэтажных зданий. К ним относятся каркасные здания с центральным ядром жесткости, в котором в качестве вертикальных связевых диафрагм служат внутренние стены блокированных лифтовых и вентиляционных шахт, лестничных клеток. Возможно использование двух ядер жесткости открытого профиля, а также ядер жесткости сложной конфигурации, позволяющих индивидуализировать архитектурное решение.

#### 3.1.2. НАГРУЗКИ НА ЗДАНИЕ

Нагрузки, которые необходимо учитывать при проектировании зданий, определяют по СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия». В данном случае рассмотрены здания высотой более 12 этажей (сооружения высотой более 40 м), для которых доминируют постоянные

и временные вертикальные, а также горизонтальные ветровые нагрузки (статическое действие скоростного напора ветра и динамическое действие порывов ветра).

**Весовые нагрузки.** К ним относят собственный вес конструкций и временные нагрузки на перекрытия и покрытие. Временные нагрузки принимают в соответствии с нормами исходя из назначения помещений или технологического задания. Учитывают, что вероятность одновременного загружения больших площадей полной полезной нагрузкой невелика, поэтому при расчете элементов здания можно принимать временные нагрузки с понижающими коэффициентами по п. 3.8, 3.9 [6].

Нормальные силы в колоннах каркаса и диафрагмах жесткости вычисляют суммированием поэтажных нагрузок по вертикали. По ним предварительно назначают площади поперечных сечений колонн и пилонов с запасом на последующий учет влияния изгиба, кручения и других воздействий. Рекомендуется осреднять нагрузки по перекрытиям при незначительной разнице в ее интенсивности на отдельных участках плана.

При сборе вертикальных нагрузок следует подсчитать массу здания в целом и массу единицы его объема. Из опыта проектирования известно, что вес 1 м<sup>3</sup> объема (для жилых и общественных зданий) составляет 3,5...5 кН.

**Ветровые нагрузки.** Горизонтальная нагрузка на здание имитируется статической и динамической составляющими. Статическая составляющая — это осредненный скоростной напор ветра на здание, который можно определить для фиксированной высоты как ординату трапециoidalной эпюры с соответственно равными нижним и верхним основаниями:

$$w_1 = w_0 c v_f \alpha_1 L; \quad w_2 = w_0 c v_f \alpha_2 L,$$

где  $w_0$  — нормативное значение ветрового давления на высоте 10 м (табл. 5 [6]);  $c$  — аэродинамический коэффициент; для зданий с прямоугольным или близким к прямоугольному планом принимается равным 1,4 (+0,8 с наветренной стороны и -0,6 с подветренной);  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  — коэффициенты, определяемые из табл. 3.1;  $L$  — длина здания в плане.

Таблица 3.1. Значение коэффициентов  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$

Высота здания, м	10	20	40	60	80	100	200	350 и более
Для местности типа А								
$\alpha_1$	1	0,94	0,91	0,94	0,98	1,01	1,19	1,12
$\alpha_2$	1	1,19	1,55	1,81	2	2,18	2,74	3,44
Для местности типа Б								
$\alpha_1$	0,65	0,59	0,56	0,58	0,61	0,67	0,82	1,02
$\alpha_2$	0,65	0,84	1,2	1,48	1,7	1,87	2,57	3,3
$\alpha_3$	—	—	1,11	1,24	1,32	1,39	1,61	1,77

Примечание. Тип А — открытая местность, тип Б — города с окраинами, лесными массивами и другими препятствиями высотой более 10 м.

Динамическую составляющую можно установить с достаточной степенью точности как ординату треугольной эпюры, основание которой на уровне верха здания

$$w_3 = w_0 c \gamma_f \alpha_3 L,$$

где  $\alpha_3$  — коэффициент для местности типа Б при наиболее неблагоприятном динамическом воздействии ветра.

Если здание имеет план, близкий к квадратному, то следует учитывать продольное и поперечное направления ветровой нагрузки.

Каждое из них имеет два знака.

Таким образом, полная ветровая нагрузка представляется линейной эпюрой давления, переменной по высоте, с основаниями нижним ( $w_h = w_1$ ) и верхним ( $w_b = w_2 + w_3$ ) (рис. 3.1).

Полученная ветровая нагрузка заменяется на эквивалентную равномерно распределенную по высоте (программа 3.1)

$$P = 2M_{act}/H^2,$$

Рис. 3.1. Ветровые нагрузки на здание.

технической ветровой нагрузки;  $H$  — расчетная высота здания, приближенно принимаемая равной фактической высоте (см. рис. 3.1).

Значение  $M_{act}$  вычисляем по формуле

$$M_{act} = w_h H^2/2 + (w_b - w_h) H^2/3.$$

### 3.1.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ЗДАНИЯ. СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

**Здание рамной конструкции.** От действия горизонтальных нагрузок здание получает перемещение  $y_i$  в уровне  $i$ -го этажа и прогиб верха здания  $f$  (рис. 3.2). Перемещения вычисляют по формуле (программа 3.2)

$$\begin{aligned} y &= \frac{PH^2}{2K} (2\xi - \xi^2) + \\ &+ \frac{PH^4}{8B_0} \left( 2\xi - \frac{4}{3}\xi^3 + \frac{1}{3}\xi^4 \right), \end{aligned} \quad (3.1)$$

где  $\xi$  — безразмерная координата ( $\xi = x/H$ ).

Прогиб верха здания

$$f = \frac{PH^2}{2K} + \frac{PH^4}{8B_0}, \quad (3.2)$$

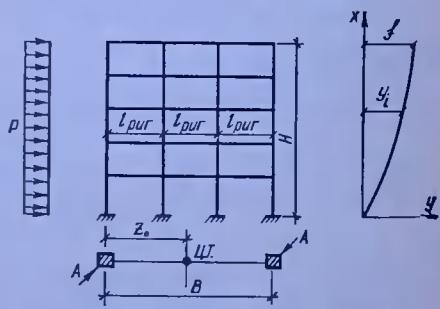


Рис. 3.2. Перемещение здания рамной конструкции.

где  $B_0$  — изгибная жесткость здания, приближенно определяемая как

$$B_0 = E_b A b^2 / 2; \quad (3.3)$$

$E_b$  — модуль упругости бетона;  $A$  — суммарная площадь сечения всех крайних стоек здания;  $K$  — сдвиговая жесткость,

$$K = 12 / (l(s^{-1} + r^{-1})); \quad (3.4)$$

$b$  — расстояние между крайними стойками-поясами;  $l$  — высота этажа здания;  $s, r$  — сумма погонных изгибных жесткостей соответственно всех стоек этажа и ригелей этажа,

$$r = \Sigma E_b I_{\text{риг}} / l_{\text{риг}}.$$

Усилия  $M, Q, N$  в многоэтажной раме вычисляют от горизонтальных и вертикальных нагрузок.

При определении усилий от вертикальных нагрузок допускаются упрощения; если в раме более трех пролетов, ее заменяют трехпролетной и принимают изгибающие моменты во всех средних пролетах такими же, как в среднем пролете трехпролетной рамы; многопролетную раму расчленяют по высоте на ряд одноэтажных. Причем достаточно рассчитать одноэтажные рамы верхнего, одного из средних и первого этажей (расчет выполняют по табл. 3.2, 3.3, 3.4).

Таблица 3.2. Значения коэффициентов  $\alpha$  и  $\beta$  для расчета рамы верхнего этажа

Схема нагружения и эпюра моментов	$i_h / i_p$	Опорные моменты			
		$M_{12}$	$M_{21}$	$M_{23}$	$M_{32}$
	0,25 0,5 1,0 1,5	0,025 0,038 0,052 0,059	0,099 0,098 0,095 0,093	0,093 0,089 0,086 0,085	— — — —
	0,25 0,5 1,0 1,5	0,032 0,047 0,061 0,067	0,059 0,064 0,069 0,072	0,034 0,026 0,017 0,013	— — — —
	0,25 0,5 1,0 1,5	0,007 0,009 0,009 0,008	0,04 0,034 0,026 0,021	0,059 0,064 0,069 0,072	— — — —
	0,25 0,5 1,0 1,5	0,030 0,045 0,059 0,066	0,069 0,071 0,073 0,075	0,049 0,039 0,028 0,022	0,015 0,013 0,011 0,009

Таблица 3.3. Значения коэффициентов  $\alpha$  и  $\beta$  для расчета рамы среднего этажа

Схема нагрузки и эпюра моментов	$I_H/I_p$	Опорные моменты			
		$M_{12}$	$M_{21}$	$M_{23}$	$M_{32}$
	0,5	0,038	0,098	0,089	—
	1,0	0,052	0,095	0,086	—
	2,0	0,063	0,092	0,085	—
	3,0	0,068	0,089	0,084	—
	0,5	0,047	0,064	0,026	—
	1,0	0,060	0,069	0,017	—
	2,0	0,070	0,074	0,011	—
	3,0	0,074	0,076	0,008	—
	0,5	0,009	0,034	0,064	—
	1,0	0,008	0,026	0,069	—
	2,0	0,007	0,018	0,074	—
	3,0	0,006	0,013	0,076	—
	0,5	0,045	0,07	0,039	0,013
	1,0	0,059	0,073	0,028	0,011
	2,0	0,069	0,075	0,019	0,008
	3,0	0,074	0,077	0,014	0,006

Опорные моменты ригелей трехпролетной рамы находят по формуле  $M = (\alpha g + \beta v) l^2$ . Значения коэффициентов  $\alpha$  и  $\beta$  зависят от схемы загружения ригеля постоянной  $g$  и временной  $v$  нагрузками, а также от отношения погонных жесткостей стоек, примыкающих к узлу рамы снизу  $i_1$ , погонных жесткостей стоек, примыкающих к узлу сверху  $i'$ , и погонных жесткостей ригелей  $i_p$ :

$$i_1 = E_b I_1 / l_1; \quad i' = E_b I' / l'; \quad i_p = E_b I_p / l_p,$$

где  $I_1$ ,  $I'$ ,  $I_p$  — моменты соответственно нижней и верхней стоек и ригеля;  $l_1$  и  $l'$  — полная длина соответственно нижней и верхней стоек (высота этажа многоэтажной рамы).

Пролетные моменты ригелей находят по значениям опорных моментов.

Таблица 3.4. Значения коэффициентов  $\alpha$  и  $\beta$  для рамы первого (нижнего) этажа

Схема нагрузки и эпюра моментов	$\frac{i_H + 1,5i_B}{i_p}$	Опорные моменты			
		$M_{12}$	$M_{21}$	$M_{23}$	$M_{32}$
	0,5	0,030	0,099	0,092	—
	1,0	0,044	0,097	0,088	—
	2,0	0,057	0,094	0,086	—
	3,0	0,063	0,092	0,085	—
	5,0	0,069	0,090	0,084	—

Схема нагрузки и эпюра момента	$t_{\text{и}} + 1.5t_{\text{в}}$	Опорные моменты			
	$t_p$	$M_{12}$	$M_{21}$	$M_{23}$	$M_{32}$
	0,5 1,0 2,0 3,0 5,0	0,038 0,053 0,065 0,070 0,076	0,061 0,066 0,071 0,074 0,077	0,031 0,022 0,014 0,011 0,007	— — — — —
	0,5 1,0 2,0 3,0 5,0	0,008 0,009 0,008 0,007 0,007	0,038 0,031 0,023 0,018 0,013	0,061 0,066 0,071 0,074 0,077	— — — — —
	0,5 1,0 2,0 3,0 5,0	0,036 0,051 0,064 0,070 0,075	0,070 0,072 0,074 0,076 0,078	0,045 0,034 0,024 0,018 0,013	0,014 0,012 0,010 0,007 0,006

П р и м е ч а н и е. Изгибающие моменты в стойках для каждой схемы загружения рамы определяют по разности опорных моментов ригелей в узле, распределяя ее пропорционально погонным жесткостям стоек. При этом погонную жесткость стойки первого этажа принимают  $t_{\text{и}}/1,5$ .

Распределенную горизонтальную нагрузку заменяют сосредоточенными силами, приложенными к узлам рамы (рис. 3.3).

Нулевую точку эпюры моментов стоек всех этажей рамы, кроме первого, считают расположенной в середине высоты этажа, а в первом этаже при защемлении стоек в фундаменте — на расстоянии  $\frac{2}{3}$  высоты от места защемления.

Поярусные поперечные силы в раме

$$Q_i = \sum_{j=i}^n F_j.$$

Они распределяются между отдельными стойками пропорционально жесткостям:

$$Q = Q_k \left( B / \left( \sum_1^m B_l \right) \right),$$

где  $B$  — жесткость сечения стойки;  $m$  — количество стоек в ярусе.

Крайние стойки рамы, имеющие степень защемления в узле меньшую, чем средние стойки (поскольку к крайнему узлу примыкает ригель только с одной стороны), воспринимают относительно меньшую долю ярусной поперечной силы, что учитывают в расчете условным уменьшением жесткости крайних стоек умножением на коэффициент  $\beta < 1$ .

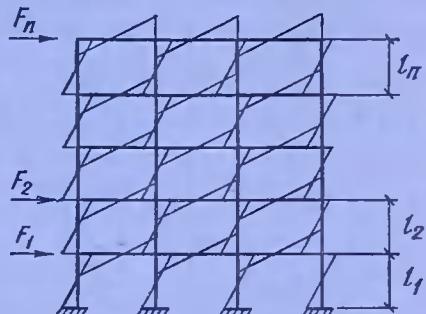


Рис. 3.3. К расчету многоэтажных рам на горизонтальные нагрузки.

Значение коэффициента  $\beta$  для всех этажей, кроме первого (для первого этажа  $\beta = 0,9$ ), определяют в зависимости от отношения  $i/i_{hf}$ :

$i/i_{hf}$	0,25	0,5	1	2	3	4
$\beta$	0,54	0,56	0,62	0,7	0,75	0,79

По поперечным силам находят изгибающие моменты в стойках для типового этажа  $M = Ql/2$  и для первого в верхнем  $M = Ql/3$  и нижнем  $M = Q_2l/3$  сечениях.

При определении опорных моментов ригелей суммарный момент в узле рамы от выше и ниже расположенных стоек распределяется между ригелями пропорционально их погонным жесткостям. В краинем узле момент ригеля равен сумме моментов стоек.

На основании эпюр моментов и поперечных сил строят огибающие суммарные эпюры  $M$ , вычисляют продольные силы  $N$  для основных и дополнительных сочетаний нагрузок.

Для расчетных сечений определяют значения  $M_{\max}$  и  $M_{\min}$  и соответствующие им  $N$ , а также —  $N_{\max}$  и соответствующие им  $M$ .

Здание рамно-связевой системы со сплошными диафрагмами. В здании рамно-связевой системы предполагается совместная работа многоэтажных рам и вертикальных диафрагм-пилонов. Долю участия в работе каркаса и пилонов определяют соотношением жесткостей этих элементов. Полная изгибная жесткость здания представляется как сумма жесткостей всех диафрагм и рамного каркаса

$$B = \Sigma B_i + \Sigma B_d,$$

где  $\Sigma B_i$ ,  $\Sigma B_d$  — суммарная жесткость соответственно стоек рам всего здания и диафрагм (пилонов) здания (рис. 3.4).

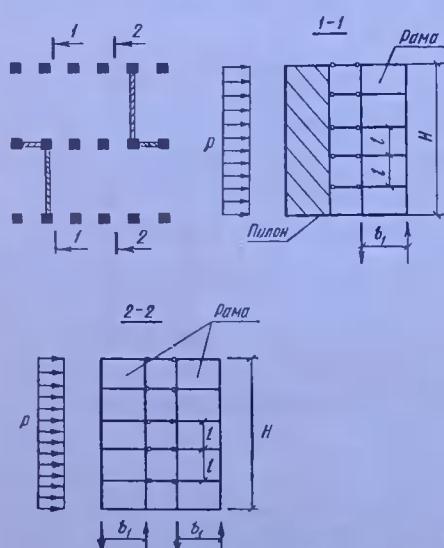


Рис. 3.4. План рамно-связевого здания и расчетная схема.

Для этой системы прогиб верха здания

$$f = \left( \frac{v^2 - 1}{8} + \delta_2 \right) \frac{PH^4}{Bv^2}. \quad (3.5)$$

Усилия, воспринимаемые всей системой пилонов здания:

$$M = - \left( \frac{v^2 - 1}{2} + \delta_1 \right) \frac{PH^2}{v^2}; \quad (3.6)$$

$$Q = PH. \quad (3.7)$$

Они распределяются пропорционально жесткостям пилонов.

Суммарная поперечная сила стоек здания

$$Q_p = k_1 PH/v^2, \quad (3.8)$$

где  $k_1$  — коэффициент, определяемый из табл. 3.5.

Наибольшие сжимающие усилия в крайних стойках рам в первом этаже

$$N = (M_0 - M)/b, \quad (3.9)$$

где  $M_0 = -0,5PH^2$ ;  $b$  — расстояние между крайними стойками рам в сечении здания с диафрагмой. В формулах (3.5)...(3.8)

$$\nu^2 = 1 + \sum B_i/B_0,$$

где  $B_0$  — определяется по формуле (3.3) как сумма жесткостей рам в различных сечениях (в сечении 1—1  $b = b_1$ , в сечении 2—2  $b = 2b_1$ ) (см. рис. 3.4). Если жесткость рам мала по сравнению с жесткостью

Таблица 3.5. Значение коэффициентов  $\delta_1$ ,  $\delta_2$ , и  $k_1$

$\nu$	0	0,5	1	1,5	2	3	5	7	10	15	20	30
$\delta_1$	0,5	0,48	0,41	0,351	0,3	0,232		$\delta_1 = (\lambda - 1)/\lambda^2$				
$\delta_2$	0,125	0,117	0,09	0,067	0,05	0,0298		$\delta_2 = (0,5 - \delta_1)/\lambda^2$				
$k_1$	0	0,037	0,115	0,187	0,247	0,34		0,48	0,58	0,67	0,75	0,8

диафрагм, то жесткостью стоек можно пренебречь, тогда  $\nu^2 = 1$  (при этом предполагается, что здание связевой системы).

$$\lambda = H \sqrt{\nu^2 A / B}. \quad (3.10)$$

При  $\lambda = 5 \dots 40$  коэффициенты  $\delta_1$  и  $\delta_2$  (определяемые из табл. 3.5 или по программе 3.3) действительны, а при  $\lambda = 0 \dots 5$  они недействительны; их вычисляют по табл. 3.5.

Усилия и прогибы таких систем по приведенным формулам рассчитывают по программе 3.4.

**Здание рамно-связевой системы с проемными диафрагмами.** Если в диафрагме есть проемы, то ее можно представить в виде рамы, состоящей из простенков и ригелей перемычек (рис. 3.5). Так как жесткость простенков значительно больше жесткости перемычек, то сдвиговая жесткость здания (программа 3.5)

$$K = 12r/l, \quad (3.11)$$

где  $r = \sum i_{\text{пер}}$  — суммарная погонная жесткость перемычек одного яруса диафрагм;  $l$  — высота этажа.

Изгибная жесткость простенков  $B = \Sigma B_i$ , т. е. равна сумме изгибных жесткостей всех простенков диафрагм здания. Изгибная жесткость рам

$$B_0 = (A_1 + A_2) E_b a^2 / 4, \quad (3.12)$$

где  $A_1$  и  $A_2$  — суммарные площади сечений крайних простенков диафрагм.

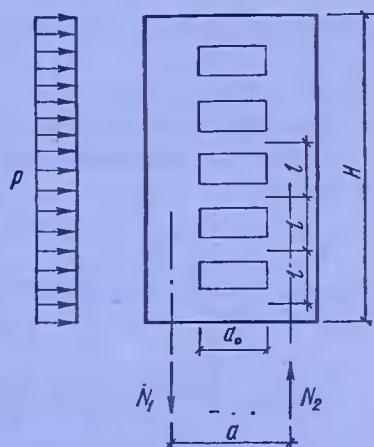


Рис. 3.5. Диафрагма с проемами.

Изгибная жесткость проемных диафрагм  $B_D = B + B_0$ . Коэффициент  $v^2 = 1 + B/B_0$ . Усилия, воспринимаемые всеми проемными диафрагмами здания и прогибы верха здания, устанавливают по формулам (3.5)...(3.7) и (3.9).

Усилия  $M$ ,  $Q$ ,  $N$  распределяются между всеми проемными диафрагмами пропорционально их жесткости. Усилия в перемычке:

$$Q_{\text{пер}} = \frac{k_1 P H l}{av^2}; \quad (3.13) \quad M_{\text{пер}} = Q_{\text{пер}} a / 2. \quad (3.14)$$

Если горизонтальные нагрузки воспринимаются сплошными и проемными диафрагмами и рамами каркаса, то усилия в элементах вычисляют по приведенным формулам, а при нахождении изгибных  $B_0$  и сдвиговых  $K$  жесткостей здания, следует принимать суммы жесткостей рам каркаса, а также простенков и перемычек проемных диафрагм. Усилия и перемещения по формуле (2.7) с учетом реальных жесткостей определяют по программе 3.6.

### 3.1.4. РАСЧЕТ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОСНОВНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Усилия в пилонах возрастают сверху вниз, причем в верхней части здания нормальные силы увеличиваются интенсивнее, чем изгибающие моменты, а в нижней — наоборот. В связи с этим в верхней части здания эксцентрикитеты продольных сжимающих сил невелики, а книзу увеличиваются сжимающая сила и эксцентрикитет. Поэтому при постоянном поперечном сечении пилонов достаточно проверить прочность только самого нижнего сечения.

Прочность горизонтальных сечений пилонов проверяют на внецентренное сжатие и вертикальных — на сдвиг для двух возможных направлений горизонтальной нагрузки. При этом рассматривают несколько комбинаций усилий:

наибольшие продольные силы  $N_{\max}$ , соответствующие им моменты от вертикальных нагрузок  $M_{\max}^{\text{верт}}$  и наибольшие значения моментов от горизонтальных нагрузок с переменным знаком  $\pm M_{\max}^{\text{гор}}$  вычисляют по формуле (2.8);

минимальное значение сжимающей силы  $N_{\min}$ , соответствующие моменты от вертикальных нагрузок  $M_{\min}^{\text{верт}}$  и наибольшие значения моментов от горизонтальных нагрузок  $\pm M_{\max}^{\text{гор}}$  определяют аналогично. Допускается принимать  $N_{\min} \approx 0,7 N_{\max}$ ;  $M_{\min}^{\text{верт}} \approx 0,7 M_{\max}^{\text{верт}}$ .

Прочность горизонтальных сечений пилонов рассчитывают по правилам расчета внецентренно сжатых элементов с эксцентрикитетом

$$e_{0x} = M/N + e_{0x,\text{сл}},$$

где  $e_{0x,\text{сл}}$  — принимается равным  $1/30 h$  (рис. 3.6).

Расчетная арматура располагается в колоннах, окаймляющих стенку пилона, и в стенке пилона ( $A_{sx}$  и  $A'_{sx}$ ). Часть стенки пилона, примыкающая к сжатой колонне, считается сжатой, а часть, примыкающая к растянутой колонне, — растянутой.

Стенка пилона армируется конструктивной арматурой в установленных оптимальных пределах ( $\mu = 1\ldots 1,5 \%$ ), остальная арматура — в окаймляющих колоннах. При расчете пилона из его плоскости принимают случайный эксцентриситет  $e_y \text{ сл} = 1/_{30} b$ , но не менее 1 см.

Изгибающий момент  $M_y = N e_y \text{ сл}$ , а количество устанавливаемой арматуры ( $A_{sy}$  и  $A'_{sy}$ ) должно быть не менее оптимального, принятого ранее. На прочность при сдвиге проверяют вертикальные сечения плоских пилонов, проходящие по вертикальным швам соединения стен пилона с колоннами и по перемычкам над проемами.

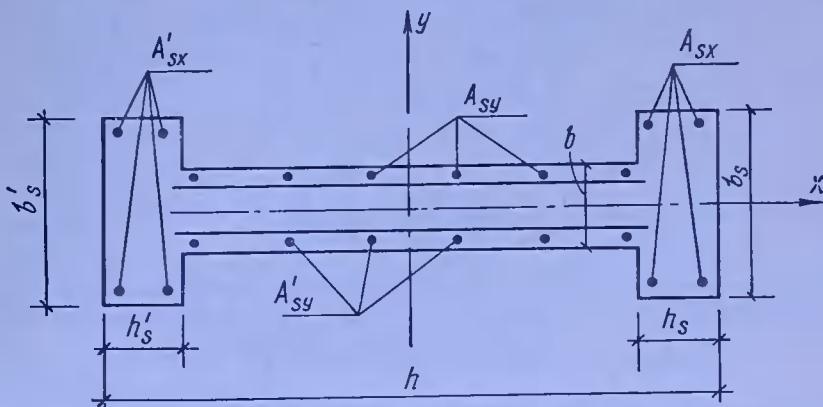


Рис. 3.6. Схема армирования диафрагмы.

Сдвигающие усилия создаются преимущественно ветровой нагрузкой, поэтому с небольшой погрешностью можно принять

$$T = Q/(h - h_f), \quad (3.15)$$

где  $h, h_f$  — см. рис. 3.6;  $Q$  — усилие в пилоне определяется по формуле (3.7).

На усилие  $T$  надо рассчитать прочность всех соединяющих элементов шва (прочность на сдвиг при монолитных диафрагмах). При этом необходимую толщину стены определяют из условия

$$T \leqslant 0,35 R_b b l,$$

где  $l$  — высота этажа.

Если здание имеет ядро жесткости, то возникают сдвигающие усилия при его кручении  $T_{kp}$ , которые суммируются со сдвигающими усилиями от поперечного изгиба (3.15)

$$T_{kp} = M_{kp} H / 2\Omega, \quad (3.16)$$

где  $M_{kp}$  — крутящий момент в проверяемом горизонтальном сечении ядра жесткости,

$$M_{kp} = R_x b_0 + R_y a_0, \quad (3.17)$$

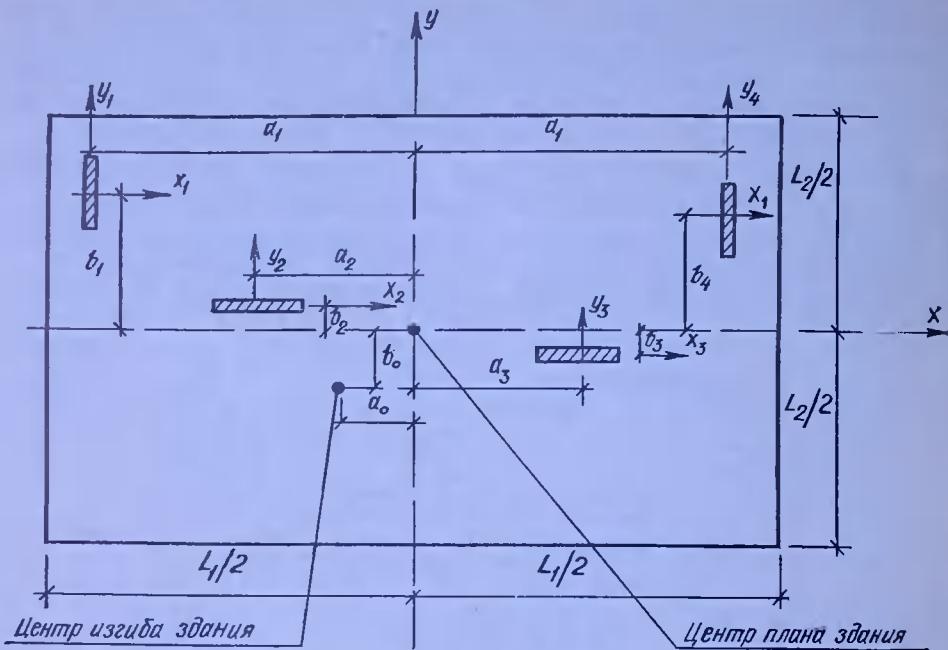


Рис. 3.7. К определению центра изгиба здания.

где  $R_x$ ,  $R_y$  — равнодействующие ветровых нагрузок на фасады здания, собранных от верха здания до рассматриваемого сечения;  $b_0$ ,  $a_0$  — координаты центра изгиба здания (рис. 3.7);  $H_l$  — расстояние от верха здания до рассматриваемого сечения.

### 3.1.5. АРМИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЖЕСТКОСТИ

Армирование стен пилонов рекомендуется выполнять двумя сетками. Концы горизонтальных стержней должны закрепляться в колоннах, примыкающих к стене.

Диаметры и шаг вертикальных и горизонтальных стержней целесообразно принимать одинаковыми. Необходимую площадь сечения стержней сеток находят по формуле (программа 3.7)

$$A_s = \frac{T^2 u}{16 R_{bt} R_s b l^2}, \quad (3.18)$$

где  $T$  — сдвигающие усилия, вычисляемые по формулам (3.15), (3.16);  $u$  — размер ячейки сетки;  $b$  — толщина стенки (см. рис. 3.6);  $l$  — высота этажа.

### 3.1.6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕНТРА ИЗГИБА ЗДАНИЯ

Если в плане здания элементы жесткости (пилоны) располагаются не симметрично, то нагрузки, передаваемые на них, будут не одинаковы. При этом здание подвергается кручению вокруг центра изгиба.

Для зданий прямоугольного плана, у которых главные оси всех пилонов параллельны разбивочным осям здания, координаты центра изгиба (программа 3.8)

$$a_0 = \frac{\sum I_{xi} a_i}{\sum I_{xi}}; \quad b_0 = \frac{\sum I_{yi} b_i}{\sum I_{yi}}, \quad (3.19)$$

где  $\sum I_{xi}$ ,  $\sum I_{yi}$  — соответственно суммы моментов инерции пилонов относительно собственных центральных осей;  $a_i$ ,  $b_i$  — расстояния от центра осей  $x$  и  $y$  до центров тяжести пилонов (см. рис. 3.7).

Для зданий с произвольным расположением и профилем пилонов (угловых, в виде швеллера и др.) (программа 3.10):

$$\begin{aligned} a_0 &= A_b (\sum I_{xi} a_i - \sum I_{xyi} b_i) - A_{xy} (\sum I_{xyi} a_i - \sum I_{yi} b_i); \\ b_0 &= A_x (\sum I_{yi} b_i - \sum I_{xyi} a_i) - A_{xy} (\sum I_{xyi} b_i - \sum I_{xi} a_i), \end{aligned} \quad (3.20)$$

где

$$\begin{aligned} A_x &= \frac{\sum I_{xi}}{\sum I_{xi} \sum I_{yi} - (\sum I_{xyi})^2}; \quad A_y = \frac{\sum I_{yi}}{\sum I_{xi} \sum I_{yi} - (\sum I_{xyi})^2}; \\ A_{xy} &= \frac{\sum I_{xyi}}{\sum I_{xi} \sum I_{yi} - (\sum I_{xyi})^2}; \end{aligned} \quad (3.21)$$

$\sum I_{xyi}$  — сумма центробежных моментов инерции пилонов относительно собственных центральных осей  $x_i$  и  $y_i$  (для плоских симметричных пилонов  $I_{xyi} = 0$ ), которую вычисляют предварительно по программе 3.9.

### 3.1.7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЩЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЗДАНИЯ

Под действием внешних нагрузок здание отклоняется от первоначального положения; вертикальные нагрузки создают дополнительные усилия, увеличивающие деформации. При большом весе здания и недостаточной жесткости увеличение деформаций предполагает потерю общей устойчивости. Вес здания, при котором возможна потеря устойчивости, называется критическим  $G_{cr}$ .

Здание может потерять устойчивость в одной или другой плоскости при изгибе, существует также изгибно-крутильная форма потери устойчивости при несовпадении центра плана и центра жесткости здания.

В связи с этим следует определять три значения критического веса здания:

$$\begin{aligned} G_x &= 2,3E_b \sum I_{xi}/H^2; \quad G_y = 2,3E_b \sum I_{yi}/H^2; \\ G_\omega &= 2,3E_b I_\omega / \gamma H^2, \quad i = 1, 2, 3 \dots, \end{aligned} \quad (3.22)$$

где  $I_\omega$  — крутильный момент инерции здания (программа 3.11):

$$I_\omega = \sum I_{xi} (a_i - a_0)^2 + \sum I_{yi} (b_i - b_0)^2 - 2 \sum I_{xyi} (a_i - a_0)(b_i - b_0), \quad (3.23)$$

$$i = 1, 2, 3 \dots$$

$\gamma$  — характеристика плана здания; для прямоугольного

$$\gamma = a_0^2 + b_0^2 + (L_1^2 + L_2^2)/12. \quad (3.24)$$

Для зданий с одним ядром жесткости (замкнутым пилоном) критический вес при изгибо-крутильной форме потери устойчивости

$$G_{\omega} = 0,14 E_b I_{kp}/\gamma. \quad (3.25)$$

Здесь  $I_{kp}$  — момент инерции ядра жесткости,

$$I_{kp} = \Omega/s\delta, \quad (3.26)$$

где  $\Omega$  — удвоенная площадь фигуры, ограниченной средней линией контура поперечного сечения ядра жесткости;  $s$  — периметр стенок ядра жесткости;  $\delta$  — толщина стенок.

Для многоконтурного ядра жесткости

$$I_{kp} = \frac{\sum_{t=1, j=1}^n s_t \Omega_j^2 + \sum_{t=1, j=1, k=1}^n s_i (\Omega_j + \Omega_k + \dots)^2}{\delta \sum_{t=1, j=1}^n s_t s_j}, \quad (3.27)$$

где  $n$  — количество замкнутых контуров в ядре жесткости ( $i \neq j \neq k$ ).

Для симметричного многоконтурного ядра крутящий момент полностью передается на наружную оболочку профиля. Если в здании несколько ядер жесткости, то критический вес определяют по формуле (3.22), а крутильный момент инерции —

$$I_{\omega} = 0,05 \sum I_{kp} H^2. \quad (3.28)$$

Если в здании есть плоские пилоны и ядра жесткости, то крутильный момент инерции вычисляют как сумму крутильных моментов инерции, найденных по формулам (3.23) и (3.28).

Считают, что общая устойчивость здания будет обеспечена при соблюдении условия (программа 3.12)

$$G_{cr \min} \geq 1,5 G^h, \quad (3.29)$$

где  $G_{cr \ min}$  — наименьшее из значений  $G_x$ ,  $G_y$ ,  $G_{\omega}$ , определенных по формулам (3.22);  $G^h$  — нормативный вес здания.

### 3.1.8. ВЛИЯНИЕ ПОДАТЛИВОСТИ ОСНОВАНИЯ НА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЗДАНИЯ

Горизонтальные нагрузки и неравномерности осадок основания вызывают кроны здания (рис. 3.8).

Угол крена

$$\theta = M/B_{\phi}, \quad (3.30)$$

где  $B_{\phi} = C_{\phi} I_{\phi}$  — жесткость фундамента;  $C_{\phi}$  — коэффициент постели основания, зависящий от типа осно-

Рис. 3.8. К определению крена здания.

вания (обычно  $C_\phi = (2,5 \div 8) \cdot 10^4$  кН/м<sup>3</sup>);  $I_\phi$  — момент инерции подошвы фундамента.

Прогиб верха здания от крена

$$f_{\text{кр}} = \Theta H. \quad (3.31)$$

Полный прогиб верха здания, который определяют как сумму прогибов, вычисляемых по формулам (3.2) и (3.5) с учетом крена, не должен превышать нормативно допустимого (программа 3.13)

$$f = f_{\text{гориз}} + f_{\text{кр}} \leq [f]. \quad (3.32)$$

Для жилых и общественных зданий  $[f] = 0,001H$ .

### 3.1.9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗДАНИЯ

Период первой формы собственных колебаний здания (программа 3.14)

$$T_1 = \frac{2\pi H^2}{1,875} \sqrt{m/B}, \quad (3.33)$$

где  $m$  — масса единицы высоты здания, равная  $G^h/gH$ ;  $B$  — жесткость здания на изгиб;  $g$  — ускорение свободного падения ( $g \approx 10$  м/с<sup>2</sup>).

Частота первой формы собственных колебаний

$$\lambda_1 = 1/T_1,$$

круговая частота

$$\omega_1 = 2\pi/T_1.$$

Период первой формы крутильных колебаний здания

$$T_{\text{кр}} = 2,17H^2 \sqrt{\gamma m/B\omega}, \quad (3.34)$$

где  $\gamma$  — характеристика плана здания (вычисляется по формуле (3.24)

$$B_\omega = 0,85E_b I_\omega.$$

## ПРОГРАММЫ

, 3.1 ÷ 3.14

### Программа 3.1

Определение эквивалентной  
равномерно распределенной  
ветровой нагрузки

$\Pi x0$	$\Pi x1$	$\times$	$\Pi x2$	$\times$	$\Pi x3$	$\times$	$xPa$	$\Pi x5$	$\times$
$x\Pi 8$	$\Pi x a$	$\Pi x 6$	$\times$	$x\Pi 9$	$\Pi x a$	$\Pi x 7$	$\times$	$x\Pi a$	$\Pi x 9$
$+$	$x\Pi b$	$\Pi x 8$	$-$	$\Pi x 4$	$Fx^2$	$\times$	$3$	$/$	$x\Pi c$
$\Pi x 4$	$Fx^2$	$\Pi x 8$	$\times$	$2$	$/$	$\Pi x c$	$+$	$x\Pi c$	$2$
$\times$	$\Pi x 4$	$Fx^2$	$/$	$x\Pi d$	$C/\Pi$				

**Инструкция.** Ввод  $w_0 \rightarrow 0$ ;  $c \rightarrow 1$ ;  $\gamma_f \rightarrow 2$ ;  $L \rightarrow 3$ ;  $H \rightarrow 4$ ;  $\alpha_1 \rightarrow 5$ ;  $\alpha_2 \rightarrow 6$ ;  $\alpha_3 \rightarrow 7$ . В/О С/П. Индикация —  $p$ ;  $w_h = w_1 \leftarrow 8$ ;  $w_b \leftarrow b$ ;  $M_{act} \leftarrow c$ ;  $p \leftarrow d$ .

**Контрольный пример.**  $0,35 \rightarrow 0$ ;  $0,8 \rightarrow 1$ ;  $1,2 \rightarrow 2$ ;  $18,0 \rightarrow 3$ ;  $21 \rightarrow 4$ ;  $0,56 \rightarrow 5$ ;  $1,2 \rightarrow 6$ ;  $1,11 \rightarrow 7$ .

**Результат:**  $p = 10,44$ ;  $w_h = w_1 = 3,38$ ;  $w_b = 13,97$ ;  $M_{act} = 2302,65$ .

**Время счета:** 15 с.

## Программа 3.2

### Определение перемещений здания рамной конструкции

$\Pi x_7$	$F1/x$	$\Pi x_6$	$F1/x$	+	$\Pi x_2$	$\times$	1	2	$\leftrightarrow$
/	$x\Pi a$	$\Pi x_1$	$Fx^2$	$\Pi x_4$	$\times$	$\Pi x_5$	$\times$	2	/
$x\Pi b$	$\Pi x_0$	$Fx^2$	$\Pi x_3$	$\times$	$\Pi x_a$	/	2	/	$x\Pi 9$
4	$\Pi x_0$	$Fx^Y$	$\Pi x_3$	$\times$	$\Pi x_b$	/	8	/	$x\Pi 4$
$\Pi x_9$	+	$x\Pi 8$	$\Pi x_d$	$\Pi x_0$	/	$x\Pi c$	2	$\times$	$\Pi x_c$
$Fx^2$	-	$\Pi x_9$	$\times$	$x\Pi 9$	4	$\Pi x_c$	$Fx^Y$	3	/
$x\Pi 1$	3	$\Pi x_c$	$Fx^Y$	4	$\times$	3	/	$x\Pi 2$	$\Pi x_c$
$Fx^2$	2	$\times$	$\Pi x_1$	+	$\Pi x_2$	+	$\Pi x_4$	$\times$	$\Pi x_9$
+	$x\Pi 9$	C/P							

**Инструкция.** Ввод  $H \rightarrow 0$ ;  $b \rightarrow 1$ ;  $l \rightarrow 2$ ;  $l \rightarrow 2$ ;  $p \rightarrow 3$ ;  $A \rightarrow 4$ ;  $E_b \rightarrow 5$ ;  $s \rightarrow 6$ ;  $r \rightarrow 7$ ;  $x \rightarrow d$ . В/О С/П. Индикация —  $y$ ;  $f \leftarrow 8$ ;  $y \leftarrow 9$ ;  $A \leftarrow a$ ;  $B_0 \leftarrow b$ ;  $\xi \leftarrow c$ .

**Контрольный пример.**  $21 \rightarrow 0$ ;  $18 \rightarrow 1$ ;  $4,2 \rightarrow 2$ ;  $10,44 \rightarrow 3$ ;  $1,92 \rightarrow 4$ ;  $2,9 \times 10^7 \rightarrow 5$ ;  $23,57 \cdot 10^4 \rightarrow 6$ ;  $1,39 \cdot 10^4 \rightarrow 7$ ;  $12,6 \rightarrow d$ .

**Результат:**  $y = 5,15 \cdot 10^{-2}$ ;  $f = 6,13 \cdot 10^{-2}$ ;  $A = 3,75 \cdot 10^4$ ;  $B_0 = 9,02 \cdot 10^9$ ;  $\xi = 0,6$ .

Время счета: 35 с.

## Программа 3.3

### Определение жесткостных характеристик здания рамно-связевой системы со сплошными диафрагмами

$\Pi x_7$	$\Pi x_8$	+	$x\Pi d$	$\Pi x_1$	$Fx^2$	$\Pi x_3$	$\times$	$\Pi x_4$	$\times$
2	/	$x\Pi c$	$\Pi x_5$	$F1/x$	$\Pi x_6$	$F1/x$	+	$\Pi x_2$	$\times$
1	2	$\leftrightarrow$	/	$x\Pi b$	$\Pi x_7$	$\Pi x_c$	/	1	$\pm$
$x\Pi a$	$\Pi x_b$	$\times$	$\Pi x_d$	/	$FV$	$\Pi x_0$	$\times$	$x\Pi 9$	1
—	$\Pi x_9$	$Fx^2$	/	$x\Pi 0$	/—/	0	.	5	+
$\Pi x_9$	$Fx^2$	/	$x\Pi 1$	C/P					

**Инструкция.** Ввод  $H \rightarrow 0$ ;  $b \rightarrow 1$ ;  $l \rightarrow 2$ ;  $A \rightarrow 3$ ;  $E_b \rightarrow 4$ ;  $s \rightarrow 5$ ;  $r \rightarrow 6$ ;  $\Sigma B_i \rightarrow 7$ ;  $\Sigma B_d \rightarrow 8$ . В/О С/П. Результаты для  $\delta_1$  и  $\delta_2$  действительны при  $\lambda = 5..40$ . Индикация —  $\delta_2$ ;  $\delta_1 \leftarrow 0$ ;  $\delta_2 \leftarrow 1$ ;  $\lambda \leftarrow 9$ ;  $v^2 \leftarrow a$ ;  $A \leftarrow b$ ;  $B_0 \leftarrow c$ ;  $B \leftarrow d$ .

**Контрольный пример.**  $21 \rightarrow 0$ ;  $12 \rightarrow 1$ ;  $4,2 \rightarrow 2$ ;  $1,92 \rightarrow 3$ ;  $2,9 \cdot 10^7 \rightarrow 4$ ;  $2,65 \cdot 10^5 \rightarrow 5$ ;  $3,13 \cdot 10^4 \rightarrow 6$ ;  $1,11 \cdot 10^6 \rightarrow 7$ ;  $1,53 \cdot 10^8 \rightarrow 8$ .

**Результат:**  $\delta_2 = 12,12$ ;  $\delta_1 = -2,27$ ;  $\lambda = 0,48$ ;  $v^2 = 1,00$ ;  $A = 8 \cdot 10^4$ ;  $B_0 = 4 \cdot 10^9$ ;  $B = 1,54 \cdot 10^8$ . Полученные коэффициенты  $\delta_1$  и  $\delta_2$  недействительны, принимаем значение их по табл. 3.5.  $\delta_1 = 0,48$ ,  $\delta_2 = 0,117$ .

Время счета: 19 с.

## Программа 3.4

### Определение перемещений и усилий в несущих элементах здания рамно-связевой системы со сплошными диафрагмами

$\Pi x_4$	1	—	8	/	$\Pi x_6$	+	$\Pi x_2$	$\times$	$\Pi x_0$
$Fx^2$	$Fx^2$	$\times$	$\Pi x_3$	/	$\Pi x_4$	+	$x\Pi d$	$\Pi x_4$	1
—	2	/	$\Pi x_5$	+	$\Pi x_2$	$\times$	$\Pi x_0$	$Fx^2$	$\times$
$\Pi x_4$	/	/—/	$x\Pi c$	$\Pi x_2$	$\Pi x_0$	$\times$	$x\Pi b$	0	.
5	$\Pi x_2$	$\times$	$\Pi x_0$	$Fx^2$	$\times$	/—/	$\Pi x_c$	—	$\Pi x_1$
/	$x\Pi a$	$\Pi x_7$	$\Pi x_2$	$\times$	$\Pi x_0$	$\times$	$\Pi x_4$	/	$x\Pi 9$
C/P									

**Инструкция.** Ввод  $H \rightarrow 0$ ;  $b \rightarrow 1$ ;  $P \rightarrow 2$ ;  $B \rightarrow 3$ ;  $v^2 \rightarrow 4$ ;  $\delta_1 \rightarrow 5$ ;  $\delta_2 \rightarrow 6$ ;  $k_1 \rightarrow 7$ . В/О С/П. Индикация —  $Q_p$ ;  $Q_p \leftarrow 9$ ;  $N \leftarrow a$ ;  $Q \leftarrow b$ ;  $M \leftarrow c$ ;  $f \leftarrow d$ .

**Контрольный пример.**  $21 \rightarrow 0$ ;  $12 \rightarrow 1$ ;  $10,44 \rightarrow 2$ ;  $1,54 \cdot 10^8 \rightarrow 3$ ;  $1 \rightarrow 4$ ;  $0,48 \rightarrow 5$ ;  $0,117 \rightarrow 6$ ;  $0,0037 \rightarrow 7$ .

**Результат:**  $Q_p = 0,81$ ;  $Q_p = 0,81$ ;  $N = -7,67$ ;  $Q = 219,24$ ;  $M = -2210$ ;  $f = 1,54 \cdot 10^{-3}$ .

Время счета: 18 с.

### Программа 3.5

Определение жесткостных характеристик здания рамно-связевой системы с проемными диафрагмами

$$\begin{array}{ccccccccc}
 \text{Пх3} & \text{Пх4} & \times & \text{Пх1} & \text{Fx}^2 & \times & 4 & / & \text{xПc} & \text{Пх9} \\
 + & x\text{П8} & \text{Пх7} & + & x\text{Пd} & 1 & 2 & \text{Пх6} & \times & \text{Пх2} \\
 / & x\text{Пb} & \text{Пх9} & \text{Пxс} & / & 1 & + & x\text{Пa} & \text{Пхb} & \times \\
 \text{Пxd} & / & FV & \text{Пx0} & \times & x\text{П5} & 1 & - & \text{Пх5} & \text{Fx}^2 \\
 / & x\text{П0} & /-/- & 0 & \cdot & 5 & + & \text{Пх5} & \text{Fx}^2 & / \\
 \text{xП1} & \text{C/П} & & & & & & & & 
 \end{array}$$

**Инструкция.** Ввод  $H \rightarrow 0$ ;  $a \rightarrow 1$ ;  $l \rightarrow 2$ ;  $(A_1 + A_2) \rightarrow 3$ ;  $E_b \rightarrow 4$ ;  $r = r_{t \text{ пер}} \rightarrow 6$ ;  $\Sigma b_t \rightarrow 7$ ;  $B\Sigma_i$  прост  $\rightarrow 9$ . В/О С/П. Значения  $\delta_1, \delta_2$  действительны при  $\lambda = 5 \dots 40$ ; в противном случае принимают по табл. 3.5. Индикация —  $\delta_2$ ;  $\delta_1 \leftarrow 0$ ;  $\delta_2 \leftarrow 1$ ;  $\lambda \leftarrow 5$ ;  $B_g \leftarrow 8$ ;  $K \leftarrow b$ ;  $B_0 \leftarrow c$ ;  $B \leftarrow d$ .

**Контрольный пример.**  $21 \rightarrow 0$ ;  $4 \rightarrow 1$ ;  $4,2 \rightarrow 2$ ;  $0,576 \rightarrow 3$ ;  $2,9 \cdot 10^7 \rightarrow 4$ ;  $1,16 \times 10^4 \rightarrow 6$ ;  $1,11 \cdot 10^6 \rightarrow 7$ ;  $3,56 \cdot 10^6 \rightarrow 9$ .

**Результат:**  $\delta_2 = 13,87$ ;  $\delta_1 = -2,48$ ;  $\lambda = 0,46$ ;  $B_g = 7,03 \cdot 10^7$ ;  $K = 3,3142 \times 10^4$ ;  $B_0 = 6,68 \cdot 10^7$ ;  $B = 7,15 \cdot 10^7$ .

Время счета: 16 с.

### Программа 3.6

Определение перемещений и усилий в несущих элементах здания рамно-связевой системы с проемными диафрагмами

$$\begin{array}{ccccccccc}
 \text{Пх4} & 1 & - & 8 & / & \text{Пх6} & + & \text{Пх2} & \times & \text{Пх0} \\
 \text{Fx}^2 & Fx^2 & \times & \text{Пх3} & / & \text{Пх4} & / & x\text{Пd} & \text{Пx4} & 1 \\
 - & 2 & / & \text{Пх5} & + & \text{Пх2} & \times & \text{Пх0} & \text{Fx}^2 & \times \\
 \text{Пх4} & / & /-/- & x\text{Пc} & \text{Пх2} & \text{Пх0} & \times & x\text{Пb} & 0 & . \\
 5 & \text{Пх2} & \times & \text{Пх0} & Fx^2 & \times & - & \text{Пxс} & - & \text{Пх1} \\
 / & x\text{П5} & \text{Пх7} & \text{Пх2} & \times & \text{Пх0} & \times & \text{Пхa} & \times & \text{Пх8} \\
 / & \text{Пх4} & / & x\text{П6} & \text{Пх9} & \times & 2 & / & x\text{П7} & \text{C/П}
 \end{array}$$

**Инструкция.** Ввод  $H \rightarrow 0$ ;  $b \rightarrow 1$ ;  $P \rightarrow 2$ ;  $B \rightarrow 3$ ;  $v^2 \rightarrow 4$ ;  $\delta_1 \rightarrow 5$ ;  $\delta_2 \rightarrow 6$ ;  $K_1 \rightarrow 7$ ;  $a \rightarrow 8$ ;  $a_0 \rightarrow 9$ ;  $l \rightarrow a$ . В/О С/П. Индикация —  $M_{\text{пер}}$ ;  $N \leftarrow 5$ ;  $Q_{\text{пер}} \leftarrow 6$ ;  $M_{\text{пер}} \leftarrow 7$ ;  $Q \leftarrow b$ ;  $M \leftarrow c$ ;  $f \leftarrow d$ .

**Контрольный пример.**  $21 \rightarrow 0$ ;  $12 \rightarrow 1$ ;  $10,44 \rightarrow 2$ ;  $7,15 \cdot 10^7 \rightarrow 3$ ;  $1,05 \rightarrow 4$ ;  $0,48 \rightarrow 5$ ;  $0,117 \rightarrow 6$ ;  $0,037 \rightarrow 7$ ;  $4 \rightarrow 8$ ;  $2,4 \rightarrow 9$ ;  $4,2 \rightarrow a$ .

**Результат:**  $M_{\text{пер}} = 9,73$ ;  $N = 10,96$ ;  $Q_{\text{пер}} = 8,11$ ;  $Q = 219,24$ ;  $M = -2214,32$ ;  $f = 3,3 \cdot 10^{-3}$ .

Время счета: 18 с.

### Программа 3.7

Определение усилий и площади сечения арматуры пилона при сдвиге

$$\begin{array}{ccccccccc}
 \text{Пх5} & \text{Пх6} & + & x\text{П6} & \text{Пх4} & \times & 2 & / & \text{Пх8} & / \\
 x\text{П5} & \text{Пx0} & \text{Пx1} & - & \text{Пх7} & \leftrightarrow & / & x\text{Пd} & \text{Пx5} & + \\
 x\text{П8} & \text{Пxd} & 0 & \cdot & 3 & 5 & / & \text{Пхa} & / & \text{Пх3} \\
 / & x\text{П0} & \text{Пx2} & - & Fx < 0 & 38 & \text{Пx0} & x\text{П2} & \text{Пх8} & \text{Fx}^2 \\
 \text{Пх9} & \times & 1 & 6 & / & \text{Пхb} & / & \text{Пxс} & / & \text{Пх2} \\
 / & \text{Пx3} & Fx^2 & / & x\text{П1} & \text{C/П} & & & & 
 \end{array}$$

**Инструкция.** Ввод  $h \rightarrow 0$ ;  $h_f \rightarrow 1$ ;  $b \rightarrow 2$ ;  $l \rightarrow 3$ ;  $H_t \rightarrow 4$ ;  $R_x b_0 \rightarrow 5$ ;  $R_y a_0 \rightarrow 6$ ;  $Q \rightarrow 7$ ;  $\Omega \rightarrow 8$ ;  $u \rightarrow 9$ ;  $R_b \rightarrow a$ ;  $R_{bt} \rightarrow b$ ;  $R_{sw} \rightarrow c$ . В/О С/П. Индикация —  $A_s$ ,  $b$  (расчетное)  $\leftarrow 0$ ;  $A \leftarrow 1$ ;  $T_{\text{kp}} \leftarrow 5$ ;  $(T_{\text{kp}} + T) \leftarrow 8$ ;  $T \leftarrow d$ .

**Контрольный пример.**  $6 \rightarrow 0; 0,4 \rightarrow 1; 0,18 \rightarrow 2; 4,2 \rightarrow 3; 21 \rightarrow 4; 317,5 \rightarrow 5;$   
 $26,4 \rightarrow 6; 219,2 \rightarrow 7; 72 \rightarrow 8; 0,15 \rightarrow 9; 17 \cdot 10^3 \rightarrow a; 1200 \rightarrow b; 29 \cdot 10^4 \rightarrow c.$

**Результат:**  $A = 3,4 \cdot 10^{-6}; b \text{ (расчетное)} = 3,57 \cdot 10^{-3}; T_{kp} = 50,15; (T_{kp} + T) = 89,29; T = 39,14.$

*Время счета:* 14 с.

### Программа 3.8

Определение положения центра изгиба здания прямоугольного плана

$$\begin{array}{ccccccccccccc} \text{Пх0} & \text{Пх6} & \times & \text{Пх1} & \text{Пх7} & \times & + & \text{Пх2} & \text{Пх8} & \times \\ + & \text{Пх3} & \text{Пх9} & \times & + & \text{Пх4} & \text{Пх}a & \times & + & \text{Пх5} \\ \text{Пх}b & \times & + & \text{xPc} & \text{Пх0} & \text{Пх1} & + & \text{Пх2} & + & \text{Пх3} \\ + & \text{Пх4} & + & \text{Пх5} & + & \text{Пх}c & \leftrightarrow & / & \text{xPd} & \text{Пх0} \\ \text{Пх1} & + & \text{Пх2} & + & \text{Пх3} & + & \text{Пх4} & + & \text{Пх5} & + \\ \text{xP0} & \text{C/P} & & & & & & & & & \end{array}$$

**Инструкция.** Ввод  $I_{x_1}(I_{y_1}) \rightarrow 0; I_{x_2}(I_{y_2}) \rightarrow 1; I_{x_3}(I_{y_3}) \rightarrow 2; I_{x_4}(I_{y_4}) \rightarrow 3;$   
 $I_{x_5}(I_{y_5}) \rightarrow 4; I_{x_6}(I_{y_6}) \rightarrow 5; a_1(b_1) \rightarrow 6; a_2(b_2) \rightarrow 7; a_3(b_3) \rightarrow 8; a_4(b_4) \rightarrow 9; a_5(b_5) \rightarrow$   
 $\rightarrow a; a_6(b_6) \rightarrow b.$  В/О С/П. Индикация —  $\Sigma I_{x_i} (\Sigma I_{y_i}); \Sigma I_{x_i} a_i (\Sigma I_{y_i} b_i) \leftarrow c; a_0(b_0) \leftarrow$   
 $\leftarrow d.$

**Контрольный пример.**  $2,721 \cdot 10^{-3} (2,636) \rightarrow 0; 2,636 (2,721 \cdot 10^{-3}) \rightarrow 1;$   
 $12(0) \rightarrow 6; 9(3) \rightarrow 7.$

**Результат:**  $\Sigma I_{x_i} = 2,64 (\Sigma I_{y_i} = 2,64); \Sigma I_{x_i} a_i = 23,75, (\Sigma I_{y_i} b_i = 8,16 \cdot 10^{-3});$   
 $a_0 = 9 (b_0 = 3,09 \cdot 10^{-3}).$

*Время счета:* 15 с.

### Программа 3.9

Определение суммы центробежных моментов инерции пилонов относительно собственных осей, а также их произведения на расстояние от центральных осей до центра тяжести пилононв \*

$$\begin{array}{ccccccccccccc} \text{Пх0} & \text{Пх6} & \times & \text{Пх1} & \text{Пх7} & \times & + & \text{Пх2} & \text{Пх8} & \times \\ + & \text{Пх3} & \text{Пх9} & \times & + & \text{Пх4} & \text{Пх}a & \times & + & \text{Пх5} \\ \text{Пх}b & \times & + & \text{xPc} & \text{Пх0} & \text{Пх1} & + & \text{Пх2} & + & \text{Пх3} \\ + & \text{Пх4} & + & \text{Пх5} & + & \text{xPd} & \text{C/P} & & & & \end{array}$$

**Инструкция.** Ввод  $I_{xy_1} \rightarrow 0; I_{xy_2} \rightarrow 1; I_{xy_3} \rightarrow 2; I_{xy_4} \rightarrow 3; I_{xy_5} \rightarrow 4; I_{xy_6} \rightarrow 5;$   
 $a_1(b_1) \rightarrow 6; a_2(b_2) \rightarrow 7; a_3(b_3) \rightarrow 8; a_4(b_4) \rightarrow 9; a_5(b_5) \rightarrow a; a_6(b_6) \rightarrow b.$  В/О С/П. Индикация —  $\Sigma I_{xy} \Sigma I_{xy} a_i (\Sigma I_{xy} b_i) \leftarrow c.$

**Контрольный пример.**  $0,0846 \rightarrow 0; 0,0846 \rightarrow 1; 12(0) \rightarrow 6; 9(3) \rightarrow 7.$

**Результат:**  $\Sigma I_{xy} = 1,69 \cdot 10^{-1}; \Sigma I_{xy} a_i = 1,77 (\Sigma I_{xy} b_i = 2,54 \cdot 10^{-1}).$

*Время счета:* 10 с.

### Программа 3.10

Определение центра изгиба здания с произвольным расположением и профилем пилононв

$$\begin{array}{ccccccccccccc} \text{Пх0} & \text{Пх1} & \times & \text{Пх2} & Fx^2 & - & xPd & \text{Пх0} & \leftrightarrow & / \\ xPc & \text{Пх1} & \text{Пх}d & / & xPb & \text{Пх2} & \text{Пх}d & / & xPa & \text{Пх3} \\ \text{Пх4} & - & \text{Пх}b & \times & xP9 & \text{Пх5} & \text{Пх4} & - & \text{Пх}a & \times \\ /-/- & \text{Пх9} & + & xP9 & \text{Пх4} & \text{Пх5} & - & \text{Пх}c & \times & xP8 \\ \text{Пх6} & \text{Пх3} & - & \text{Пх}a & \times & /-/- & \text{Пх8} & + & xP8 & \text{C/P} \end{array}$$

\* Общее количество пилонов — не более шести.

**Инструкция.** Ввод  $\Sigma I_{x_l} \rightarrow 0$ ;  $\Sigma I_{y_l} \rightarrow 1$ ;  $\Sigma I_{xy_l} \rightarrow 2$ ;  $I_{x_l} a_l \rightarrow 3$ ;  $I_{y_l} b_l \rightarrow 4$ ;  $\Sigma I_{xy_l} a_l \rightarrow 5$ ;  $\Sigma I_{xy_l} b_l \rightarrow 6$ . В/О С/П. Индикация  $b_0$ ;  $b_0 \leftarrow 8$ ;  $a_0 \leftarrow 9$ ;  $A_{xy} \leftarrow a$ ;  $A_y \leftarrow b$ ;  $A_x \leftarrow c$ .

**Контрольный пример.**  $2,64 \rightarrow 0$ ;  $2,64 \rightarrow 1$ ;  $0,169 \rightarrow 2$ ;  $23,75 \rightarrow 3$ ;  $8,16 \cdot 10^{-3} \rightarrow 4$ ;  $1,78 \rightarrow 5$ ;  $2,54 \cdot 10^{-1} \rightarrow 6$ .

**Результат:**  $b_0 = -0,1$ ;  $a_0 = 9,0$ ;  $A_{xy} = 2,44 \cdot 10^{-2}$ ;  $A_y = 0,038$ ;  $A_x = 0,38$ .  
**Время счета:** 15 с.

### Программа 3.11

#### Определение крутильного момента инерции

Пх6	Пхα	—	хП6	Fx <sup>2</sup>	Пх0	×	xПd	Пх7	Пхα
—	xП7	Fx <sup>2</sup>	Пх1	×	Пхd	+	xПd	Пх8	Пхb
—	xП8	Fx <sup>2</sup>	Пх2	×	Пхd	+	xПd	Пх9	Пхb
—	xП9	Fx <sup>2</sup>	Пх3	×	Пхd	+	xПd	Пх6	Пх8
×	Пх4	×	xПc	Пх7	Пх9	×	Пхб	×	Пхс
+	2	×	/—/	xПc	Пхd	+	xПd	C/П	

**Инструкция.** Ввод  $I_{x_l} \rightarrow 0$ ;  $I_{x_l} \rightarrow 1$ ;  $I_{y_1} \rightarrow 2$ ;  $I_{y_2} \rightarrow 3$ ;  $I_{xy_1} \rightarrow 4$ ;  $I_{xy_2} \rightarrow 5$ ;  $a_1 \rightarrow 6$ ;  $a_2 \rightarrow 7$ ;  $b_1 \rightarrow 8$ ;  $b_2 \rightarrow 9$ ;  $a_0 \rightarrow a$ ;  $b_0 \rightarrow b$ . В/О С/П. Индикация —  $I_\omega$ ;  $I_\omega \leftarrow d$ .

**Контрольный пример.**  $2,72 \cdot 10^{-3} \rightarrow 0$ ;  $2,64 \rightarrow 1$ ;  $2,64 \rightarrow 2$ ;  $2,72 \cdot 10^{-3} \rightarrow 3$ ;  $0,085 \rightarrow 4$ ;  $0,085 \rightarrow 5$ ;  $12 \rightarrow 6$ ;  $9 \rightarrow 7$ ;  $0 \rightarrow 8$ ;  $3 \rightarrow 9$ ;  $8,99 \rightarrow a$ ;  $-0,1 \rightarrow b$ .

**Результат:**  $I_\omega = 2,1 \cdot 10^{-2}$ .

**Время счета:** 15 с.

### Программа 3.12

#### Проверка общей устойчивости здания

Пх3	2	.	3	×	Пх4	Fx <sup>2</sup>	/	xПd	Пх0
×	xПa	Пх1	Пхd	×	xПb	Пх7	Fx <sup>2</sup>	Пх8	Fx <sup>2</sup>
+	1	2	/	Пх6	Fx <sup>2</sup>	+	Пх5	Fx <sup>2</sup>	+
xП0	Пхd	↔	/	Пх2	×	xПc	Пхa	—	Fx < 0
61	Пхc	Пхb	—	Fx < 0	61	Пхc	xП1	Пх9	1
.	5	×	Пх1	—	Fx < 0	59	1	C/П	1
/—/	C/П	Пхa	Пхb	—	Fx < 0	70	Пхa	xП1	БП
48	Пхb	xП1	БП	48					

**Инструкция.** Ввод  $\Sigma I_{x_l} \rightarrow 0$ ;  $\Sigma I_{y_l} \rightarrow 1$ ;  $I_\omega \rightarrow 2$ ;  $E_b \rightarrow 3$ ;  $H \rightarrow 4$ ;  $a_0 \rightarrow 5$ ;  $b_0 \rightarrow 6$ ;  $L_1 \rightarrow 7$ ;  $L_2 \rightarrow 8$ ;  $G^h \rightarrow 9$ . В/О С/П. Индикация — +1 (устойчивость обеспечена) или —1 (устойчивость не обеспечена);  $\gamma \leftarrow 0$ ;  $G_x \leftarrow a$ ;  $G_y \leftarrow b$ ;  $G_\omega \leftarrow c$ .

**Контрольный пример.**  $2,64 \rightarrow 0$ ;  $2,64 \rightarrow 1$ ;  $4,58 \cdot 10^{-2} \rightarrow 2$ ;  $2,9 \cdot 10^7 \rightarrow 3$ ;  $21 \rightarrow 4$ ;  $8,99 \rightarrow 5$ ;  $-0,1 \rightarrow 6$ ;  $30 \rightarrow 7$ ;  $12 \rightarrow 8$ ;  $41\,000 \rightarrow 9$ .

**Результат:** —1 (устойчивость не обеспечена);  $\gamma = 167,8$ ;  $G_x = 3,99 \cdot 10^5$ ;  $G_y = 3,99 \cdot 10^5$ .

**Время счета:** 20 с.

### Программа 3.13

#### Проверка прогиба здания от крена

Пх1	Пх2	×	xПa	Пх3	↔	/	xПb	Пх0	×
xПc	Пх4	+	xПd	0	.	0	0	1	Пх0
.	xП9	Пхd	—	Fx ≥ 0	28	1	C/П	1	/—/
C/П									

**Инструкция.** Ввод  $H \rightarrow 0$ ;  $c \rightarrow 1$ ;  $I_\Phi \rightarrow 2$ ;  $M \rightarrow 3$ ;  $f_{\text{гор}} \rightarrow 4$ . В/О С/П. Индикация — +1, прогиб допустимый. Индикация — 1, прогиб недопустимый.  $[f] \leftarrow 9$ ;  $B_\Phi \leftarrow a$ ;  $\Theta \leftarrow b$ ;  $f_{\text{кр}} \leftarrow c$ .

**Контрольный пример.**  $21 \rightarrow 0$ ;  $5 \cdot 10^4 \rightarrow 1$ ;  $40,5 \rightarrow 2$ ;  $2209 \rightarrow 3$ ;  $0,0015 \rightarrow 4$ .

**Результат:** —1;  $B_\Phi = 2,025 \cdot 10^6$ ;  $\Theta = 1,09 \cdot 10^{-3}$ ;  $f_{\text{кр}} = 2,29 \cdot 10^{-2}$ .

**Время счета:** 10 с.

### Программа 3.14

#### Определение динамических характеристик здания

$\Pi x2$	$\Pi x3$	/	$\Pi x6$	/	$x\Pi 9$		$\Pi x4$	/	$FV$	$\Pi x3$
$Fx^2$	X	$B \uparrow$	$F\pi$	X	2		X	1	.	8
7	5	$Fx^2$	/	$x\Pi d$	$F1/x$	$B \uparrow$	$x\Pi c$	$F\pi$	$\Pi x d$	/
2	X	$x\Pi b$	$\Pi x0$	$\Pi x1$	X		0	.	8	5
X	$\Pi x9$	↔	/	$\Pi x5$	X		$FV$	$\Pi x3$	$Fx^2$	X
2	.	1	7	X	$x\Pi a$		C/P			

**Инструкция.** Ввод  $E_b \rightarrow 0$ ;  $I_\omega \rightarrow 1$ ;  $G^H \rightarrow 2$ ;  $H \rightarrow 3$ ;  $B \rightarrow 4$ ;  $\gamma \rightarrow 5$ . В/О С/П. Индикация —  $T_{\text{кр}}$ ;  $m \leftarrow 9$ ;  $T_{\text{кр}} \leftarrow a$ ;  $\omega_1 \leftarrow b$ ;  $\lambda_1 \leftarrow c$ ;  $T_i \leftarrow d$ .

**Контрольный пример.**  $2,9 \cdot 10^7 \rightarrow 0$ ;  $0,0458 \rightarrow 1$ ;  $41 \rightarrow 2$ ;  $21 \rightarrow 3$ ;  $7,15 \cdot 10^7 \rightarrow 4$ ;  $167 \rightarrow 5$ ;  $10 \rightarrow 6$ .

**Результат:**  $T_{\text{кр}} = 5,14$ ;  $m = 0,195$ ;  $\omega_1 = 152,5$ ;  $\lambda_1 = 24,2$ ;  $T_i = 0,041$ .

**Время счета:** 15 с.

## 3.2. РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ БЕСКАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ

### 3.2.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ В НЕСУЩЕЙ СИСТЕМЕ ЗДАНИЯ

Для расчета многоэтажных бескаркасных зданий, конструктивно-планировочные решения которых не изменяются по высоте (регулярная система), рекомендуется использовать расчетную схему в виде вертикальной составной системы. В ней различают несущие (участки стен, ограниченные в плане проемами или вертикальными стыковыми соединениями, а также стволы (ядра) жесткости, колонны, пилоны и др.) и связевые (диски перекрытий, надпроемные перемычки, ригели, соединения в стыках) элементы. При расчете составных систем дискретные связевые элементы заменяют непрерывными эквивалентными по жесткости. Вертикальную диафрагму жесткости, имеющую регулярно расположенные по высоте проемы, вертикальные стыки или швы бетонирования, рассматривают как составную систему из  $m$  столбов, соединенных ( $m - 1$ ) рядами связей сдвига (рис. 3.9).

Для каждого столба определяют приведенный модуль деформации  $E_{red}$ , учитывающий влияние горизонтальных стыков сборных элементов или горизонтальных швов бетонирования стен из монолитного бетона, а также продолжительность действия нагрузки:

$$E_{red} = E_b / (\varphi_b + \lambda_c E_b / H_0), \quad (3.35)$$

где  $\varphi_b$  — коэффициент, учитывающий влияние ползучести бетона и зависящий от длительности действия нагрузки; при расчете на кратковременные нагрузки бетонов принимается равным для тяжелого и легкого на пористом заполнителе 1,2 и для легкого на пористом мелком заполнителе — 1,4;  $\lambda_c$  — коэффициент податливости при сжатии.

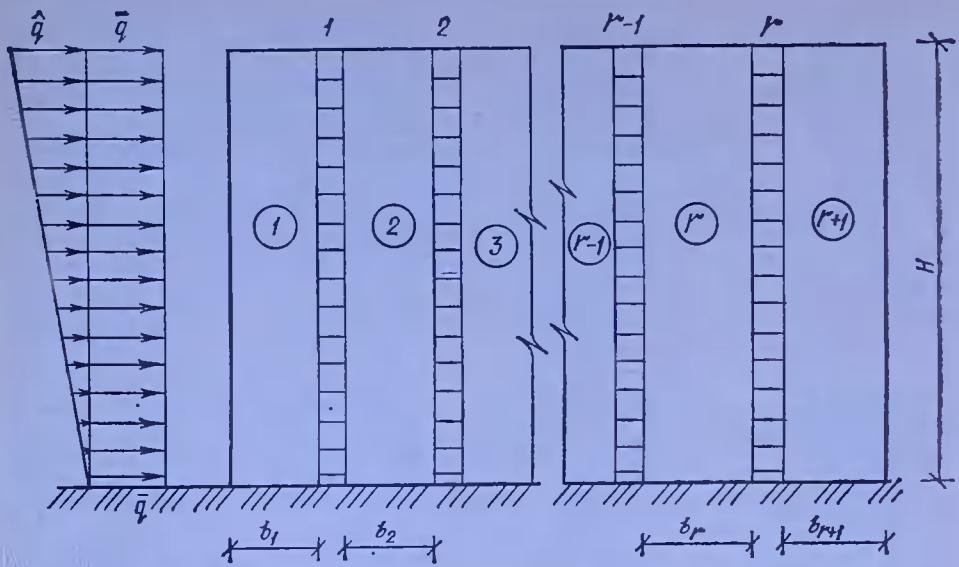


Рис. 3.9. Расчетная схема бескаркасного здания с  $r$  рядами податливых связей.

Стены, имеющие по длине в плане разрывы или проемы, перемычки над которыми не обеспечивают перераспределение усилий между пристенками, расчленяют на несколько вертикальных диафрагм жесткости. Размеры в плане простенков, примыкающих к основной стене диафрагмы жесткости, рекомендуется принимать не более 0,1 высоты здания и не более половины расстояния до соседней стены, параллельной стене рассматриваемого несущего элемента.

В составной системе различают жесткие и податливые связи сдвига. Связь сдвига  $i$  между столбами  $i$ ,  $i + 1$  считается жесткой, если выполняется условие (программа 3.15)

$$\mu_i \geq 12/n. \quad (3.36)$$

Здесь

$$\mu_i = V H_0 \gamma_i / \lambda_{ti}, \quad (3.37)$$

$n$  — количество этажей;  $\gamma_i$  — параметр, определяемый при расчете на нагрузки и воздействия. Для нагрузок и воздействий не вызывающих изгиба столбов (например, вертикальные нагрузки, неодинаковая усадка стен),

$$\gamma_i = \frac{1}{E_i A_i} + \frac{1}{E_{i+1} A_{i+1}} \quad (3.38)$$

и для вызывающих их изгиб (например, горизонтальные нагрузки),

$$\gamma_i = \frac{1}{E_i A_i} + \frac{1}{E_{i+1} A_{i+1}} + \frac{L_i^2}{E_i l_i + E_{i+1} l_{i+1}}, \quad (3.39)$$

где  $\lambda_{ti}$  — коэффициент податливости при сдвиге;  $E$ ,  $A$  — модуль упругости и площадь столба;  $L_i$  — расстояние между осями столбов. Столбы, соединенные жесткими связями, для расчета можно объединять в один.

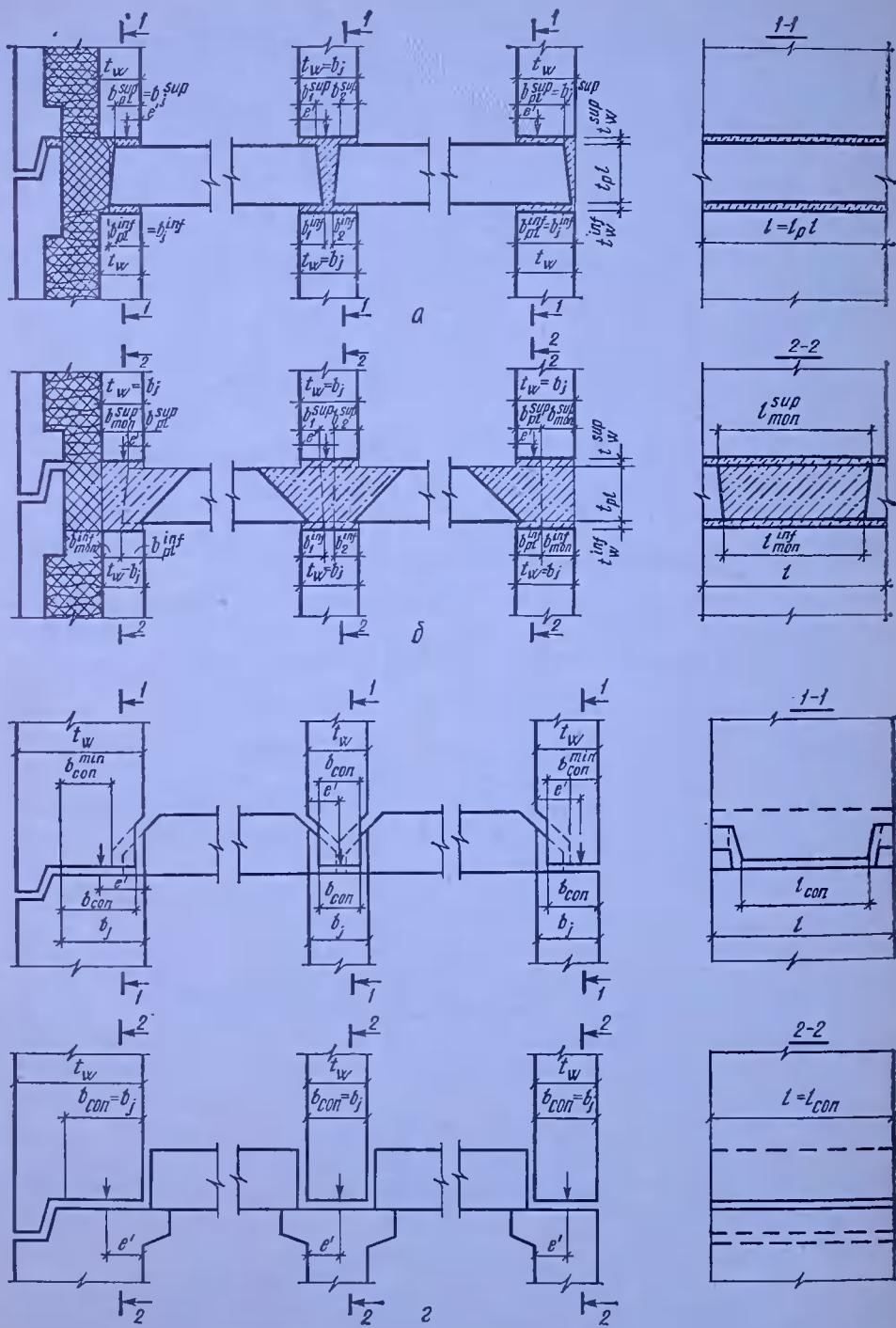
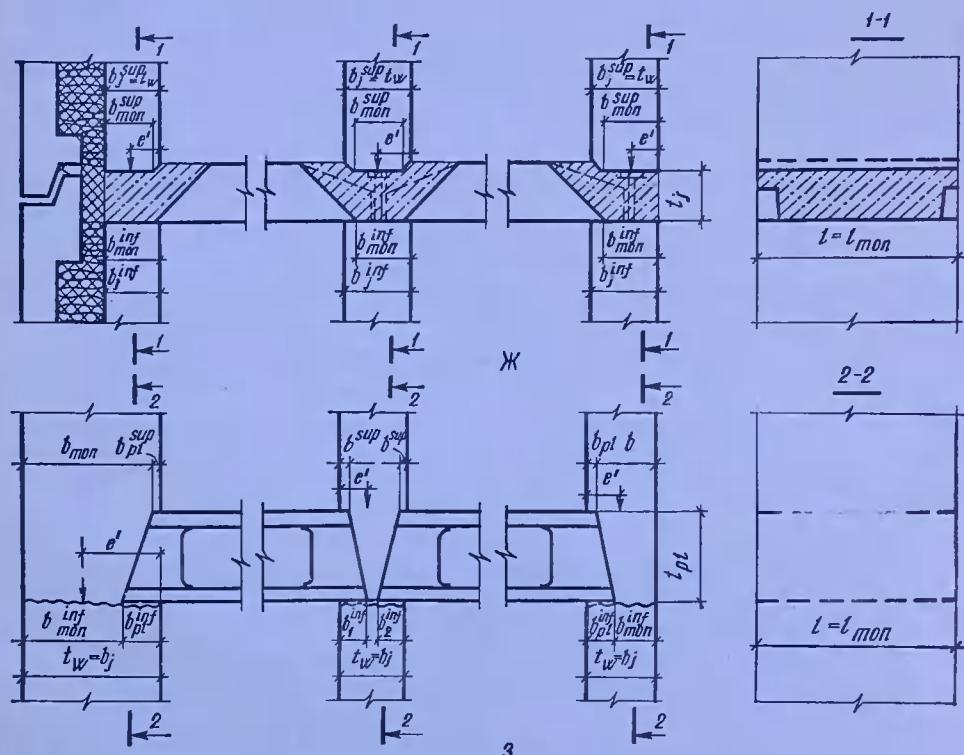
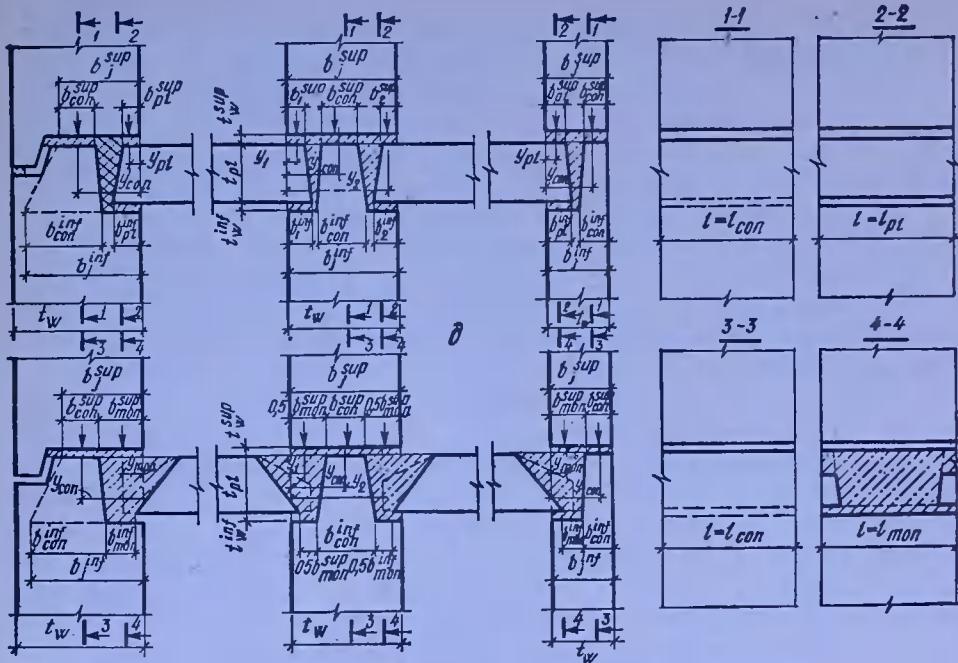


Рис. 3.10. К примеру расчета стыков:

*a* — платформенных; *b* — влагостойкимонолитных; *c*, *d* — контактных соответственно при контакте ограниченном и сплошном; *e* — контактно-платформенных; *f* — контактно-монолитных; *ж*, *з* — монолитных соответственно панельных и монолитных стен.



**Податливость соединений элементов конструкций.** Коэффициенты податливости соединений при растяжении  $\lambda_t$ , сдвиге  $\lambda_s$ , перемычек при перекосе  $\lambda_{ts}$  определяются от сосредоточенных сил, коэффициенты податливости соединений при сжатии  $\lambda_c$  и повороте  $\lambda_\phi$  — от распределенных. Для соединений, имеющих несколько характерных стадий работы (например, до образования трещин в соединении и после), коэффициенты податливости следует принимать различными для каждой стадии. Деформацию соединения в этом случае определяют как сумму деформаций от приращений усилий на отдельных этапах.

**Коэффициент податливости при растяжении  $\lambda_t$ .** Для соединения сборных элементов в виде сваренных между собой и замоноличенных бетоном арматурных выпусков

$$\lambda_t = 2a_{crc}/\sigma_s, \quad (3.40)$$

где  $a_{crc}$  — ширина раскрытия трещины;  $\sigma_s$  — растягивающие напряжения в арматурной связи. Деформации растяжения связей в виде петлевых выпусков диаметра 8...12 мм, соединенных между собой скобами из арматурной стали и замоноличенных бетоном класса не ниже В15, вычисляют как для сварных связей, площадь которых соответствует площади поперечного сечения арматуры петлевого выпуска. При этом диаметр арматуры скобы должен быть не менее диаметра петлевого выпуска.

**Коэффициент податливости при сжатии растворного шва  $\lambda_c$ .** При сжатии соединения элементов его устанавливают в зависимости от конструктивного типа стыка (рис. 3.10) в соответствии с табл. 3.6, а коэффициент податливости горизонтального растворного шва при кратковременном сжатии — в зависимости от толщины шва и среднего значения сжимающих напряжений в растворном шве:

$$\text{при } \sigma_m/R_m^{2/3} \leq 1,15 \quad \lambda_m = 1,5 \cdot 10^{-3} R_m^{-2/3} t_m;$$

$$\text{при } 1,15 < \sigma_m/R_m^{2/3} < 2 \quad \lambda_m = 5 \cdot 10^{-3} R_m^{-2/3} t_m,$$

где  $t_m$  — толщина шва, мм;  $R_m$  — прочность растворного шва, МПа.

**Таблица 3.6. Коэффициенты податливости**

№ п/п	Конструктивный тип соединения	Коэффициент податливости
----------	-------------------------------	--------------------------

#### Соединения при сжатии

- 1 Контактный горизонтальный стык с передачей сжимающей нагрузки через слой раствора толщиной не более 30 мм

$$\lambda_{c,con} = \left( \lambda_m + \frac{h_{con}}{E_{bw}} \right) \frac{A}{A_{con}}$$

- 2 Монолитный горизонтальный стык с передачей сжимающей нагрузки через растворный шов в уровне верха перекрытия и слой бетона

$$\lambda_{c,mon} = \left( \lambda_m + \lambda_{mon} + \frac{h_{mon}}{E_{mon}} \right) \frac{A}{A_{mon}}$$

№ п/п	Конструктивный тип соединения	Коэффициент податливости
8	Платформенный горизонтальный стык с передачей нагрузки через опорные участки плит перекрытий и два растворных шва между плитами перекрытий и соединяемыми элементами	$\lambda_{c,pl} = \left( \lambda'_m + \lambda''_m + \frac{h_{pl}}{E_{pl}} \right) \frac{A}{A_{pl}}$
4	Платформенно-монолитный стык с передачей сжимающей нагрузки через платформенный и монолитный участки	$\lambda_{c,pl,mon} = \frac{1}{1/\lambda_{c,pl} + 1/\lambda_{c,mon}}$
5	Контактно-платформенный стык с передачей сжимающей нагрузки через контактный и платформенный участки	$\lambda_{c,con,pl} = \frac{1}{1/\lambda_{c,con} + 1/\lambda_{c,pl}}$
6	Горизонтальные стыки стен из монолитного бетона со сборными плитами перекрытий	См. п. 4
<i>Сборные элементы при сдвиге</i>		
7	Бетонное шпоночное соединение из однотипных шпонок	$\lambda_{ts} = 0,01 (1/B_b + 1/B_{b,mon}) / A_{loc} n_k$
8	Армированное шпоночное соединение в стадии: а) до образования в стыке наклонных трещин	См. п. 7
	б) после образования трещин	$\lambda_{ts} = \frac{6}{d_s n_s} (1/E_b + 1/E_{mon})$
9	Бесшпоночное соединение сборных элементов с помощью замоноличенных бетоном арматурных связей	См. п. 8б
10	Оперты по контуру панели перекрытий при платформенном стыке стеновых панелей при марке раствора в швах не ниже М100 и деформациях сдвига не более 0,5 мм	$\lambda_{ts,pl} = 5 \cdot 10^{-6}$

При мечания:  $A$  — площадь горизонтального сечения стены в уровне расположения проемов;  $\lambda'_m$ ,  $\lambda''_m$  — коэффициенты податливости при сжатии соответственного верхнего и нижнего растворного швов;  $A_{loc}$  — площадь смятия шпонки,  $\text{мм}^2$ ;  $B_b$ ,  $B_{b,mon}$  — соответственно класс бетона сборного элемента и бетона замоноличивания;  $d_s$  — диаметр арматурных связей между сборными элементами,  $\text{мм}$ ;  $n_s$  — количество связей.

В стадии эксплуатации  $\lambda_m$  находят по табл. 3.7.

При длительном сжатии коэффициент податливости

$$\lambda_{m,t} = \lambda_m + C_m, \quad (3.41)$$

Таблица 3.7. Коэффициент кратковременной податливости растворных швов толщиной 20 мм при сжатии

Уровень напряженний $\alpha = \sigma_m / R_m^{2/3}$	$\lambda_m, 1/\text{МПа}, \text{при } R_m, \text{ МПа}$				
	1	2,5	5	10	20
$\alpha \leqslant 1,15$	0,030	0,015	0,010	0,0064	0,004
$1,15 < \alpha < 2$	0,100	0,054	0,034	0,0210	0,0013

где  $C_m$  — мера ползучести растворного шва при длительном сжатии, 1/МПа, принимаемая:

Прочность раствора в момент загружения длительной нагрузкой $R_m$ , МПа . . . . .	1	2,5	5	10	20 и более
Мера ползучести растворного шва при длительном сжатии, $C_m$ , 1/МПа . . . . .	0,1	0,05	0,03	0,025	0,015

Для горизонтального шва бетонирования стены из монолитного бетона классов В7,5...В15 коэффициент податливости при сжатии принимают равным для бетона тяжелого 0,01, легкого 0,02 1/МПа.

*Коэффициент податливости при сдвиге*  $\lambda_t$ . Коэффициент податливости при сдвиге  $\lambda_t$  соединения двух сборных элементов принимается равным сумме коэффициентов податливости для сечений, примыкающих к каждому из соединяемых элементов, по табл. 3.6.

*Коэффициент податливости перемычек*  $\lambda_{lin}$ . Это величина, численно равная взаимному линейному смещению ее опор по вертикали от единичной поперечной силы, вызывающей перекос перемычки.

Коэффициенты податливости перемычек при перекосе определяются на основе следующих предпосылок:

выделяют три последовательных стадии деформирования перемычки, границами которых являются моменты появления первых нормальных и наклонных трещин (рис. 3.11);

нормальные трещины первоначально образуются в опорных сечениях перемычки. По мере увеличения усилий, вызывающих перекос перемычки, могут образовываться дополнительные нормальные трещины, располагаемые далее от опорных сечений;

наклонные трещины возникают после образования всех нормальных. В тавровой перемычке наклонная трещина развивается только в пределах высоты стенки и, дойдя до полки, переходит в горизонтальную трещину.

В стадии до образования трещин  $\lambda_{lin}$  определяют по формулам для

Рис. 3.11. Диаграмма зависимости «поперечная сила  $Q$  — взаимное линейное смещение  $f$  опор перемычки» при перекосе (1,  $m$ ,  $\gamma$  — точки диаграммы, соответствующие образованию 1-й,  $m$ -й вертикальных трещин и наклонной трещины).

перемычки прямоугольного сечения:

$$\lambda_{lin} = \left( \frac{l_{red}^2}{h_{lin}^2} + 3 \right) \frac{l_{red}}{A_{lin} E_b} \quad (3.42)$$

и таврового

$$\lambda_{lin} = \frac{\beta_{red}^3}{12 E_b I_{lin}} + \frac{l_{red}}{G_b A_{lin}}, \quad (3.43)$$

где  $l_{red} = l + 0,6h_{lin}$ ,  $l$  — пролет перемычки в свету;  $h_{lin}$ ,  $A_{lin}$  — высота и площадь сечения перемычки;  $G_b$  — модуль сдвига бетона.

Для перемычки таврового сечения при определении  $A_{lin}$  свесы полок не учитывают.

При использовании расчетной схемы диафрагмы в виде составного стержня с непрерывными продольными связями в формулы (3.42) и (3.43) следует ввести дополнительное слагаемое  $\lambda_w$ , учитывающее податливость примыкающих к перемычке простенков от изгиба и сдвига в пределах этажа:

$$\lambda_w = \lambda_1 (s_1/H_0)^2 + \lambda_2 (s_2/H_0)^2, \quad (3.44)$$

где  $s$  — расстояние от середины пролета перемычки в свету до оси простенка, в который защемлена перемычка;  $H_0$  — высота этажа;  $\lambda$  — коэффициент податливости простенка при местном изгибе и сдвиге в пределах этажа:

$$\lambda_{1(2)} = \frac{(H_0 - h_{lin})^3}{12E_b I_{1(2)}} + \frac{\mu (H_0 - h_{lin})}{G_b A_{1(2)}}, \quad (3.45)$$

$\mu$  — коэффициент, принимаемый для прямоугольных в плане простенков равным 1,2, для простенков таврового и двутаврового сечения — 1;  $I$  — момент инерции сечения простенка в плане;  $A$  — площадь сечения простенка в плане (для тавровых и двутавровых сечений определяется без учета свесов полок). Индексы 1 и 2 относятся соответственно к левому и правому простенкам.

В стадии образования вертикальных трещин для сечения: прямоугольного

$$\lambda_{crc} = l \left[ \left( \frac{l^3}{h_{lin}^2} + 3 \right) E_b A_{lin} + \sum_m^m \frac{a_{crc}}{h_{lin}} \right]; \quad (3.46)$$

таврового

$$\lambda_{crc} = \frac{l^3}{12E_b} + \frac{l}{G_b A_{lin}} + l \sum_m^m \frac{a_{crc}}{h_{lin}}, \quad (3.47)$$

где  $m$  — количество вертикальных трещин в одной из растянутых опорных зон,

$$m = 0,5(l - 2W_{crc}R_{bt,ser}/Q_{lin})/l_{crc} + 1; \quad (3.48)$$

$l_{crc}$  — среднее расстояние между соседними вертикальными трещинами, мм (рис. 3.12);

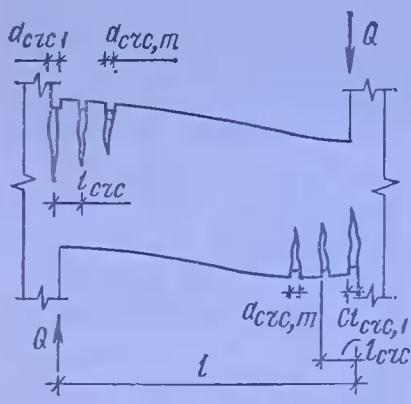
$$l_{crc} = \eta A_{lin} / (100\pi d_s); \quad (3.49)$$

$\eta$  — коэффициент, учитывающий вид и профиль арматуры и принимаемый для стержневой арматуры периодического профиля 1, гладкой — 1,3;

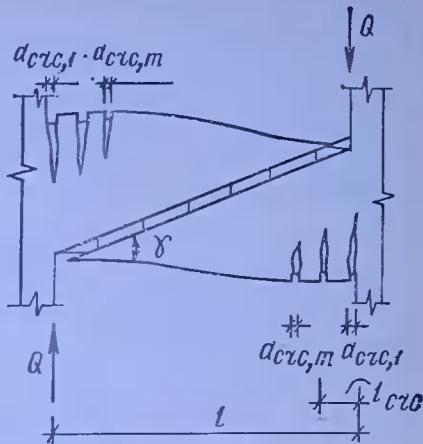
$$a_{crc} = \frac{10\eta (3,5 - 100\mu) \sqrt[3]{d_s [l - l_{crc}(m - 1)]}}{E_s A_s (h_0 - a)}. \quad (3.50)$$

В стадии образования наклонных трещин для сечений: прямоугольного (при  $l/h_{lin} \leq 1,5$ )

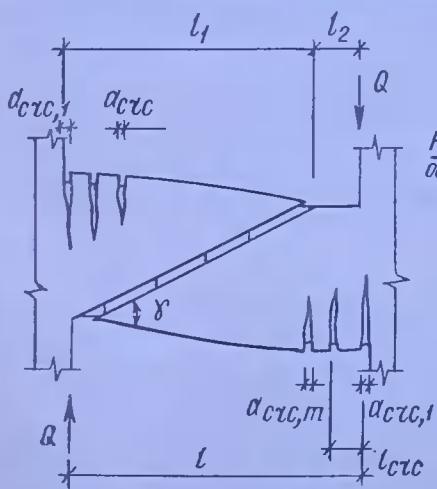
$$\lambda_{crc,\alpha} = \frac{l^3}{E_b I_{lin}} + \frac{2,4l}{G_b A_{lin}} + l \sum_m^m \frac{a_{crc}}{h_{lin}}; \quad (3.51)$$



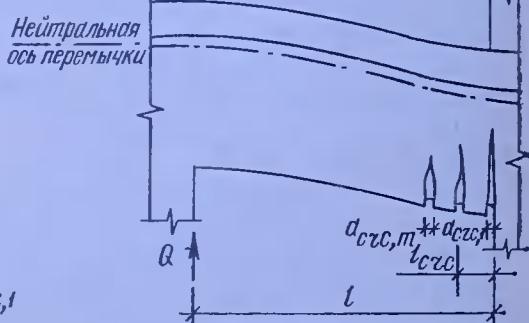
а



б



в



г

Рис. 3.12. Деформирование перемычек при перекосе:

а — прямоугольного сечения в стадии образования вертикальных трещин; б — то же, при  $l/h \leq 1,5$  в стадии образования наклонных трещин; в — то же, при  $l/h > 1,5$ ; г — таврового сечения в стадии образования вертикальных трещин.

прямоугольного (при  $l/h_{lin} > 1,5$ ):

$$\lambda_{crc,\alpha} = \frac{l_1^3 + 9l_1l_2(2l - l_2)}{E_b I_{lin}} + \frac{1,2(l + 2l_1)}{G_b A_{lin}} + l \sum_{i=1}^m \frac{a_{crc}}{h_{lin}}; \quad (3.52)$$

таврового

$$\lambda_{crc,\alpha} = \frac{l_1^3}{2E_b} \left( \frac{1}{I_{lin}} + \frac{1}{I_f} \right) + \frac{l_1}{G_b A_f} \left( 1 + 1,2 \frac{h - h_f}{h} \right) + \frac{l}{2} \sum_{i=1}^m \frac{a_{crc}}{h_{lin}}, \quad (3.53)$$

где  $I_f$ ,  $A_f$  — соответственно момент инерции и площадь поперечного сечения ребра перемычки высотой  $h_{lin} = h_f$ .

Податливость примыкающих простенков учитывают по аналогии с предыдущей стадией.

Податливость перемычки вычисляют методом последовательных приближений в следующем порядке (программа 3.16).

1. Определяют податливость в предположении отсутствия трещин.
2. В результате статического расчета здания находят  $Q_{lin}$ .
3.  $Q_{lin}$  сравнивают с поперечной силой, вызывающей образование вертикальной трещины:

$$Q_{crc,1} = 2W_{crc}l_{bt,ser}/l. \quad (3.54)$$

4. Если  $Q_{lin} < Q_{crc,1}$ , то повторного расчета не требуется, в противном случае необходимо установить значение поперечной силы, вызывающей образование наклонной трещины:

$$Q_a = A_{lin}R_{bt,ser}/\sin 2\alpha, \quad (3.55)$$

где  $\alpha = \arctg(l/h_{lin})$  — угол наклона наклонной трещины к горизонту (при  $l/h_{lin} > 1,5$  принимается  $\alpha = \arctg 1,5 = 34^\circ$ ).

5. Если  $Q_{lin} > Q_a$ , то находят податливость перемычки в стадии образования наклонных трещин, в противном случае — в стадии образования нормальных.

6. Далее производят статический расчет здания и определяют  $Q_{lin}$ . Если  $Q_{lin} < 2W_{crc}R_{bt,ser}/l$ , то пересчет не производится. В противном случае для прямоугольной перемычки расчет производится по программе 3.17, а для перемычки таврового сечения — по программе 3.18.

**Определение усилий в составной системе от совместного действия вертикальных и горизонтальных нагрузок.** Для расчета несущей системы здания найденную ветровую нагрузку умножают на длину фасада  $L$  (способ вычисления нагрузки см. в 3.1.2). При лоджиях, балконах с глухими ограждениями и подобных неровностей на фасадах, перпендикулярных рассматриваемому направлению, длину фасада принимают увеличенной на

$$\Delta L = 0,1l_l h_l \frac{m}{H},$$

где  $l_l$ ,  $h_l$  — соответственно длина и высота одной лоджии (балкона и т. п.);  $m$  — количество лоджий на фасадах, параллельных направлению ветра.

С целью определения усилий в плоском составном стержне с рядами податливых продольных связей используют метод сил. В качестве известных принимают продольные силы  $T_i$  ( $i = 1, \dots, r$ ), передаваемые между столбами  $i$  и  $i + 1$ . В сечении  $\xi = x/H$  ( $x$  — расстояние от верха здания до рассматриваемого сечения)

$$T_i(\xi) = \bar{T}_i(\xi) - \sum^k T_i^v \sin \omega_v \xi, \quad (3.56)$$

где

$$\bar{T}_i(\xi) = H^2 \beta_i \sum^4 \left( \xi - \frac{\xi^{i+1}}{i+1} \right) \frac{\Delta_{ij}}{j}, \quad (3.57)$$

$$\Delta_{ii} = \alpha_i \Delta t_i - \alpha_{i+1} \Delta t_{i+1} + \varepsilon_i^0 - \varepsilon_{i+1}^0 + \frac{p_i}{E_i A_i} - \frac{p_{i+1}}{E_{i+1} A_{i+1}} + \\ + \frac{L_i}{\Sigma EI} \sum_{j=1}^{r+1} \left( P_j e_j^0 + \alpha_j \Delta \theta_j \frac{E_j l_j}{b_j} \right); \quad (3.58)$$

$$\Delta_{i2} = H \left[ \left( s + \sum_{j=1}^{r+1} P_j e_j \right) L_i / \Sigma EI + \frac{p_i}{E_i A_i} - \frac{p_{i+1}}{E_{i+1} A_{i+1}} \right]; \quad (3.59)$$

$$\Delta_{i3} = \bar{q} H^2 L_i / 2 \Sigma EI; \quad (3.60) \quad \Delta_{i4} = \bar{q} H^2 L_i / 6 \Sigma EI. \quad (3.61)$$

$T_i^y$  находят из решения следующей системы алгебраических уравнений:

$$\omega_v^2 / (H^2 \beta_i) T_i^y + \sum_{l=1}^r \gamma_{il} T_l^y = \sum_{l=1}^r \gamma_{il} H^2 \beta_l F_l^y \quad (i = 1, 2, \dots, r); \quad (3.62)$$

$$F_l^y = \sum_{l=1}^4 \Delta_{ll} I_l^y; \quad (3.63) \quad I_1^y = 2/\omega_v^3, \quad (3.64) \quad I_2^y = 2 \sin \omega_v / \omega_v^4; \quad (3.65)$$

$$I_3^y = 4(\omega_v \sin \omega_v^2 - 1) / \omega_v^5; \quad (3.66) \quad I_4^y = 6 \sin \omega_v (\omega_v^2 - 2) / \omega_v^6; \quad (3.67)$$

$$\omega_v = (2v - 1) \frac{\pi}{2}; \quad (3.68)$$

$\beta_i$  — погонная жесткость при сдвиге связи между столбами  $i$  и  $i + 1$ , определяемая по формуле (3.69),  $\alpha_i$  — коэффициент линейного температурного расширения для столба  $i$ ;  $\gamma_{il}$  — коэффициенты:

$$\gamma_{i,i} = 1/E_i A_i + 1/E_{i+1} A_{i+1} + L_i^2 / \Sigma EI;$$

$$\gamma_{i+1,i} = \gamma_{i,i+1} = L_i L_{i+1} / \Sigma EI - 1/E A_{i+1};$$

$$\gamma_{i,j} = \gamma_{j,i} = L_i L_j / \Sigma EI \quad (i-1 > j > i+1);$$

$\Delta t_i$  — изменение средней температуры столба  $i$ ;  $\varepsilon_i^0$  — стесненная (средняя по толщине стены) деформация усадки столба;  $\Delta \theta_i$  — перепад температур по толщине столба;  $P_i$  — вертикальная сосредоточенная сила, приложенная в верхнем сечении столба;  $e_i^0$  — эксцентриситет продольной силы  $P_i$  в плоскости диафрагмы;  $p_i$  — равномерно распределенная по высоте продольная сжимающая сила в столбе;  $e_i$  — эксцентриситет продольной силы  $p_i$  в плоскости диафрагмы;  $S$  — сосредоточенная поперечная нагрузка, приложенная в сечении  $\xi = 0$ ;  $k$  — количество членов приближения.

В связи с быстрой сходимостью ряда при вычислении допускается учитывать один член ряда ( $k = 1$ ). Для определения усилий  $T_i(\xi)$  необходимо вычислить значения соответствующих коэффициентов по программам 3.19 и 3.22.

Усилия в составном стержне с  $r$  рядами податливых связей сдвига находят по формулам (программа 3.23):

продольная сила в сечении  $\xi$  столба  $i$

$$N_i(\xi) = N_i^0(\xi) + T_{i-1}(\xi) - T_i(\xi),$$

где

$$N_i^0(\xi) = P_i + \xi p_i H;$$

изгибающий момент в сечении  $\xi$  столба  $i$

$$M_i(\xi) = M_i^0(\xi) - \sum_{j=1}^r L_j T_j(\xi),$$

где  $M_i^0(\xi) = P_i e_i^0 + p_i H e_i \xi + S H \xi + \bar{q} \frac{H^2 \xi^2}{2} + \hat{q} H^2 \xi^3 / 6$ ;

сдвигающая сила в связях между столбами  $i$  и  $i+1$  в уровнях верхнего этажа  $n$

$$V_i(\xi_n) = T_i(\xi_n);$$

в уровне любого этажа  $l < n$

$$V_l(\xi_l) = T_l(\xi_l) - T_l(\xi_{l+1}),$$

где  $\xi_l = 1 - \frac{l+1}{n}$  ( $l = 1, 2, \dots, n-1$ ).

**Определение ускорения колебаний, возникающих в результате пульсации ветрового напора.** Жилые здания рекомендуется проектировать так, чтобы ускорение колебаний конструкций зданий, возникающих в результате пульсаций ветрового напора, не превышали  $0,1 \text{ м/с}^2$ . При определении ускорения учитывают расчетное значение ветровой нагрузки с коэффициентом надежности по нагрузке, равным 1. Для зданий стеновой конструктивной системы высотой менее 50 м разрешается не проверять значение ускорения, а для зданий и сооружений консольного типа допускается учитывать только первую форму собственных колебаний.

Период основного тона колебаний в случае, когда длина в плане вертикальных диафрагм не превышает 0,2 высоты здания, определяют по формуле

$$T_1 = 1,76 H^2 \sqrt{m/\Sigma EI_{red}},$$

где  $m$  — масса единицы высоты здания, рассматриваемого как консольный стержень;  $\Sigma EI_{red}$  — сумма приведенных жесткостей диафрагмы.

Приведенная изгибная жесткость вертикальной диафрагмы с рядами проемов (программа 3.24)

$$EI_{red} = \Sigma EI / \left( 1 - \frac{0,4H^2}{\Sigma EI} \sum_{i=1}^r L_i (L_i \beta_i - B_i) \right),$$

где  $B_i$  — корни уравнения (3.62) при  $v = 1$  для нагрузки в виде единичной сосредоточенной силы  $S = 1$ , приложенной в сечении  $\xi = 0$ ;  $\beta_i$  — погонная жесткость при сдвиге связей между столбами  $i$  и  $i+1$ :

$$\beta_i = 1/\lambda_\tau H_0. \quad (3.69)$$

Если имеются диафрагмы, длина которых больше 0,2 высоты здания, при определении периода колебаний необходимо учитывать влияние деформаций сдвига стен и собственной плоскости. В этом слу-

чае (программа 3.25):

$$T_1 = 1,05H^2 \sqrt{m\psi/\Sigma EI_{red}},$$

где

$$\psi = (14,56 + 23,32v + 3,36v^2)/(5,04 + 2,8v),$$

$$v = 1,1\Sigma I_{red}/(H^2\Sigma G A_{red});$$

$\Sigma G A_{red}$  — сумма сдвиговых жесткостей вертикальных диафрагм без учета площади полок.

Ускорение колебаний верха здания при учете только первой формы собственных колебаний (программа 3.26)

$$\eta_1 = \xi \frac{\sum_{k=1}^r y_k W_{pk}}{\sum_{k=1}^r y_k^2 M_k} y_r,$$

где  $\xi$  — коэффициент динамичности, вычисляется по графику (рис. 3.13) в зависимости от параметра

$$\varepsilon = \sqrt{\gamma_f w_0}/(940f_1).$$

Здесь  $\gamma_f$  — коэффициент надежности по нагрузке,  $\gamma_f = 1,4$ ;  $w_0$  — нормативное значение ветрового давления, принимаемое по табл. 5 [6];

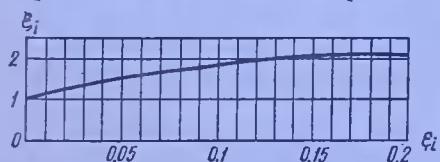


Рис. 3.13. График для определения коэффициента динамичности для железобетонных и каменных сооружений.

$f_1$  — первая частота собственных колебаний ( $f_1 = 1/T_1$ );  $y_k$  — горизонтальное перемещение центра  $k$ -го участка по высоте сооружения, в пределах которого ветровая нагрузка принимается постоянной;  $M_k$  — масса  $k$ -го участка;  $W_{pk}$  — равнодействующая пульсационной составляющей ветровой нагрузки, на  $k$ -м участке.

определенной по формуле (8) [6]

Если условие  $\eta_1 \leqslant 0,1 \text{ м/с}^2$  не выполняется, необходимо повторить расчет, предварительно изменив геометрические характеристики связей с целью увеличения общей приведенной жесткости системы.

### 3.2.2. РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ БЕТОННЫХ СТЕН

Для расчета прочности стен из несущей системы здания рекомендуется выделять вертикальные элементы (столбы), состоящие из расположенных друг над другом простенков, ограниченных по вертикали проемами и стыками сборных элементов стены. Столб считается плоским, если он образован расположенными в одной плоскости простенками одинаковой толщины. Он может иметь прямоугольную, тавровую, двутавровую или иную форму в плане, причем столб из простенков многопустотной или слоистой стены при расчете рассматривается как двутавровый или тавровый. Для стен с несущими слоями

из разных материалов, все слои следует привести к одному из них умножением их фактической ширины на отношение модулей упругости данного слоя и слоя, к которому приводятся остальные. Неплоский столб рекомендуется рассматривать как систему плоских столбов (полос), жестко соединенных между собой в местах сопряжения.

Усилия от внешних нагрузок и воздействия определяют с учетом совместной работы всех столбов (см. 3.2.1). Расчет прочности разрешается выполнять с допущением о том, что в уровне перекрытий столбы имеют жесткие или упругие горизонтальные опоры, считающиеся жесткими, если расстояние между поперечными жесткими конструкциями не превышает значений, приведенных в СНиП II-22-81\* (5) для первой группы кладки. В остальных случаях, в том числе для самонесущих стен, соединенных с перекрытиями связями, горизонтальные опоры считаются упругими. Стены, на которые опираются перекрытия (например, стены лифтовых шахт), следует рассчитывать как свободно стоящие.

В зависимости от конструктивного решения узлов сопряжения сборных стен с перекрытиями простенки в уровне перекрытий принимают имеющими шарнирное или упругое опирание. Использование шарнирной схемы соединения существенно упрощает расчет, но приводит к завышению значения эксцентрикитета продольных сил относительно оси стены. Поэтому в тех случаях, когда лимитируется прочность стен при продольном изгибе (например, для наружных трехслойных стен с гибкими связями), следует учитывать упругое соединение сборных элементов в горизонтальных швах. В остальных случаях соединение допустимо принимать шарнирным. Для монолитных зданий узлы сопряжения стен с перекрытиями считают жесткими, для сборно-монолитных тип узла сопряжения стен с перекрытиями рассчитывают исходя из его конструктивного решения.

Расчет прочности столбов по горизонтальным сечениям. При расчете необходимо различать случаи, где прочность обеспечивается: сопротивлением сжатой зоны сечения — выполняется расчет полностью сжатых горизонтальных сечений, а также сечений, имеющих сжатую и растянутую зоны, при условии, что эксцентрикитет продольной силы в плоскости стенки столба  $e_{0h} = M/N$  не более  $0,9y_h$  (где  $y_h$  — расстояние от центра жесткости столба до его наиболее напряженной сжатой грани). При  $e_{0h} > 0,45y_h$  в растянутой зоне сечения для ограничения раскрытия трещин в панелях и стыках следует предусматривать сквозную продольную арматуру (рис. 3.14, а);

совместно сопротивлением сжатой и растянутой зон сечения — рассчитывается внецентренно сжатые столбы при эксцентриките продольной силы  $e_{0h} > 0,45y_h$  и внецентренно растянутые столбы, для которых  $|e_{0h}| > h_0 - y_h$ . В растянутой зоне сечения устанавливают сквозную продольную арматуру;

сопротивлением растянутой зоны — рассчитываются центрально и и внецентренно растянутые столбы при  $|e_{0h}| \leq h_0 - y_h$ . По краям стенки и по ее длине должна устанавливаться сквозная и продольная арматура, обеспечивающая восприятие действующих в горизонтальном сечении усилий без учета сопротивления бетона.

Для плоского столба прочность по горизонтальным сечениям в случае  $e_{0h} = 0$  проверяют для средних сечений по формуле (3.71), а для опорных — по  $N_j \leq R_c t d_j$ . При  $e_{0h} \neq 0$  расчет допускается выполнять с использованием приводимого ниже алгоритма. Предварительно определяют  $R_c$  — приведенное сопротивление сжатию для сечений (программа 3.27):

опорных

и средних

$$R_c = R_{bw} \eta_j \eta_m d_j / d \quad (3.70)$$

$$R_c = R_{bm} \Phi_c,$$

где  $R_{bw}$  — расчетная прочность бетона при сжатии, определяемая для тяжелых, легких и ячеистых бетонов по СНиП 2.03.01-84 с учетом коэффициентов условий работы по материалу; при расчете прочности средних сечений следует дополнительно учитывать коэффициенты условий работы  $\Phi_c$ : для пустопанельных и ребристых элементов — 0,9, для бетонных простенков площадью менее  $0,1 \text{ м}^2$  — 0,85. При расчете прочности опорных сечений панельных наружных стен из легких и ячеистых бетонов, бетонируемых фасадной поверхностью вниз, при глубине опорного участка стыка менее  $1/3 t$  дополнительно учитывают коэффициент условий работы 0,85, а при усилении опорных зон стен косвенным армированием вместо  $R_{bw}$  — приведенную прочность  $R_{bw}^{red} = R_{bw} \eta_s$ ;  $\eta_s$ ,  $\eta_j$ ,  $\eta_m$  — коэффициенты, учитывающие соответственно влияние армирования опорных участков сборных элементов стены (см. формулу (3.89); конструктивный тип стыка, неравномерность распределения сжимающей нагрузки между опорными площадками стыка и эксцентрикситет продольной силы относительно центра стыка (см. формулы (3.80) ... (3.88)); влияние горизонтальных растворных швов (см. формулу (3.77));

$d_j$  — расчетная ширина простенка в зоне стыка; для наружной стеновой панели с оконными проемами  $d_j$  принимают равной сумме ширины простенка  $d$  на уровне расположения оконных проемов и участка, длину которого в каждую сторону от простенка принимают равной половине высоты перемычек  $h_{lin}$ , примыкающих к простенку; для стыка между панелями с оконными проемами  $h_{lin}$  должно быть равно половине высоты перемычки над оконным проемом, а для стыка между панелью с оконным проемом и цокольной панелью без проемов — половине высоты перемычки под ним.

Алгоритм расчета прочности, реализованный в программах 3.28... 3.31:

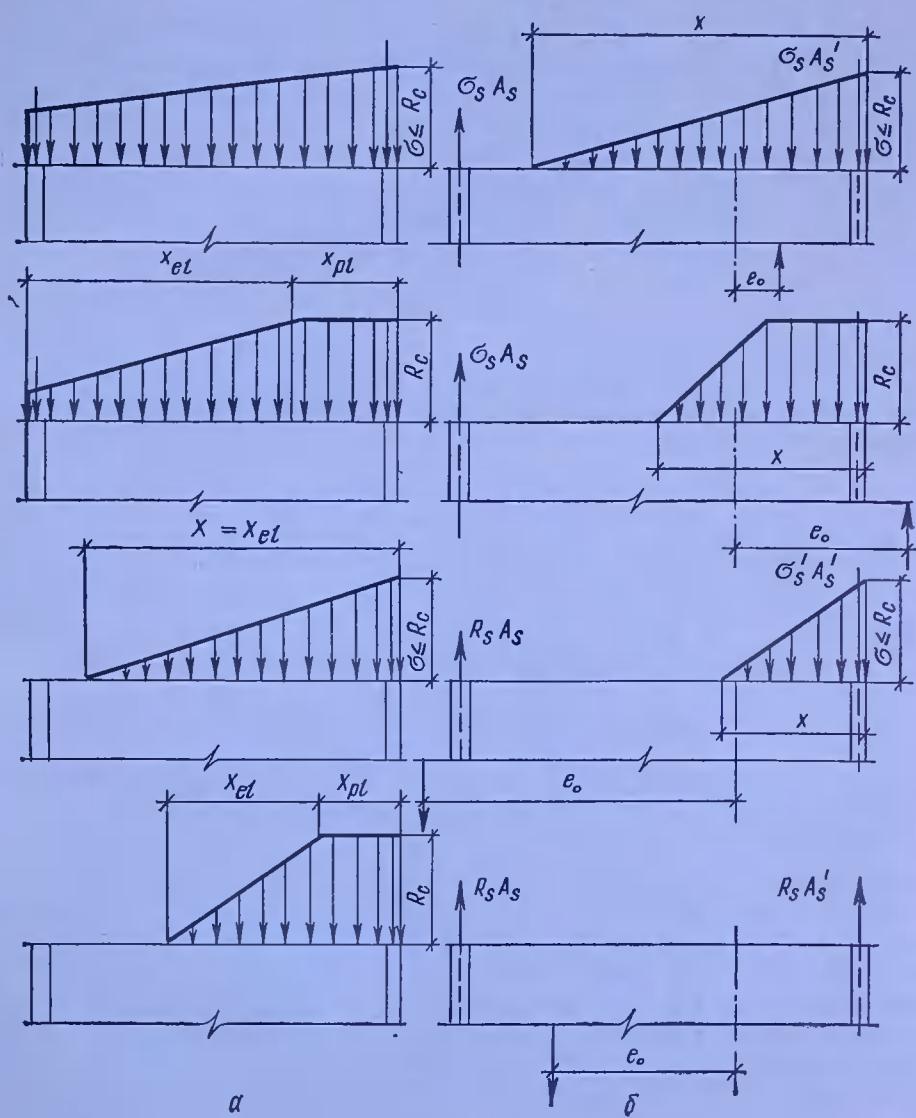
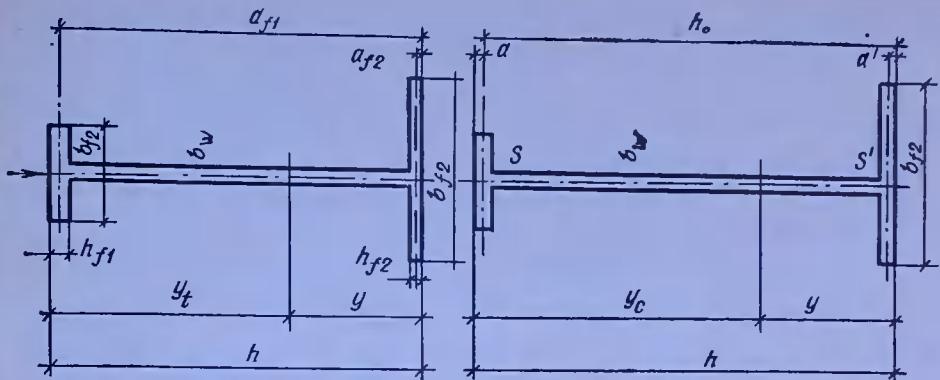
1. Определить знак продольной силы. При  $N \geq 0$  (сечение внецентренно сжато) или  $N < 0$  (сечение внецентренно растянуто) перейти к п. 2.

2. Вычислить

$$e_{0h} = |M|/N.$$

При  $e_{0h} > 0$  перейти к п. 3, в противном случае расчет производится как для внецентренно растянутого сечения.

Рис. 3.14. К расчету прочности столбов по горизонтальным сечениям.



$\alpha$

$\delta$

3. Вычислить предельную несущую способность столба исходя из прямоугольной эпюры сжимающих напряжений:

$$N_u = R_c h t \quad (1 - 2e_{0h}/h), \quad (3.71)$$

где  $R_c$  находят по формуле (3.70).

4. При условии, что  $N > N_u$ , необходимо повысить класс бетона по прочности на сжатие, увеличить толщину стены или ввести расчетное армирование. В противном случае: если в расчетном сечении  $Q = 0$  — расчет окончен, если  $Q \neq 0$  — перейти к п. 5.

5. Определить краевые нормальные напряжения:

$$\sigma_{\min} = (1 \mp 6e_{0h}/h) N/A_{\max}$$

Если  $\sigma_{\min} < 0$ , следует перейти к расчету по п. 6 (см. рис. 3.14, б); если  $\sigma_{\min} \geq 0$  (см. рис. 3.14, а), то сравнить значения  $\sigma_{\max}$  и  $R_c$ . Если  $\sigma_{\max} \leq R_c$ , необходимо перейти к расчету по п. 7, иначе — вместо линейной принять билинейную эпюру сжимающих напряжений и вычислить длину наклонного участка билинейной эпюры:

$$\hat{x} = 1,5h \frac{R_c - \sigma(1 + 2e_{0h}/h)}{R_c - \sigma},$$

где

$$\sigma = N/th, \quad \hat{x} < t. \quad (3.72)$$

Перейти к расчету по п. 7.

6. Если  $e_{0h} \geq h$ , перейти к расчету по п. 8. При  $e_{0h} < h$  определить высоту сжатой зоны в предположении линейного распределения сжимающих напряжений:

$$\hat{x} = 1,5h(1 - 2e_{0h}/h)$$

и максимальное значение сжимающих напряжений

$$\sigma_{\max} = 2\sigma.$$

Если  $\sigma_{\max} \leq R_c$ , перейти к расчету по п. 7, в противном случае принять билинейную эпюру сжимающих напряжений и определить:

$$\hat{x} = h \sqrt{12(1 - 2e_{0h}/h - \sigma/R_c)\sigma/R_c}.$$

7. Проверить прочность горизонтального сечения на совместное действие сжимающих и сдвигающих усилий для сечений:

опорного

$$Q \leq \eta N, \quad (8.73)$$

где  $\eta$  — коэффициент трения, принимаемый равным 0,7 для плоских стыков сборных элементов, 1 — для неармированных технологических швов бетонирования монолитных стен, изготовленных без специальной обработки, 1,5 — то же, при пересекающей шов бетонирования распределенной арматуре; если условие (3.73) не выполняется, необходимо предусмотреть устройство шпонок или специальных арматурных связей, воспринимающих сдвигающие усилия;

среднего

$$Q \leq R_t \hat{x} t, \quad (3.74)$$

где  $R_t$  — сопротивление стены срезу, принимаемое равным меньшему из двух значений:

$$R_t' = R_{bt} \sqrt{1 + \sigma_0/R_{bt}};$$

$$R_t'' = \frac{R_t \sqrt{(1 + \sigma_0/R_t) (1 - \sigma_0/R_c)}}{1 + R_t/R_c},$$

где  $R_t = \gamma_t R_{by}$ ;  $\gamma_t = (0,2 + \alpha B)^{-1}$ , но не менее 1 и не более 2;  $\alpha$  — коэффициент, равный 0,01 для тяжелого бетона и 0,02 — для легкого, ячеистого и плотного силикатного;  $\sigma_0$  — среднее значение сжимающих напряжений в пределах  $\hat{x}$  (если  $\sigma_{\max} \leq R_c$  и  $\sigma_{\min} > 0$ , то  $\hat{x} = h$ ).

В случае невыполнения условия (3.74), необходимо увеличить класс бетона или толщину стены. Если по длине горизонтального сечения предусмотрена сжатая или растянутая зона, то сопротивление срезу повышают, учитывая работу растянутой зоны сечения. Тогда в ней должна быть установлена сквозная продольная арматура. Расчет прочности внекцентрично сжатых железобетонных стен выполняется по п. 8.

8. Вычислить высоту сжатой зоны:

$$\hat{x} = 2h\sigma/R_c,$$

где  $\sigma$  определяют по формуле (3.72).

Если  $x \leq x_R$ , то требуемая площадь поперечного сечения продольной арматуры  $A_s$ , устанавливаемой у растянутой и сжатой граней сечения,

$$A_s = \frac{N e_{0h} - 0,5 R_c x t (0,5h - x/3)}{R_c (h - 2a)}.$$

При  $x > x_R$ , необходимо повысить прочность сжатой зоны сечения.

Проверяют прочность элемента на действие сдвигающих сил для сечений:

опорного

$$Q \leq \eta (N + R_s A_s); \quad (3.75)$$

среднего

$$Q \leq R_t x t + R_{bt} t (h_0 - x), \quad (3.76)$$

где  $R_t$  принимается по п. 7 при  $\sigma_0 = 0,5 R_c$ . В случае невыполнения условия (3.75), в стыке предусматривают устройство шпонок или специальных связей.

Прочность горизонтальных сечений неплоских столбов проверяют на основе приведенного алгоритма с учетом особенностей и допущений, изложенных в [9].

При расчете прочности горизонтальных стыков, в случае отсутствия данных о фактической точности, рекомендуется учитывать расчетные значения возможных смещений в стыке относительно их проектного положения, мм; сборной плиты перекрытия —  $\delta_p = 10$ ; стеновой панели при монтаже с применением фиксаторов или шабло-

нов, ограничивающих взаимные смещения параллельно расположенных стен,  $\delta_w = 10$ , с использованием подкосов,  $\delta_w = 15$ .

Расчетную толщину горизонтального растворного шва рекомендуется принимать равной  $1,4t_m^{\text{ном}}$  ( $t_m^{\text{ном}}$  — номинальная толщина шва), но не менее 30 мм при монтаже элементов по маякам, а также в контактных стыках сборных элементов стены и не менее 20 мм — под плитой перекрытия без маяков. При этом

$$\eta_m = 1 - \frac{(2 - t_m/b_m) t_m/b_m}{1 + 2R_m/B_w}, \quad (3.77)$$

где  $t_m$  — расчетная толщина шва;  $b_m$  — расчетная ширина шва, принимаемая для стыков с двухсторонним опиранием равной толщине стены (для трехслойных стен с гибкими связями — толщине внутреннего несущего слоя), а для стыков с односторонним опиранием:

платформенного  $b_m = b_i - \delta_{pw}$ ;

$$\delta_{pw} = \sqrt{\delta_p^2 + \delta_w^2}; \quad (3.78)$$

контактного, монолитного и комбинированного

$$b_m = b_i - \delta_w,$$

где  $b_i$  — номинальная ширина опорной площадки, через которую передается в стыке сжимающая нагрузка;  $R_m$  — кубиковая прочность раствора, МПа;  $B_m$  — величина, численно равная классу по прочности на сжатие бетона сборного элемента стены.

Для стыков из монолитного бетона, а также монолитных стыков панельных стен, заполняемых бетоном после установки панели верхнего этажа,  $\eta_m$  принимается равным 1, а при опирании плит перекрытия «насухо» (без раствора) — 0,5.

Коэффициент  $\eta_i$  вычисляют в зависимости от конструктивного решения узла (см. рис. 3.10), однако если при расчете шарнирное соединение сборных элементов предусмотрено в горизонтальном стыке, то вычисленное значение  $\eta_i$  при упругом или жестком защемлении следует умножать на коэффициент

$$\eta_e = 1 - 2e_i/b_m. \quad (3.79)$$

Для платформенного горизонтального стыка, а также платформенных узлов монолитных стен с передачей сжимающей нагрузки только через опорные участки плит перекрытий (программа 3.32)

$$\eta_i = (b_{pl} - \delta_{pl}) \gamma_{pl} \eta_{pl} / t, \quad (3.80)$$

где  $\delta_{pl}$  — возможное суммарное смещение в платформенном стыке плит перекрытий относительно их проектного положения, принимаемого равным  $\delta_{pw}$  — при одностороннем опирании и  $1,4\delta_p$  — при двухстороннем;

$\gamma_{pl}$  — коэффициент, учитывающий неравномерность загружения платформенных площадок и равный 1 при одностороннем опирании и 0,9 при двухстороннем;  $\eta_{pl}$  — коэффициент, зависящий от соотношения расчетных прочностей при сжатии бетона стены  $R_{bw}$  и бетона опорных участков плит перекрытий  $R_{bp}$ :

для стен из тяжелого и легкого бетона при  $R_{bp} < R_{pw}$   $\eta_{pl} = 1 - (1 - R_{bp}/R_{bw})^2$ ; при  $R_{bp} \geq R_{bw}$   $\eta_{pl} = 1$ ;

для стен из ячеистого бетона  $\eta_{pl} = 1,2R_{bp}/R_{bw} - 0,35$ , но не более 1 (для плит перекрытий, изготавляемых в вертикальных кассетных установках,  $R_{bw}$  учитывается с коэффициентом условий работы 0,85).

В случае применения многопустотных плит перекрытий  $\eta_{pl}$  дополнительно умножают на коэффициент  $\gamma_{vac}$ , при механизированной заделке пустот в заводских условиях добетонированием с пригрузом опорных участков равный 0,9, в остальных случаях

$$1 - \gamma_{vac} (1 - t_f/s_f)^3.$$

Здесь  $\gamma_{vac}$  — коэффициент условий работы, принимаемый при заделке пустот свежеотформованных бетонными пробками, изготовленными одновременно с плитами перекрытий равным 0,5, при незаделанных пустотах, а также при несовершенной заделке пустот в построенных условиях — 1;  $t_f$  — толщина ребра между пустотами плиты перекрытия;  $s_f$  — наименьший шаг пустот.

Для платформенных стыков с односторонним опиранием перекрытий при  $b_{pl} \leq \frac{2}{3} t$  значение  $\eta_j$  разрешается повышать на 10 %.

Для контактного стыка с передачей нагрузки через его контактные участки

$$\eta_j = (b_{con} - \delta_{con}) d_{con} \eta_{con} / A_w, \quad (3.81)$$

где  $\delta_{con}$  — возможное смещение стен по контактной площадке, равное:

при одностороннем опирании, а также для стыков вне зоны опирания перекрытия  $\delta_{con} = \delta_w$ , при двустороннем  $\delta_{con} = 0$ ;  $\eta_{con}$  — коэффициент, принимаемый равным меньшему из значений  $\eta_{loc}$  и  $\eta_{vor}$ ;  $\eta_{loc}$  — коэффициент, учитывающий повышение прочности стыка при местном сжатии,

$$\eta_{loc} = \gamma_{loc} \sqrt{2y_{con}/(b_{con} - \delta_{con})}. \quad (3.82)$$

Здесь  $\gamma_{loc}$  принимается равным 1,1 при  $b_{con} - \delta_{con} < \frac{2}{3} t$ , в остальных случаях — 1;  $y_{con}$  — расстояние от центра контактной площадки до ближайшей вертикальной грани стены;  $\eta_{vor}$  — коэффициент, учитывающий форму контактной площадки; для площадки в виде выступа вверху или внизу стеновой панели высотой  $t_{con} \leq b_{con}$  при прочности раствора в горизонтальном шве не менее класса бетона сборного элемента стены для легкого бетона на пористых заполнителях и ячеистых бетонов принимают равным 1,1, для тяжелого бетона — 1,2, в остальных случаях — 1.

Для контактно-платформенного стыка с передачей нагрузки через платформенный и контактный участки  $\eta_j$  принимают равным меньшему из значений  $\eta_{j,con}$  и  $\eta_{j,pl}$ , соответствующих разрушению стыка по контактному и платформенному участкам (программа 3.34).

Для опорного сечения над плитой перекрытия:

$$\eta_{j,con} = [b_{con} - \delta_w + 0,8\gamma_{pl} (b_{pl}^{sup} - \delta_{pw} + \delta_w)] \eta_{con} / t; \quad (3.83)$$

$$\eta_{j,pl} = [\gamma_{pl} (b_{pl}^{sup} - \delta_p) + 0,9 (b_{con} - \delta_{pw} + \delta_p)] \eta_{pl} / t, \quad (3.84)$$

где  $b_{pl}^{sup}$  — размер по толщине стены платформенного участка над плитой перекрытия.

Для опорного сечения под плитой перекрытия в уровне нижнего растворного шва  $\eta_{j,con}$  вычисляют по формуле (3.83), а  $\eta_{j,pl}$  — по формуле

$$\eta_{j,pl} = [\gamma_{pl}(b_{pl}^{inf} - \delta_p) + 0,9(b_{con} - \delta_{pw} + \delta_p)] \left( \eta_{pl}^{inf} \eta_m^{inf} - \frac{\sigma_p}{R_{bw}} \right) / t \eta_m^{sup}, \quad (3.85)$$

где  $b_{pl}^{inf}$  — размер по толщине стены платформенного участка стыка под плитой перекрытия;  $\sigma_p$  — среднее значение сжимающих напряжений, передаваемых на стену по платформенной площадке от плиты перекрытия, которая непосредственно оперта в стыке.

Для монолитного стыка, а также контактных узлов монолитных стен с передачей сжимающей нагрузки через слой бетона, уложенного в полость стыка (программа 3.35),

$$\eta_j = (b_{mon} - \delta_{mon}) \eta_{mon} d_{mon} / A_w, \quad (3.86)$$

где  $\delta_{mon}$  — возможное смещение стен по монолитному участку стыка, которое при одностороннем опирании принимают  $\delta_{pw}$ , при двухстороннем —  $1,4\delta_p$ ;  $\eta_{mon}$  — принимается равным меньшему из значений  $\eta_{loc}$  и  $\eta_{vor}$ ;

$$\eta_{loc} = \sqrt{2y_{mon}/(b_{mon} - \delta_{mon})};$$

при одностороннем опирании  $\eta_{vor} = B_{mon}/B_w$ ;

при двухстороннем опирании  $\eta_{vor} = 1,25B_{mon}/B_w$ ;

$B_{mon}$ ,  $B_w$  — класс по прочности на сжатие соответственно бетона за- моноличивания и опорного участка стены.

Для платформенно-монолитного стыка, а также комбинированных узлов монолитных стен с передачей нагрузки через платформенные и монолитные участки  $\eta_j$  принимают равным меньшему из значений  $\eta_{j,pl}$  и  $\eta_{j,mon}$ , определяемых по формулам (программа 3.36):

$$\eta_{j,pl} = [\gamma_{pl}(b_{pl} - \delta_{pl}) d_{pl} + \gamma_{mon} \gamma_{red}^{mon} (b_{mon} + \delta_{pl}) d_{mon}] \eta_{pl} / A_w; \quad (3.87)$$

$$\eta_{j,mon} = [(b_{mon} - \delta_{mon}) d_{mon} + \gamma_{pl} \gamma_{red}^{pl} (b_{pl} + \delta_{mon}) d_{pl}] \eta_{mon} / A_w, \quad (3.88)$$

где

$$\gamma_{red}^{mon} = R_{mon}/R_{bp}, \text{ но не более 1};$$

$$\gamma_{red}^{pl} = R_{pl}/R_{mon}, \text{ но не более 1};$$

$\gamma_{mon}$  — коэффициент при замоноличивании стыка обычным тяжелым бетоном равен 0,8, раствором — 0,7.

Коэффициент  $\eta_s$  для стыков сборных элементов стен, усиленных в зоне стыка поперечными сварными каркасами или сетками, определяется по формуле

$$\eta_s = 1 + \frac{20A_{tr}l_{tr}}{C_{tr}s_{tr}t}, \text{ но не более 1,3}, \quad (3.89)$$

где  $A_{tr}$  — площадь сечения одного поперечного стержня горизонтального каркаса (сетки), уложенного в опорной зоне;  $C_{tr}$  — шаг попереч-

ных стержней по длине стены;  $l_{tr}$  — расстояние между крайними продольными стержнями каркаса;  $s_{tr}$  — шаг каркасов по высоте стены (при армировании торца панели одним каркасом (сеткой), а также при шаге каркасов  $s_{tr} > t/2$  следует принимать  $s_{tr} = t/2$ ).

Влияние косвенного армирования опорной зоны стеновой панели разрешается учитывать при выполнении условий, приведенных в работе (9).

Для стыков монолитных стен, усиленных в зоне стыка вертикальной арматурой,

$$\eta_s = 1 + \frac{A_{s,lon} R_{sc}}{A_{\omega} R_{bw} \eta_m}, \text{ но не более } 1,5,$$

где  $A_{s,lon}$  — площадь поперечного сечения вертикальной продольной арматуры, пересекающей стык.

Прочность бетонных столбов по наклонным сечениям. Прочность по наклонным сечениям бетонных столбов разрешается не проверять, если выполнено условие (3.74).

Прочность по наклонным сечениям железобетонных столбов, в том числе с расчетным поперечным армированием, следует проверять по указаниям п. 2.1.1 (1), учитывая особенности:

вместо призменной прочности бетона  $R_b$  в расчетные формулы вводить приведенное сопротивление бетона сжатию  $R_c$ , вычисляемое по формуле (3.70);

длину проекции наклонной трещины на вертикальную ось принимать не более расстояния до горизонтального сечения столба, в котором прочность обеспечивается сопротивлением только сжатой зоны.

**Определение эксцентрикитетов.** При использовании шарнирной схемы соединения сборных элементов в горизонтальном стыке равнодействующая сжимающая сила считается приложенной в центре жесткости стыка, положение которого определяют с учетом возможных смещений сборных элементов в стыке, обусловленных допусками на изготовление и монтаж конструкций (табл. 3.8).

При расчете прочности стен по средним сечениям на внецентренное сжатие из плоскости стены следует учитывать эксцентрикитет продольной сжимающей силы  $e_0$ .

Таблица 3.8. Значение эксцентрикитета  $e_j^0$  для различных типов стыков

Тип стыка	Эксцентрикитет при односторонней схеме опирания	Примечания
Платформенный	$0,5(t - b_{pl}^{sup} + \delta_{pw})$	$b_{pl}^{sup}$ , $\Delta b_{pl}^{sup}$ — соответственно сумма и разность максимальных размеров по толщине стены платформенных площадок в уровне верхнего растворного шва

Тип стыка	Эксцентризитет при односторонней схеме опирания	Примечания
Контактный	$0,5t - y_{con} + \delta_{con}$	$y_{con}, \delta_{con}$ — см. формулы (3.81), (3.82)
Контактно-платформенный	При $\eta_{j,con} \leq \eta_{j,pl}$ $0,5t - \frac{b_1(b_m - b_1/2) + 0,4b_2^2}{b_1 + 0,8b_2}$ При $\eta_{j,con} > \eta_{j,pl}$ $0,5t - \frac{0,9b_1(b_m - b_1/2) + 0,5b_2^2}{0,9b_1 + b_2}$	$b_1 = b_{con} - \delta_w;$ $b_2 = b_{pl}^{sup} - \delta_{pw} + \delta_w;$ $b_1 = b_{con} - \delta_{pw} + \delta_p;$ $b_2 = b_{pl}^{sup} - \delta_p$
Платформенно-монолитный	При $\eta_{j,pl} \leq \eta_{j,mon}$ $0,5t - \frac{b_1(b_m - b_1/2) \gamma_{red}^{pl} + 0,5b_2^2}{b_1 + b_2 \gamma_{mon} \gamma_{red}^{mon}}$ При $\eta_{j,pl} > \eta_{j,mon}$ $0,5t - \frac{b_1(b_m - b_1/2) \gamma_{red}^{pl} + 0,5b_2^2}{b_1 \gamma_{red}^{pl} + b_2}$	$b_1 = b_{pl}^{sup} - \delta_{pl};$ $b_2 = b_{mon} + \delta_{pl} - \delta_{pw};$ $b_1 = b_{mon} - \delta_{pw}$ $b_2 = b_{pl} + \delta_{pw} - \delta_p$
Монолитный	$0,5t - y_{mon} + \delta_{mon}$	

Примечание. Эксцентризитет при двухсторонней схеме опирания для платформенного стыка —  $(\delta_{pw} + 0,5\Delta\delta_{pl}^{sup})(t/b_{pl}^{sup} - 1)$ , для всех остальных типов  $e_j^0 = 0,5\delta_w$

Для сборных элементов

$$e_0 = e_j^0 - e_j + e_{loc},$$

где  $e_j^0$  вычисляют по аналогии с расчетом рамных зданий (программы 3.37...3.41);  $e_{loc}$  — эксцентризитет равнодействующей продольной сжимающей силы, обусловленный местным изгибающим моментом в рассматриваемом сечении стены (например, от поперечной нагрузки на стену, из-за перепада температур по толщине стены),

$$e_{loc} = M_{loc}/N,$$

$e_j$  — эксцентризитет по толщине стены равнодействующей продольной сжимающей силы относительно центра стыка. При расчете стены в предположении шарнирного соединения элементов стены и покрытия в узле  $e_j = 0$ . При расчете в предположении упругого или жестко-

го соединения элементов стены и перекрытия в узле

$$e_i = M_i/N_i.$$

Для монолитных стен эксцентрикситет  $e_0 = e_{loc}$ . Абсолютное значение эксцентрикситета  $e_0$  следует принимать не менее значения случайного  $e_a = t/30$ , но не менее  $t/600$ , где  $t$  — длина сжатого элемента стены, равная высоте этажа в свету.

**Расчет прочности стен по средним сечениям при внецентренном сжатии из плоскости стены.** Прочность стены по средним сечениям при внецентренном сжатии из ее плоскости проверяется для стен из тяжелого, легкого и ячеистого бетона по СНиП 2.03.01-84.

Для прямоугольных бетонных сечений (без расчетной продольной арматуры) прочность стены целесообразно определять по формуле (программа 3.42)

$$N \leq R_{bw} A_w \varphi_c, \quad (3.90)$$

где  $R_{bw}$  вычисляют по указаниям к формуле (3.70);  $A_w$  — площадь горизонтального сечения стены;  $\varphi_c$  — коэффициент,

$$\text{при } l_0/t \leq 4 \quad \varphi_c = 1 - 2e_0/t;$$

$$\text{при } l_0/t > 4 \quad \varphi_c = 0,5 [1 + \eta_{cr} - \sqrt{(1 - \eta_{cr})^2 + 8\eta_{cr}e_0/t}],$$

где  $l_0$  — расчетная высота стены,

$$l_0 = H_0 \eta_p \eta_w;$$

$\eta_p$  — коэффициент, зависящий от жесткости узла сопряжения стен с перекрытиями и принимаемый 0,8 — при жестких узлах, 0,9 — при платформенном опирании сборных плит перекрытий по контуру, 1 — при шарнирных узлах;

$\eta_w$  — коэффициент, учитывающий влияние стен перпендикулярного направления.

Для участка простенка между двумя примыкающими к нему стенами

$$\eta_w = \frac{d}{3H_0} \left( 2 - \frac{d}{3H_0} \right);$$

для участка между свободным краем простенка и примыкающей к нему стеной

$$\eta_w = \frac{2d}{3H_0} \left( 2 - \frac{2d}{3H_0} \right);$$

в остальных случаях  $\eta_w = 1$ ;  $d$  — ширина рассматриваемого участка простенка. При учете закрепления простенков в местах их сопряжения со стенами перпендикулярного направления следует руководствоваться указаниями, изложенными в [9];

$$\eta_{cr} = \frac{0,533 E_{bw} \varphi_e}{R_{bw} \varphi_l} (t/l_0)^2; \quad (3.91)$$

$\varphi_l$  — коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки на жесткость элемента в предельном состоянии

$$\varphi_l = 1 + \beta N_l / N; \quad (3.92)$$

$\beta$  — коэффициент, принимаемый по СНиП 2.03.01-84;  
 $\varphi_e$  — коэффициент, вычисляемый по формуле

$$\varphi_e = \frac{0,11}{0,1 + \delta_e} + 0,1, \quad (3.93)$$

$\delta_e = l_0/t$ , но не менее

$$\delta_{\min} = 0,5 - 0,01e_0/t - 0,01R_{bw} \quad (3.94)$$

и не менее  $0,01t$ . В формуле (3.94)  $R_{bw}$  в МПа.

Расчет прочности вертикальных стыков и вертикальных технологических швов монолитных стен. При расчете используют допущения:

прочность соединений при действии сдвигающих и нормальных сил определяется независимо;

соединения на усилия сдвига, вызванные общим изгибом стены в собственной плоскости и сдвигающие силы считаются равномерно распределенными между однотипными связями, расположеннымими в пределах высоты одного этажа;

при разнотипных связях в пределах высоты этажа усилия между ними распределяются обратно пропорционально их податливости при сдвиге;

при учете сопротивления сдвигу перекрытий или монолитных поясов в уровне перекрытий усилия сдвига, приходящиеся на одну связь  $V_k$  и на перекрытие  $V_p$ , определяются по формулам:

$$V_k = (1/\lambda_k)/(1/\lambda_p + m_k/\lambda_k); \quad V_p = (1/\lambda_p)/(1/\lambda_p + m_k/\lambda_k),$$

где  $m_k$  — количество связей.

Для бесшпоночных соединений расчетную прочность при сдвиге принимают равной меньшему из значений (программа 3.43):

$$V_{sl} = \eta R_s A_{s,tr}; \quad V_{crc} = R_{crc} A_v,$$

где  $\eta$  — коэффициент трения; для стыков сборных элементов — 0,7; для вертикальных технологических швов монолитных стен — 1;  $A_{s,tr}$  — суммарная площадь сечения поперечной арматуры, пересекающей стык (шов бетонирования);  $R_{crc}$  — сопротивление бетона образованию наклонных трещин

$$R_{crc} = \sqrt{R_{bl}(R_{bl} + \sigma_s)}, \text{ но не более } 2R_{bl}; \quad \sigma_s = R_s A_{s,tr}/A_v;$$

$A_v$  — площадь вертикального сечения стыка.

Для шпоночных стыков различают бетонные и железобетонные соединения. Сопротивление сдвигу бетонного шпоночного соединения вычисляется без учета сопротивления арматурных связей, сечение которых назначено по конструктивным соображениям. В железобетонном шпоночном соединении площадь сечения поперечных связей должна удовлетворять условию

$$A_{s,tr} \geq \eta_\alpha V / R_{s,tr},$$

где  $\eta_\alpha = \frac{\operatorname{tg} \alpha - \eta}{1 + \eta \operatorname{tg} \alpha}$ , но не менее 0,2;

$\alpha$  — угол наклона площадки смятия к направлению, перпендикулярному плоскости сдвига;  $V$  — сдвигающая сила в стыке;  $R_{s,tr}$  —

расчетное сопротивление растяжению поперечной арматуры стыка (при расположении поперечной арматуры только в уровнях верха и низа этажа или в уровне перекрытия принимается с коэффициентом 0,8).

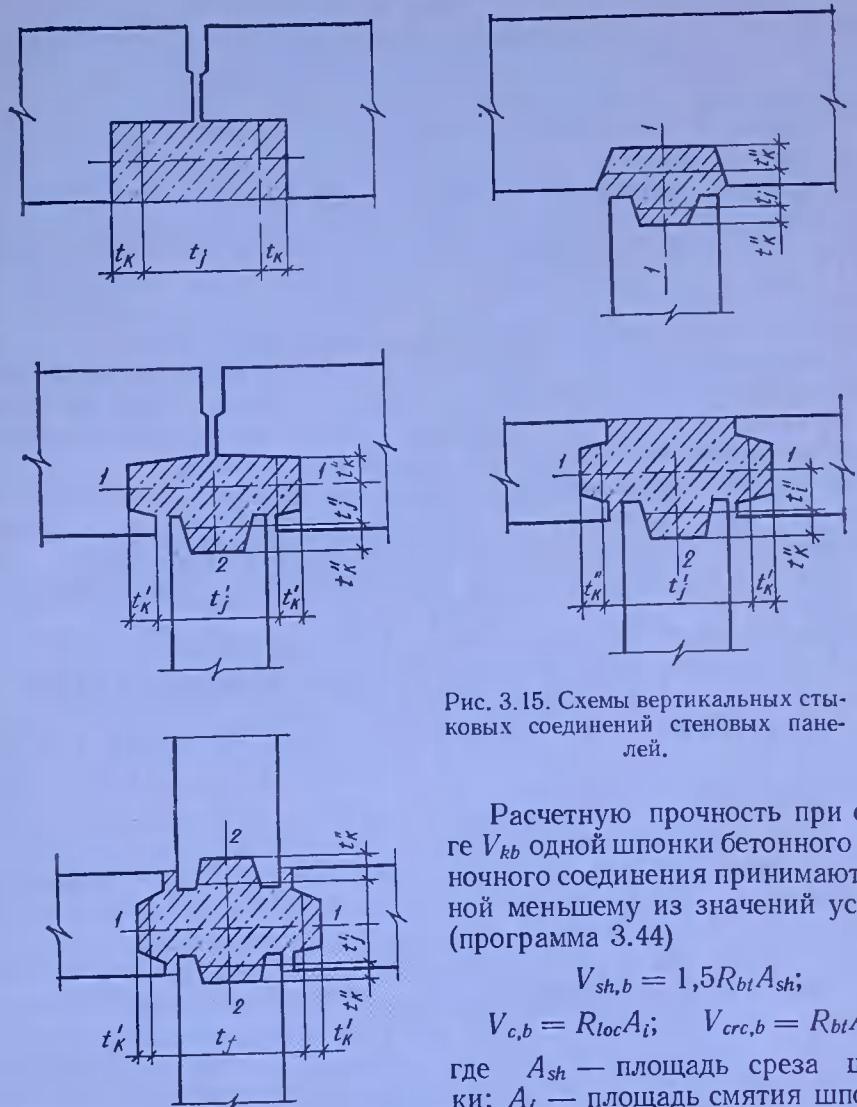


Рис. 3.15. Схемы вертикальных стыковых соединений стеновых панелей.

Расчетную прочность при сдвиге  $V_{kb}$  одной шпонки бетонного шпоночного соединения принимают равной меньшему из значений усилий (программа 3.44)

$$V_{sh,b} = 1,5R_{bt}A_{sh};$$

$$V_{c,b} = R_{loc}A_i; \quad V_{crc,b} = R_{bt}A_i,$$

где  $A_{sh}$  — площадь среза шпонки;  $A_i$  — площадь смятия шпонки;

$A_i = s_kb_{mon}$  — площадь продольного сечения стыка, приходящаяся на одну шпонку;  $s_k$  — шаг шпонок;  $R_{loc}$  — сопротивление шпонки смятию (для одиночных  $1,5R_b$ , для многошпоночных соединений  $R_b$ ).

До образования трещин от сдвига шпоночное соединение рассчитывают как бетонное, после их образования расчетную прочность при сдвиге железобетонной шпонки принимают равной меньшему из усилий (программа 3.45):

$$V_{sh,s} = (1 - \eta\eta_\alpha) V_{sh,b} + \eta R_{s,tr} A_{s,tr};$$

$$V_{c,s} = (1 - \eta\eta_c) V_{c,b} + \eta R_{s,tr} A_{s,tr};$$

$$V_{crc} = (A_{s,tr} R_{s,tr} + 0,5 A_{s,lon} R_{s,lon}) s_k / (t_k + t_l),$$

но не более

$$0,3 \varphi_w \varphi_b R_b A_f,$$

где  $R_{s,lon}$  и  $A_{s,lon}$  — соответственно расчетное сопротивление и площадь сечения продольной арматуры шпонки;  $t_k$  — глубина шпонки;  $t_l$  — расстояние междустыкуемыми поверхностями стены (рис. 3.15).

В зданиях с монолитными и сборно-монолитными перекрытиями, имеющими монолитные железобетонные пояса вдоль стен, а также со сборными плитами перекрытий при платформенном стыке со стенами разрешается при расчете на сдвиг вертикальных стыков стен учитывать сопротивление перекрытий

$$V_p = 2R_{bt,p} t_p (t + b_{ef}),$$

где  $t_p$  — толщина плиты перекрытия (пояса);  $b_{ef}$  — эффективная ширина, учитывающая сопротивление срезу плиты за пределами толщины стены и принимаемая равной  $6t_p$  — для монолитных и сборно-монолитных перекрытий и  $2t_p$  — для сборных перекрытий (при одностороннем опирании перекрытий ее следует уменьшить вдвое).

Расчет прочности вертикальных соединений на действие сжимающих сил выполняется аналогично расчету горизонтальных стыков. Растигивающие усилия, возникающие в вертикальных стыках сборных стен и швах бетонирования монолитных стен, предусматривают как воспринимающие арматурными связями.

**Расчет прочности горизонтальных стыков на сдвиг.** В зависимости от знака и характера действующей в стыке нормальной силы различают следующие расчетные случаи:

а) при всех расчетных комбинациях нагрузок стык сжат, при этом эксцентриситет сжимающей силы в плоскости стены  $e_{0h} \leqslant y_h$ . Прочность проверяют по формуле

$$V \leqslant (R_t + \eta\sigma) A_c,$$

где  $R_t$  — сопротивление растворного шва срезу (для растворов марки М50 и выше  $R_t = 0,16$  МПа);  $\sigma$  — среднее напряжение в сжатой зоне горизонтального стыка;  $A_c$  — площадь сжатой зоны стыка;

б) то же, что и в случае «а», но в одной или нескольких расчетных комбинациях нагрузок  $e_{0h} > 0,45y_h$  или действует растягивающая сила. Сопротивление растворного шва срезу не учитывают ( $R_t = 0$ ).

**Расчет перемычек.** В панелях с проемами перемычка должна быть рассчитана на изгиб от вертикальных нагрузок и на усилия перекоса, возникающие при изгибе стены в собственной плоскости.

При расчете на изгиб от вертикальных нагрузок перемычку следует рассматривать как балку с защемленными опорами.

В перемычках проверяют прочность вертикальных и наклонных сечений. Расчетные вертикальные сечения принимают расположеннымми на местах защемления перемычки в простенки и посередине пролета перемычки в свету. Вертикальные сечения проверяют на действие суммарного изгибающего момента от длительных и кратковременных нагрузок.

В надпроемной перемычке сечение верхней продольной арматуры должно быть равным сумме сечений, необходимых для восприятия усилия от вертикальных нагрузок и усилий от перекоса. Сечение нижней продольной арматуры этой перемычки принимают по наибольшему из усилий от вертикальной нагрузки или от перекоса.

В подпроемной перемычке требуемое армирование определяют по усилиям от перекоса.

Для вертикальных сечений должна быть проверена ширина раскрытия трещин.

Расчетные наклонные сечения перемычек, для которых отношение длины пролета  $l$  к рабочей высоте перемычки  $h_0$  не более 1,5, предусматривают проходящими через низ и верх противоположных опорных сечений. Длина проекции наклонного сечения на ось перемычки равна ее полету в свету. При  $l/h_0 > 1,5$  необходимо проверять расчетные наклонные сечения, проходящие через верх или низ одного из опорных сечений перемычки, а также через точку на оси перемычки, где изгибающий момент от перекоса перемычки равен нулю. Длина проекции наклонного сечения — не более  $1,5h_0$ .

### 3.2.3. РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ

При расчете железобетонных плит перекрытий по предельным состояниям первой группы (по прочности) и второй группы (по деформациям, образованию и раскрытию трещин) следует различать плиты, работающие на изгиб из плоскости в одном и двух направлениях. Плиты, опертые по контуру и имеющие соотношение размеров длинной стороны и короткой, равное 3 и менее, а также плиты, опертые по трем сторонам и имеющие соотношение размеров вдоль параллельно расположенных опор к размеру вдоль свободного края, равное 1,5 и менее, рассчитывают как работающие на изгиб из плоскости в двух направлениях. Расчет таких плит разрешается выполнять изложенными ниже методами, уточненный расчет производится по программам на ЭВМ, учитывающим нелинейную работу железобетона с трещинами. Остальные плиты рекомендуется рассчитывать как работающие на изгиб в одном направлении по указаниям СНиП 2.03.01-84 и соответствующих пособий.

Для плит, работающих на изгиб из плоскости в двух направлениях, различают расчетные пролеты  $l_1$  и  $l_2$ . Для опертых по контуру принимают, что полет  $l_1$  не превышает пролет  $l_2$ , для опертых по трем сторонам — что пролет соответствует расстоянию между параллельно расположенными опорами (размер вдоль свободного края плиты).

Для свободно опертых плит расчетный пролет предусматривают равным расстоянию между серединами опорных площадок плит перекрытий, для защемленных на опорах плит — пролету в свету (до грани опор).

Для плит перекрытий, работающих на изгиб в двух направлениях, коэффициенты армирования  $\mu_1$  и  $\mu_2$  вдоль пролетов соответственно  $l_1$  и  $l_2$  следуют назначать так, чтобы выполнялись условия:

$$\mu_1 \geq \mu_{\min}; \quad 0,5(\mu_1 + \mu_2) \geq \mu_{\min},$$

где  $\mu_{\min}$  — минимальное значение коэффициента армирования,  $\mu_{\min} = 0,0005$ .

Площадь сечения продольной растянутой арматуры железобетонных слабоармированных элементов, характеризуемых тем, что их несущая способность исчерпывается одновременно с образованием трещин в бетоне растянутой зоны согласно указаниям [1], должна быть увеличена по сравнению с требуемой из расчета по прочности не менее чем на 15 %.

При расчете плит перекрытий нагрузка от веса опирающихся на них несущих наружных стен и перегородок рекомендуется учитывать следующим образом:

для жестких несущих стен и перегородок в виде сборных бетонных и железобетонных панелей нагрузка от их веса прикладывалась к плите в виде сосредоточенных сил, которые считаются приложенными для панелей без проемов, а также простенков панелей с проемами шириной более половины высоты этажа — на расстоянии  $1/12$  длины соответственно панели и простенка от их краев, для крайних простенков панелей с проемами шириной не более половины высоты этажа — на расстоянии  $1/8$  от наружного края простенка, для средних простенков — по середине их длины;

для нежестких ненесущих стен и перегородок из каменной кладки, мелких блоков, листовых материалов 60 % нагрузки от их веса считается распределенной по длине простенков, а остальная часть — в виде сосредоточенных сил, положение которых назначается аналогично нагрузке от жестких стен и перегородок.

В случае возможного изменения положения перегородок в процессе эксплуатации здания нагрузку от их веса рекомендуется задавать в виде распределенной, эквивалентной наиболее неблагоприятной схеме расположения в конструктивной ячейке, но не менее 0,5 кПа.

Расчет железобетонных плит перекрытий по предельным состояниям первой группы. Сборные плиты, не имеющие специальных связей для обеспечения неразрезности на опорах, рассчитывают по прочности в предположении свободного (без защемления) их опирания на стены. Для плиты, работающей на изгиб из плоскости в двух направлениях, при платформенном стыке со стенами разрешается считать, что углы плиты закреплены от подъема.

Монолитные плиты, а также сборные, имеющие специальные связи для обеспечения неразрезности на опорах, рекомендуется рассчитывать с учетом их защемления на последних. При этом для сборных и сборно-монолитных плит необходимо учитывать две стадии их работы: до и после устройства связей, обеспечивающих защемление плиты.

Расчет по прочности плит, работающих на изгиб из плоскости в двух направлениях, рекомендуется выполнять кинематическим способом метода предельного равновесия.

Для плиты с заданным армированием расчет по прочности выполняют в следующей последовательности:

а) выявляют расчетные сечения; для всех плит в качестве расчетных условно рассматривают сечения, перпендикулярные пролетам  $l_1$  и  $l_2$  и проходящие через центр плиты; для плит с защемленными

опорами так же — сечения вдоль этих опор, кроме этого — сечения, где изменяется армирование плиты, для многопустотных плит дополнительно — сечения вдоль пустот, примыкающих к опорам;

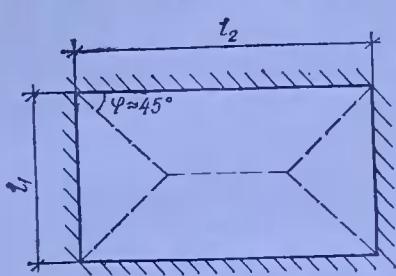
б) определяют значения изгибающих моментов, воспринимаемых плитой по расчетным сечениям (программа 2.46) при армировании: одностороннем

$$M_i = R_{st} A_{si} \left( h_{0i} - \frac{0,5 R_{si} A_{si}}{R_{bt} b_i} \right);$$

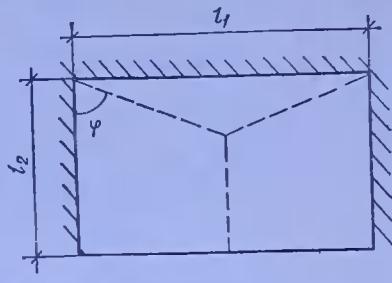
двухстороннем

$$M_i = (R_{st} A_{si} - R_{sct} A'_{si}) \left( h_{0i} - \frac{0,5 (R_{st} A_{si} - R_{sct} A'_{si})}{R_{bt} b_i} \right) + R_{sct} A'_{si} (h_{0i} - a_i);$$

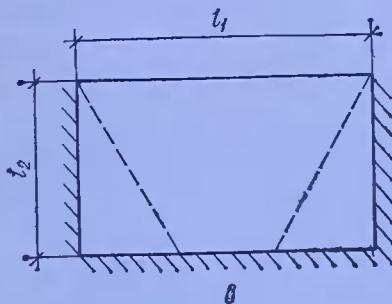
в) намечают схему излома плиты в предельном состоянии и определяют углы наклона линий излома по отношению к стороне плиты вдоль пролета  $l_2$ ; для свободно опертых и защемленных по контуру



*a*



*b*



*c*

Рис. 3.16. Возможные схемы излома плит перекрытий, свободно опертых:

*a* — по контуру; *b*, *c* — по трем сторонам.

плит схемы излома рекомендуется принимать соответственно по рис. 3.16, *a* и 3.17, *a*, при этом угол  $\varphi$  наклона линий излома к сторонам вдоль пролета  $l_2$  допускается принимать равным  $45^\circ$ ; для

свободно опертых и защемленных по трем сторонам плит рекомендуется рассматривать схемы излома по рис. 3.16, *b*, *c* и 3.17, *b* при этом для плит в соотношении сторон  $l_2/l_1 \geq 1$  допускается принимать  $\varphi = 45^\circ$ ;

г) определяют предельное значение равномерно распределенной нагрузки на плиту  $\bar{q}$ ;

д) сопоставляют нагрузку  $\bar{q}$  с расчетной нагрузкой на плиту  $q$ ; прочность плиты считается обеспеченной, если  $\bar{q} \geq q$ .

При загружении плиты на различных участках неодинаковыми распределенными нагрузками, а также точечными и полосовыми средоточенными нагрузками допускается указанные нагрузки заменять

нять приведенной равномерно распределенной нагрузкой, определяемой из условия равенства работ фактических и приведенных нагрузок на перемещениях, которые соответствуют заданной схеме излома плит.

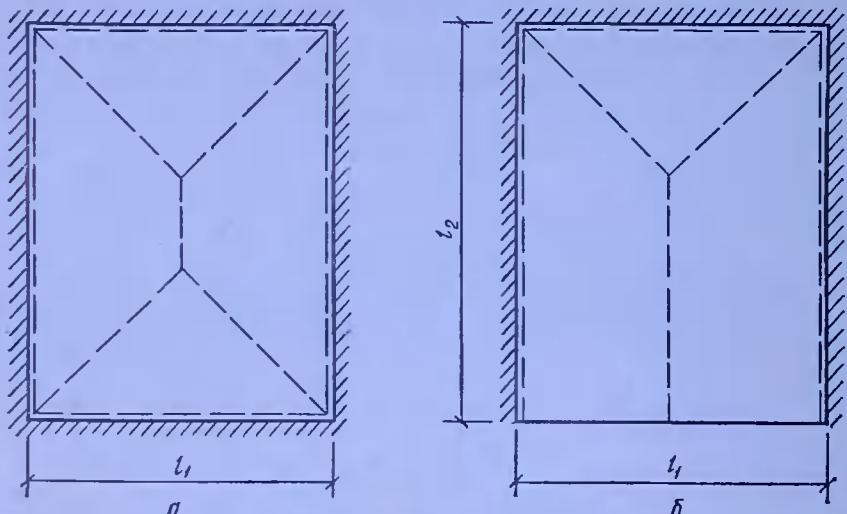


Рис. 3.17. Возможные схемы излома плит перекрытий, защемленных:  
а — по контуру; б — по трем сторонам.

Пределная нагрузка  $q$  для плиты (программа 3.47, 3.48):  
для свободно опертой по контуру плиты при армировании сетками, все стержни которых доводятся до опор согласно рекомендациям (9):

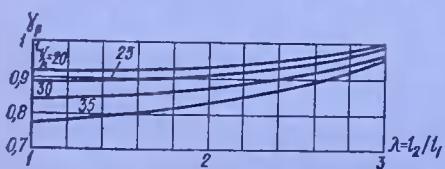


Рис. 3.18. График для определения коэффициента  $\gamma_p$ , учитывающего влияние распора.

сил распора и определяемый по графику рис. 3.18;  $\lambda = l_2/l_1$ ;  
для свободно опертой по трем сторонам плиты, армированной в двух направлениях,  $\bar{q}$  принимается равной меньшему из значений, вычисляемых для двух схем излома:

по схеме рис. 3.16, б

$$\bar{q} = \frac{24}{l_1^3} \frac{2M_1 v_{\Phi_1} + M_2}{v_{\Phi_1} (6\lambda - v_{\Phi_1})}, \quad (3.96)$$

где

$$v_{\Phi_1} = (-\psi + \sqrt{\psi^2 + 12\psi\lambda^2})/2\lambda; \quad \psi = \frac{M_2}{l_1} - \frac{l_2}{M_1}; \quad (3.97)$$

по схеме рис. 3.16, в

$$\bar{q} = \frac{24}{l_1^3} \frac{M_1 v_{\varphi_2}^2 + M_2 \lambda}{2\lambda^2 (3v_{\varphi_2} - 2\lambda)}, \quad (3.98)$$

где

$$v_{\varphi_2} = \frac{1}{3} (2\lambda + \sqrt{4\lambda^2 + 9\psi}); \quad (3.99)$$

для плиты, защемленной по контуру,

$$\bar{q} = \frac{12}{l_1^3} \frac{(2M_1 + 2M_2 + M_1 + M'_1 + M_{II} + M'_{II})}{3\lambda - 1}; \quad (3.100)$$

для плиты, защемленной по трем сторонам,

$$\bar{q} = \frac{12}{l_1^3} \frac{2M_1 + M_2 + M_1 + M'_1 + M_{II}}{6\lambda - 1}, \quad (3.101)$$

где  $M_1, M'_1, M_{II}, M'_{II}$  — изгибающие моменты, воспринимаемые на опорах вдоль пролетов  $l_1$  и  $l_2$  соответственно (см. рис. 3.19).

Предварительно напряженные в одном направлении плиты рассчитывают по прочности, учитывая, что  $\gamma_p = 1$ . При расчете прочности плит, опертых по трем сторонам и имеющих армирование в виде предварительно напряженной арматуры только вдоль пролета  $l_1$ , в формулах (3.96) и (3.98) принимают,  $M_2 = 0$ , а коэффициент  $\psi$  вычисляют исходя из изгибающих моментов  $M_{b1}$  и  $M_{b2}$ , при которых в плите образуются трещины при ее изгибе соответственно вдоль пролетов  $l_1$  и  $l_2$  (при этом учитывается влияние предварительного напряжения).

Для железобетонных плит перекрытий необходима проверка прочности по наклонным сечениям на действие поперечной силы. Расчет выполняется по указаниям норм проектирования железобетонных конструкций для наклонных сечений, проходящих через опоры.

Значение поперечной силы в опорном сечении для плиты, работающей на изгиб в двух направлениях, рекомендуется принимать равным большему из двух значений, определяемых исходя из упругой стадии работы плиты и в предельном состоянии (для принятой в расчете схемы излома плиты). Для предварительного расчета допускается по-перечную силу определять из условия опирания плиты по двум сторонам. Если требования расчета по поперечной силе оказываются выполненными без дополнительного армирования или повышения класса бетона плиты, то дальнейшего уточнения значения поперечных сил не требуется.

Расчетные изгибающие моменты  $M_1$  и  $M_2$ , действующие вдоль пролетов  $l_1$  и  $l_2$ , соответствующие оптимальному армированию, определяются следующим образом (программа 3.49):

для свободно опертой по контуру плиты, армированной сеткой, все стержни которой доводятся до опоры;

$$M_1 = M_0 \gamma_p (1 - \frac{2}{3} v_{0pt} / \lambda); \quad M_2 = M_0 \gamma_p v_{0pt}^2 / 3\lambda,$$

где  $M_0 = q l_1^2 l_2 / 8$  — изгибающий момент в среднем сечении плиты, соответствующий блочной схеме работы;  $v_{0pt}$  — коэффициент, равный

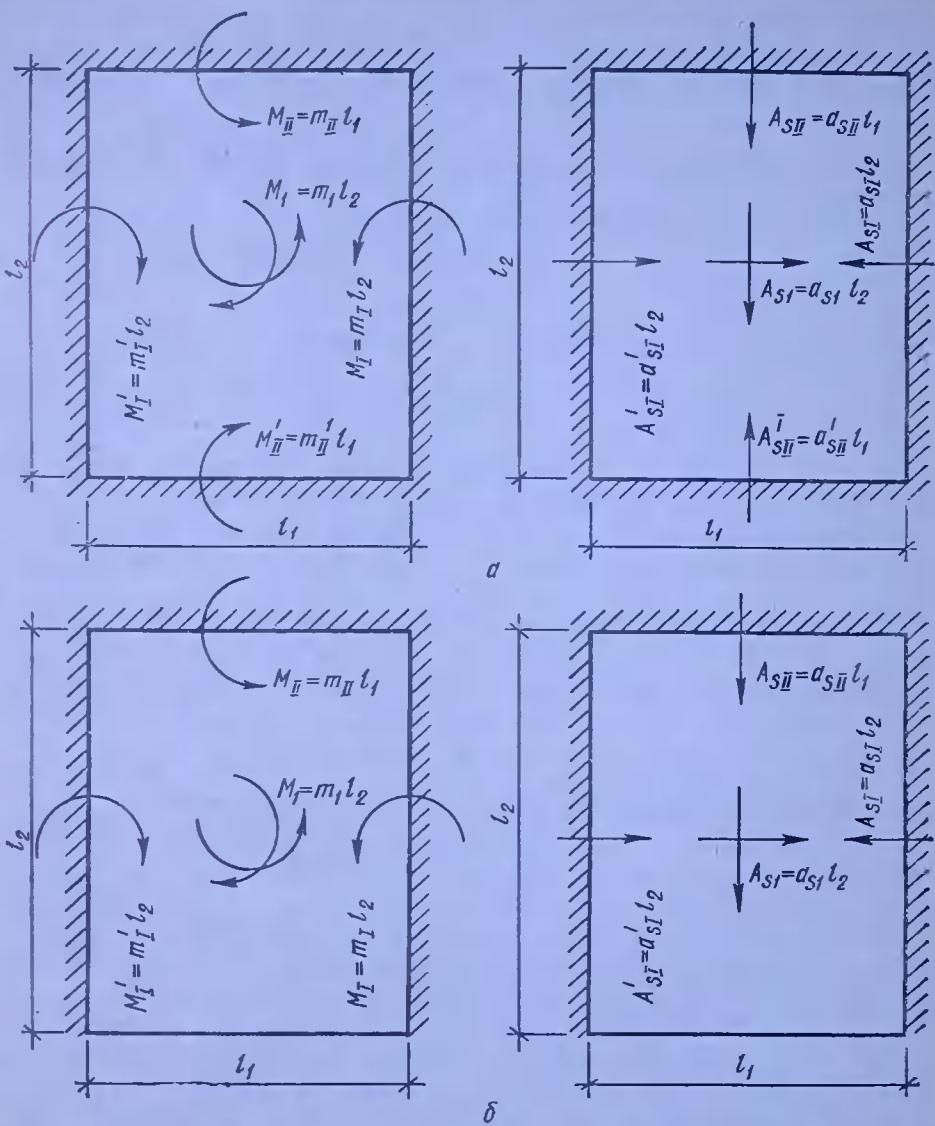


Рис. 3.19. Схемы действия изгибающих моментов и распределения рабочей арматуры в плитах, защемленных:  
— по контуру; б — по трем сторонам.

котангенсу угла наклона линии излома к стороне плиты вдоль пролета  $l_2$ , определяемый по формуле

$$\nu_{0pt} = \frac{\gamma_s}{\lambda} \frac{h_{02}}{h_{01}},$$

где  $\gamma_s$  — коэффициент, зависящий от вида арматуры вдоль пролетов  $l_1$  и  $l_2$ ; при армировании одинаковой арматурой в обоих направлениях  $\gamma_s = 1$ ; при армировании плиты вдоль пролета  $l_1$  стержневой арматурой класса А-III, а вдоль пролета  $l_2$  проволочной арматурой класса

Вр-1  $\gamma_s = 0,9$ ; в остальных случаях

$$\gamma_s = \frac{R_{s'c}}{R_{sl}} \frac{C_{sl}}{C_{s2}};$$

$R_s$ ,  $C_s$  — соответственно расчетное сопротивление и стоимость 1 м арматурных стержней;  $h_{01}$ ,  $h_{02}$  — рабочая высота сечения при изгибе соответственно вдоль пролетов  $l_1$  и  $l_2$ ;

для свободно опертой по трем сторонам плиты, армированной сеткой, все стержни которой доводятся до опор:

при

$$\lambda^2 > 0,25\gamma_c h_{02}/h_{01}$$

$$M_1 = M_0(1 - v_{0pt}/3\lambda); \quad M_2 = M_0 v_{0pt}^2/3\lambda; \quad v_{0pt} = \gamma_s h_{02}/2\lambda h_{01};$$

при

$$\lambda^2 \leq 0,25\gamma_s h_{02}/h_{01}$$

$$M_1 = M_0/4v_{0pt}\lambda; \quad M_2 = M_0(v_{0pt} - (4/3)\lambda); \quad v_{0pt} = \sqrt{\gamma_s h_{02}/h_{01}}.$$

**Особенности расчета по прочности многопустотных плит с цилиндрическими пустотами.** Расчет прочности плиты по нормальным сечениям, перпендикулярным направлению пустот, выполняется для приведенного двутаврового сечения, для которого ширина сжатой и растянутой полок  $b_{f,rea}$  и  $b_{f,red}$  равны ширине плиты вдоль рассматриваемого сечения, а приведенные высоты полок  $h_{f,red}$  и  $h_{f,red}$  и толщина стенки  $b_{w,red}$  определяются по формулам:

$$h_{f,red} = h_f + 0,0569d; \quad h_{f,red} = h_f + 0,0569d; \quad b_{w,red} = b - 0,886dn,$$

где  $d$  — диаметр пустот в плите;  $n$  — количество пустот, пересекающих расчетное сечение плиты.

Расчет прочности плиты по нормальным сечениям, параллельным направлению пустот при действии изгибающего момента, выполняется как для прямоугольного сечения, при этом расчетная высота сжатой зоны не должна превышать минимальную толщину сжатой полки (в сечении вдоль оси пустоты).

Изгибающие моменты, действующие в расчетных сечениях, допускается определять как для плиты сплошного сечения.

В многопустотной плите должна быть проверена прочность ребер на срез по горизонтальным — прочность полок на срез — и по вертикальным сечениям.

Для опертой по двум сторонам плиты с пустотами, расположеннымими параллельно опорам, прочность на срез проверяется по формулам (программа 3.50):

для опорного

$$q \leq \frac{0,9\varphi_{b_3} R_{bt} b_{w0} (h + d)}{0,5l (b_{w0} + d)};$$

для ближайшего к опорному промежуточного

$$q \leq \frac{0,9\varphi_{b_3} R_{bt} b_w (h + d)}{l (b_w + d)};$$

для полок (в сечении по ближайшей к опоре пустоте)

$$q \leq 2 \cdot 0,9 \Phi_{b_s} R_{bt} (h_f + h_f)/l,$$

где  $q$  — расчетная нагрузка на плиту;  $l$  — расчетный пролет плиты;  $b_{w0}$  — минимальная толщина опорного ребра;  $\Phi_{b_s}$  — по п. 3.31 СНиП 2.03.01-84.

Для опертой по четырем сторонам плиты с пустотами, расположеными вдоль длинной стороны, а также для плиты, опертой по трем сторонам с пустотами, расположенными параллельно свободной стороне плиты при соотношении сторон  $l_2/l_1 > 2$ , прочность ребер на срез проверяется по формулам (программа 3.51):

для крайнего опорного

$$q \leq \frac{0,15 R_{bt} b_{w0} (h - h_f) \gamma_w}{s_0 (l_2 - s_0 + 0,5 b_{w0})},$$

для ближайшего к опорному промежуточного

$$q \leq \frac{0,15 R_{bt} b_w (h - h_f) \gamma_w}{s (l_2 - s_0 + 0,5s)},$$

где  $s$  — шаг пустот;  $s_0$  — расстояния по горизонтали от оси опоры до центра первой пустоты в плите; приближенно допускается принимать

$$s_0 = (b_{w0} + d)/2; \quad \gamma_w = \pi \left( 1 + \frac{\pi^2 \lambda}{4} \frac{E_b I}{G_b I_{tor}} \right);$$

$I$  — момент инерции при изгибе для сечения плиты, перпендикулярного пустотам; при симметричном по высоте плиты расположении пустот:

$$I = \frac{l_2 h^3}{12} - \frac{n \pi d^4}{64};$$

$I_{tor}$  — момент инерции при свободном кручении для сечения плиты, перпендикулярного пустотам, который допускается определять как для замкнутого коробчатого сечения по формуле

$$I_{tor} = \frac{2 (l_2 - b_{w0})^2 (h - h_f)^2}{(l_2 - b_{w0})/h_f + (h - h_f)/b_{w0}}.$$

Особенности расчета по прочности предварительно напряженных плит, опертых по трем сторонам. При расчете по прочности опертых по трем сторонам плит с комбинированным армированием в виде предварительно напряженной арматуры с площадью сечения  $A_{sp}$  и ненапрягаемой арматуры с площадью сечения  $A_s$  учитывают приведенную площадь сечения арматуры

$$A_{s,red} = A_{sp} + R_s A_s / R_{sp}. \quad (3.102)$$

Расчетная высота сечения с комбинированным армированием вычисляется по формуле

$$h_0 = (h_{0p} A_{sp} + h_{0s} A_s R_s / R_{sp}) / A_{s,red}, \quad (3.103)$$

где  $h_{0p}$ ,  $h_{0s}$  — соответственно рабочая высота сечения для обычной и предварительно напряженной арматуры.

При расчете по прочности опертых по трем сторонам плит с армированием только предварительно напряженной арматурой, параллельной свободному краю плиты, необходимо дополнительно проверять трещиностойкость плиты для сечений вдоль пустот.

Прочность многопустотной плиты по сечению вдоль средней по ее ширине пустоты при совместном действии общего и местного изгиба проверяется по формуле

$$q \leq \frac{0,85 R_{bt} h_{red} \gamma_w}{l_2 [1,5d/h_{red} + l_2/(h+d)]}, \quad (3.104)$$

где  $h_{red} = 0,5$ ,  $h = 0,433$ ,  $d$  — приведенная высота полки.

При соблюдении условия (3.103) плиту допускается армировать в одном направлении. Расчет такой плиты выполняют, используя следующие предпосылки:

направление трещин при разрушении плиты совпадает с направлением первоначальных и зависит от соотношения сторон плиты и моментов трещинообразования бетонного сечения плиты  $M_{crc,1}$  и  $M_{crc,2}$  соответственно при изгибе вдоль пролетов  $l_1$  и  $l_2$ ; момент трещинообразования определяют с учетом влияния предварительного напряжения арматуры по формуле

$$M_{crc,1} = R_{bt,ser} W_{pl,1} + M_{rp},$$

где  $W_{pl,1}$  — пластический момент сопротивления сечения плиты, перпендикулярного свободному краю, определяемый по указаниям норм проектирования железобетонных конструкций;  $M_{rp}$  — момент усилия предварительного обжатия относительно оси, параллельной нейтральной оси и проходящей через ядовую точку, наиболее удаленную от растянутой зоны.

Момент трещинообразования вычисляют для сечения по пустоте.

Предельную нагрузку для плиты с заданным армированием предварительно напряженной арматурой, расположенной параллельно свободному краю, принимают меньшей из значений, вычисляемых по формулам (3.96) и (3.98) при  $M_2 = 0$ .

При этом:  $M_1$  — изгибающий момент, воспринимаемый плитой при опирании по двум сторонам;  $v_{\phi_1}, v_{\phi_2}$  — вычисляется по формулам соответственно (3.97) и (3.99);  $\psi = \frac{M_{crc,2}}{M_{crc,1}} \frac{l_2}{l_1}$  — коэффициент ортотропии.

Расчет железобетонных плит перекрытий по предельным состояниям второй группы. Сборные плиты, не имеющие специальных связей для обеспечения неразрезности перекрытий на опорах, рассчитывают по предельным состояниям второй группы как свободно опертые. При защемлении перекрытий стенами в случае, если на опоре не образуются трещины, а также при наличии специальных связей, обеспечивающих неразрезность перекрытий на опорах, разрешается при расчете плит по второй группе предельных состояний рассматривать две стадии их работы: до и после защемления.

Расчет до защемления плиты выполняют в предположении ее свободного опирания. Для этой стадии проверяют возможность образования

ния в пролете трещин и определяют кратковременный прогиб от нагрузок, приложенных до защемления плиты, учитывают нагрузки от собственного веса и опирающихся на нее сборных элементов (плит пола, панельных перегородок, санитарно-технических кабин и др.), устанавливаемых до монтажа плит очередного этажа, а также временную нагрузку от веса монтажного оборудования, емкостей с раствором или складируемых на перекрытии материалов. Временную монтажную нагрузку рекомендуется принимать не менее 0,5 кПа.

Для второй стадии работы плиты устанавливают кратковременные прогибы от нагрузки, приложенной после защемления плиты (перегородки из штучных материалов, полы, временная нагрузка), и приращение прогибов от всех длительно действующих нагрузок, обусловленное развитием деформаций ползучести бетона плиты, а также проверяют возможность образования трещин в пролете и на опорах от суммарных нагрузок. В случае образования трещин на опорах при отсутствии специальных связей, рассчитанных на восприятие изгибающих моментов в опорных сечениях, плиту рассчитывают как свободно опертую. При образовании трещин в пролете проверяют их раскрытие от длительно действующей нагрузки. При расчете сборных плит с учетом защемления на опорах рекомендуется учитывать конечную жесткость при повороте опорных закреплений.

Для монолитных плит все нагрузки разрешается считать приложенными после снятия опалубки. Сборные плиты-скорлупы сборно-монолитных перекрытий разрешается проверять расчетом по предельным состояниям второй группы только для эксплуатационной стадии. При определении прогибов плит перекрытий нагрузку от веса ненесущих панельных наружных стен и жестких перегородок принимают сосредоточенной по концам стен или перегородок, а при наличии проемов — и у краев проемов. Для прочих перегородок 60 % их веса принимают распределенной по длине перегородки (на участках между проемами), а 40 % — сосредоточенной по концам перегородок и у краев проемов. Сосредоточенные нагрузки от наружных стен и перегородок допускается заменять равномерно распределенной нагрузкой, эквивалентной по изгибающему моменту в перекрытиях.

При расчете плит перекрытий по предельным состояниям второй группы различают нагрузки:

$q_n$  — нормативную, по которой проверяют образование трещин в плите;

$q_l$  — нормативную длительно действующую, по которой проверяются прогибы и раскрытие трещин;

$q_1$  — нагрузку, приложенную к плите до ее защемления (при учете двух стадий работы плиты);

$q_2$  — то же, после защемления плиты.

При вычислении нагрузки  $q_n$  учитывают полное значение временной нагрузки, равное для квартир жилых зданий 1,5 кПа; для  $q_l$  учитывают только длительно действующую часть временной нагрузки, равную 0,3 кПа.

Все нагрузки определяют с коэффициентом безопасности по нагрузке, равным 1.

Прогибы и раскрытие трещин плиты, работающей на изгиб из плоскости в двух направлениях, разрешается находить приближенно линейной интерполяцией прогибов, соответствующих нагрузкам, при которых образуются трещины в плите  $q_{crc}$ , и предельной нагрузки  $q_{ser}$ , определенной исходя из характеристик материала плиты для второй группы предельных состояний. Для плиты, рассчитываемой с учетом двух стадий работы, при определении прогибов и раскрытия трещин следует различать случаи, когда трещины образуются до и после защемления плиты.

**Расчет по образованию трещин.** Для сборной свободно опертой плиты нагрузка  $q_{crc}$ , при которой образуются трещины в пролете,

$$q_{crc} = M_{crc}/\alpha_1 l_1^2 l_2, \quad (3.105)$$

где  $\alpha_1$  — коэффициент, определяемый для плит, опертых по 4 и 3 сторонам, по графикам на рис. 3.20, а, б; для плиты, опертой по двум противоположным сторонам,  $\alpha_1 = 0,125$ .

Для сборных плит, рассчитываемых с учетом двух стадий работы, нагрузки  $q_{crc}$  и  $q_{crc}^0$ , при которых образуются трещины соответственно в пролете и на опоре определяют по формулам (программа 3.52):

$$q_{crc} = q_1 + \frac{M_{crc}/(l_1^2 l_2) - q_1 \alpha_1}{\alpha_1 (1 - \alpha) + \alpha_2 \alpha}; \quad (3.106)$$

$$q_{crc}^0 = \frac{1,1 M_{crc}^0}{l_1^2 l_2 \alpha_3} + q_1, \quad (3.107)$$

где  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$  — коэффициенты, определяемые для плит, опертых по четырем и трем сторонам (см. рис. 3.20, а, б); для плиты, опертой по двум противоположным сторонам,  $\alpha_2 = 0,0417$ ;  $\alpha_3 = 0,0833$ ;  $\alpha$  — коэффициент, учитывающий упругую податливость защемления

$$\alpha = \frac{0,5 k_\phi l_1 / EI_p}{1 + 0,5 k_\phi l_1 / EI_p};$$

$k_\phi$  — коэффициент жесткости опоры при повороте, вычисляемый для платформенного стыка по формуле

$$k_\phi = \frac{d}{12} [(b_{pl}^{sup})^3 / \lambda_m^{sup} + (b_{pl}^{inf})^3 / \lambda_m^{inf}];$$

$EI_p$  — изгибная жесткость плиты перекрытия при изгибе вдоль пролета  $l_1$ ;  $d$  — длина плиты вдоль опоры;  $b_{pl}^{sup}$ ,  $b_{pl}^{inf}$  — глубины опорных площадок плиты перекрытия соответственно для верхнего и нижнего растворных швов;  $\lambda_m^{sup}$ ,  $\lambda_m^{inf}$  — коэффициенты податливости при сжатии соответственно верхнего и нижнего растворных швов, определяемые в соответствии с п. 3.2.1.

В случае, если  $q_{crc}^0 < q_{crc}$ , плиту рассчитывают как свободно опертую.

Для монолитной плиты сплошного сечения нагрузки  $q_{crc,i}$ , при которых образуются трещины в сечении  $i$  плиты, определяют по формулам (3.106) и (3.107), в которых принимают, что  $q_1 = 0$ ,  $\alpha = 1$ .

**Расчет прогибов.** Прогибы свободно оперты по двум сторонам плит вычисляют по нормам проектирования железобетонных конструкций. Максимальные прогибы от длительно действующих нагрузок, свободно опертых по трем или четырем сторонам плит с закрепленными от подъема углами, разрешается рассчитывать по формулам для случаев:

отсутствия трещин ( $q_{crc} > q_n$ )

$$f = \Phi_b l^4 \beta_1 q_l / \Phi_b E_b h^3;$$

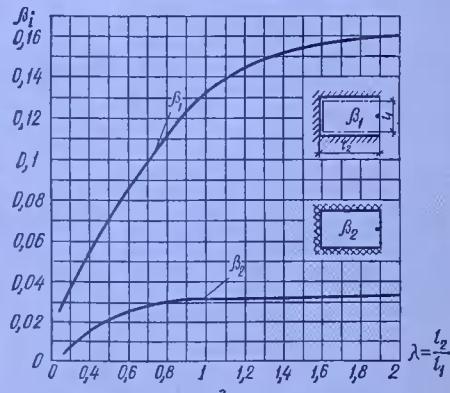
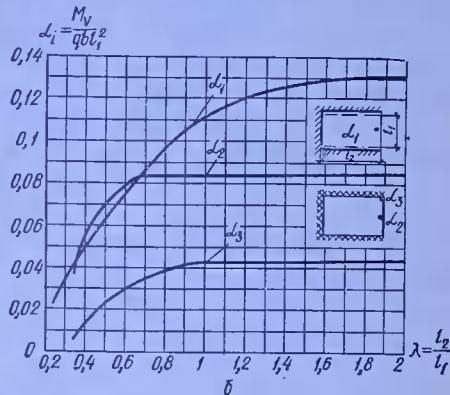
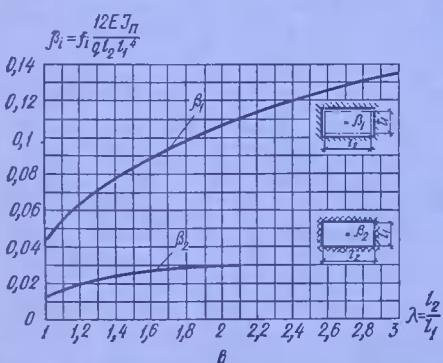
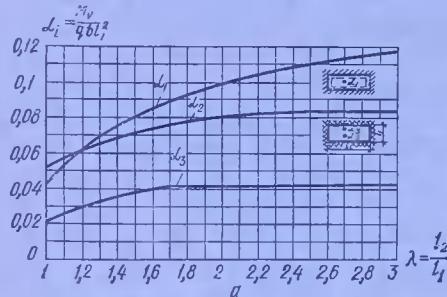


Рис. 3.20. Графики для определения коэффициентов, используемых в расчетах плит:  
а —  $\alpha_1 \dots \alpha_3$  — при опирании или защемлении плит по контуру; б — то же, по трем сторонам;  
в —  $\beta_1, \beta_2$  — при опирании или защемлении плит по контуру; г — то же, по трем сторонам.

когда трещины образуются при нагрузке  $q_{crc} \geq q_l$

$$f = f_{crc} \frac{\Phi_b q_l - (q_n - q_{crc})}{q_{crc}} (f_{ser} - f_{crc}) \frac{q_n - q_{crc}}{q_{ser} - q_{crc}};$$

при нагрузке  $q_{crc} < q_l$

$$f = \Phi_b f_{crc} + (f_{ser} - \Phi_b f_{crc}) \frac{q_l - q_{crc}}{q_{ser} - q_{crc}},$$

где  $\beta_1$  — коэффициент (см. рис. 3.20, в, г);  $f_{crc}$  — кратковременный прогиб при нагрузке  $q_{crc}$ , соответствующий моменту образования трещин в плите,

$$f_{crc} = l^4 \beta_1 q_{crc} / \Phi_b E_b h^3,$$

$\Phi_b, \Phi_b$  — коэффициенты, определяемые по п. 3.30 (1),  $f_{ser}$  — прогиб плиты в предельном состоянии от длительно действующих нагрузок,

вычисленный исходя из расчетных характеристик и арматуры для предельных состояний второй группы,

$$f_{ser} = \frac{0,141l_1^2 R_{s,ser}}{h_{01} E_s} \left( 1 + \frac{0,9\mu E_s}{\xi E_b v} \right) \eta_1 \eta_2, \quad (3.108)$$

$\mu$  — приведенный коэффициент армирования;

$$\mu = (\mu_1 v_\phi^2 + \mu_2) / (1 + v_\phi^2),$$

$\mu_1, \mu_2$  — коэффициенты армирования соответственно вдоль пролетов  $l_1$  и  $l_2$ ;  $v_\phi$  — котангенс угла наклона линии излома, принимаемый для плит, опертых по четырем сторонам, а также опертых по трем сторонам при  $\lambda \leq 1$  равным 1, а при  $\lambda > 1$  — вычисляемый по формулам (3.97) или (3.99);  $v$  — коэффициент, характеризующий упругопластическое состояние бетона сжатой зоны, принимаемый по СНиП 2.03.01-84 (при определении  $f_{ser}$  по формуле (3.108) принимается  $v = 0,45$ );

$$\xi = 0,1 + 0,5\mu k_{s,ser}/k_{b,ser}; \quad (3.109)$$

$\eta_1$  — коэффициент, учитывающий возможные отклонения толщины защитного слоя арматуры; для армированных сетками плит толщиной менее 16 см

$$\eta_1 = h_{01}/(h_{01} - 0,7),$$

но не более 1,2; в остальных случаях  $\eta_1 = 1$ ;

$\eta_2$  — коэффициент, учитывающий несовпадение наибольшего прогиба плиты с прогибом в точке пересечения линий излома и определяемый по формулам:

для опертых по контуру плит

$$\eta_2 = 1 + 0,2(l_2/l_1 - 1);$$

для плит, опертых по трем сторонам,

$$\eta_2 = 1 + 0,2(2l_2/l_1 - 1) \text{ при } l_2 > 0,5l_1;$$

$$\eta_2 = 1 - (1 - 2l_2/l_1)^2 \text{ при } l_2 \leq 0,5l_1.$$

Расчет прогибов, свободно опертых по трем или четырем сторонам плит с закрепленными от подъема углами, производится по программе 3.53.

Максимальные прогибы от длительно действующих нагрузок сборных плит, рассчитываемых с учетом двух стадий их работы, допускается определять по формулам (программа 3.54):

при отсутствии трещин ( $q_{crc} > q_n$ )

$$f = \varphi_{b_2} l_1^4 [\beta_1 q_l - \alpha (q_l - q_1) (\beta_1 - \beta_2)] / (\varphi_b E_b h^3);$$

при образовании трещин в пролете до упругого защемления плиты ( $q_1 \geq q_{crc}$ )

$$f = \varphi_{b_2} f_{crc} + (f_{ser} - f_{crc} \varphi_{b_2}) \frac{q_l - q_{crc} - \Delta q}{q_n - q_{crc}};$$

при образовании трещин в пролете после упругого защемления плиты ( $q_l < q_{crc}$ )

$$f = \Phi_{b_2} \left[ f_{crc}^0 + (f_{ser} - f_{crc}^0) \frac{q_l - q_{crc}^0}{q_{ser} - q_{crc}^0} \right],$$

где  $\beta_1, \beta_2$  — коэффициенты, определяемые по графикам на рис. 3.20, б, в;

$$\Delta q = \alpha (q_l - q_1) (1 - \beta_2 / \beta_1);$$

$$f_{crc}^0 = [\beta_1 q_{crc}^0 - (q_{crc}^0 - (q_{crc}^0 - q_1) (\beta_1 - \beta_2)) \alpha] l_1^4 / \Phi_{b_1} E_b h^3;$$

$q_{crc}^0$  — нагрузка, при которой в защемленной плите образуются трещины в пролете.

**Расчет раскрытия трещин.** Ширина раскрытия трещин железобетонных плит определяется согласно СНиП 2.03.01-84 в зависимости от значения напряжения в растянутой арматуре в сечении с трещиной.

Для плит, опертых по контуру и трем сторонам, напряжение определяется по формулам (программа 3.55):

$$\sigma_s = \sigma_{s,scr} + (R_{s,ser} - \sigma_{s,crc}) \frac{q_l - q_{crc}}{q_n - q_{crc}} \text{ при } q_l > q_{crc};$$

$$\sigma_s = \left[ \sigma_{s,crc} + (R_{s,scr} - \sigma_{s,crc}) \frac{q_n - q_{crc}}{q_{ser} - q_{crc}} \right] \frac{q_l}{q_n} \text{ при } q_l \leq q_{crc} < q_n,$$

где  $\sigma_{s,crc}$  — напряжение в арматуре непосредственно после образования трещин в сечении:

$$\sigma_{s,crc} = \frac{M_{crc}}{(1 - 0,5\xi) h_0 A_s};$$

$\xi$  — определяется по формуле (3.109).

В слабоармированных сечениях плиты при  $\mu \leq 0,8\%$  расчетное значение ширины раскрытия трещин допускается уменьшать умножением на коэффициент  $\omega$ , учитывающий работу растянутого бетона над трещинами,

$$\omega = \omega_1 \omega_2 \leq 1,$$

где  $\omega_1$  — коэффициент, учитывающий уровень нагружения:

$$\omega_1 = \frac{m_n - m_{crc}}{m_0 - m_{crc}} \frac{m_0}{m_l} \frac{m_l + \sigma W_0}{m_n + \sigma W_0};$$

$m_n, m_l$  — изгибающие моменты, действующие в сечении плиты соответственно от нагрузки  $q_n, q_l$ :

$$m_n = m_{crc} + (m_{ser} - m_{crc}) \frac{q_n - q_{crc}}{q_n - q_{crc}}; \quad m_l = m_{crc} + (m_{ser} - m_{crc}) \frac{q_l - q_{crc}}{q_n - q_{crc}};$$

$m_0$  — момент, при котором растянутый бетон над трещинами практически выключается из работы:

$$m_0 = 1,2(1 + 3,5\mu E_s / \eta E_b) m_{crc} \leq 3,3 m_{crc};$$

$W_0$  — упругий момент сопротивления сечения при изгибе;  $\sigma = 1 \text{ МПа}$  — сжимающие напряжения;  $\omega_2$  — коэффициент, учитывающий длительность действия нагрузки,

$$\omega_2 = 1,8m_{crc}/m_n \geqslant 1$$

при

$$m_0 < m_n \quad \omega_2 = 1,0.$$

## ПРОГРАММЫ

, 3.15 ÷ 3.55

### Программа 3.15

Проверка выполнения  
условия жесткости  
связей сдвига

$\Pi x0$	$F1/x$	$\Pi x1$	$F1/x$	$+$	$x\Pi d$	$\Pi xb$	$Fx \geqslant 0$	19	$\Pi x2$
$\Pi x3$	$+$	$F1/x$	$\Pi x4$	$Fx^2$	$\times$	$\Pi xd$	$+$	$x\Pi d$	$\Pi x7$
$F1/x$	$\Pi x8$	$F1/x$	$+$	$\Pi x9$	$/$	$\Pi xa$	$/$	$F1/x$	$\Pi xc$
$+$	$\Pi xd$	$\times$	$\Pi x5$	$\times$	$F\sqrt{ }$	$1$	$2$	$\Pi xb$	$/$
$-$	$Fx \geqslant 0$	$45$	$1$	$C/\Pi$	$0$	$C/\Pi$			

**Инструкция.** Ввод  $EA_i \rightarrow 0$ ;  $EA_{i+1} \rightarrow 1$ ;  $EI_l (\text{Н} \cdot \text{м}^2) \rightarrow 2$ ;  $EI_{i+1} (\text{Н} \cdot \text{м}^2) \rightarrow 3$ ;  $L_l (\text{м}) \rightarrow 4$ ;  $H_0 \rightarrow 5$ ;  $m \rightarrow 6$ ;  $I \rightarrow 7$ ;  $1/\lambda_{\text{пер}} \rightarrow d$ . В/О С/П. Индикация — 0, связь податливая. Индикация — 1, связь жесткая.

**Примечания:** 1. Для шпоночных соединений до образования трещин:  $B_b \rightarrow 7$ ;  $B_{mon} \rightarrow 8$ ;  $A_{loc} \rightarrow 9$ ;  $100n_k \rightarrow a$ ; для шпоночных соединений после образования трещин и бесшпоночных соединений с замоноличенными связями:  $E_b \rightarrow 7$ ;  $E_{mon} \rightarrow 8$ ;  $d_s \rightarrow 9$ ;  $\frac{\pi d}{6} \rightarrow a$ . В/О С/П. 2.  $I = 1$  — при нагрузке или воздействии, вызывающих изгиб столбов;  $I = -1$  — в противном случае. 3. Данные в регистры 2, 3, 4 вводятся только при  $I = 1$ . 4.  $1/\lambda_{\text{пер}}$  принимается равной  $2 \cdot 10^6 \text{ Н/см}$  при учете работы перекрытий как связей сдвига и равной 0 — в противном случае.

**Контрольный пример.**  $8,67 \cdot 10^9 \rightarrow 0$ ;  $4,33 \cdot 10^9 \rightarrow 1$ ;  $2,6 \cdot 10^{10} \rightarrow 2$ ;  $0 \rightarrow 3$ ;  $3,08 \rightarrow 4$ ;  $280 \rightarrow 5$ ;  $9 \rightarrow 6$ ;  $1,53 \cdot 10^6 \rightarrow 7$ ;  $1,53 \cdot 10^6 \rightarrow 8$ ;  $1,2 \rightarrow 9$ ;  $2 \rightarrow a$ ;  $1 \rightarrow b$ ;  $2 \cdot 10^6 \rightarrow d$ .

Результат: 0.

Время счета: 10 с.

### Программа 3.16 (МК-52, МК-61)

Определение коэффициента податливости железобетонной перемычки в стадии до образования трещин

$\Pi x0$	$Fx \geqslant 0$	53	1	.	2	$\Pi \Pi$	83	$xPe$	$\Pi x8$
$x\Pi 7$	$\Pi x6$	$x\Pi 5$	$\Pi xe$	$x\Pi 8$	1	.	2	$\Pi \Pi$	83
$xPe$	$\Pi x9$	$\Pi x1$	/	$Fx^2$	$\Pi x8$	$\times$	$\Pi xa$	$\Pi x1$	/
$Fx^2$	$\Pi xe$	$\times$	+	$x\Pi 6$	$\Pi x0$	$Fx \geqslant 0$	67	$\Pi xb$	$\Pi x2$
/	$Fx^2$	3	+	$\Pi xb$	$\times$	$\Pi xc$	/	$\Pi x3$	/
$\Pi x6$	+	$C/\Pi$	1	$\Pi \Pi$	83	$xPe$	$\Pi x8$	$x\Pi 7$	$\Pi x6$
$x\Pi 5$	1	$\Pi \Pi$	83	$x\Pi 8$	$\Pi \Pi$	21	3	$\Pi xb$	$Fx^Y$
$\Pi x3$	/	$\Pi xd$	/	$\Pi xb$	$\Pi xc$	/	$\Pi x4$	/	+
$\Pi x6$	+	$C/\Pi$	$\Pi x1$	$\Pi x2$	—	$\times$	$\Pi x4$	/	$\Pi x7$
/	$xPe$	$\Pi x1$	$\Pi x2$	—	3	$\leftrightarrow$	$Fx^Y$	$\Pi x3$	/
$\Pi x5$	/	$\Pi xe$	+	$B/O$					

**Инструкция.** Ввод  $I \rightarrow 0$ ;  $H_0 \rightarrow 1$ ;  $h_{lin} \rightarrow 2$ ;  $E_b \rightarrow 3$ ;  $G_b \rightarrow 4$ ;  $12I_1 \rightarrow 5$ ;  $12I_2 \rightarrow 6$ ;  $A_1 \rightarrow 7$ ;  $A_2 \rightarrow 8$ ;  $s_1 \rightarrow 9$ ;  $s_2 \rightarrow a$ ;  $I_{red} \rightarrow b$ ;  $A_{lin} \rightarrow c$ ;  $12I_{lin} \rightarrow d$ . В/О С/П. Индикация  $\lambda_{lin}$ , м/Н ( $\lambda_w \leftarrow 6$ ).

Причина:  $I = 1$  — для перемычки прямоугольного сечения;  $I = -1$  — для перемычки таврового сечения.

**Контрольный пример.**  $1 \rightarrow 0$ ;  $2,8 \rightarrow 1$ ;  $0,54 \rightarrow 2$ ;  $1,7 \cdot 10^{10} \rightarrow 3$ ;  $6,8 \cdot 10^9 \rightarrow 4$ ;  $3,90 \rightarrow 5$ ;  $3,51 \rightarrow 6$ ;  $0,464 \rightarrow 7$ ;  $0,448 \rightarrow 8$ ;  $1,9 \rightarrow 9$ ;  $1,85 \rightarrow a$ ;  $1,224 \rightarrow b$ ;  $0,0864 \rightarrow c$ ;  $0,0236196 \rightarrow d$ .

Результат:  $\lambda = 7,73 \cdot 10^{-9}$  ( $6 \rightarrow 9,49 \cdot 10^{-10}$ ).

Время счета: 25 с.

### Программа 3.17 (МК-52, МК-61)

Определение сдвиговой податливости железобетонной перемычки прямоугольного сечения в стадии трещинообразования

$\Pi x1$	$\Pi x e$	—	$Fx < 0$	82	$\Pi x1$	$F \operatorname{tg}^{-1}$	2	$\times$	$F \sin$
$F1/x$	$\Pi x2$	$\times$	$\Pi x3$		$x\Pi8$	$\Pi x6$	$\Pi x2$	$\times$	$F\pi$
/	$x\Pi2$	$\Pi x7$	$\Pi x3$		2	$\times$	$\Pi x4$	/	/—/
$\Pi x5$	+	$\Pi x2$	/	2	/	$K[x]$	1	+	$x\Pi0$
0	$x\Pi3$	$\Pi x0$	1	—	$\Pi x2$	$\times$	/—/	$\Pi x5$	+
$\Pi x9$	$\times$	$\Pi x3$	+	$x\Pi3$	$FL0$	42	$\Pi x4$	$\Pi x8$	—
$Fx \geq 0$	79	1	.	5	$Fx \geq 0$	76	$\Pi x4$	$\Pi x3$	
$\Pi x1$	$\times$	+	$\Pi x a$	+	C/P	$\Pi x c$	BП	69	$\Pi x d$
BП	69	$\Pi x e$	BП	06					

**Инструкция.** Ввод  $l/h_{lin} \rightarrow 1$ ;  $A_{lin}$  ( $\text{м}^2$ )  $\rightarrow 2$ ;  $R_{bt,ser}$  (кПа)  $\rightarrow 3$ ;  $Q_{lin} \rightarrow 4$ ;  $l$  (м)  $\rightarrow$   $\rightarrow 5$ ;  $100\eta/d_s$  ( $\text{мм}^{-1}$ )  $\rightarrow 6$ ;  $W_{crc}$  ( $\text{м}^3$ )  $\rightarrow 7$ ;  $\frac{100\eta(3,5 - 100\mu)}{E_s A_s (h_0 - a)} \sqrt[3]{d_s} \rightarrow 9$ ;  $\lambda_m$  (м/Н)  $\rightarrow$   $\rightarrow a$ ;  $\frac{1,2(l + 2l_1)}{G_b A_{lin}} + \frac{l_1^3 + 9ll_2(2l - l_2)(\text{Н} \cdot \text{м}^{-1})}{E_b I_{lin}} \rightarrow b$ ;  $\lambda_{lin}$  (м/Н)  $\rightarrow d$ ;  $1,5 \rightarrow e$ . В/О С/П. Индикация  $\lambda_{crc}$ , м/Н.

Причина: При использовании программы переключатель «Р—ГРД—Г» в положении «Р».

**Контрольный пример.**  $1,67 \rightarrow 1$ ;  $0,0864 \rightarrow 2$ ;  $1,4 \cdot 10^6 \rightarrow 3$ ;  $1,5 \cdot 10^5 \rightarrow 4$ ;  $0,9 \rightarrow \rightarrow 5$ ;  $6,25 \rightarrow 6$ ;  $0,04091 \rightarrow 7$ ;  $3,5 \cdot 10^{-4} \rightarrow 9$ ;  $9,49 \cdot 10^{-10} \rightarrow a$ ;  $6,1715 \rightarrow 10^{-8} \rightarrow b$ ;  $7,73 \cdot 10^{-9} \rightarrow d$ ;  $1,5 \rightarrow e$ .

Результат:  $\lambda_{crc} = 5,26 \cdot 10^{-4}$ .

Время счета: 15 с.

### Программа 3.18 (МК-52, МК-61)

Определение сдвиговой податливости железобетонной перемычки таврового сечения в стадии трещинообразования

$\Pi x1$	$\Pi x e$	—	$Fx < 0$	75	$\Pi x1$	$F \operatorname{tg}^{-1}$	2	$\times$	$F \sin$
$F1/x$	$\Pi x2$	$\times$	$\Pi x3$		$x\Pi e$	$\Pi x6$	$\Pi x2$	$\times$	$F\pi$
/	$x\Pi2$	$\Pi x7$	$\Pi x3$		2	$\times$	$\Pi x4$	/	/—/
$\Pi x5$	+	$\Pi x2$	/	2	/	$K[x]$	1	+	$x\Pi0$
0	$x\Pi3$	$\Pi x0$	1	—	$\Pi x2$	$\times$	/—/	$\Pi x5$	×
$\Pi x9$	$\times$	$\Pi x3$	+	$x\Pi3$	$FL0$	42	$\Pi x4$	$\Pi x e$	—
$Fx \geq 0$	72	$\Pi x b$	$\Pi x c$	+	$\Pi x3$	$\Pi x1$	$\times$	+	$\Pi x a$
+	C/P	$\Pi x d$	BП	65	$\Pi x e$	BП	06		

**Инструкция.** Ввод  $\frac{l_1^3}{2E_b} (1/I_{Iln} + 1/I_f) \text{ (м/Н)} \rightarrow b$ ;  $\frac{l_1^2}{G_b A_s} \left( 1 + 1,2 \frac{h - h_f}{h} \right) \text{ (м/Н)} \rightarrow c$ . Остальные исходные данные и примечания см. в программе 3.17. Индикация —  $\lambda_{crc}$ , м/Н.

**Контрольный пример.**  $1,67 \rightarrow 1$ ;  $0,0864 \rightarrow 2$ ;  $1,4 \cdot 10^6 \rightarrow 3$ ;  $1,5 \cdot 10^5 \rightarrow 4$ ;  $0,9 \rightarrow 5$ ;  $5,25 \rightarrow 6$ ;  $0,04091 \rightarrow 7$ ;  $3,5 \cdot 10^{-4} \rightarrow 9$ ;  $9,49 \cdot 10^{-10} \rightarrow a$ ;  $3,97 \cdot 10^{-9} \rightarrow b$ ;  $2,21 \cdot 10^{-9} \rightarrow c$ ;  $7,73 \cdot 10^{-9} \rightarrow d$ ;  $1,5 \rightarrow e$ .

**Результат:**  $\lambda_{crc} = 5,26 \cdot 10^{-4}$ .

**Время счета:** 15 с.

### Программа 3.19

#### Определение коэффициента $\Delta_{ii}$

$x\Pi b$	$F \downarrow$	$x\Pi 9$	$F \downarrow$	$x\Pi 8$	$\Pi x 9$	$\Pi x b$	$\times$	$\Pi x c$
+	$x\Pi c$	0	C/П	FL0	00	$\Pi x c$	$\Pi x 7$	$\times$
/	$\Pi x 4$	+	$\Pi x 5$	—	$\Pi x 2$	+	$\Pi x 3$	—
+	$\Pi x 1$	—	C/П					$\Pi x d$

**Инструкция.** Ввод  $r + 1 \rightarrow 0$ ;  $\alpha_{i+1}\Delta t_{i+1} \rightarrow 1$ ;  $\varepsilon_i^0 \rightarrow 2$ ;  $\varepsilon_{i+1}^0 \rightarrow 3$ ;  $P_i/EA_i \rightarrow 4$ ;  $P_{i+1}/EA_{i+1} \rightarrow 5$ ;  $\Sigma EI \text{ (Нм}^2\text{)} \rightarrow 6$ ;  $L_i \text{ (м)} \rightarrow 7$ ;  $0 \rightarrow c$ ;  $\alpha_i\Delta t_i \rightarrow d$ .  $P_1e_1^0$  В↑  $\alpha_1\theta_1$  В↑  $EI_1b_1$  В/О С/П. Индикация — 0. Ввести данные по следующему столбу. С/П. Когда введены данные по всем столбам: С/П. Индикация —  $\Delta_{ii}$ .

**Контрольный пример.**  $2 \rightarrow 0$ ;  $10^{-5} \rightarrow 1$ ;  $3 \cdot 10^{-4} \rightarrow 2$ ;  $2,8 \cdot 10^{-4} \rightarrow 3$ ;  $2,53 \times 10^{-5} \rightarrow 4$ ;  $1,85 \cdot 10^{-5} \rightarrow 5$ ;  $13,12 \cdot 10^9 \rightarrow 6$ ;  $3,75 \rightarrow 7$ ;  $0 \rightarrow c$ ;  $2 \cdot 10^{-5} \rightarrow d$ ;  $2,5 \cdot 10^4$  В↑;  $5 \cdot 10^{-5}$  В↑;  $3,45 \cdot 10^{10}$ . В/О С/П.  $1,76 \cdot 10^4$  В↑;  $5 \cdot 10^{-5}$  В↑;  $8,11 \cdot 10^{10}$ . С/П.

**Результат:**  $\Delta_{ii} = 9,86 \cdot 10^{-4}$ .

**Время счета:** 13 с.

### Программа 3.20

#### Определение коэффициентов $\Delta_{i2} — \Delta_{i4}$

$x\Pi a$	$\leftrightarrow$	$x\Pi 9$	$\Pi x a$	$\times$	$\Pi x b$	$+$	$x\Pi b$	0	C/П
FL0	00	$\Pi x b$	$\Pi x 2$	+	$\Pi x 3$	$\times$	$\Pi x 4$	/	$\Pi x 5$
+	$\Pi x 6$	—	$\Pi x 1$	$\times$	$x\Pi b$	$\Pi x 1$	$Fx^2$	$\Pi x 3$	$\times$
$\Pi x 4$	/	2	/	$x\Pi d$	$\Pi x 7$	$\times$	$x\Pi c$	$\Pi x d$	3
/	$\Pi x 8$	$\times$	$x\Pi d$	C/П					

**Инструкция.** Ввод  $r + 1 \rightarrow 0$ ;  $H \text{ (м)} \rightarrow 1$ ;  $s \text{ (H)} \rightarrow 2$ ;  $L_i \text{ (м)} \rightarrow 3$ ;  $\Sigma EI \text{ (Н} \cdot \text{м}^2\text{)} \rightarrow 4$ ;  $P_i/EA_i \rightarrow 5$ ;  $P_{i+1}/EI_{i+1} \rightarrow 6$ ;  $\bar{q} \text{ (Н/м)} \rightarrow 7$ ;  $\hat{q} \text{ (Н/м)} \rightarrow 8$ ;  $0 \rightarrow b$ . Ввести  $P_1 \text{ (H)}$ . В↑  $e_1 \text{ (м)}$  В/О С/П. Индикация — 0. Ввести данные для следующего столба. С/П. После ввода данных по всем столбам: С/П. Индикация —  $\Delta_{i2} \leftarrow b$ ;  $\Delta_{i3} \leftarrow c$ ;  $\Delta_{i4} \leftarrow d$  и X.

**Контрольный пример.**  $2 \rightarrow 0$ ;  $25,2 \rightarrow 1$ ;  $5000 \rightarrow 2$ ;  $3,75 \rightarrow 3$ ;  $13,124 \cdot 10^9 \rightarrow 4$ ;  $2,535 \cdot 10^{-5} \rightarrow 5$ ;  $1,849 \cdot 10^{-5} \rightarrow 6$ ;  $1000 \rightarrow 7$ ;  $100 \rightarrow 8$ ;  $0 \rightarrow b$ ;  $2,5 \cdot 10^5$  В↑ 0,1. В/О С/П.  $1,76 \cdot 10^5$  В↑ 0,1 С/П С/П.

**Результат:**  $\Delta_{i2} = 5,15 \cdot 10^{-4}$ ;  $\Delta_{i3} = 9,07 \cdot 10^{-5}$ ;  $\Delta_{i4} = 3,024 \cdot 10^{-6}$ .

**Время счета:** 13 с.

### Программа 3.21

Определение  $T_{ik}(\xi)$  по формуле (3.60)

$$\begin{array}{ccccccccc} x\Pi6 & \Pi x0 & x\Pi7 & \Pi x0 & \Pi x6 & Fx^Y & \Pi x0 & / & /-/ & \Pi x6 \\ + & \Pi x7 & \times & \Pi x8 & + & x\Pi8 & FL0 & 01 & \Pi x9 & Fx^2 \\ \times & \Pi x1 & \times & C/P & & & & & & \end{array}$$

**Инструкция.** Ввод  $5 \rightarrow 0$ ;  $\beta_l (\text{Н}/\text{м}^2) \rightarrow 1$ ;  $\Delta_{i1} \rightarrow 2$ ;  $\Delta_{i2} \rightarrow 3$ ;  $\Delta_{i3} \rightarrow 4$ ;  $\Delta_{i4} \rightarrow 5$ ;  $0 \rightarrow 8$ ;  $H (\text{м}) \rightarrow 9$ . Индикация —  $T$ .  
Ввести  $\xi$ . В/О С/П.

**Контрольный пример.**  $5 \rightarrow 0$ ;  $4,62 \cdot 10^7 \rightarrow 1$ ;  $9,86 \cdot 10^{-4} \rightarrow 2$ ;  $5,15 \cdot 10^{-4} \rightarrow 3$ ;  $9,07 \cdot 10^{-5} \rightarrow 4$ ;  $3,02 \cdot 10^{-6} \rightarrow 5$ ;  $0 \rightarrow 8$ ;  $25,2 \rightarrow 9$ .

**Результат:**  $T = 2,66 \cdot 10^7$ .

**Время счета:** 13 с.

### Программа 3.22

Определение коэффициентов системы уравнений (3.65)

$$\begin{array}{cccccccccc} F\pi & 2 & / & \Pi x5 & 2 & \times & 1 & - & \times & x\Pi5 \\ Fx^2 & \Pi x_c & / & x\Pi6 & \Pi x5 & 3 & 3 & \leftrightarrow & Fx^Y & F1/x \\ 2 & \times & \Pi x8 & \times & x\Pi8 & 4 & \Pi x5 & Fx^Y & F1/x & \Pi x5 \\ F \sin & \times & 2 & \times & \Pi x9 & \times & x\Pi9 & 5 & \Pi x5 & Fx^Y \\ F1/x & \Pi x5 & F \sin & \Pi x5 & \times & 1 & - & \times & 4 & \times \\ \Pi x_a & \times & x\Pi a & 6 & \Pi x5 & Fx^Y & F1/x & \Pi x5 & F \sin & \times \\ 6 & \times & \Pi x5 & Fx^2 & 2 & - & \times & \Pi x_b & \times & x\Pi b \\ \Pi x_0 & \Pi x1 & + & \Pi x2 & \Pi x3 & \times & \Pi x4 & / & + & x\Pi5 \\ \Pi x8 & \Pi x9 & + & \Pi x_a & \Pi x6 & + & \Pi x5 & \times & \Pi x_d & \\ \times & x\Pi7 & C/P & & & & & & & \end{array}$$

**Инструкция.** Ввод  $\Sigma EI (\text{Н} \cdot \text{м}^2) \rightarrow 4$ ;  $v \rightarrow 5$ . Индикация —  $\gamma_{ij} \leftarrow 5$ ;  $\omega_v^2/H^2\beta_l \leftarrow 6$ ;  $\gamma_{ij} H^2\beta_l F_j^v \leftarrow 7$ . Определение коэффициентов  $i$ -го уравнения:

1. Для каждого шва от  $j = 1$  до  $r$  ввести:
  - a) в регистры 8, 9,  $a$ ,  $b$ ,  $\Delta_1$  —  $\Delta_4$  для соответствующего шва  $j$ ;
  - b) в регистр  $c$   $H^2\beta_l$  для шва  $i$ ;
  - c) в регистр  $d$  —  $H^2\beta_l$  для шва  $j$ ;
  - g)  $1/E A_l \rightarrow 0$ ;  $1/E A_{i+1} \rightarrow 1$ ;  $L_l \rightarrow 2$ ;  $L_i \rightarrow 3$  при  $j = i$ ;  
 $-1/E A_j \rightarrow 0$ ;  $0 \rightarrow 1$ ;  $L_l \rightarrow 2$ ;  $L_j \rightarrow 3$  при  $|j - i| = 1$ ;  
 $0 \rightarrow 0$ ;  $0 \rightarrow 1$ ;  $L_i \rightarrow 2$ ;  $L_j \rightarrow 3$  при  $|j - i| > 1$ .

2. Нажатием клавиши С/П выполнить программу.

3. Выполнив эти действия  $r$  раз и суммировав после каждого вычисления содержимые 7, получить значение свободного члена  $i$ -го уравнения.

4. Подобные действия проделать для всех швов ( $i = 1, \dots, r$ ).

5. Систему уравнений решить с помощью одной из программ, приведенных в приложении.

**Контрольный пример.**  $1,014 \cdot 10^{-10} \rightarrow 0$ ;  $1,050 \cdot 10^{-10} \rightarrow 1$ ;  $3,75 \rightarrow 2$ ;  $3,75 \rightarrow 3$ ;  $1,3124 \cdot 10^{10} \rightarrow 4$ ;  $1 \rightarrow 5$ ;  $9,865 \cdot 10^{-4} \rightarrow 8$ ;  $5,156 \cdot 10^{-4} \rightarrow 9$ ;  $9,072 \cdot 10^{-5} \rightarrow a$ ;  $3,024 \cdot 10^{-6} \rightarrow b$ ;  $2,93 \cdot 10^{10} \rightarrow c$ ;  $2,934 \cdot 10^{10} \rightarrow d$ .

**Результат:**  $5 \rightarrow 1,27 \cdot 10^{-9}$ ;  $6 \rightarrow 8,41 \cdot 10^{-11}$ ;  $7 \rightarrow 1,79 \cdot 10^{-2}$ .

**Время счета:** 20 с.

### Программа 3.23

Определение усилий в сечении  $\xi$  ветви  $i$  составного стержня

$$\begin{array}{cccccccccc} \times & \Pi x_d & + & x\Pi d & 0 & C/P & FL0 & 00 & \Pi x_d & /-/ \\ \Pi x_2 & \Pi x_3 & \times & + & \Pi x_4 & \Pi x_5 & \times & \Pi x_6 & \times & \Pi x_c \\ \times & + & \Pi x_7 & \Pi x_5 & \times & \Pi x_c & \times & + & \Pi x_8 & \Pi x_5 \end{array}$$

$$\begin{array}{ccccccccc}
 Fx^2 & \times & \Pi x c & Fx^2 & \times & 2 & / & + & x \Pi d & 3 \\
 \Pi x c & Fx^Y & 6 & / & \Pi x 5 & Fx^2 & \times & \Pi x 9 & \times & \Pi x d \\
 + & x \Pi d & \Pi x 2 & \Pi x 4 & \Pi x c & \times & \Pi x 5 & \times & + & \Pi x b \\
 + & \Pi x a & — & C/P
 \end{array}$$

**Инструкция.** Ввод  $r \rightarrow 0$ ;  $P_l \rightarrow 1$ ;  $e_l^0$  (м)  $\rightarrow 3$ ;  $p_l$  (Н/м)  $\rightarrow 4$ ;  $H$  (м)  $\rightarrow 5$ ;  $e_l$  (м)  $\rightarrow 6$ ;  $s \rightarrow 7$ ;  $\bar{q}$  (Н/м)  $\rightarrow 8$ ;  $\hat{q}$  (Н/м)  $\rightarrow 9$ ;  $T_l$  (с)  $\rightarrow a$ ;  $T_{l-1}$  (с)  $\rightarrow b$ ;  $\xi \rightarrow c$ ;  $0 \rightarrow d$ .  $L_1$  В  $\uparrow$ ;  $T_1$  (с). В/О С/П. Индикация — 0. Ввести данные по следующему стержню. С/П. Когда введены все данные: С/П. Индикация —  $N_l$  (с),  $d \leftarrow M_l$  (с).

**Контрольный пример.**  $1 \rightarrow 0$ ;  $0 \rightarrow 1$ ;  $7,5 \cdot 10^5 \rightarrow 2$ ;  $0,1 \rightarrow 3$ ;  $2,5 \cdot 10^5 \rightarrow 4$ ;  $25,2 \rightarrow 5$ ;  $0,1 \rightarrow 6$ ;  $5 \cdot 10^3 \rightarrow 7$ ;  $10^3 \rightarrow 8$ ;  $100 \rightarrow 9$ ;  $2,54 \cdot 10^4 \rightarrow a$ ;  $1,84 \cdot 10^4 \rightarrow b$ ;  $0,5 \rightarrow c$ ;  $0 \rightarrow d$ .  $3,75$  В  $\uparrow$   $2,53 \cdot 10^4$  В/О С/П.

**Результат:**  $N = 3,89 \cdot 10^6$ ;  $d \rightarrow 4,38 \cdot 10^6$ .

**Время счета:** 12 с.

### Программа 3.24

Определение приведенной изгибной жесткости вертикальной диафрагмы

$$\begin{array}{cccccccccc}
 x \Pi 4 & F \downarrow & x \Pi 5 & F \downarrow & x \Pi 6 & \Pi x 5 & \times & \Pi x 4 & — & \Pi x 6 \\
 \times & \Pi x 2 & + & x \Pi 2 & 0 & C/P & FL0 & 00 & \Pi x 2 & \Pi x 1 \\
 Fx^2 & \times & 0 & \cdot & 4 & \times & \Pi x 3 & / & /—/ & 1 \\
 + & F1/x & \Pi x 3 & \times & C/P
 \end{array}$$

**Инструкция.** Ввод  $r \rightarrow 0$ ;  $H \rightarrow 1$ ;  $0 \rightarrow 2$ ;  $\Sigma EI \rightarrow 3$ ;  $L_1$  В  $\uparrow$   $\beta_1$  В  $\uparrow$   $B_1$  В/О С/П. Индикация — 0. Ввести данные по следующему шву. С/П. После ввода данных по последнему шву: С/П. Индикация —  $\Sigma EI_{red}$ , Н · м<sup>2</sup>.

**Контрольный пример.**  $1 \rightarrow 0$ ;  $25,2 \rightarrow 1$ ;  $0 \rightarrow 2$ ;  $1,31 \cdot 10^{10} \rightarrow 3$ ;  $3,75$  В  $\uparrow$ ;  $4,62 \cdot 10^6$  В  $\uparrow$ ;  $32,56$ . В/О С/П. С/П.

**Результат:**  $\Sigma EI_{red} = 1,5 \cdot 10^{10}$ .

**Время счета:** 8 с.

### Программа 3.25

Определение периода основного тона колебаний здания

$$\begin{array}{cccccccccc}
 \Pi x 0 & Fx \geqslant 0 & 39 & 1 & . & 2 & \Pi x 3 & \times & \Pi x 1 & Fx^3 \\
 / & \Pi x 4 & / & x \Pi b & \Pi x 8 & \times & \Pi x 7 & + & \Pi x b & \times \\
 \Pi x b & + & \Pi x a & \Pi x b & \times & \Pi x 9 & + & \Pi x 2 & \times \\
 \Pi x 3 & / & FV & \Pi x 1 & Fx^2 & \times & \Pi x 5 & \times & C/P & 1 \\
 BP & 28
 \end{array}$$

**Инструкция.** Ввод  $1 \rightarrow 0$ ;  $H \rightarrow 1$ ;  $m \rightarrow 2$ ;  $\Sigma EI_{red} \rightarrow 3$ ;  $\Sigma GA_{red} \rightarrow 4$ ;  $1,05 \rightarrow 5$  (при  $I = 1$ );  $1,76 \rightarrow 5$  (при  $I = -1$ );  $14,56 \rightarrow 6$ ;  $13,32 \rightarrow 7$ ;  $3,36 \rightarrow 8$ ;  $5,04 \rightarrow 9$ ;  $2,8 \rightarrow a$ . В/О С/П. Индикация —  $T_1$ .

**Примечание.**  $I = 1$  при  $l_{max} > 0,2H$ ,  $I = -1$  при  $l_{max} \leqslant 0,2H$ . Адресуемые регистры 4, 6...9,  $a$  заполняются только при  $I = 1$ .

**Контрольный пример.**  $1 \rightarrow 0$ ;  $25,2 \rightarrow 1$ ;  $2,5 \cdot 10^5 \rightarrow 2$ ;  $2,6 \cdot 10^{10} \rightarrow 3$ ;  $8,4 \times 10^7 \rightarrow 4$ ;  $1,05 \rightarrow 5$ ;  $14,56 \rightarrow 6$ ;  $13,32 \rightarrow 7$ ;  $3,36 \rightarrow 8$ ;  $5,04 \rightarrow 9$ ;  $2,8 \rightarrow a$ .

**Результат:**  $T_1 = 3,88$  с.

**Время счета:** 7 с.

### Программа 3.26

Определение ускорения колебаний верха здания

$$\begin{array}{cccccccccc}
 \Pi x 0 & \Pi x 1 & \times & FV & \Pi x 2 & / & \Pi x 9 & / & C/P & x \Pi c \\
 \Pi x 5 & 1 & + & \Pi x 3 & \times & B \uparrow & \Pi x 1 & \times & \Pi x 4 & \times \\
 x \Pi d & & & \Pi x 8 & \times & 2 & / & 1 & + & \Pi x d \\
 \times & \Pi x 6 & \times & \Pi x 7 & / & \Pi x c & \times & x \Pi d & /—/ & \Pi x a \\
 + & Fx \geqslant 0 & 45 & 1 & C/P & 0 & C/P
 \end{array}$$

**Инструкция.** Ввод  $\gamma_f \rightarrow 0$ ;  $w_0$  (кг/м<sup>2</sup>)  $\rightarrow 1$ ;  $f_i$  (с<sup>-1</sup>)  $\rightarrow 2$ ;  $k_h \rightarrow 3$ ;  $c \rightarrow 4$ ;  $\varphi_h \rightarrow 5$ ;  $H_0$  (м)  $\rightarrow 6$ ;  $M$  (кг)  $\rightarrow 7$ ;  $0,65 \rightarrow 8$ ;  $940 \rightarrow 9$ ;  $0,1 \rightarrow a$ . В/О С/П. Индикация  $e$ . По рис. 2 (6) определить  $\xi_1$ , ввести его в Х, С/П. Индикация — 1, ограничение ускорения колебаний выполняется. Индикация — 0, ограничение не выполняется ( $\eta_1$  (м/с<sup>2</sup>)  $\leftarrow d$ ).

**Контрольный пример.**  $1,4 \rightarrow 0$ ;  $300 \rightarrow 1$ ;  $0,26 \rightarrow 2$ ;  $1,3 \rightarrow 3$ ;  $1,3 \rightarrow 4$ ;  $0,5 \rightarrow 5$ ;  $2,8 \rightarrow 6$ ;  $1,5 \cdot 10^5 \rightarrow 7$ ;  $0,65 \rightarrow 8$ ;  $940 \rightarrow 9$ ;  $0,1 \rightarrow d$ .

**Результат:** 1 (ограничение выполняется);  $e = 0,084$  (соответствующее  $\xi_1 = 1,7$ );  $\eta_1 = 0,028$ .

Время счета: 7 с.

### Программа 3.27

#### Расчет прочности горизонтальных стыков при сжатии

Px4	Px5	X	Px6	/	Px7	/	Px8	/	1
+ $F_x \geq 0$	$x_{Pd}$	Px1	$F_x \geq 0$	54	$x_{Pd}$	1	.	3	—
— Px2	26	1	.	3	$x_{Pd}$	Px0	$F_x = 0$	67	2
— /—		Px2	X	1	Px3	2	X	+	/
X × 26	1	+	$P_{xd}$	X	Pxa	×	Px9	×	$P_{xb}$
1	Pxc	X	C/P	$P_{xd}$	1	.	5	—	$F_x \geq 0$
				$P_{xd}$					73
					BП	26	Px0		

**Инструкция.** Ввод  $I \rightarrow 0$ ;  $K \rightarrow 1$ ;  $t_m/b_m \rightarrow 2$ ;  $R_m/B_w \rightarrow 3$ ;  $20A_{tr}$  (мм<sup>2</sup>) [ $A_{s,lon}$  (мм<sup>2</sup>)]  $\rightarrow 4$ ;  $l_{tr}$  (мм) [ $R_{sc}$  (МПа)]  $\rightarrow 5$ ;  $C_{tr}$  (мм) [ $A_w$  (мм<sup>2</sup>)]  $\rightarrow 6$ ;  $s_{tr}$  (мм) [ $R_{bw}$  (МПа)]  $\rightarrow 7$ ;  $t$  (мм) [ $\eta_m$ ]  $\rightarrow 8$ ;  $R_{bw}$  (Н/м<sup>2</sup>)  $\rightarrow 9$ ;  $\eta_j \rightarrow a$ ;  $t$  (м)  $\rightarrow b$ ;  $d_j \rightarrow c$ . В/О С/П. Индикация —  $N_u$ .

Причина: 1.  $I = 0$  — для горизонтальных растворных швов;  $I = 1$  — для стыков стен из монолитного бетона, а также монолитных стыков панельных стен, заполняемых бетоном после установки панели верхнего этажа;  $I = -1$  — при опирании плит перекрытий «насухо» (без раствора). 2.  $K = 1$  — для стыков сборных элементов стен, усиленных в зоне стыка поперечным сварным каркасом или сетками;  $K = -1$  — для стыков монолитных стен, усиленных в зоне стыка вертикальной арматурой. 3. При отсутствии усиления зоны стыка принимать  $K = 1$  и  $0 \rightarrow 4$ ;  $1 \rightarrow 6$ ;  $7$ ;  $8$ . 4. Данные в квадратных скобках вводят при  $K = -1$ .

**Контрольный пример.**  $0 \rightarrow 0$ ;  $1 \rightarrow 1$ ;  $0,21876 \rightarrow 2$ ;  $0,5 \rightarrow 3$ ;  $10^3 \rightarrow 4$ ;  $120 \rightarrow 5$ ;  $100 \rightarrow 6$ ;  $80 \rightarrow 7$ ;  $160 \rightarrow 8$ ;  $7,92 \cdot 10^8 \rightarrow 9$ ;  $0,547 \rightarrow a$ ;  $0,16 \rightarrow b$ ;  $1 \rightarrow c$ .

**Результат:**  $N_u = 6,1 \cdot 10^6$ .

Время счета: 9 с.

### Программа 3.28

#### Проверка прочности столбов по горизонтальным сечениям

1	Px5	—	Px2	X	Px3	X	Px4	X	$x_{Pd}$
Px0	—	$F_x < 0$	16	1	C/P	Px1	$F_x = 0$	21	0
C/P	1	Px5	6	X	—	Px0	X	Px6	/
xPz	1	Px5	6	X	+	Px0	X	Px6	/
xPb	Px0	Px3	/	Px4	/	xPz	$F_x < 0$	62	C/P
Px5	0	.	4	5	—	$F_x \geq 0$	60	2	C/P
3	C/P	Px2	Pxb	—	$F_x \geq 0$	69	4	C/P	5
C/P									

**Инструкция.** Ввод  $N \rightarrow 0$ ;  $Q \rightarrow 1$ ;  $R_c$  (кПа)  $\rightarrow 2$ ;  $h$  (м)  $\rightarrow 3$ ;  $t$  (м)  $\rightarrow 4$ ;  $e_{0h}/h \rightarrow 5$ ;  $A$  (м<sup>2</sup>)  $\rightarrow 6$ . В/О С/П. Индикация — 0, прочность обеспечена ( $N_u \leftarrow d$ ). Индикация — 1, увеличить класс бетона, толщину стены или ввести расчетное армирование ( $N_u \leftarrow d$ ). Индикация — 2..5, продолжить расчет соответственно по программам 3.29 ( $\sigma \leftarrow c$ ), 3.30 ( $\sigma \leftarrow c$ ), 3.31, выполнив Px3 xPz Px2 25 C/P ( $\sigma \leftarrow c$ ), 3.29 ( $\sigma \leftarrow c$ )).

**Контрольный пример.**  $9 \cdot 10^6 \rightarrow 0$ ;  $6 \cdot 10^6 \rightarrow 1$ ;  $4 \cdot 10^6 \rightarrow 2$ ;  $2,9 \rightarrow 3$ ;  $0,16 \rightarrow 4$ ;  $0,4 \rightarrow 5$ ;  $0,464 \rightarrow 6$ .

**Результат:** 3 ( $\sigma = 1,94 \cdot 10^6$ ;  $\sigma_{max} = 6,59 \cdot 10^6$ ).

Время счета: 8 с.

### Программа 3.29 (МК-52, МК-61)

Определение предельных усилий для опорного и среднего сечений столба

2	$\Pi x_3$	$\times$	$\Pi x_c$	$\times$	$\Pi x_2$	/	$x \Pi a$	/—/	$\Pi x_7$
+	$Fx < 0$	15	0	$F \ln$	$\Pi x_3$	2	/	$\Pi x_a$	3
/	—	$\Pi x_4$	$\times$	$\Pi x_a$	$\times$	$\Pi x_2$	$\times$	2	/
/—/	$\Pi x_0$	$\Pi x_5$	$\times$	$\Pi x_3$	$\times$	+	$\Pi x_3$	$\Pi x_1$	2
$\times$	—	/	$x \Pi b$	$\Pi x_d$	$Fx \geq 0$	53	$\Pi x_b$	$\Pi x_0$	+
$\Pi x_8$	$\times$	C/P	$\Pi x_2$	2	/	$x \Pi_6$	$\Pi x_9$	/	1
+	$FV$	$\Pi x_9$	$\times$	$x \Pi_e$	1	$\Pi x_6$	$\Pi x_2$	/	—
$\Pi x_6$	$\Pi x_8$	/	1	+	$\times$	$FV$	$\Pi x_8$	$\times$	$\Pi x_8$
$\Pi x_2$	/	1	+	+	$F1/x$	$\Pi x_e$	$P1/x$	K max	$F1/x$
$\Pi x_a$	$\times$	$\Pi x_3$	$\Pi x_1$	—	$\Pi x_a$	—	$\Pi x_9$	$\times$	+
$\Pi x_4$	$\times$	C/P							

**Инструкция.** Ввод  $N \rightarrow 0$ ;  $a$  (м)  $\rightarrow 1$ ;  $R_c$  (кПа)  $\rightarrow 2$ ;  $h$  (м)  $\rightarrow 3$ ;  $t$  (м)  $\rightarrow 4$ ;  $e_{0h}/h \rightarrow 5$ ;  $x_R$  (м)  $\rightarrow 7$ ;  $\{\eta\} \rightarrow 8$ ;  $[R_t]$  (кПа)  $\rightarrow 8$ ;  $[R_{bt}]$  (кПа)  $\rightarrow 9$ ;  $\sigma$  (кПа)  $\rightarrow c$ ;  $I \rightarrow d$ . В/О С/П. Индикация —  $Q_u$ . При  $I = -1$  значение  $R_s A_s \leftarrow b$ . Индикация — ЕГГОГ, увеличить прочность сжатой зоны и повторить расчет.

**Примечания:** 1.  $I = 1$  — для опорного сечения,  $I = -1$  — для среднего. 2. Данные в фигурных скобках вводятся только при  $I = 1$ , в квадратных скобках — только при  $I = -1$ .

**Контрольный пример.**  $9 \cdot 10^6 \rightarrow 0$ ;  $0,05 \rightarrow 1$ ;  $4 \cdot 10^6 \rightarrow 2$ ;  $2,9 \rightarrow 3$ ;  $0,16 \rightarrow 4$ ;  $0,5 \rightarrow 5$ ;  $3 \rightarrow 7$ ;  $2,25 \cdot 10^6 \rightarrow 8$ ;  $1,5 \cdot 10^6 \rightarrow 9$ ;  $1,94 \cdot 10^6 \rightarrow c$ ;  $-1 \rightarrow d$ .

**Результат:**  $Q_u = 6,39 \cdot 10^6$ .

**Время счета:** 20 с.

### Программа 3.30 (МК-52, МК-61)

Проверка прочности горизонтальных опорных и средних сечений столба

1	$\Pi x_5$	2	$\times$	—	$\Pi x_3$	$\times$	$\Pi x_6$	$\times$	$x \Pi a$
$\Pi x_2$	$\Pi x_c$	2	$\times$	—	$Fx < 0$	34	1	$\Pi x_5$	2
$\times$	—	$\Pi x_c$	$\Pi x^2$	/	—	$FVx$	$\times$	$\Pi x_7$	$\times$
$FV$	$\Pi x_3$	$\times$	$x \Pi a$	$\Pi x_d$	$Fx \geq 0$	49	$\Pi x_b$	$\Pi x_0$	$\times$
$x \Pi_e$	$\Pi x_1$	—	$Fx \geq 0$	47	1	C/P	0	C/P	$\Pi x_0$
$\Pi x_4$	/	$\Pi x_a$	/	$x \Pi_c$	$\Pi x_9$	/	1	+	$FV$
$\Pi x_9$	$\times$	$x \Pi_d$	1	$\Pi x_c$	$\Pi x_2$	/	—	$\Pi x_c$	$\Pi x_8$
/	$\Pi x_9$	/	1	+	$\times$	$FV$	$\Pi x_8$	$\Pi x_9$	$\times$
$\times$	$FVx$	$\Pi x_2$	/	1	+	/	$F1/x$	$\Pi x_d$	$F1/x$
K max	$F1/x$	$\Pi x_a$	$\times$	$\Pi x_4$	$\times$	$x \Pi_e$	$\Pi x_1$	—	БП
43									

**Инструкция.** Ввод  $N \rightarrow 0$ ;  $Q \rightarrow 1$ ;  $R_c$  (кПа)  $\rightarrow 2$ ;  $h$  (м)  $\rightarrow 3$ ;  $t$  (м)  $\rightarrow 4$ ;  $e_{0h}/h \rightarrow 5$ ;  $1,5 \rightarrow 6$ ;  $12 \rightarrow 7$ ;  $[\gamma_l] \rightarrow 8$ ;  $[R_{bt}]$  (кПа)  $\rightarrow 9$ ;  $\{\eta\} \rightarrow b$ ;  $\sigma$  (кПа)  $\rightarrow c$ ;  $I \rightarrow d$ . В/О С/П. Индикация — 1, прочность достаточна ( $Q_u \leftarrow e$ ). Индикация — 0, прочность недостаточна ( $Q_u \leftarrow e$ ). Для опорных сечений необходимо устройство шпонок или специальных арматурных связей, для среднего сечения — увеличить класс бетона или толщину стены.

**Примечания:** 1.  $I = 1$  — для опорного сечения,  $I = -1$  — для среднего сечения. 2. Данные в фигурных скобках вводятся только при  $I = 1$ , в квадратных скобках — только при  $I = -1$ .

**Контрольный пример.**  $9 \cdot 10^6 \rightarrow 0$ ;  $5,9 \cdot 10^5 \rightarrow 1$ ;  $4 \cdot 10^6 \rightarrow 2$ ;  $2,9 \rightarrow 3$ ;  $0,16 \rightarrow 4$ ;  $0,1 \rightarrow 5$ ;  $1,5 \rightarrow 6$ ;  $12 \rightarrow 7$ ;  $1,5 \rightarrow 8$ ;  $1,5 \cdot 10^6 \rightarrow 9$ ;  $194 \cdot 10^6 \rightarrow c$ ;  $-1 \rightarrow d$ .

**Результат:** 1 ( $Q_u = 8,1 \cdot 10^6$ ).

**Время счета:** 13 с.

### Программа 3.31 (МК-52, МК-61)

Проверка прочности элемента на действие сдвигающих сил

Пх5	2	×	1	+	Пхс	×	/—/	Пх2	+
Пх2	Пхс	—	/	xПа	Пх6	Пх3	×	Пх3	—
$Fx \geq 0$	25	Пх3	xПа	Пхд	$Fx \geq 0$	40	Пхб	Пх0	×
$x\pi_7$	Пх1	—	$Fx \geq 0$	38	1	С/П	0	С/П	Пх4
/	Пха	/	xПс	Пхс	Пх9	/	1	+	FV
Пх9	×	xПд	1	Пхс	Пх2	/	—	Пхс	Пх8
/	Пх9	/	1	+	×	FV	Пх8	Пх9	×
×	FBx	Пх2	/	1	+	/	F1/x	Пхд	F1/x
K max	F1/x	Пха	×	Пх4	×	xП7	Пх1	—	БП
	34								

**Инструкция.** Ввод  $N \rightarrow 0$ ;  $Q \rightarrow 1$ ;  $R_c$  (кПа)  $\rightarrow 2$ ;  $h$  (м)  $\rightarrow 3$ ;  $t$  (м)  $\rightarrow 4$ ;  $e_{0h}/h \rightarrow 5$ ;  $1,5 \rightarrow 6$ ;  $[\gamma_i] \rightarrow 8$ ;  $[R_{bf}$  (кПа)]  $\rightarrow 9$ ;  $\{\eta\} \rightarrow b$ ;  $\sigma$  (кПа)  $\rightarrow c$ ;  $I \rightarrow d$ , В/О С/П. Индикация — см. программу 3.30 ( $Q_u \leftarrow 7$ ).

**Контрольный пример.**  $3,5 \cdot 10^5 \rightarrow 0$ ;  $5,9 \cdot 10^5 \rightarrow 1$ ;  $4 \cdot 10^6 \rightarrow 2$ ;  $2,9 \rightarrow 3$ ;  $1,6 \rightarrow 4$ ;  $0,15 \rightarrow 5$ ;  $1,5 \rightarrow 6$ ;  $1,5 \rightarrow 8$ ;  $1,5 \cdot 10^6 \rightarrow 9$ ;  $7,54 \cdot 10^5 \rightarrow c$ ;  $-1 \rightarrow d$ .

**Результат:** 1 ( $Q_u = 6,73 \cdot 10^5$ ).

**Время счета:** 13 с.

### Программа 3.32

Определение коэффициента  $\eta_j$  для платформенного горизонтального стыка и платформенных узлов монолитных стен с передачей сжимающей нагрузки только через опорные участки плит перекрытий

Пх0	$Fx < 0$	80	Пхс	Пх4	×	Пхд	—	$x\pi_c$	1
—	$Fx \geq 0$	15	1	xПс	Пх1	$Fx \neq 0$	34	$Fx < 0$	75
3	B↑	1	Пха	—	$Fx^Y$	/—/	Пх9	×	1
+	Пхс	×	xПс	Пх2	$Fx \geq 0$	52	Пх7	2	×
3	/	Пх6	—	$Fx \geq 0$	52	1	.	1	Пхс
×	xПс	Пх6	Пх5	—	Пх8	×	Пхс	×	Пх7
/	xПд	Пх3	$Fx < 0$	73	1	Пхб	2	×	—
Пх9	×	С/П	Пхд	С/П	0	.	9	БП	31
Пх4	1	—	$Fx \geq 0$	87	БП	13	1	Пх4	—
$Fx^2$	/—/	1	+	xПс	БП	15			

**Инструкция.** Ввод  $I \rightarrow 0$ ;  $K \rightarrow 1$ ;  $L \rightarrow 2$ ;  $S \rightarrow 3$ ;  $R_{bp}/R_{bw} \rightarrow 4$ ; при  $L = 1$   $\delta_{pw}$  (мм)  $\rightarrow 5$ ; при  $L = -1$   $1,4\delta_p$  (мм)  $\rightarrow 5$ ;  $b_{pl}$  (мм)  $\rightarrow 6$ ;  $t$  (мм)  $\rightarrow 7$ ;  $v_{pl} \rightarrow 8$ ;  $[v_{vac}] \rightarrow 9$ ;  $[t_f/s_f] \rightarrow a$ ;  $\{e_l/b_m\} \rightarrow b$ ;  $1,2 \rightarrow c$ ;  $0,35 \rightarrow d$ . В/О С/П. Индикация —  $\eta_j$ .

**Примечания:** 1.  $I = 1$  — для стен из тяжелого и легкого бетона;  $I = -1$  — для стен из ячеистого бетона. 2.  $K = 1$  — при использовании многопустотных плит с механизированной заделкой пустот в заводских условиях добетонированием с пригрузом опорных участков;  $K = -1$  — многопустотных с другими способами заделки пустот;  $K = 0$  — других типов. Исходные данные в квадратных скобках вводятся только при  $K = -1$ . 3.  $L = 1$  — для одностороннего стыка,  $L = -1$  — для двустороннего. 4.  $S = 1$  — при шарнирном соединении сборных элементов в горизонтальном стыке,  $S = -1$  — при упругом и жестком. Исходные данные в фигурных скобках вводятся только при  $S = -1$ .

**Контрольный пример.**  $1 \rightarrow 0$ ;  $1 \rightarrow 1$ ;  $-1 \rightarrow 2$ ;  $1 \rightarrow 3$ ;  $0,5 \rightarrow 4$ ;  $14 \rightarrow 5$ ;  $140 \rightarrow 6$ ;  $160 \rightarrow 7$ ;  $0,9 \rightarrow 8$ ;  $1,2 \rightarrow c$ ;  $0,35 \rightarrow d$ .

**Результат:**  $\eta_j = 0,478$ .

**Время счета:** 10 с.

### Программа 3.33 (МК-52, МК-61)

Определение коэффициента  $\eta_j$  для контактного стыка с передачей нагрузки через контактные участки

$$\begin{array}{ccccccccc}
 \text{П}x2 & 2 & \times & 3 & / & \text{П}x0 & - & \text{П}x1 & + \\
 41 & 1 & \cdot & 1 & x\text{П}7 & \text{П}x3 & \text{П}x0 & \text{П}x1 & - \\
 2 & \times & FV & \text{П}x7 & \times & F1/x & \text{П}x4 & F1/x & \times \\
 x\text{П}8 & \text{П}x5 & \times & \text{П}x9 & / & \text{П}x0 & \text{П}x1 & - & \times \\
 1 & x\text{П}7 & \text{БП} & 15 & & & & & C/P
 \end{array}$$

**Инструкция.** Ввод  $b_{con}$  (мм)  $\rightarrow 0$ ;  $\delta_{con}$  (мм)  $\rightarrow 1$ ;  $t$  (мм)  $\rightarrow 2$ ;  $y_{con}$  (мм)  $\rightarrow 3$ ;  $\eta_{con}$   $\rightarrow 4$ ;  $d_{con}$  (мм)  $\rightarrow 5$ ;  $A_w$  (мм<sup>2</sup>)  $\rightarrow 9$ ; В/О С/П. Индикация —  $\eta_j$ .

Причина.  $\delta_{con} = \delta_w$  — при одностороннем опирании, а также для стыков виброзоны опирания перекрытия;  $\delta_{con} = 0$  — при двухстороннем опирании.

**Контрольный пример.** 120  $\rightarrow 0$ ; 15  $\rightarrow 1$ ; 160  $\rightarrow 2$ ; 80  $\rightarrow 3$ ; 1,2  $\rightarrow 4$ ; 400  $\rightarrow 5$ ;  $9,6 \cdot 10^4 \rightarrow 9$ .

Результат:  $\eta_j = 0,525$ .

Время счета: 6 с.

### Программа 3.34 (МК-52, МК-61)

Определение коэффициента  $\eta_j$  для контактно-платформенного стыка с передачей нагрузки через платформенный и контактный участки

$$\begin{array}{ccccccccc}
 \text{П}x0 & Fx < 0 & 11 & \text{П}xa & \text{П}xe & \times & \text{П}x8 & - & \text{П}xd & / \\
 x\text{П}a & \text{П}x3 & Fx^2 & \text{П}x4 & Fx^2 & + & FV & x\text{П}b & /-/- & \text{П}x4 \\
 + & \text{П}x2 & + & \text{П}x5 & \times & 0 & \cdot & 8 & \times & \text{П}x1 \\
 + & \text{П}x4 & — & \text{П}x6 & \times & \text{П}x7 & / & x\text{П}c & \text{П}x1 & \text{П}xb \\
 - & \text{П}x3 & + & 0 & \cdot & 9 & \times & \text{П}x2 & \text{П}x3 & — \\
 \text{П}x5 & \times & + & \text{П}xa & \times & \text{П}x7 & / & F1/x & \text{П}xc & F1/x \\
 K \max & F1/x & C/P & & & & & & &
 \end{array}$$

**Инструкция.** Ввод  $I \rightarrow 0$ ;  $b_{con}$  (мм)  $\rightarrow 1$ ;  $\{b_{pl}^{sup}\}$  (мм)  $\rightarrow 2$ ;  $\{b_{pl}^{inf}\}$  (мм)  $\rightarrow 2$ ;  $d_p$  (мм)  $\rightarrow 3$ ;  $\delta_w$  (мм)  $\rightarrow 4$ ;  $\gamma_{pl}$   $\rightarrow 5$ ;  $\eta_{con}$   $\rightarrow 6$ ;  $t$  (мм)  $\rightarrow 7$ ;  $\{\sigma_p/R_{bw}\}$   $\rightarrow 8$ ;  $\underline{\eta}_{pl} \rightarrow a$ ;  $\{\eta_m^{sup}\} \rightarrow d$ ;  $\{\eta_m^{inf}\} \rightarrow e$ . В/О С/П. Индикация —  $\eta_j$ .

Причина: 1.  $I = 1$  — для сечения над плитой;  $I = -1$  — для сечения под плитой. 2. Данные в квадратных скобках вводятся при  $I = 1$ , в фигурных — при  $I = -1$ .

**Контрольный пример.**  $-1 \rightarrow 0$ ; 125  $\rightarrow 1$ ; 70  $\rightarrow 2$ ; 10  $\rightarrow 3$ ; 15  $\rightarrow 4$ ; 1  $\rightarrow 5$ ; 1  $\rightarrow 6$ ; 350  $\rightarrow 7$ ; 0,25907  $\rightarrow 8$ ; 1  $\rightarrow a$ ; 0,904  $\rightarrow d$ ; 0,891  $\rightarrow e$ .

Результат:  $\eta_j = 0,319$ .

Время счета: 9 с.

### Программа 3.35 (МК-52, МК-61)

Определение коэффициента  $\eta_j$  для монолитных стыков, а также для контактных узлов монолитных стен с передачей сжимающей нагрузки через слой бетона, уложенного в полость стыка

$$\begin{array}{ccccccccc}
 \text{П}x0 & Fx \geq 0 & 32 & 1 & \text{П}x2 & \times & \text{П}x3 & / & \text{П}x4 \\
 2 & \times & \text{П}x5 & \text{П}x1 & — & / & F & F1/x & \text{П}x8 & \text{П}x4 \\
 K \max & F1/x & x\text{П}9 & \text{П}x5 & \text{П}x1 & — & \times & \text{П}x6 & \times & \text{П}x7 \\
 / & C/P & 5 & B \uparrow & 4 & / & \text{БП} & 04 & &
 \end{array}$$

**Инструкция.** Ввод  $I \rightarrow 0$ ;  $\{\delta_{pw}\}$  (мм)  $\rightarrow 1$ ;  $[1,4\delta_p]$  (мм)  $\rightarrow 1$ ;  $B_{mon}$  (МПа)  $\rightarrow 2$ ;  $B_w$  (МПа)  $\rightarrow 3$ ;  $y_{mon}$  (мм)  $\rightarrow 4$ ;  $b_{mon}$  (мм)  $\rightarrow 5$ ;  $d_{mon}$  (мм)  $\rightarrow 6$ ;  $A_w$  (мм<sup>2</sup>)  $\rightarrow 7$ . В/О С/П. Индикация —  $\eta_j$ .

**Причесания:** 1.  $I = 1$  — при одностороннем оцирании;  $I = -1$  — двухстороннее оцирание. 2. Данные в фигурных скобках вводятся при  $I = 1$ , в квадратных — при  $I = -1$ .

**Контрольный пример.**  $-1 \rightarrow 0; 14 \rightarrow 1; 20 \rightarrow 2; 20 \rightarrow 3; 80 \rightarrow 4; 120 \rightarrow 5; 400 \rightarrow 6; 9,6 \cdot 10^4 \rightarrow 7$ .

**Результат:**  $\eta_i = 0,542$ .

**Время счета:** 6 с.

### Программа 3.36 (МК-52, МК-61)

**Определение коэффициента  $\eta_j$  для платформенно-монолитных стыков, а также комбинированных узлов монолитных стен с передачей нагрузки через платформенные и монолитные участки**

1	Пх0	Пх1	/	хП1	$Fx \geq 0$	63	1	Пх2
	/	хП2	—	$Fx \geq 0$	66	Пх7	×	Пх8
Пх5	+	×	Пх9	×	Пх3	Пх4	—	×
Пх6	×	+	Пхб	×	Пха	/	хПе	Пх3 Пх2
×	Пх4	Пхс	+	×	Пхб	×	Пх8	Пхс —
Пх9	×	+	Пхд	×	Пха	/	$F1/x$	Пхе $F1/x$
К max	$F1/x$	С/П	1	БП	03	1	БП	11

**Инструкция.** Ввод  $E_{mon}$  (МПа)  $\rightarrow 0$ ;  $E_{bp}$  (МПа)  $\rightarrow 1$ ;  $E_{pl}$  (МПа)  $\rightarrow 2$ ;  $\nu_{pl}$   $\rightarrow 3$ ;  $b_{pl}$  (мм)  $\rightarrow 4$ ;  $\delta_{pl}$  (мм)  $\rightarrow 5$ ;  $d_{pl}$  (мм)  $\rightarrow 6$ ;  $\nu_{mon}$   $\rightarrow 7$ ;  $b_{mon}$  (мм)  $\rightarrow 8$ ;  $d_{mon}$  (мм)  $\rightarrow 9$ ;  $A_w$  ( $мм^2$ )  $\rightarrow a$ ;  $\eta_{pl} \rightarrow b$ ;  $\delta_{mon}$  (мм)  $\rightarrow c$ ;  $\eta_{mon} \rightarrow d$ . В/О С/П. Индикация —  $\eta_j$ .

**Причесания.** При повторном расчете для тех же классов бетонов БП 16 С/П.

**Контрольный пример.**  $3 \cdot 10^4 \rightarrow 0; 3 \cdot 10^4 \rightarrow 1; 3 \cdot 10^4 \rightarrow 2; 1 \rightarrow 3; 70 \rightarrow 4; 15 \rightarrow 5; 60 \rightarrow 6; 1,05 \rightarrow 7; 60 \rightarrow 8; 60 \rightarrow 9; 9,6 \cdot 10^4 \rightarrow a; 1 \rightarrow b; 10 \rightarrow c; 1 \rightarrow d$ .

**Результат:**  $\eta_j = 0,081$ .

**Время счета:** 6 с.

### Программа 3.37

**Определение эксцентрикитета  $e_j^0$  для платформенного стыка**

Пх3	$Fx^2$	Пх4	$Fx^2$	+	$FV$	хП6	Пх0	$Fx \geq 0$	18
Пх6	Пх1	+	Пх2	—	2	/	С/П	Пх6	Пх5
2	/	+	Пх1	Пх2	/	1	—	×	С/П

**Инструкция.** Ввод  $I \rightarrow 0$ ;  $t$  (мм)  $\rightarrow 1$ ;  $b_{pl}^{sup}$  (мм)  $\rightarrow 2$ ;  $\delta_p$  (мм)  $\rightarrow 3$ ;  $\delta_w$  (мм)  $\rightarrow 4$ ;  $\Delta b_{pl}^{sup}$  (мм)  $\rightarrow 5$ . В/О С/П. Индикация —  $e_j^0$  (мм).

**Причесания.**  $I = 1$  — для одностороннего;  $I = -1$  — для двухстороннего стыка.

**Контрольный пример.**  $-1 \rightarrow 0; 160 \rightarrow 1; 140 \rightarrow 2; 10 \rightarrow 3; 15 \rightarrow 4; 0 \rightarrow 5$ .

**Результат:**  $e_j^0 = 2,575$  мм.

**Время счета:** 4 с.

### Программа 3.38

**Определение эксцентрикитета  $e_j^0$  для контактного стыка**

Пх0	$Fx \geq 0$	11	Пх1	2	/	Пх2	—	Пх3	+
С/П	Пх4	2	/	С/П					

**Инструкция.** Ввод  $I \rightarrow 0$ ;  $\{t\}$  (мм)  $\rightarrow 1$ ;  $\{y_{con}\}$  (мм)  $\rightarrow 2$ ;  $\{\delta_{con}\}$  (мм)  $\rightarrow 3$ ;  $\{\delta_w\}$  (мм)  $\rightarrow 4$ . В/О С/П. Индикация —  $e_j^0$  (мм).

**П р и м е ч а н и я:** 1.  $I = 1$  — для одностороннего,  $I = -1$  — для двухстороннего стыка. 2. Данные в фигурных скобках вводятся только при  $I = 1$ , в квадратных — только при  $I = -1$ .

**Контрольный пример.**  $1 \rightarrow 0; 160 \rightarrow 1; 80 \rightarrow 2; 15 \rightarrow 3; 15 \rightarrow 4$ .

**Результат:**  $e_j^0 = 15$ .

**Время счета:** 2 с.

### Программа 3.39

Определение эксцентрикитета  $e_j^0$  для контактно-платформенного стыка

$\Pi x0$	$Fx \geq 0$	90	$\Pi x4$	$Fx^2$	$\Pi x5$	$Fx^2$	+	$FV$	$x\Pi 0$
$\Pi x8$	$\Pi x5$	—	$x\Pi b$	$\Pi x2$	$\Pi x1$	—	$Fx \geq 0$	42	0
.	8		$x\Pi 1$	0	.	4	$x\Pi d$	1	$x\Pi c$
$\Pi x5$	—		$x\Pi 9$	$\Pi x7$	$\Pi x0$	—	$\Pi x5$	+	$x\Pi a$
62	C/P	0	.	.	9	$x\Pi c$	2	$F1/x$	$x\Pi d$
$\Pi x0$	—		$\Pi x4$	+	$x\Pi 9$	$\Pi x7$	$\Pi x4$	—	$x\Pi a$
62	C/P		$\Pi x a$	$Fx^2$	$\Pi x d$	×	$\Pi x b$	$\Pi x 9$	2
—	$\Pi x 9$	×	$\Pi x c$	×	+	$\Pi x 9$	$\Pi x c$	×	$\Pi x a$
$\Pi x1$	×	+	/	/—/	$\Pi x 3$	2	/	+	B/O
$\Pi x5$	2	/	C/P						

**Инструкция.** Ввод  $I \rightarrow 0$ ;  $\eta_{j,con} \rightarrow 1$ ;  $\eta_{j,pl} \rightarrow 2$ ;  $\{t (\text{мм})\} \rightarrow 3$ ;  $\{\delta_p (\text{мм})\} \rightarrow 4$ ;  $\delta_w (\text{мм}) \rightarrow 5$ ;  $\{b_{con} (\text{мм})\} \rightarrow 6$ ;  $\{b_{pl}^{sup} (\text{мм})\} \rightarrow 7$ ;  $\{b_j (\text{мм})\} \rightarrow 8$ . В/О С/П. Индикация —  $e_j^0 (\text{мм})$ .

**П р и м е ч а н и я:** 1.  $I = 1$  — для одностороннего стыка;  $I = -1$  — для двухстороннего стыка. 2. Данные в фигурных скобках вводятся только при  $I = 1$ .

**Контрольный пример.**  $1 \rightarrow 0; 0,459 \rightarrow 1; 0,605 \rightarrow 2; 160 \rightarrow 3; 10 \rightarrow 4; 15 \rightarrow 5; 60 \rightarrow 6; 60 \rightarrow 7; 160 \rightarrow 8$ .

**Результат:**  $e_j^0 = 4,81$ .

**Время счета:** 11 с.

### Программа 3.40

Определение эксцентрикитета  $e_j^0$  для платформено-монолитного стыка

$\Pi x0$	$Fx \geq 0$	36	$\Pi x1$	$Fx \geq 0$	21	1	$x\Pi d$	$\Pi x5$	$\Pi x6$
—	$x\Pi 2$		$\Pi x7$	$\Pi x6$	+	$\Pi x8$	—	$x\Pi 1$	C/P
C/P	1		$x\Pi c$	$\Pi x7$	$\Pi x8$	—	$x\Pi 2$	$\Pi x9$	40
$\Pi x a$	—		$x\Pi 1$	C/P	40	$x\Pi b$	2	$\Pi x 8$	+
$\Pi x1$	$Fx^2$		$\Pi x c$	×	2	/	$\Pi x 4$	$\Pi x 2$	C/P
—	$\Pi x 2$	×	$\Pi x d$	×	+	$\Pi x 4$	$\Pi x 2$	$\Pi x d$	/
$\Pi x c$	×	+	/	/—/	$\Pi x 3$	2	/	+	$\Pi x 1$
									B/O

**Инструкция.** Ввод  $I \rightarrow 0$ ;  $\eta_{j,mon} = \eta_{j,pl} \rightarrow 1$ ;  $\{t (\text{мм})\} \rightarrow 3$ ;  $\{b_m (\text{мм})\} \rightarrow 4$ ;  $\{b_{pl}^{sup} (\text{мм})\} \rightarrow 5$ ;  $\{\delta_{pl} (\text{мм})\} \rightarrow 6$ ;  $\{b_{mon} (\text{мм})\} \rightarrow 7$ ;  $\{\delta_{pw} (\text{мм})\} \rightarrow 8$ ;  $\{b_{pl} (\text{мм})\} \rightarrow 9$ ;  $\{\delta_p (\text{мм})\} \rightarrow a$ ;  $[\delta_w (\text{мм})] \rightarrow b$ ;  $\{\gamma_{mon}\gamma_{red}^{mon}\} \rightarrow c$ ;  $\{\gamma_{red}^{pl}\} \rightarrow d$ . В/О С/П. Индикация —  $e_j^0 (\text{мм})$ .

**П р и м е ч а н и е.** См. программу 3.39.

**Контрольный пример.**  $1 \rightarrow 0; 0,1 \rightarrow 1; 160 \rightarrow 3; 145 \rightarrow 4; 60 \rightarrow 5; 15 \rightarrow 6; 160 \rightarrow 7; 18 \rightarrow 8; 110 \rightarrow 9; 10 \rightarrow a; 1 \rightarrow c; 1 \rightarrow d$ .

**Результат:**  $e_j^0 = -8,30198$ .

**Время счета:** 8 с.

### Программа 3.41

Определение эксцентрикитета  $e_j^0$  для монолитного стыка

$$\frac{\Pi x0}{C/P} \quad \frac{Fx \geq 0}{\Pi x4} \quad \frac{11}{2} \quad / \quad \frac{\Pi x1}{C/P} \quad \frac{2}{/} \quad / \quad \frac{\Pi x2}{C/P} - \frac{\Pi x3}{C/P} +$$

**Инструкция.** Ввод  $I \rightarrow 0$ ;  $\{t\text{ (мм)}\} \rightarrow 1$ ;  $\{y_{mon}\text{ (мм)}\} \rightarrow 2$ ;  $\{\delta_{mon}\text{ (мм)}\} \rightarrow 3$ ;  $[\delta_w\text{ (мм)}] \rightarrow 4$ . В/О С/П. Индикация —  $e_j^0$  (мм).

Причесание. См. программу 3.39.

**Контрольный пример.**  $1 \rightarrow 0$ ;  $160 \rightarrow 1$ ;  $80 \rightarrow 2$ ;  $10 \rightarrow 3$ .

Результат:  $e_j^0 = 10$ .

Время счета: 2 с.

### Программа 3.42 (МК-52, МК-61)

Расчет прочности стен по средним сечениям при внецентренном сжатии из плоскости стены

$$\begin{array}{ccccccccc} \Pi x0 & Fx = 0 & 84 & 1 & \Pi x2 & \times & \Pi x6 & / & x\Pi 4 \\ - & Fx < 0 & 79 & 2 & F1/x & \Pi x4 & \Pi x5 & + & \times \\ - & x\Pi d & \Pi x a & \Pi x6 & \times & F1/x & \Pi x d & F1/x & \\ x\Pi d & \Pi x3 & - & Fx \geq 0 & 39 & \Pi x3 & x\Pi 1 & x\Pi 3 & \\ \Pi x9 & \Pi x3 & + & / & \Pi x9 & + & x\Pi c & \times & \\ / & \Pi x4 & Fx^2 & / & x\Pi b & 8 & \times & \Pi x7 & \\ \Pi x b & - & Fx^2 & + & Fx^2 & / - / & \Pi x1 & \times & \\ 2 & / & \Pi x b & \times & \Pi x8 & \times & 1 & + & \\ \times & - & \Pi x b & & \Pi x8 & \times & + & \Pi x b & \\ \times & \Pi x0 & 72 & 2 & \Pi x1 & C/P & 1 & + & \\ & & & & & & \Pi x1 & \Pi x3 & \\ & & & & & & - & \times & \\ & & & & & & & & \Pi x0 \end{array}$$

**Инструкция.** Ввод  $I \rightarrow 0$ ;  $\{d/(3H_0)\} \rightarrow 1$ ;  $[2d/(3H_0)] \rightarrow 2$ ;  $e_0/t \rightarrow 3$ ;  $R_{bw}\text{ (МПа)} \rightarrow 5$ ;  $t\text{ (мм)} \rightarrow 6$ ;  $0,533E_{bw}/\varphi_l\text{ (МПа)} \rightarrow 7$ ;  $A_w\text{ (мм}^2\text{)} \rightarrow 8$ ;  $0,1 \rightarrow 9$ ;  $0,01 \rightarrow a$ ;  $0,11 \rightarrow e$ . В/О С/П. Индикация —  $N_u$ .

Причесание: 1.  $I = 1$  — для участка между двумя примыкающими стенами;  $I = 3$  — для участка между свободным краем и примыкающей стеной;  $I = 0$  — в остальных случаях. 2. Исходные данные в фигурных скобках вводятся при  $I = 1$ , в квадратных — при  $I = 3$ .

**Контрольный пример.**  $1 \rightarrow 0$ ;  $1,25 \rightarrow 1$ ;  $2580 \rightarrow 2$ ;  $0,033 \rightarrow 3$ ;  $7,92 \rightarrow 5$ ;  $160 \rightarrow 6$ ;  $5436,6 \rightarrow 7$ ;  $1,6 \cdot 10^6 \rightarrow 8$ ;  $0,1 \rightarrow 9$ ;  $0,01 \rightarrow a$ ;  $0,11 \rightarrow e$ .

Результат:  $N_u = 10^6$ .

Время счета: 13 с.

### Программа 3.43 (МК-52, МК-61)

Определение расчетной прочности при сдвиге для бесшпоночных соединений

$$\begin{array}{ccccccccc} \Pi x0 & \Pi x2 & \times & \Pi x3 & / & \Pi x1 & + & \Pi x1 & \times & FV \\ x\Pi 6 & \Pi x1 & 2 & \times & - & Fx \geq 0 & 21 & \Pi x1 & 2 & \times \\ x\Pi 6 & \Pi x6 & \Pi x3 & \times & x\Pi 5 & \Pi x4 & \Pi x0 & \times & \Pi x2 & \times \\ F1/x & \Pi x5 & F1/x & K \max & F1/x & C/P & & & \end{array}$$

**Инструкция.** Ввод  $R_s \rightarrow 0$ ;  $R_{bt} \rightarrow 1$ ;  $A_{s,tr} \rightarrow 2$ ;  $A_v \rightarrow 3$ ;  $\eta \rightarrow 4$ . В/О С/П. Индикация —  $V$ .

**Контрольный пример.**  $3,75 \cdot 10^4 \rightarrow 0$ ;  $105 \rightarrow 1$ ;  $8 \rightarrow 2$ ;  $3,2 \cdot 10^8 \rightarrow 3$ ;  $0,7 \rightarrow 4$ .

Результат:  $V = 2,1 \cdot 10^6$ .

Время счета: 5 с.

### Программа 3.44 (МК-52, МК-61)

Определение расчетной прочности при сдвиге одной шпонки бетонного шпоночного соединения

Пх0	$F_x \geq 0$	37	1	.	5	Пх1	$\times$	Пх2	$\times$
Пх3	$\times$	$x\text{П}7$	1	.	5	Пх5	$\times$	Пх4	$\times$
Пх2	$\times$	$x\text{П}8$	Пх5	Пх6	$\times$	Пх2	$\times$	Пх7	
$F1/x$	К max	Пх8	$F1/x$	К max	$F1/x$	С/П	1	БП	06

**Инструкция.** Ввод  $I \rightarrow 0$ ;  $R_b \rightarrow 1$ ;  $b_{mon} \rightarrow 2$ ;  $u \rightarrow 3$ ;  $b \rightarrow 4$ ;  $R_{bt} \rightarrow 5$ ;  $s_k \rightarrow 6$ ; В/О С/П. Индикация —  $V_{k,b}$ ;  $V_{c,b} \leftarrow 7$ ;  $V_{sh,b} \leftarrow 8$ .

Причание.  $I = 1$  — для одиночной шпонки;  $I = -1$  — для шпонки многошпоночного соединения.

**Контрольный пример.**  $-1 \rightarrow 0$ ;  $1990 \rightarrow 1$ ;  $10 \rightarrow 2$ ;  $5 \rightarrow 3$ ;  $15 \rightarrow 4$ ;  $133 \rightarrow 5$ ;  $40 \rightarrow 6$ .

**Результат:**  $V_{k,b} = 2,99 \cdot 10^4$ ,  $V_{c,b} = 9,95 \cdot 10^4$ ,  $V_{sh,b} = 2,99 \cdot 10^4$ .

Время счета: 5 с.

### Программа 3.45 (МК-52, МК-61)

Определение прочности при сдвиге железобетонной шпонки после образования трещин

Пх0	$F \operatorname{tg}$	Пх1	—	1	Пх1	Пх0	$F \operatorname{tg}$	$\times$	+
/	$x\text{П}d$	5	$F1/x$	—	$Fx < 0$	20	5	$F1/x$	$x\text{П}d$
Пхд	Пх2	$\times$	Пх3	/	$x\text{Pe}$	Пх4	—	$Fx \geq 0$	32
Пхе	$x\text{П}4$	Пх6	ПП	64	$x\text{Пc}$	Пх5	ПП	64	$F1/x$
Пхс	$F1/x$	К max	$x\text{Пc}$	Пх4	Пх3	$\times$	Пх7	Пх8	$\times$
2	/	+	Пх9	$\times$	Пх8	$\times$	—	$F1/x$	
Пхс	К max	$F1/x$	С/П	1	Пх1	Пхб	+	/	
Пх1	Пх3	$\times$	Пх4	$\times$	/	Пхд	$\times$	—	$\times$

**Инструкция.** Ввод  $\alpha$  (град)  $\rightarrow 0$ ;  $\eta \rightarrow 1$ ;  $V \rightarrow 2$ ;  $R_{s,tr} \rightarrow 3$ ;  $A_{s,tr} \rightarrow 4$ ;  $V_{sh,b} \rightarrow 5$ ;  $V_{k,b} \rightarrow 6$ ;  $A_{s,lon} \rightarrow 7$ ;  $R_{s,lon} \rightarrow 8$ ;  $s_k \rightarrow 9$ ;  $t_k \rightarrow a$ ;  $t_j \rightarrow b$ . В/О С/П. Индикация —  $V_{k,s}$  ( $A_{s,tr} \leftarrow 4$ ).

Причание. Переключатель «Р—ГРД—Г» в положении «Г».

**Контрольный пример.**  $17 \rightarrow 0$ ;  $0,7 \rightarrow 1$ ;  $3 \cdot 10^4 \rightarrow 2$ ;  $3,75 \cdot 10^4 \rightarrow 3$ ;  $8 \rightarrow 4$ ;  $2,99 \cdot 10^4 \rightarrow 5$ ;  $9,95 \cdot 10^4 \rightarrow 6$ ;  $5 \rightarrow 7$ ;  $3,75 \cdot 10^4 \rightarrow 8$ ;  $40 \rightarrow 9$ ;  $5 \rightarrow a$ ;  $5 \rightarrow b$ .

**Результат:**  $V_{k,s} = 2,36 \cdot 10^5$  ( $A_{s,tr} = 8$ ).

Время счета: 12 с.

### Программа 3.46

Определение изгибающих моментов, воспринимаемых плитой перекрытия по расчетным сечениям

Пх0	Пх3	$\times$	Пх1	Пх4	$\times$	—	$x\text{П}8$	2	/
Пх2	/	Пх5	/	/—/	Пх6	+	Пх8	$\times$	Пх6
Пх7	—	Пх1	$\times$	Пх4	$\times$	+	С/П		

**Инструкция.** Ввод  $R_s \rightarrow 0$ ;  $[R_{sc}] \rightarrow 1$ ;  $R_b \rightarrow 2$ ;  $A_s \rightarrow 3$ ;  $[A'_s] \rightarrow 4$ ;  $b \rightarrow 5$ ;  $h_0 \rightarrow 6$ ;  $[a'] \rightarrow 7$ . В/О С/П. Индикация —  $M_u$ .

Причание. Данные в фигурных скобках вводятся при одностороннем армировании, в квадратных — только при двухстороннем.

**Контрольный пример.**  $3,6 \cdot 10^4 \rightarrow 0$ ;  $3,6 \cdot 10^4 \rightarrow 1$ ;  $1,99 \cdot 10^3 \rightarrow 2$ ;  $2 \rightarrow 3$ ;  $1 \rightarrow 4$ ;  $20 \rightarrow 5$ ;  $20 \rightarrow 6$ ;  $5 \rightarrow 7$ .

**Результат:**  $M_u = 2,68 \cdot 10^6$ .

Время счета: 5 с.

### Программа 3.47 (МК-52, МК-61)

Определение предельной равномерно распределенной нагрузки для свободно опертых плит перекрытия

3	$\Pi x_0$	$Fx^Y$	$F1/x$	$\Pi x_3$	$\times$	$x\Pi c$	$\Pi x_4$	$Fx \geq 0$	22
$\Pi x_5$	$\Pi x_6$	+	$\Pi x_2$	/	$\Pi x_d$	3	$\times$	1	—
/	C/P	$\Pi x_6$	$\Pi x_5$	/	$\Pi x_d$	$\times$	$x\Pi e$	$Fx^2$	$\Pi x_e$
$\Pi x_d$	$Fx^2$	×	$\Pi x_8$	×	+	$FV$	$\Pi x_e$	—	$\Pi x_d$
/	2	/	$x\Pi 1$	$\Pi x_e$	2	$\times$	$\Pi x_d$	$Fx^2$	4
×	+	$FV$	$\Pi x_d$	2	$\times$	+	3	/	$x\Pi b$
$\Pi x_5$	2	×	$\Pi x_1$	$\times$	$\Pi x_6$	+	$\Pi x_d$	6	×
$\Pi x_1$	—	/	$\Pi x_1$	/	$x\Pi 7$	$\Pi x_5$	$\Pi x_b$	$Fx^2$	—
$\Pi x_6$	$\Pi x_d$	×	+	$\Pi x_b$	3	$\times$	$\Pi x_d$	2	—
—	/	$\Pi x_d$	$Fx^2$	/	2	/	$F1/x$	$\Pi x_7$	$F1/x$
K max	$\Pi x_c$	↔	/	C/P					

**Инструкция.** Ввод  $l_1 \rightarrow 0; 24 \rightarrow 3; I \rightarrow 4; M_1 \rightarrow 5; M_2 \rightarrow 6; 12 \rightarrow 8; \lambda \rightarrow d; [\gamma_p] \rightarrow 2$ . В/О С/П. Индикация —  $q$ .

При меч ани я: 1.  $I = 1$  — для плиты, опертой по контуру;  $I = -1$  — для плиты, опертой по 3 сторонам. 2. Данные в квадратных скобках вводятся только при  $I = 1$ .

**Контрольный пример:**  $350 \rightarrow 0; 24 \rightarrow 3; -1 \rightarrow 4; 6,1 \cdot 10^6 \rightarrow 5; 2,7 \rightarrow 10^6 \rightarrow 6; 12 \rightarrow 8; 1,844 \rightarrow d$ .

**Результат:**  $q = 0,675$ .

**Время счета:** 15 с.

### Программа 3.48

Определение предельной равномерно распределенной нагрузки для защемленных плит перекрытия

3	$\Pi x_1$	$Fx^Y$	$F1/x$	1	2	$\times$	$x\Pi 9$	$\Pi x_0$	$Fx \geq 0$
33	$\Pi x_3$	$\Pi x_4$	+	2	$\times$	$\Pi x_5$	+	$\Pi x_6$	+
$\Pi x_7$	+	$\Pi x_8$	+	$\Pi x_2$	3	$\times$	1	—	/
$\Pi x_9$	×	C/P	$\Pi x_3$	2	$\times$	$\Pi x_4$	+	$\Pi x_5$	+
$\Pi x_6$	+	$\Pi x_7$	+	$\Pi x_2$	6	$\times$	1	—	/
$\Pi x_9$	×	2	$\times$	C/P					

**Инструкция.** Ввод  $I \rightarrow 0; l_1 \rightarrow 1; \lambda \rightarrow 2; M_1 \rightarrow 3; M_2 \rightarrow 4; M_1 \rightarrow 5; M'_1 \rightarrow 6; M_{II} \rightarrow 7; [M'_{II}] \rightarrow 8$ . В/О С/П. Индикация —  $q$ .

При меч ани я: 1.  $I = 1$  — при защемлении по контуру;  $I = -1$  — при защемлении по трем сторонам. 2. Данные в квадратных скобках вводятся при  $I = 1$ .

**Контрольный пример.**  $-1 \rightarrow 0; 350 \rightarrow 1; 1,844 \rightarrow 2; 6,1 \cdot 10^6 \rightarrow 3; 2,7 \cdot 10^6 \rightarrow 4; 3 \cdot 10^6 \rightarrow 5; 3 \cdot 10^6 \rightarrow 6; 1,5 \cdot 10^5 \rightarrow 7$ .

**Результат:**  $q = 1,036$ .

**Время счета:** 6 с.

### Программа 3.49

Определение расчетных изгибающих моментов вдоль пролетов  $l_1$  и  $l_2$ , соответствующих оптимальному армированию для свободно опертых плит

$\Pi x_1$	$x\Pi 2$	$Fx^2$	$\times$	$\Pi x_3$	$\times$	8	/	$x\Pi 9$	$Fx < 0$	$\Pi x_0$
$Fx \geq 0$	66	$\Pi x_5$	4	/	$\Pi x_4$	$Fx^2$	—	$\Pi x_4$	45	
$\Pi x_5$	$\Pi x_4$	/	2	/	$x\Pi 8$	$\Pi x_4$	/	3	/	
/—/	1	+	$\Pi x_9$	$\times$	$x\Pi a$	$\Pi x_8$	$Fx^2$	$\Pi x_4$	/	
3	/	$\Pi x_9$	$\times$	C/P	$\Pi x_5$	$FV$	$x\Pi 8$	4	—	

$\Pi x4$	$\times$	$F1/x$	$\Pi x9$	$\times$	$x\Pi a$	$\Pi x8$	$\Pi x4$	$4$	$\times$
$3$	/	—	$\Pi x8$	$\times$	$C/\Pi$	$\Pi x5$	$\Pi x4$	/	$x\Pi 8$
$\Pi x4$	/	2	$\times$	3	/	$/-$	1	+	$\Pi x9$
$\times$	$\Pi xb$	$\times$	$x\Pi a$	$\Pi x8$	$Fx^2$	$\Pi x4$	/	3	/
$\Pi x9$	$\times$	$\Pi xb$	$\times$	$C/\Pi$					

**Инструкция.** Ввод  $I \rightarrow 0$ ;  $q \rightarrow 1$ ;  $l_1 \rightarrow 2$ ;  $l_3 \rightarrow 3$ ;  $\lambda \rightarrow 4$ ;  $v_s \frac{h_{02}}{h_{01}} \rightarrow 5$ ;  $\{v_p\} \rightarrow \rightarrow b$ . В/О С/П. Индикация —  $M_2$ ,  $M_1 \leftarrow a$ .

При меч ани я: 1.  $I = 1$  — для плит, опертых по трем сторонам;  $I = -1$  — для плит, опертых по контуру. 2. Данные в фигурных скобках вводятся только при  $I = -1$ .

**Контрольный пример.**  $1 \rightarrow 0$ ;  $1 \rightarrow 1$ ;  $350 \rightarrow 2$ ;  $350 \rightarrow 3$ ;  $1 \rightarrow 4$ ;  $1 \rightarrow 5$ .

**Результат:**  $M_2 = 4,47 \cdot 10^5$ ;  $M_1 = 4,47 \cdot 10^5$ .

Время счета: 8 с.

### Программа 3.50

Определение допустимой равномерно распределенной нагрузки из условия прочности в опертой по двум сторонам многопустотной плите

$\Pi x3$	$x\Pi c$	$\Pi x5$	2	/	$x\Pi b$	$\Pi \Pi$	26	$x\Pi 8$	$\Pi x2$
$x\Pi c$	$\Pi x5$	$x\Pi b$	$\Pi \Pi$	26	$x\Pi 9$	2	$\Pi x0$	$\times$	$\Pi x1$
$\times$	$\Pi x7$	$\times$	$\Pi x5$	/	$C/\Pi$	$\Pi x0$	$\Pi x1$	$\times$	$\Pi x1$
$\times$	$\Pi x4$	$\Pi x6$	+	$\times$	$\Pi xb$	/	$\Pi xc$	$\Pi x6$	+
/	B/O								

**Инструкция.** Ввод  $0,9\Pi b_3 \rightarrow 0$ ;  $R_{bt} \rightarrow 1$ ;  $b_w \rightarrow 2$ ;  $b_{w_0} \rightarrow 3$ ;  $h \rightarrow 4$ ;  $l \rightarrow 5$ ;  $d \rightarrow 6$ ;  $h_f + h'_f \rightarrow 7$ ; В/О С/П. Индикация —  $q$ , значение предельной нагрузки для полки. Предельная нагрузка для крайнего опорного ребра  $\leftarrow 8$ , для ближнего к опорному промежуточного ребра  $\leftarrow 9$ .

**Контрольный пример.**  $0,54 \rightarrow 0$ ;  $133 \rightarrow 1$ ;  $5 \rightarrow 2$ ;  $7 \rightarrow 3$ ;  $20 \rightarrow 4$ ;  $300 \rightarrow 5$ ;  $12 \rightarrow 6$ ;  $8 \rightarrow 7$ .

**Результат:**  $q = 3,83$  ( $8 \rightarrow 5,64$ ;  $9 \rightarrow 2,25$ ).

Время счета: 11 с.

### Программа 3.51

Определение допустимой равномерно распределенной нагрузки из условия прочности на срез в опертой по трем сторонам многопустотной плите

$\Pi x5$	$Fx^2$	2	$\times$	$\Pi x0$	$\Pi x3$	—	$Fx^2$	$\times$	$Fbx$
$F\sqrt$	$\Pi x6$	/	$\Pi x5$	$\Pi x3$	/	+	/	$x\Pi d$	3
$\Pi x5$	$\Pi x6$	+	$Fx^Y$	$\Pi x0$	$\times$	1	2	/	4
$\Pi x7$	$Fx^Y$	$\Pi xc$	$\times$	$F\pi$	$\times$	—	$\Pi x4$	$\times$	$\Pi xd$
/	$\Pi x1$	$\times$	$F\pi$	$Fx^2$	$\times$	4	/	1	+
$F\pi$	$\times$	$x\Pi b$	$\Pi x3$	$\Pi x7$	+	2	/	$x\Pi a$	$\Pi x9$
$\Pi x3$	$\times$	$\Pi x5$	$\times$	$\Pi xb$	$\times$	$\Pi xa$	/	$\Pi x0$	$\Pi xa$
—	$\Pi x3$	2	/	+	/	$x\Pi c$	$\Pi x9$	$\Pi x2$	×
$\Pi x5$	$\times$	$\Pi xb$	$\times$	$\Pi x8$	/	$\Pi x0$	$\Pi xa$	—	$\Pi x8$
2	/	+	/	$C/\Pi$					

**Инструкция.** Ввод  $l_2 \rightarrow 0$ ;  $\lambda \rightarrow 1$ ;  $b_w \rightarrow 2$ ;  $b_{w_0} \rightarrow 3$ ;  $E_b/G_b (\text{м}^2) \rightarrow 4$ ;  $h = h_f \rightarrow 5$ ;  $h_f \rightarrow 6$ ;  $d \rightarrow 7$ ;  $s \rightarrow 8$ ;  $0,15R_{bt} \rightarrow 9$ ;  $n/64 \rightarrow c$ . В/О С/П. Индикация  $q$  — значение предельной нагрузки для ближайшего к опорному ребра. В  $a$  — значение предельной нагрузки для крайнего ребра.

**Контрольный пример.**  $150 \rightarrow 0$ ;  $2 \rightarrow 1$ ;  $5 \rightarrow 2$ ;  $7 \rightarrow 3$ ;  $2,5 \rightarrow 4$ ;  $16 \rightarrow 5$ ;  $4 \rightarrow 6$ ;  $12 \rightarrow 7$ ;  $30 \rightarrow 8$ ;  $19,95 \rightarrow 9$ ;  $0,14 \rightarrow c$ .

**Результат:**  $q = 0,63$  ( $a \rightarrow 3,03$ ).

Время счета: 19 с.

### Программа 3.52

Расчет плит перекрытий по образованию трещин

3 -	$\Pi x0$	$Fx^Y$	$\Pi x2$	/	$x\Pi0$	3	$\Pi x1$	$Fx^Y$	$\Pi x3$
/	$\Pi x0$	+	$\Pi x4$	$\times$	1	2	/	$\Pi x7$	$\times$
2	/	$\Pi x5$	/	B↑	1	+	/	/—/	$\Pi x9$
$\Pi x a$	—	$\times$	$\Pi x9$	+	$F1/x$	$\Pi x b$	$\Pi x7$	$Fx^2$	/
$\Pi x 8$	/	$\Pi x d$	$\Pi x 9$	$\times$	—	$\times$	$\Pi x d$	+	$x\Pi 4$
$\Pi x c$	1	.	1	$\times$	$\Pi x 6$	/	$\Pi x 7$	$Fx^2$	/
$\Pi x 8$	/	$\Pi x d$	+	C/P	$\Pi x b$	$\Pi x 9$	/	$\Pi x 7$	$Fx^2$
/	$\Pi x 8$	/	C/P						

**Инструкция.** Ввод  $b_{pl}^{sup} \rightarrow 0$ ;  $b_{pl}^{inf} \rightarrow 1$ ;  $\lambda_m^{sup} \rightarrow 2$ ;  $\lambda_m^{inf} \rightarrow 3$ ;  $d \rightarrow 4$ ;  $EI_p \rightarrow 5$ ;  $a_3 \rightarrow 6$ ;  $l_1 \rightarrow 7$ ;  $l_2 \rightarrow 8$ ;  $a_1 \rightarrow 9$ ;  $a_2 \rightarrow a$ ;  $M_{crc} \rightarrow b$ ;  $M_{crc}^0 \rightarrow c$ ;  $q_1 \rightarrow d$ . В/О С/П. Индикация —  $q_{crc}^0$ ,  $q_{crc} \leftarrow 4$ . Если  $q_{crc}^0 < q_{crc}$ , нажать С/П. На индикаторе —  $q_{crc}$ .

**Контрольный пример.**  $20 \rightarrow 0$ ;  $20 \rightarrow 1$ ;  $8 \cdot 10^{-5} \rightarrow 2$ ;  $8 \cdot 10^{-5} \rightarrow 3$ ;  $120 \rightarrow 4$ ;  $10^8 \rightarrow 5$ ;  $0,08 \rightarrow 6$ ;  $300 \rightarrow 7$ ;  $120 \rightarrow 8$ ;  $0,11 \rightarrow 9$ ;  $0,04 \rightarrow a$ ;  $10^6 \rightarrow b$ ;  $5 \cdot 10^5 \rightarrow c$ ;  $1 \rightarrow d$ .

**Результат:**  $q_{crc}^0 = 1,636$  ( $4 \rightarrow 0,841$ ).

Время счета: 15 с.

### Программа 3.53

Определение прогибов от длительно действующих нагрузок свободно опертых по трем или четырем сторонам плит с закрепленными от подъема углами

$\Pi x 0$	$Fx^2$	$\Pi x 1$	$\times$	$\Pi x 2$	$\times$	$x\Pi 8$	$\Pi x 6$	$\Pi x 0$	$\times$
$x\Pi 9$	$\Pi x 2$	$\Pi x 4$	—	$Fx < 0$	27	0	$x\Pi d$	$\Pi x 4$	$x\Pi a$
$\Pi x 2$	$x\Pi b$	$\Pi x 4$	$x\Pi c$	$\Pi \Pi$	53	C/P	$\Pi x 2$	$\Pi x 5$	—
$Fx < 0$	44	$\Pi x 5$	$x\Pi a$	$\Pi x 2$	$x\Pi b$	$\Pi x 2$	$x\Pi c$	1	$x\Pi d$
$x\Pi 8$	$\Pi \Pi$	53	C/P	$\Pi x 0$	$Fx^2$	$\Pi x 7$	×	$\Pi x 1$	×
$\Pi x 4$	×	C/P	$\Pi x 7$	$\Pi x 4$	×	$\Pi x a$	$\Pi x b$	—	$\Pi x d$
×	—	$\Pi x c$	/	$\Pi x 8$	×	$\Pi x 9$	$\Pi x 8$	$\Pi x 7$	×
—	$\Pi x a$	$\Pi x b$	—	×	$\Pi x 3$	$\Pi x 2$	—	/	+
B/O									

**Инструкция.** Ввод  $I_1^2$  (мм<sup>2</sup>) → 0;  $\beta_1/\phi_{b1} E_b h^3$  (1/мм) → 1;  $q_{crc}$  (кПа) → 2;  $q_{ser}$  (кПа) → 3;  $q_l$  (кПа) → 4;  $q_n$  (кПа) → 5;  $\frac{0,141 R_{s,ser}}{h_{01} E_s} \left( 1 + \frac{0,9 \mu E_s}{\xi E_b v} \right) \eta_1 \eta_2$  (1/мм) → → 6.  $\phi_{b2} \rightarrow 7$ . В/О С/П. Индикация —  $f$ , мм.

**Контрольный пример.**  $9 \cdot 10^6 \rightarrow 0$ ;  $10^{-13} \rightarrow 1$ ;  $0,005 \rightarrow 2$ ;  $0,02 \rightarrow 3$ ;  $0,15 \rightarrow 4$ ;  $0,017 \rightarrow 5$ ;  $10^{-6} \rightarrow 6$ ;  $2 \rightarrow 7$ .

**Результат:**  $f = 6,027$ .

Время счета: 10 с.

### Программа 3.54

Определение максимальных прогибов от длительно действующих нагрузок сборных плит, рассчитываемых с учетом двух стадий работы

$\Pi x 3$	$\Pi x 1$	—	$Fx \geq 0$	19	$\Pi x a$	$\Pi x 2$	×	$\Pi x 2$	$\Pi x b$
—	$\Pi x 9$	×	—	$\Pi x 8$	×	$\Pi x 7$	×	C/P	$\Pi x b$
$\Pi x 3$	—	$Fx \geq 0$	39	$\Pi x 9$	$\Pi x a$	×	$\Pi x 2$	$\Pi x b$	—
×	$x\Pi c$	$\Pi x 5$	$\Pi x 7$	/	$x\Pi 5$	$\Pi \Pi$	63	C/P	$\Pi x 4$
$\Pi x b$	—	$\Pi x 9$	×	/—/	$\Pi x 4$	+	/—/	$\Pi x a$	$\Pi x 4$
×	+	$\Pi x 8$	×	$x\Pi 6$	×	$\Pi x 1$	$x\Pi 10$	$\Pi x 4$	$x\Pi 3$
$\Pi \Pi$	63	C/P	$\Pi x 2$	$\Pi x 3$	—	$\Pi x c$	—	$\Pi x 0$	$\Pi x 3$
—	/	$\Pi x 5$	$\Pi x 6$	—	×	/—/	$\Pi x 6$	+	$\Pi x 7$
×	B/O								

**Инструкция.** Ввод  $q_{ser} \rightarrow 0$ ;  $q_n \rightarrow 1$ ;  $q_l \rightarrow 2$ ;  $q_{crc} \rightarrow 3$ ;  $q_{crc}^0 \rightarrow 4$ ;  $f_{ser} \rightarrow 5$ ;  $f_{crc} \rightarrow 6$ ;  $\varphi_{b2} \rightarrow 7$ ;  $I_1^4/\varphi_{b1}E_bh^3 \rightarrow 8$ ;  $\alpha(\beta_1 - \beta_2) \rightarrow 9$ ;  $\beta_1 \rightarrow a$ ;  $q_1 \rightarrow b$ ;  $0 \rightarrow c$ . В/О С/П. Индикация —  $f$ .

**Контрольный пример.**  $2 \rightarrow 0$ ;  $1,7 \rightarrow 1$ ;  $1,5 \rightarrow 2$ ;  $0,5 \rightarrow 3$ ;  $0,4 \rightarrow 4$ ;  $0,8 \rightarrow 5$ ;  $0,2 \rightarrow 6$ ;  $2 \rightarrow 7$ ;  $10^{-5} \rightarrow 8$ ;  $0,1 \rightarrow 9$ ;  $0,13 \rightarrow a$ ;  $0,7 \rightarrow b$ ;  $0 \rightarrow c$ .

**Результат:**  $f = 0,136$ .

**Время счета:** 9 с.

### Программа 3.55

Определение напряжения в растянутой арматуре в сечении с трещиной

Пх0	Пх1	/	Пх2	/	Пх3	/	хП18	Пхб	Пх4
—	$F_x \geq 0$	31	Пх6	Пх5	—	Пх9	Пх5	—	—
Пх7	Пх8	—	Х	Пх8	+	Пх4	Х	Пх6	—
С/П	Пх6	хП9	Пх4	хП6	БП	13			

**Инструкция.** Ввод  $M_{crc} \rightarrow 0$ ;  $1 - 0,5\epsilon \rightarrow 1$ ;  $h_0 \rightarrow 2$ ;  $A_s \rightarrow 3$ ;  $q_l \rightarrow 4$ ;  $q_{crc} \rightarrow 5$ ;  $q_n \rightarrow 6$ ;  $R_{s,ser} \rightarrow 7$ ;  $q_{ser} \rightarrow 9$ . В/О С/П. Индикация —  $\sigma_s$ .

**Контрольный пример.**  $10^6 \rightarrow 0$ ;  $0,85 \rightarrow 1$ ;  $20 \rightarrow 2$ ;  $4 \rightarrow 3$ ;  $1,5 \rightarrow 4$ ;  $0,5 \rightarrow 5$ ;  $1,7 \rightarrow 6$ ;  $4 \cdot 10^4 \rightarrow 7$ ;  $2 \rightarrow 9$ .

**Результат:**  $\sigma_s = 3,58 \cdot 10^4$ .

**Время счета:** 6 с.



## РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

### 4.1. РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В настоящем параграфе приведены программы, связанные с выполнением расчетов элементов, изложенных в СНиП II-23-81 [11]. Программы охватывают наиболее трудоемкие формулы, предназначенные для проверок принятых сечений изгибаемых, центрально- и внецентренно-сжатых элементов, а также некоторые вопросы их конструирования. При описании программ даются разъяснения по их содержанию с указаниями используемых формул, исходных данных с ссылкой на соответствующие пункты СНиП. В некоторых случаях, если это связано с упрощением записи программ, формулы СНиП видоизменены.

Требуемые параметры определяются из таблиц линейной интерполяцией и порядок их вычислений описан в каждом конкретном случае.

Принятые обозначения соответствуют СНиП за исключением отдельно оговоренных случаев. Размерность принята одинаковой для всех программ, а именно: усилия (изгибающие моменты, продольные

и поперечные силы) — кН · см и кН; напряжения, расчетные сопротивления, модуль упругости — 10 МПа; линейные размеры (длина, высота, ширина, толщина) — см; площади — см<sup>2</sup>; статические моменты и моменты сопротивления — см<sup>3</sup>; моменты инерции — см<sup>4</sup>.

Если в процессе пользования программой необходимо обращение к предыдущему шагу вычислений либо возможны варианты последующего расчета, в инструкции приведена нумерация вычислительных операций. В остальных случаях нумерация отсутствует.

В контрольных примерах ввод исходных данных, следующий после счета фрагмента программы, разделен точками с другими параметрами.

#### 4.1.1. ЦЕНТРАЛЬНО-СЖАТЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

В соответствии с требованиями п. 5.3 [11] проверку устойчивости центрально-сжатого стержня выполняют по формуле (программа 4.1)

$$\sigma = \frac{N}{\varphi A} \leq R_y \gamma_c. \quad (4.1)$$

Коэффициент продольного изгиба  $\varphi$ , зависящий от расчетного сопротивления стали  $R_y$  и условной гибкости стержня  $\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{E/R_y}$ , определяют по формулам (программа 4.2):

при  $0 < \bar{\lambda} \leq 2,5$ ;

$$\varphi = 1 - \left( 0,073 - 5,53 \frac{R_y}{E} \right) \bar{\lambda} \sqrt{\bar{\lambda}}; \quad (4.2)$$

при  $2,5 < \bar{\lambda} \leq 4,5$

$$\begin{aligned} \varphi = 1,47 - 13 \frac{R_y}{E} - & \left( 0,371 - 27,3 \frac{R_y}{E} \right) \bar{\lambda} + \\ & + \left( 0,0275 - 5,53 \frac{R_y}{E} \right) \bar{\lambda}^2; \end{aligned} \quad (4.3)$$

при  $\bar{\lambda} > 4,5$

$$\varphi = \frac{332}{\bar{\lambda}^2 (51 - \bar{\lambda})}.$$

Пределную гибкость  $[\lambda]$  вычисляют по табл. 19 [11] в зависимости от назначения элементов (программа 4.3):

для поясов, опорных раскосов и стоек ферм, передающих опорные реакции, а также для основных колонн (код = 180)

$$[\lambda] = 180 - 60\alpha;$$

для прочих сжатых элементов плоских ферм, сварных пространственных и структурных конструкций, второстепенных колонн (код = 210)

$$[\lambda] = 210 - 60\alpha;$$

для пространственных и структурных конструкций из одиночных уголков с болтовыми соединениями (код = 220)

$$[\lambda] = 220 - 40\alpha.$$

Коэффициент  $\alpha$  равен отношению действующей в стержне силы  $N$  к его несущей способности  $\varphi A R_y$ . Коэффициент продольного изгиба  $\varphi$  в этом случае следует принимать по табл. 72 [11] либо вычислять по программе 4.2 с использованием фактической гибкости стержня  $\lambda$ , найденной с учетом его расчетной длины  $l_{ef}$ .

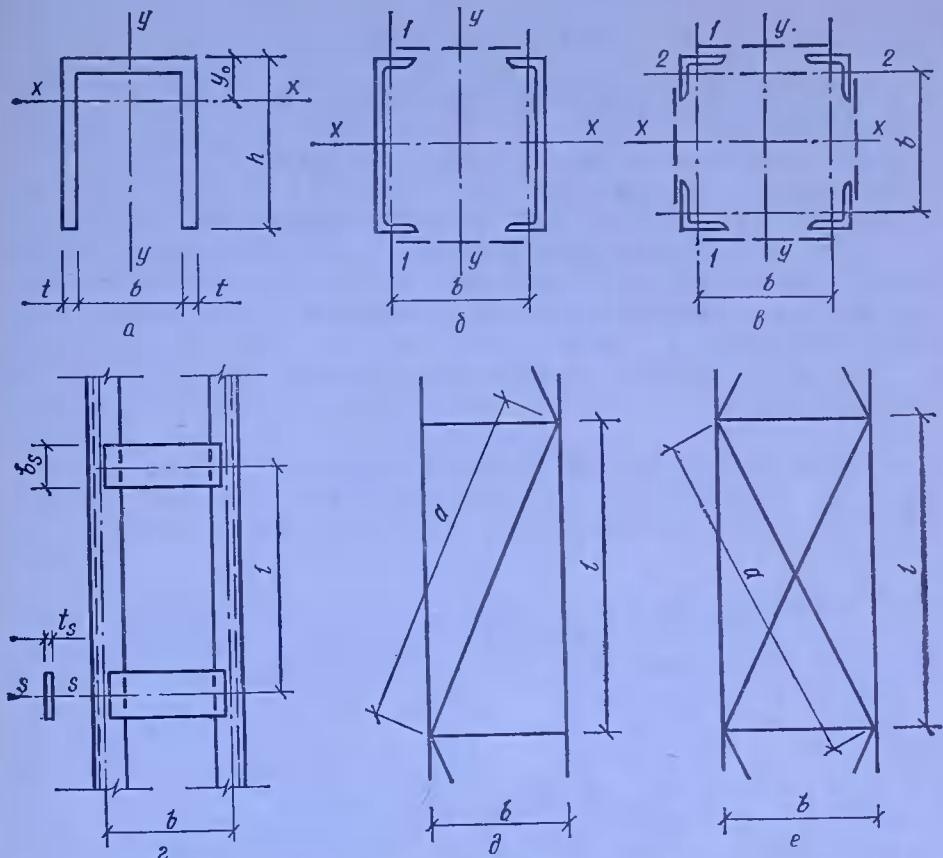


Рис. 4.1. К расчету центрально-сжатых стержней:

*a* — П-образное сечение; *b, e* — сквозные сечения; *c, d, f* — схемы составных стержней соответственно на планках, с решетками раскосной и крестовой.

Сжатые стержни открытого П-образного сечения (рис. 4.1, *a*) при  $\lambda_x < 3\lambda_y$  и при отсутствии планок или решетки относительно оси  $y-y$  проверяют на прочность по формуле

$$\sigma = \frac{N}{c\varphi_y A} \leqslant R_y \gamma_c, \quad (4.4)$$

где  $\varphi_y$  — коэффициент продольного изгиба, вычисленный согласно требованиям п. 5.3 [11] с использованием значения  $\lambda_y$ . Коэффициент  $c$  определяют по формуле

$$c = \frac{2}{1 + \delta + \sqrt{(1 - \delta)^2 + 16\alpha^2/\mu}}, \quad (4.5)$$

где

$$\delta = 4\rho/\mu; \quad \alpha = \frac{4(3+\beta)}{(2+\beta)(6+\beta)};$$
$$\mu = \frac{8(39+2\beta)}{(6+\beta)^2} + 0,052(t/h)^2 \lambda_y^2;$$
$$\beta = b/h. \quad \rho = \frac{I_x + I_y}{Ah^2}.$$

Расчет П-образного сечения выполняют по программе 4.4.

Необходимые геометрические характеристики П-образного профиля рекомендуется определять по программе 4.5.

Приведенные гибкости составных стержней с планками (рис. 4.1, б, в) зависят от соотношения  $1/n = (I_{sl})/(I_{b_1}b)$  (см. табл. 7 [11]), где  $I_s$  — момент инерции сечения одной планки относительно собственной оси  $s-s$ ;  $I_{b_1}$  — то же, сечения одной ветви относительно собственной оси 1—1;  $b, l$  — расстояния соответственно между осями ветвей и центрами планок (рис. 4.1, в).

При расположении планок в двух плоскостях (программа 4.6) и при  $1/n < 5$

$$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda_y^2 + 0,82\lambda_1^2(1+n)}; \quad (4.6)$$

при  $1/n \geq 5$

$$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_1^2}, \quad (4.7)$$

где  $\lambda_y$  — гибкость стержня относительно оси  $y-y$ , вычисляемая как для сплошных стержней длиной  $l_y$ ;  $\lambda_1$  — то же, ветви при изгибе в плоскости, перпендикулярной к оси 1—1 на участке между приваренными планками. Площадь одной ветви —  $A_b$ .

При составлении программы учтено указание п. 5.6 [11] о том, что гибкость отдельных ветвей на участке между планками длиной  $l$  не должна превышать 40. Если при заданных исходных данных это условие выполняется, то в результате счета на индикаторе появляется искомое значение  $\lambda_{ef}$ , в противном случае — 999. Это означает, что произошло уменьшение  $l$  с целью обеспечения условия  $\lambda_1 \leq 40$ . Проанализировав новое расстояние между планками  $l_1$ , можно продолжить расчет при  $\bar{l} = l_1$  или начать его снова, введя уменьшенное значение  $\bar{l} < l_1$  по конструктивным соображениям.

Приведенную гибкость стержня с четырьмя ветвями (см. рис. 4.1, в) определяют по программе 4.7. В практике сечение обычно выполняют симметричным, соблюдая длины ветвей и размеры планок одинаковыми в обоих направлениях. Поэтому, принимая  $I_{b1} = I_{b2}$ ,  $I_{s1} = I_{s2}$ ,  $n_1 = n_2$ ,  $\lambda_1 = \lambda_2$ , получим приведенную гибкость стержня сквозного сечения при  $1/n < 5$

$$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda^2 + 1,64\lambda_1^2(1+n)^2}; \quad (4.8)$$

при  $1/n \geq 5$

$$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda^2 + 2\lambda_1^2}, \quad (4.9)$$

где  $\lambda$  — гибкость всего стержня, вычисленная как для стержня сплошного сечения относительно оси  $x$  —  $x$  или  $y$  —  $y$  (вследствие симметрии  $\lambda = \lambda_x = \lambda_y$ ) при расчетной длине  $l_{ef}$ .

В двухветвевых стержнях (см. рис. 4.1, б) с решетками (программа 4.8) приведенная гибкость по табл. 7 [11] (код = 1)

$$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda_y^2 + \alpha_1 A/A_{d1}}, \quad (4.10)$$

а при компоновке симметричного сечения из четырех ветвей (см. рис. 4.1, в) и сохранении размеров решетки во всех четырех плоскостях одинаковыми (код = 2)

$$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda^2 + 2\alpha_1 A/A_{d1}}, \quad (4.11)$$

где  $A$  — площадь всего сечения стержня;  $A_{d1}$  — то же, раскоса решетки, лежащей в плоскости, перпендикулярной оси I—I;

$$\alpha_1 = 10 \cdot a^3/(b^2 l); \quad a, b, l \text{ — размеры, принимаемые по рис. 4.1, } \partial.$$

Вычисляя  $\lambda_{ef}$  для стержней с крестовой решеткой (рис. 4.1, е), в качестве  $A_{d1}$  следует принимать площади двух раскосов. Площадь всего сечения устанавливают умножением площади ветви  $A_b$  на их количество. Гибкость стержня  $l$  или  $l_y$  вычисляют при его заданной расчетной длине  $l_{ef}$ .

Для расчета соединительных элементов (планок, решеток) сжатых стержней сквозного сечения условную поперечную силу определяют в соответствии с требованием п. 5.8 [11] (программа 4.9):

$$Q_{fic} = 7,15 \cdot 10^{-6} (2330 - E/R_y) N/\varphi, \quad (4.12)$$

где  $\varphi$  — коэффициент продольного изгиба, вычисляемый по максимальной гибкости (см. программу 4.2).

Согласно требованиям п. 5.10 [11] в перекрестных раскосах крестовой решетки с распорками (рис. 4.1, е) помимо усилий, возникающих в них как в решетке ферм, следует учитывать дополнительное усилие от обжатия поясов (программа 4.10)

$$N_{ad} = \alpha N A_d / A,$$

где  $N$  — усилие в одной ветви стержня;  $\alpha = al^2/(a^3 + 2b^3)$ ;  $a, b, l$  — размеры, принимаемые по рис. 4.1, е.

По п. 5.11 [11] расчет стержней, предназначенных для уменьшения расчетной длины сжатых стержней, необходимо вести на усилия, возникающие от условной поперечной силы  $Q_{fic}$  (см. программу 4.9). В составном стержне с решетками  $Q_{Hc}$  распределяют поровну между плоскостями, перпендикулярными к осям, относительно которых проверяют устойчивость. В четырехгранных сечениях (см. рис. 4.1, б, в) условная поперечная сила, приходящаяся на одну грань,  $Q_s = Q_{fic}/2$ .

Напряжение  $\sigma$  (программа 4.11) в заданном сечении ( $A_d$  и  $i_d$ ) при известных размерах решетки ( $b$  и  $l$ ) и коэффициенте расчетной длины раскоса  $\mu$  определяют в соответствии с указаниями п. 5.3 [11]. При этом коэффициент продольного изгиба  $\varphi$  вычисляют по программе 4.2 при гибкости  $\bar{\lambda}$ .

Для сплошностенчатых центрально-сжатых элементов предельное отношение  $[\lambda_w]$  расчетной высоты стенки  $h_{ef}$  к толщине  $t_w$  определяют

в зависимости от типа поперечного сечения и условной гибкости  $\bar{\lambda}$  (см. табл. 27 [11]) с учетом расчетного сопротивления стали (программа 4.12).

При наличии продольных ребер в двутавровом сечении (рис. 4.2) предельную гибкость стенки  $[\lambda_w] = h_{ef}/t$ , имеющей расчетную высоту  $h_{ef}$ , следует умножать на коэффициент  $\beta$ , определяемый согласно указаниям п. 7.19 [11] (программа 4.13).

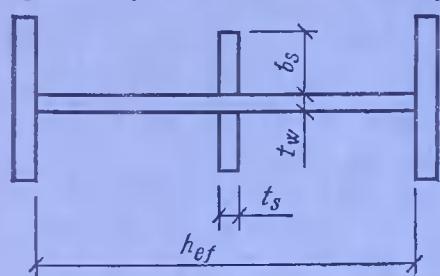


Рис. 4.2. К расчету предельной гибкости стенки стержня.

сечения. При расположении ребра с одной стороны стенки (код = 1)  $I_s$  находят относительно оси  $y$ , совпадающей с осью

стенки. При расположении ребра с другой стороны стенки (код = 0) момент инерции вычисляют относительно оси  $y$ , совпадающей с осью

стенки. При расположении ребра с одной стороны стенки (код = 1)  $I_s$  находят относительно оси, совмещенной с ближайшей гранью

стенки.

#### 4.1.2. ИЗГИБАЕМЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Расчет на прочность изгибающегося в одной из главных плоскостей элемента согласно п. 5.12 [11] выполняют по нормальным и касательным напряжениям:

$$\sigma = M_{\max}/W_x \leq R_y \gamma_c; \quad (4.14)$$

$$\tau = Q_{\max} S_x / (I_x t_w) \leq R_s \gamma_c. \quad (4.15)$$

В местах приложения силы  $F$  к верхнему поясу, а также в опорных сечениях, не укрепленных ребрами жесткости, местное напряжение в стенке балки

$$\sigma_{loc} = F / (t_w l_{ef}) \leq R_y \gamma_c, \quad (4.16)$$

где  $l_{ef}$  — условная длина распределения нагрузки, определяемая в соответствии с указаниями п. 5.13 [11].

Прочность стенки балки в сечении, где действуют  $\sigma_x$ ,  $\tau_{xy}$  и  $\sigma_{loc}$ , проверяют по приведенному напряжению:

$$\sigma_{np} = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_{loc} + \sigma_{loc}^2 + 3\tau_{xy}^2} \leq 1,15 R_y \gamma_c; \quad (4.17)$$

$$\tau_{xy} = Q_1 / (t_w h_w) \leq R_s \gamma_c, \quad (4.18)$$

где  $\tau_{xy}$  — среднее касательное напряжение;  $\sigma_x = M_1 h / I_x^2$  — нормальное напряжение в крайнем волокне стенки;  $M_1$ ,  $Q_1$  — изгибающий момент и поперечная сила в рассматриваемом сечении балки.

Формулы (4.14) ... (4.18) проверяют по программе 4.14.

При расчете на прочность разрезных балок с учетом развития пластических деформаций в соответствии с требованиями п. 5.18 [11] используют формулы:

при изгибе в одной из главных плоскостей

$$M/(c_1 W_x) \leq R_y \gamma_c; \quad (4.19)$$

при изгибе в двух главных плоскостях

$$M_x/(c_x W_x) + M_y/(c_y W_y) \leq R_y \gamma_c; \quad (4.20)$$

при наличии зоны чистого изгиба в приведенных формулах вместо коэффициентов  $c_1$ ,  $c_x$  и  $c_y$  следует принимать соответственно  $c_{1m} = 0,5(1+c)$ ;  $c_{xm} = 0,5(1+c_x)$ ;  $c_{ym} = 0,5(1+c_y)$ .

При

$$\tau \leq 0,5R_s, \quad c_1 = c \quad (1 \leq c_1 \leq c);$$

при

$$0,5R_s < \tau \leq 0,9R_s, \quad c_1 = 1,05c \sqrt{\frac{1 - (\tau/R_s)^2}{1 - \alpha(\tau/R_s)^2}},$$

где  $c_1$ ,  $c_x$  и  $c_y$  — коэффициенты, принимаемые по табл. 66 [11] в зависимости от типа сечения, ориентации плоскостей изгиба относительно главных осей сечения и отношения площадей полки  $A_f$  и стенки  $A_w$ ;  $\alpha = 0,7$  — для двутаврового сечения, изгибающегося в плоскости стенки,  $\alpha = 0$  — для других типов сечений.

В табл. 66 [11] приведены дискретные значения  $A_f/A_w$ , поэтому коэффициенты  $c$ ,  $c_x$  и  $c_y$  для промежуточных значений находят линейной интерполяцией. На основе исходного отношения  $A_f/A_w$  из табл. 66 [11] выписывают значения  $(A_f/A_w)_1 = x_1$  и  $(A_f/A_w)_2 = x_2$ , принятые из условия  $x_1 \leq A_f/A_w \leq x_2$ , и соответствующие значения коэффициентов  $c$  ( $c_x$ ) —  $y_1$  и  $y_2$ ,  $c_y$  —  $y_3$  и  $y_4$ . Коэффициенты  $c$  ( $c_x$ ,  $c_y$ ) определяют по программе 4.15.

Геометрические характеристики сечения элементов, необходимые для выполнения проверок формул (4.14) ... (4.20), вычисляют для двутаврового сечения (рис. 4.3, а) по программе 4.16, а для коробчатого (рис. 4.3, б) — по программе 4.17.

Для балок двутаврового сечения, изгибающихся в плоскости стенки, общую устойчивость проверяют по формуле (п. 5.15 [11])

$$\sigma = M/(\varphi_b W_c) \leq R_y \gamma_c, \quad (4.21)$$

где  $W_c$  — момент сопротивления сечения, найденный для сжатого пояса;  $\varphi_b$  — коэффициент снижения расчетных сопротивлений при изгибно-крутильной форме потери устойчивости балки, принимаемый в зависимости от коэффициента  $\varphi_1$ :

при  $\varphi_1 \leq 0,85 \quad \varphi_b = \varphi_1$

при  $\varphi_1 > 0,85 \quad \varphi_b = 0,68 + 0,21\varphi_1 \leq 1,0$ .

Для балок двутаврового сечения с двумя осями симметрии

$$\varphi_1 = \psi(I_y/I_x)(h/l_{eff})^2 E/R_y, \quad (4.22)$$

где  $h$  — полная высота сечения;  $l_{ef}$  — расчетная длина балки (см. п. 5.15 [11]);  $\psi$  — коэффициент, принимаемый по табл. 77 и 78 [11] в зависимости от характера нагрузки (сосредоточенная или распределенная), количества закреплений сжатого пояса в пролете и параметра  $\alpha$ , вычисляемого для прокатных двутавров по формуле

$$\alpha = 1,54(l_e/l_y)(l_{ef}/h)^2. \quad (4.23)$$

Для сварных составных двутавров

$$\alpha = 8 \left( \frac{l_{ef} t_f}{h_1 b_f} \right)^2 \left( 1 + \frac{a t_w^3}{b_f t_f^3} \right), \quad (4.24)$$

где  $h_1$  — расстояние между осями поясов;  $a = 0,5h$ .

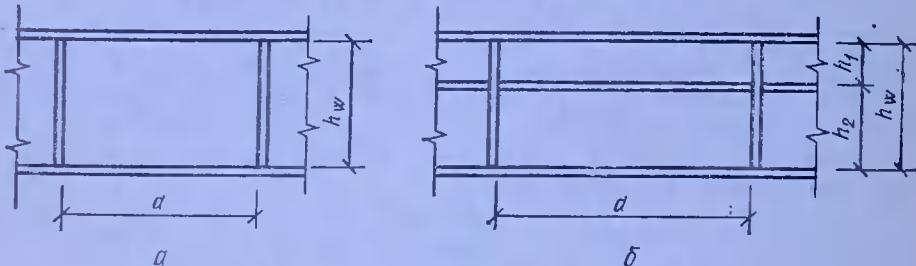


Рис. 4.4. Схема расстановки ребер жесткости:  
а — поперечных; б — поперечных и продольных.

Проверку выражения (4.21) с вычислением коэффициентов  $\varphi_b$  и  $\alpha$  выполняют для прокатных двутавров по программе 4.18, а для сварных — 4.19.

Устойчивость стенок балок, укрепленных только поперечными основными ребрами жесткости при отсутствии местных напряжений (программа 4.20), проверяют по формуле (см. п. 7.4 [11])

$$m = V(\sigma/\sigma_{cr})^2 + (\tau/\tau_{cr})^2 \leq v_c, \quad (4.25)$$

где

$$\sigma_{cr} = c_{cr} R_y / \bar{\lambda}_w^2; \quad (4.26)$$

$$\tau_{cr} = 10,3 (1 + 0,76/\mu^2) R_s / \bar{\lambda}_{ef}^2; \quad (4.27)$$

$$\bar{\lambda}_w = h_w/t_w \sqrt{R_y/E}; \quad \bar{\lambda}_{ef} = d/t_w \sqrt{R_y/E},$$

где  $\sigma_{cr}$  и  $\tau_{cr}$  — соответственно нормальные и касательные критические напряжения;  $d$  — меньшая из сторон пластинки ( $h_w$  или  $a$  — см. рис. 4.4, а);  $\mu$  — отношение большей стороны пластинки к меньшей.

Сжимающее  $\sigma$  у расчетной границы стенки и среднее касательное  $\tau$  напряжение вычисляют по средним значениям  $M$  и  $Q$  в пределах отсека, найденным в соответствии с указаниями п. 7.2 [11]. Коэффициент  $c_{cr}$  для сварных балок находим по табл. 21 [11] в зависимости от параметра

$$\delta = \beta (b_f/h_w) (t_f/t_w)^3, \quad (4.28)$$

где  $\beta$  — коэффициент, принимаемый по табл. 22 [11]. При значениях  $\beta = \infty$  в программу следует вводить  $\beta = 1 \cdot 10^{10}$ . Если выполнены тре-

бования п. 7.5 [11], проверяют устойчивость стенок балок с учетом развития пластических деформаций (программа 4.21):

$$M \leq [M] = R_y \gamma_c h_{ef}^2 t_w (A_f/A_w + \alpha);$$

$$\alpha = 0,24 - 0,5(\tau/R_s)^2 - 8,5 \cdot 10^{-3} (\bar{\lambda}_w - 2,2)^2; \quad \tau = Q/(t_w h_w) \leq R_s.$$

При наличии местного напряжения устойчивость стенок балок, укрепленных только поперечными основными ребрами жесткости (см. рис. 4.4, а), проверяют по формуле (программа 4.22)

$$m = \sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc,cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2} \leq \gamma_c. \quad (4.29)$$

Напряжения  $\sigma$ ,  $\sigma_{loc}$  и  $\tau$  определяют исходя из действующих в рассматриваемом сечении сил  $M$ ,  $Q$  и  $F$  (см. программу 4.14):

$$\sigma = M h_{ef}/(2I_x); \quad \sigma_{loc} = \gamma_f F/(t_w l_{ef}); \quad \tau = Q/(t_w h_{ef}),$$

где  $t_w$ ,  $h_{ef}$  — толщина и расчетная высота стенки;  $l_{ef}$  — условная длина распределения силы  $F$ ;  $\gamma_f$  — коэффициент увеличения сосредоточенной нагрузки, принимаемый для подкрановых балок равным 1,1, для прочих — 1.

Критические напряжения при отношении сторон отсека  $a/h_{ef} \leq 0,8$  определяют по указаниям п. 7.4, а [11] (программа 4.23)

$$\sigma_{loc,cr} = c_1 R_y / \bar{\lambda}_a^2; \quad (4.30)$$

$\sigma_{cr}$  — по формуле (4.26),

где

$$\bar{\lambda}_w = h_{ef}/t_w \sqrt{R_y/E}; \quad \bar{\lambda}_a = a/t_w \sqrt{R_y/E}.$$

Коэффициент  $c_{cr}$  принимают по табл. 21 [11] в зависимости от параметра  $\delta$  по формуле (4.28). Учитывая дискретность данных в табл. 21 [11], при расчете следует использовать ближайшие к  $\delta$  значения  $\delta_1$  и  $\delta_2$ ,  $c_{cr1}$  и  $c_{cr2}$  для определения  $c_{cr}$  по линейной интерполяции.

Коэффициент  $c_1$  принимают для сварных балок по табл. 23 [11] в зависимости от отношения  $n = a/h_{ef}$  и значения  $\delta$ . Для выполнения линейной интерполяции необходимо выписать ближайшие к исходным значения  $n_1$  и  $n_2$ ,  $\delta_1$  и  $\delta_2$  и соответствующие им значения коэффициентов —  $x_{11}$ ,  $x_{12}$ ,  $x_{21}$ ,  $x_{22}$ .

Критические касательные напряжения, а также предельные отношения  $[\sigma_{loc}/\sigma]$  вычисляют по программе 4.24, отношения  $[\sigma_{loc}/\sigma]$  — по табл. 24 [11] линейной интерполяцией значений  $x_{11}$ ,  $x_{12}$ ,  $x_{21}$  и  $x_{22}$ , принятых в зависимости от ближайших к фактическим значениям  $\delta_1$  и  $\delta_2$ ,  $n_1$  и  $n_2$ .

При  $a/h_{ef} > 0,8$  и  $\sigma_{loc}/\sigma$  больше значений, указанных в табл. 24 [11], критические нормальные напряжения, согласно указаниям п. 7.6, б [11] (программа 4.25, код = 0),

$$\sigma_{cr} = c_2 R_y / \bar{\lambda}_w^2. \quad (4.31)$$

Коэффициент  $c_2$  вычисляют линейной интерполяцией по данным табл. 25 [11] ( $c_{21}$  и  $c_{22}$ ) в зависимости от  $n = a/h_{ef}$  ( $n_1 \leq n \leq n_2$ ).

При  $a/h_{ef} > 0,8$  и  $\sigma_{loc}/\sigma$  не превышающем значений, приведенных в табл. 24 [11],  $\sigma_{cr}$  определяют по формуле (4.26). При этом код = 1.

Значения  $\sigma_{loc,cr}$  вычисляют по программе 4.26. Код = 0 используют при  $a/h_{ef} > 0,8$  и  $\sigma_{loc}/\sigma$  больше значений, указанных в табл. 24 [11]. Тогда  $\sigma_{loc,cr}$  определяют по формуле (4.30). Если  $a/h_{ef} > 2$ , то, согласно указаниям п. 7.6, б [11], в программе принято  $a = 2h_{ef}$ .

При  $a/h_{ef} > 0,8$  и  $\sigma_{loc}/\sigma$  не более предельных (код = 1) вместо  $a$  в формуле (4.30) и в табл. 23 [11] для нахождения коэффициента  $c_1$  подставлено  $a/2$  (см. п. 7.6, б) [11].

При укреплении стенок балок поперечными и продольными ребрами (см. рис. 4.4) устойчивость пластины, расположенной между сжатым поясом и продольным ребром при  $\sigma_{loc} = 0$  (программа 4.27):

$$\gamma_1 = \sigma/\sigma_{cr1} + (\tau/\tau_{cr1})^2 \leqslant \gamma_c, \quad (4.32)$$

где  $\sigma$  и  $\tau$  — соответственно сжимающие нормальные и касательные напряжения от средних значений момента  $M$  и поперечной силы  $Q$ , вычисленные в соответствии с указаниями п. 7.2 [11].

Критические напряжения

$$\sigma_{cr1} = 4,76/(1 - h_1/h_w) R_y/\bar{\lambda}_1^2; \quad (4.33)$$

$$\tau_{cr1} = 10,3(1 + 0,76/\mu_1^2) R_s/\bar{\lambda}_1^2, \quad (4.34)$$

где  $\bar{\lambda}_1 = h_1/t_w \sqrt{R_y/E}$ ;  $\mu_1$  — отношение большей стороны пластиинки к меньшей (обычно  $a/h_1$ ).

При наличии местных напряжений руководствуются п. 7.7, а [11] (программа 4.28):

$$\gamma_1 = \sigma/\sigma_{cr1} + \sigma_{loc}/\sigma_{loc,cr1} + (\tau/\tau_{cr1})^2 \leqslant \gamma_c. \quad (4.35)$$

Местное напряжение  $\sigma_{loc}$  определяют по формуле (4.16), а критические напряжения — по программе 4.29, где

$$\sigma_{cr1} = 1,19\psi/(1 - h_1/h_w) R_y/\bar{\lambda}_1^2; \quad (4.36)$$

$$\sigma_{loc,cr1} = (1,24 + 0,476\mu_1) \psi R_y/\bar{\lambda}_a^2; \quad (4.37)$$

$\tau_{cr}$  — по формуле 4.34;

$$\bar{\lambda}_a = a/t_w \sqrt{R_y/E}; \quad \psi = (\mu_1 + 1/\mu_1)^2; \quad \mu_1 = a/h_1.$$

Если  $\mu_1 > 2$ , то в программе 4.29 (см. п. 7.7, а [11]) принимают  $\mu_1 = 2h_1$ .

При проверке формулы (4.35) по программе 4.28 сразу после определения критических напряжений по программе 4.29 значения критических напряжений можно не вводить.

Ширину и толщину ребер жесткости назначают в соответствии с указаниями п. 7.10 [11] по программе 4.30. При этом минимальная ширина выступающей части парного симметричного ребра (код = 0)

$$b_h = h_w/30 + 40 \text{ мм},$$

а одностороннего

$$b_h = h_w/24 + 50 \text{ мм}.$$

По условию обеспечения местной устойчивости толщина ребра

$$t_s \geq 2b_h^l \sqrt{R_y/E},$$

где  $b_h^l \geq b_h$  — принятая ширина ребра.

В случае укрепления стенок балок поперечными ребрами жесткости и одним продольным ребром моменты инерции сечений ребер жесткости должны быть не менее (см. п. 7.11 [11])

$$I_s = 3h_{eff}^3 w. \quad (4.38)$$

Размеры парных (код = 0) и односторонних (код = 1) ребер с учетом условия (4.38) определяют по программе 4.31.

#### 4.1.3. ВНЕЦЕНТРЕННО-СЖАТЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

В соответствии с указаниями п. 5.25 [11] внецентренно-сжатые и сжато-изгибающиеся стержни из стали с пределом текучести до 580 МПа, не подвергающиеся воздействию динамических нагрузок, рассчитываются на прочность по формуле (программа 4.32)

$$m = \left( \frac{N}{A_n R_y \gamma_c} \right)^n + \frac{M_x}{c_x W_{xn} R_y \gamma_c} + \frac{M_y}{c_y W_{yn} R_y \gamma_c} \leq 1, \quad (4.39)$$

где  $A_n$ ,  $W_{xn}$ ,  $W_{yn}$  — соответственно площадь и моменты сопротивления нетто проверяемого сечения. Коэффициенты  $n$ ,  $c_x$  и  $c_y$  принимают по табл. 66 [11] в зависимости от типа сечения, ориентации плоскостей изгиба относительно главных осей сечения и отношения  $A_f/A_w$ . Учитывая дискретность значений  $z = A_f/A_w$ , приведенных в таблице,  $c_x$  и  $c_y$  определяют линейной интерполяцией.

Программа 4.32 разработана так, что можно пользоваться ею, вычисляя коэффициенты  $c_x$  и  $c_y$  заранее либо в процессе проверки прочности стержня. Во втором случае необходимо, пользуясь ближайшими к  $z$  значениями ( $z_1 \leq z \leq z_2$ ), выписать соответствующие коэффициенты  $c_{x1}$  и  $c_{x2}$ ,  $c_{y1}$  и  $c_{y2}$ , а затем ввести их в программу в соответствии с инструкцией.

Устойчивость внецентренно-сжатого стержня в плоскости действия момента, совпадающего с плоскостью симметрии сечения (п. 5.27 [11]), проверяют по формуле

$$\sigma = N/(\varphi_e A) \leq R_y \gamma_c, \quad (4.40)$$

где  $\varphi_e$  — коэффициент, определяемый по табл. 74 [11] для сплошностенчатых стержней в зависимости от условной гибкости  $\bar{\lambda}$  и приведенного относительного эксцентрикситета  $m_{ef}$  или по табл. 75 [11] для сквозных стержней в зависимости от условной приведенной гибкости  $\bar{\lambda}_{ef}$  и относительного эксцентрикситета  $m$ .

Программа 4.33 предназначена для вычисления коэффициента  $\varphi_e$  по найденным заранее значениям  $\bar{\lambda}$  ( $\bar{\lambda}_{ef}$ ) и  $m_{ef}$  ( $m$ ). Учитывая дискретность приведенных в табл. 74 и 75 [11] значений  $\varphi_e$ , его находят линейной интерполяцией исходя из значений:  $\varphi_1$  — принятому по  $\bar{\lambda}_1$  и  $m_1$ ;  $\varphi_2$  — по  $\bar{\lambda}_2$  и  $m_1$ ;  $\varphi_3$  — по  $\bar{\lambda}_1$  и  $m_2$ ;  $\varphi_4$  — по  $\bar{\lambda}_2$  и  $m_2$ . Здесь  $\bar{\lambda}_1$  и  $\bar{\lambda}_2$  —

приведенные в соответствующих таблицах значения  $\bar{\lambda}$  или  $\lambda_{ef}$ ;  $m_1$  и  $m_2$  — то же, значения  $m_{ef}$  или  $m$ . При этом соблюдаются условия:  $\lambda_1 \leq \bar{\lambda} (\bar{\lambda}_{ef}) \leq \lambda_2$  и  $m_1 \leq m_{ef} (m) \leq m_2$ .

Для стержней сплошностенчатого сечения проверку выражения (4.40) выполняют по программе 4.34 с вычислением фактических значений  $\bar{\lambda}$  и  $m_{ef}$ :

$$\bar{\lambda} = l_{ef}/i \sqrt{R_y/E}; \quad m_{ef} = \eta(eA/W_c),$$

где  $\eta$  — коэффициент влияния формы сечения (табл. 73 [11]);  $e = M/N$  — эксцентриситет;  $W_c$  — момент сопротивления сечения, найденный для наиболее сжатого волокна.

Для сквозных стержней с планками или решетками формулу (4.40) также проверяют по программе 4.34 с подстановкой следующих значений:  $W_c = I/a$ , где  $a$  — расстояние от главной оси сечения, перпендикулярной плоскости изгиба, до оси наиболее сжатой ветви, но не менее расстояния до оси стенки ветви;  $\bar{\lambda}_{ef}$  взамен  $l_{ef}$ .

Напряжения в стержнях, имеющих резко несимметричные сечения, согласно п. 5.28 [11], дополнительно к формуле (4.40) проверяют по условию (программа 4.35)

$$\sigma = \left| \frac{N}{A_n} - \frac{M}{\delta W_{nt}} \right| \leq \frac{R_u \gamma_c}{\gamma_u} = d, \quad (4.41)$$

где  $W_{nt}$  — момент сопротивления сечения, вычисленный для растянутого волокна;  $\delta = 1 - (N\lambda^2/(\pi^2 EA))$ .

При изгибе в плоскости наибольшей жесткости, совпадающей с плоскостью симметрии, устойчивость стержня постоянного сечения с двумя осями симметрии проверяют по формуле (п. 5.30 [11])

$$\sigma = N/(c\Phi_y A) \leq R_y \gamma_c, \quad (4.42)$$

где  $\Phi_y$  — коэффициент продольного изгиба стержня, найденный по гибкости  $\lambda_y$  (см. программу 4.2);  $c$  — коэффициент, вычисляемый по программе 4.36 согласно требованиям п. 5.31 [11].

При значениях относительного эксцентриситета  $m_x \leq 5$

$$c = \frac{\beta}{1 + \alpha m_x},$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  — коэффициенты, принимаемые по табл. 10 [11] в зависимости от типа сечения,  $m_x$ ,  $\lambda_y$  и  $\lambda_c = 3,14 \sqrt{E/R_y}$  ( $\Phi_c$  — значение  $\Phi$  при  $\lambda_y = \lambda_c$ ).

При  $m_x \geq 10$

$$c = \frac{1}{1 + m_x \Phi_y / \Phi_b};$$

при  $5 < m_x < 10$

$$c = c_5 (2 - 0,2m_x) + c_{10} (0,2m_x - 1),$$

где  $c_5$  и  $c_{10}$  — соответственно коэффициенты  $c$ , найденные при  $m_x = 5$  и  $m_x = 10$ .

При гибкости  $\lambda_y > \lambda_s$  коэффициент  $c$  для стержней двутаврового сечения не должен превышать значение  $c_{max}$ , определяемое по программе 4.37.

Согласно п. 5.31 [11]

$$c_{\max} = 2 \left[ 1 + \delta + \sqrt{(1 - \delta)^2 + \frac{16}{\mu} \left( \frac{M_x}{Nh} \right)^2} \right]; \quad (4.43)$$

$$\delta = 4\rho/\mu; \quad \rho = (I_x + I_y)/(Ah^2);$$

$$\mu = 2 + 0,156 \frac{I_t}{Ah^2} \lambda_y^2; \quad I_t = 0,433 \Sigma b_i t_i^3,$$

где  $b_i$  и  $t_i$  — соответственно ширина и толщина листов, образующих сечение;  $h$  — расстояние между осями поясов.

Устойчивость стержня, подверженного сжатию и изгибу в двух главных плоскостях, при совпадении плоскости наибольшей жесткости ( $I_x > I_y$ ) с плоскостью симметрии (см. п. 5.34 [11]) проверяют по формуле (программа 4.38)

$$\sigma = N/(\varphi_{exy} A) \leq R_y \gamma_c, \quad (4.44)$$

где  $\varphi_{exy} = \varphi_{ey} (0,6 \sqrt[3]{c} + 0,4 \sqrt[4]{c})$ .

Коэффициент  $\varphi_{ey}$  определяют в зависимости от условной гибкости  $\bar{\lambda}_y$  и приведенного относительного эксцентрикитета  $m_{el,y}$  по табл. 74 [11] (см. программу 4.33), а коэффициент  $c$  — от относительного эксцентрикитета  $m_x$ , гибкости  $\lambda_y$  и типа сечения (см. программу 4.36).

Проверка местной устойчивости стенок двутавровых и замкнутых прямоугольных сечений (см. рис. 4.3) внецентренно-сжатых стержней, рассчитываемых по формулам (4.40) и (4.44), сводится к сравнению фактической гибкости стенки  $h_w/t_w$  со значениями, вычисленными по формулам табл. 28 [11]. При  $\bar{\lambda} \leq 0,8$  предельная гибкость стенки зависит от относительного эксцентрикитета  $m$  (программа 4.39), а при  $\bar{\lambda} > 0,8$  — от  $m$  и  $\bar{\lambda}$  (программа 4.40).

Для обеспечения местной устойчивости стенки внецентренно-сжатого стержня, рассчитываемого на прочность по форме (4.39), а также на устойчивость из плоскости действия момента по формуле (4.42), предельное отношение  $h_w/t_w$  определяют в зависимости от коэффициента  $\alpha = (\sigma - \sigma_1)/\sigma$ , где  $\sigma = N/A + M/W_w$  — наибольшее сжимающее напряжение у расчетной границы стенки;  $\sigma_1$  — соответствующее напряжение у противоположной расчетной границы стенки;  $A$  и  $W_w$  — соответственно площадь всего сечения и момент сопротивления, найденный для наиболее сжатого волокна стенки.

Коэффициент  $\alpha$  рассчитывают по программе 4.41, где указывается также значение изгибающего момента  $M_1$ , соответствующего значению  $\alpha = 1$ .

При  $\alpha \geq 1$ , согласно п. 7.16 [11], предельная гибкость стенки (программа 4.42)

$$[h_w/t_w] = 4,35 \sqrt{\frac{(2\alpha - 1) E}{\sigma (2 - \alpha + \sqrt{\alpha^2 + 4\beta^2})}} \leq 3,8 \sqrt{E/R_y}, \quad (4.45)$$

где  $\beta = 1,4(2\alpha - 1) \frac{\tau}{\sigma}$ ;  $\tau = \frac{Q}{t_w h_w}$ .

По известному значению  $[h_w/t_w]$  с помощью программы 4.42 можно вычислить минимальную толщину стенки

$$t_{\min} = \frac{h_w}{[h_w/t_w]}. \quad (4.46)$$

Для элементов таврового сечения, согласно указаниям п. 7.18 [11], предельная гибкость стенки (программа 4.43)

$$[h_{ej}/t_w] = (0,4 + 0,07\bar{\lambda})(1 + 0,25\sqrt{2 - (b_f/h_{ef})})\sqrt{E/R_y},$$

где  $b_f$  и  $h_{ej}$  — соответственно ширина полки и высота стенки тавра.

В программе 4.43 вычисляется и минимальная толщина стенки по формуле (4.46).

## 4.2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Учитывая ограниченность объема памяти микрокалькуляторов, расчет и проектирование стальных конструкций сводятся к решению задач подбора и компоновки сечений отдельных элементов, а также узлов их сопряжения. При этом сохраняется ориентация на те элементы, требования к проектированию которых изложены в СНиП [11], с дополнением расчетами наиболее распространенных деталей балок и колонн. Естественно, что авторы не претендуют на широкое и полное освещение вопросов проектирования, ограничиваясь рассмотрением только достаточно простых решений. Но даже представленные программы демонстрируют возможности микрокалькуляторов, и читатель, используя приведенные материалы в качестве аналогов, может самостоятельно расширить их круг с целью автоматизации рутинной работы проектировщика.

### 4.2.1. БАЛКИ

Подбор сечения балки из прокатного или гнутого профиля заключается в определении требуемых геометрических характеристик сечения, обеспечивающих прочность и жесткость конструкции, и выборе соответствующего номера профиля по сортаменту. При плоском изгибе требуемые моменты сопротивления и инерции

$$W_{tp} = M/(cR_y\gamma_c); \quad I_{tp} = \rho_m M_n l n/E,$$

где  $M$  и  $M_n$  — изгибающие моменты соответственно от расчетной и нормативной нагрузок;  $l$  — пролет балки;  $l/n = [f/l]$  — предельный относительный прогиб, принимаемый по табл. 40 [11] в зависимости от назначения конструкции;  $\rho_m$  — коэффициент, равный для разрезных балок 5/48.

Коэффициент  $c$ , учитывающий развитие пластических деформаций, при подборе сечения принимают предварительно (в пределах 1,12... 1,15). При работе стали в упругой области  $c = 1$ .

В программе 4.44 после нахождения значений  $W_{tp}$  и  $I_{tp}$  следует обратиться к сортаменту и выбрать соответствующий номер профиля,

геометрические характеристики которого не меньше требуемых. Зная отношение  $A_f/A_w$  для выбранного профиля, из табл. 66 [11] выписывают значения  $x_1 \leq A_f/A_w \leq x_2$  и соответствующие значения коэффициента  $c = y_1$  и  $y_2$ . Фактическое значение  $c$  определяют линейной интерполяцией и используют при проверке прочности принятого сечения по формуле (4.19). При упругой работе стали следует принимать  $x_1 = x_2 = y_1 = y_2 = 1$ .

Эффективность выбора сечения прокатной балки оценивается коэффициентом  $k = R_y \gamma / \sigma$ . При  $k < 1$  прочность балки не обеспечена, поэтому требуется подобрать другое сечение.

Компоновку сечения составной балки начинают с определения ее оптимальной высоты. При предварительно заданной гибкости стенки  $\lambda_w = h_w/t_w$  высота из условий:

прочности [7]

$$h_{\text{пр}} = \sqrt[3]{\frac{3W\lambda_w}{3\Psi_w/\Psi_f - 1}}; \quad (4.47)$$

обеспечения требуемой жесткости

$$h_{\text{ж}} = \sqrt[4]{\frac{5M_n I \lambda_w n}{4E(3\Psi_w/\Psi_f - 1)}}, \quad (4.48)$$

где  $\Psi_w$  и  $\Psi_f$  — строительные коэффициенты соответственно стенки и поясов, учитывающие увеличение их теоретической массы при проектировании.

Минимальная высота балки, предельно обеспечивающая выполнение обоих условий при полном использовании расчетного сопротивления,

$$h_{\text{min}} = \frac{5}{24} \cdot \frac{R_y \gamma c l n}{E} \cdot \frac{M_n}{M}. \quad (4.49)$$

Исходя из значений  $h$  (программа 4.45), полученных по формулам (4.47) ... (4.49), принимают высоту балки ( $h \geq h_{\text{min}}$ ) и определяют другие размеры сечения (программа 4.46):

толщину стенки по условию ее работы на срез

$$t_{w,c} = 1,2Q_{\max}/(h_w R_y \gamma_c); \quad (4.50)$$

то же, по условию обеспечения предельной допустимой условной гибкости стенки ( $\lambda_w \leq 6$ )

$$t_{w,\lambda} = h_w/6 \sqrt{R_y/E}; \quad (4.51)$$

толщину и ширину неокаймленного пояса по условию прочности и обеспечения местной устойчивости свеса полки

$$t_f \geq \sqrt{A_f / V E / R_y}; \quad (4.52)$$

$$b_f \leq 0,5t_f \sqrt{E / R_y}. \quad (4.53)$$

Указанная в программе 4.46 толщина стенки  $t_{w,min}$  является наибольшей из двух значений, подсчитанных по формулам (4.50) и (4.51), и минимально допустимой. Учитывая дискретность сортамента листовой стали, в программе предусмотрены ввод сортаментных размеров (толщины и ширины) листов, из которых компонуют сечение балки

Высоту сечения балки можно определить исходя из принятой предварительно толщины стенки  $t_w$  (программа 4.47). Тогда [7]

$$h_{\text{оп}} = \sqrt{\frac{3W}{t_w (3\Psi_w/\Psi_f - 1)}}; \quad (4.47, a)$$

$$h_{\text{ж}} = \sqrt{\frac{5M_n l_n}{12E t_w (3\Psi_w/\Psi_f - 1)}}. \quad (4.48, a)$$

Принятая высота сечения с учетом минимального ее значения, найденного по формуле (4.49), позволяет найти требуемую толщину стенки по условиям (4.50) и (4.51) и размеры поясов (программа 4.48).

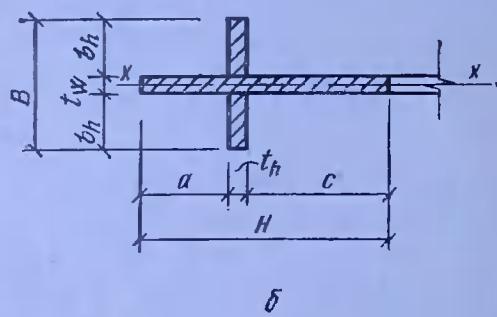
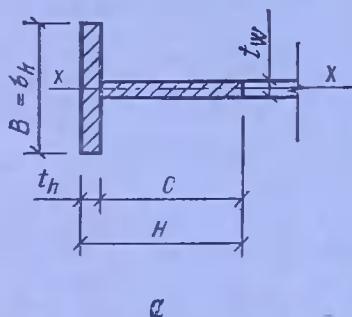


Рис. 4.5. Сечения опорных ребер балок:  
а — торцевое; б — внутреннее.

В случае изменения сечения по длине балки ширину пояса на расстоянии  $x$  от опоры определяют по программе 4.49 с учетом требования (4.53). Вычисляемый при этом объем балки  $V$  позволяет сравнить результаты проектирования при различных значениях с целью установления оптимального расстояния от опоры до места изменения сечения.

Опорные ребра балок рассчитывают на смятие и проверяют на устойчивость как условную стойку, сечение которой состоит из опорного ребра и участков стенки длиной  $c = 0,65t_w \sqrt{E/R_y}$  с каждой стороны ребра. Для определения геометрических характеристик сечения стойки (программа 4.50) необходимо принять размеры этого сечения. Для торцевого опорного ребра (рис. 4.5, а):  $B = b_h$ ,  $H = t_h + c$  (код = 1), для внутреннего опорного ребра (рис. 4.5, б):  $B = 2b_h + t_w$ ,  $H = a + t_h + c$ , где  $a$  — размер, равный своему действительному значению, но не более  $c$  (код = 2).

Монтажный стык балок обычно выполняют на высокопрочных болтах с накладками, перекрывающими стык поясов и стенки (рис. 4.6). Требуемое количество высокопрочных болтов для крепления поясных накладок (программа 4.51)

$$n = A_u R_y \gamma_c / Q_{bh}, \quad (4.54)$$

где  $A_u \geq b_f t_f$  — суммарная площадь поясных накладок;  $Q_{bh}$  — расчетное усилие, воспринятое двумя поверхностями трения соединяемых элементов, стянутых одним высокопрочным болтом,

$$Q_{bh} = 2R_{bh}\gamma_b A_{bn} (\mu/\gamma_b). \quad (4.55)$$

где  $R_{bh}$  — расчетное сопротивление растяжению высокопрочного болта;  $A_{bn}$  — площадь сечения болта нетто, определяемая по табл. 62 [11];  $\gamma_b$ ,  $\gamma_h$ ,  $n$  — коэффициенты по п. 11.13 [11]. Коэффициент условий работы соединения  $\gamma_b$  зависит от количества болтов, необходимых для восприятия расчетного усилия и вводится в программу по найденному значению  $n$ .

Длину накладки определяют исходя из правил размещения болтов в соединении (табл. 39 [11]). При размещении четырех болтов по ширине пояса

$$l_n = 5,2d + 6d\left(\frac{n}{4} - 1\right) + c,$$

где  $d$  — диаметр болта;  $c$  — зазор между отправочными элементами.

Ослабленное сечение пояса (программа 4.52) проверяют на действие силы

$$N = \frac{M}{h} \left(1 - \frac{I_w}{I_x}\right), \quad (4.56)$$

где  $h$  — расстояние между осями поясов.

Прочность ослабленного сечения будет обеспечена при выполнении условия

$$\sigma = \frac{N}{A_c} \left(1 - \frac{2}{n}\right) \leq R_y \gamma_c, \quad (4.57)$$

где  $A_c$  — площадь ослабленного сечения пояса, принимаемая по п. 11.14 [11] при статических нагрузках (код = 0) равной площади сечения брута  $A = b_f t_f$ , если  $A_n \geq 0,85A$ , и условной площади  $1,18A_n$  при  $A_n < 0,85A$ . При динамических нагрузках (код = 1)  $A_c = A_n$ , где  $A_n$  — площадь сечения нетто.

Расчетстыка стенки выполняют по программам 4.86 и 4.87 (см. 4.2.3).

Узлы сопряжения в одном уровне вспомогательной и главной балок могут быть выполнены сваркой и на болтах нормальной или повышенной точности. При этом катет сварного шва (программа 4.53)

$$k_f = \frac{1,2F}{2\beta_f l_w R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c}, \quad (4.58)$$

где  $F$  — реакция от примыкающей балки;  $l_w$  — расчетная длина шва, принимаемая меньше его полной длины  $l$  на 1 см;  $\beta_f$  — коэффициент, принимаемый в соответствии с указаниями п. 11.2 [11].

Принятый катет шва должен соответствовать конструктивным требованиям (п. 12.8 [11]), а его длина — не превышать  $85\beta_f k_f$ , т. е.

$$n = l_w / (85\beta_f k_f) \leq 1. \quad (4.59)$$

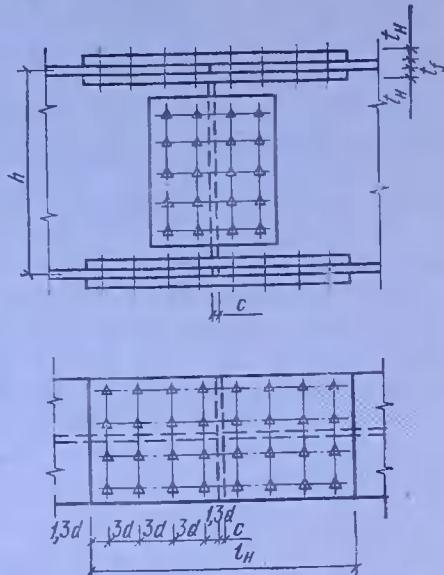


Рис. 4.6. Монтажный стык балки.

Кроме того, стенку вспомогательной балки необходимо проверить на срез с учетом уменьшения размеров стенки на опоре

$$\tau = 1,5F/(l_{t_w}) \leq R_s v_c \quad (4.60)$$

При креплении вспомогательной балки болтами (программа 4.54) их количество

$$n = \frac{1,2F}{v_c N_{\min}}, \quad (4.61)$$

где  $N_{\min}$  — наименьшее расчетное усилие, воспринимаемое одним болтом с учетом работы на срез и на смятие и вычисленное согласно требованиям п. 11.7 [11].

Болты  $n$  размещают по правилам, изложенным в п. 12.19 [11], и определяют размер стенки вспомогательной балки  $l$ . При проверке стенки вспомогательной балки на срез по формуле (4.60) необходимо учесть, что ее сечение ослаблено отверстиями под болты.

Алгоритмы подбора сечения и проверки подкрановых балок не имеют принципиальных отличий от алгоритмов, описанных для балок, воспринимающих статические нагрузки (см. программы 4.44...4.48). Дополнительные требования к их проектированию, сформулированные в пп. 13.34 и 13.35 [11], сводятся к проверкам прочности сжатой зоны стенки (программа 4.55) и на выносивость (программа 4.56).

Прочность стенки проверяют по формулам:

$$\sigma_1 = \sqrt{(\sigma_x + \sigma_{loc,x})^2 - (\sigma_x + \sigma_{loc,x})\sigma_{loc,y} + \sigma_{loc,y}^2} + 3(\tau_{xy} + \tau_{loc,y})^2 \leq \beta R_y; \quad (4.62)$$

$$\sigma_2 = \sigma_x + \sigma_{loc,x} \leq R_y; \quad \sigma_3 = \sigma_{loc,y} + \sigma_{fy} \leq R_y;$$

$$\tau_1 = \tau_{xy} + \tau_{loc,xy} + \tau_{f,xy} \leq R_s,$$

где  $\sigma_x = M/W$ ;  $\tau_{xy} = Q/(t_w h_w)$ ;  $\sigma_{loc,y} = \gamma_f F/(t_w l_{ef})$ ;

$$\sigma_{loc,x} = 0,25\sigma_{loc,y}; \quad \sigma_{loc,xy} = 0,3\sigma_{loc,y}; \quad \sigma_{fy} = 2M_t t_w/I_f; \quad \tau_{f,xy} = 0,25\sigma_{fy}.$$

Здесь  $M$ ,  $Q$  — соответственно изгибающий момент и поперечная сила в сечении балки от расчетной нагрузки;  $F$  — расчетное давление колеса крана без учета коэффициента динамичности;  $\gamma_f$  — коэффициент увеличения вертикальной сосредоточенной нагрузки на отдельное колесо крана;  $I_f$  — сумма собственных моментов инерции кручения рельса и пояса сечения балки;  $M_t = Fe + 0,75Q_t h$ , — местный крутящий момент;  $e = 15$  мм — условный эксцентризитет;  $Q_t$  — расчетная горизонтальная нагрузка;  $h$ , — высота кранового рельса.

Выносивость (см. программу 4.56) проверяют по формуле

$$\sigma_1 = 0,5 \sqrt{\sigma_x^2 + 0,36\tau_{xy} + 0,4\sigma_{loc,y} + 0,5\sigma_{fy}} \leq R_v, \quad (4.63)$$

где  $R_v$  — расчетное сопротивление усталости.

В соответствии с указаниями п. 18.2 [11] прочность разрезных балок с гибкой стенкой, укрепленной только поперечными ребрами жесткости (рис. 4.7, а), при  $6 \leq \bar{\lambda}_w \leq 13$  проверяют по формуле (программа 4.57)

$$c = (M/M_u)^4 + (Q/Q_u)^4 \leqslant 1. \quad (4.64)$$

Предельный изгибающий момент, воспринимаемый сечением балки с ребрами жесткости,

$$M_u = R_y t_w h_w^2 \left[ \frac{A_f}{t_w h_w} + \frac{0,85}{\bar{\lambda}_w} \left( 1 - \frac{1}{\bar{\lambda}_w} \right) \right]. \quad (4.65)$$

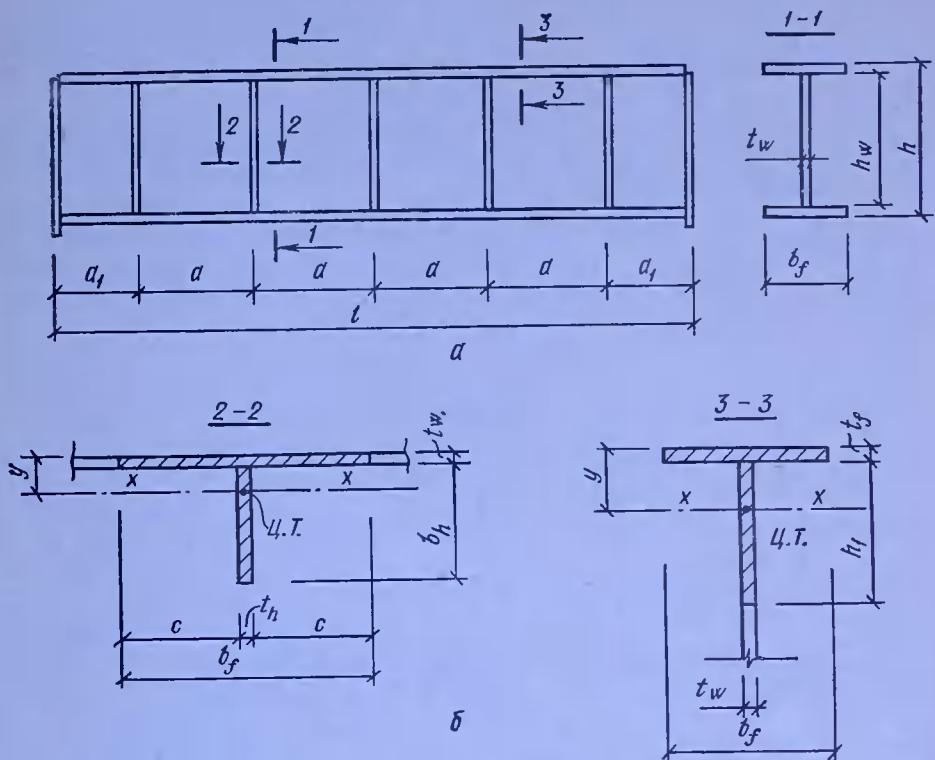


Рис. 4.7. Балка с гибкой стенкой:

*a* — схема расположения ребер жесткости; *б* — расчетное тавровое сечение пояса и стенки.

Предельная поперечная сила

$$Q_u = R_s t_w h_w \left[ \frac{\tau}{R_s} + 3,3 \left( 1 - \frac{\tau_{cr}}{R_s} \right) \right] \frac{\beta \mu}{1 + \mu^2}, \quad (4.66)$$

где  $\mu$  — отношение большей стороны отсека стенки к меньшей (см. рис. 4.4);  $\tau_{cr}$  — критическое напряжение, определяемое по формуле (4.27);  $\beta$  — коэффициент, зависящий от параметра  $\alpha$ ,

$$\alpha = 8 \frac{W_{min}}{t_w h_w^2 a} (h_w^2 + a^2). \quad (4.67)$$

При  $\alpha \leqslant 0,03$   $\beta = 0,05 + 5\alpha \geqslant 0,15$ ; при  $0,03 < \alpha \leqslant 0,1$   $\beta = 0,11 + 3\alpha \leqslant 0,4$ .

Значения  $\tau_{cr}$  и  $\beta$  вычисляют по программе 4.58. Минимальный момент сопротивления  $W_{min}$  определяют для таврового сечения.

образованного сжатым поясом балки и примыкающим к нему участком стенки высотой  $h_1 = 0,5t_w \sqrt{E/R_y}$  (рис. 4.7, б) по программе 4.59.

Согласно требованиям п. 18.3 [11], поперечные ребра проверяют на устойчивость как стержни, сжатые силой (см. программу 4.57),

$$N = 3,3R_s t_w h_w \left(1 - \frac{\tau_{cr}}{R_s}\right) \frac{\beta\mu}{1 + \mu^2}. \quad (4.68)$$

Расчетное сечение этих стержней образовано поперечными ребрами с примыкающими участками стенки длиной по  $c = 0,65t_w \sqrt{E/R_y}$  (см. рис. 4.7, а), а  $l_{ef} = h_w (1 - \beta) \geq 0,7h_w$ .

Геометрические характеристики таврового сечения (при одностороннем ребре) определяют относительно оси  $x$ , проходящей через центр тяжести, по программе 4.60.

При условной гибкости стенки в пределах  $7 \leq \bar{\lambda}_w \leq 10$  и равномерно распределенной нагрузке балки с гибкой стенкой выполняют без ребер жесткости в пролете. Условие несущей способности таких балок (п. 18.9 [11]) имеет вид (программа 4.61)

$$M \leq M_u = R_y W \delta. \quad (4.69)$$

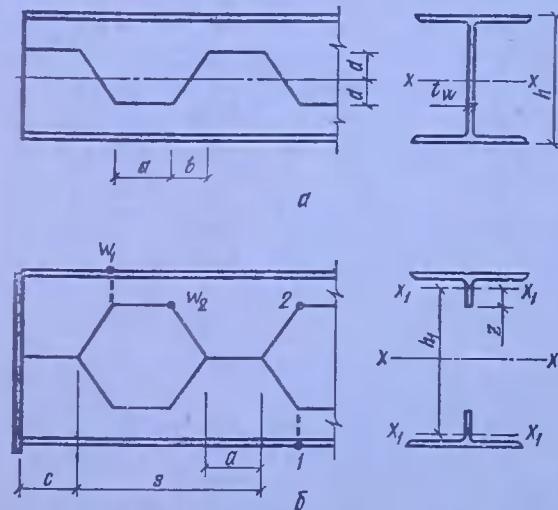


Рис. 4.8. Перфорированная двутавровая балка:  
а — схема раскроя; б — схемастыкованных элементов.

Момент сопротивления сечения

$$W = A_f h_w + \frac{1,4t_w h_w^2}{\bar{\lambda}_w} \left(1 - \frac{1}{\bar{\lambda}_w}\right).$$

Коэффициент, учитывающий влияние поперечной силы на несущую способность балки,

$$\delta = 1 - \frac{5,6A_f h_w}{A_w I}.$$

Перфорированные балки образуются разрезкой стенки прокатного двутавра по зигзагообразной линии с последующим совмещением и сваркой разрезанных частей по выступающим кромкам стенки (рис. 4.8).

Исходя из параметров исходного двутавра ( $A$ ,  $I_x$ ,  $S_x$ ,  $h$ ,  $t_w$ ) и роспуска ( $d$  — высота полуволны реза) по программе 4.62 определяют геометрические характеристики перфорированной балки, полученной при симметричном роспуске относительно продольной оси двутавра:  $I_1$  и  $I_2$  — моменты инерции относительно оси  $x$ ; соответственно целого сечения и сечения с отверстиями;  $I_t$  — то же, тавра относительно собственной оси  $x_t$ ;  $W_1$  и  $W_2$  — моменты сопротивления сечения с отверстием соответственно для верхней точки балки и верхней точки отверстия;  $W_{min}^t$  и  $W_{max}^t$  — соответственно наименьший и наибольший

моменты сопротивления таврового сечения. При вычислении геометрических характеристик сечения предполагается, что линия реза стенки дутавра не пересекает зону выкружки в месте сопряжения стенки с полкой.

Прочность перфорированной балки (программа 4.63) проверяют в наиболее напряженных точках, предварительно определив минимальный размер  $a$  из условия прочности на срез стыкового шва:

$$a_{\min} = \frac{Q_1 S}{t_w h_1 R_s \gamma_o},$$

где  $Q_1$  — поперечная сила в сечении балки, расположенном на расстоянии  $c + s = 0,5a$  (рис. 4.8, б);  $h_1$  — расстояние между осями тавровых сечений.

Нормальные напряжения вычисляют по формулам табл. 49 [11]. Для точки 1

$$\sigma_1 = \frac{M}{W_1} + \frac{Q_1 a}{2W_{\max}^T}; \quad (4.70)$$

для точки 2

$$\sigma_2 = \frac{M}{W_2} + \frac{Q_1 a}{2W_{\min}^T}, \quad (4.71)$$

где  $Q_1 = 0,5Q$ .

Прогиб балки

$$f = \frac{\rho_m M_n t^2}{E I_2 \alpha}, \quad (4.72)$$

где  $\rho_m$  — коэффициент, зависящий от вида нагрузки и типа концевых закреплений балки;  $\alpha = 1$  при  $l/h_{ef} < 12$  и  $\alpha = 0,95$  при  $l/h_{ef} \geq 12$ .

При расчете плоского стального настила (программа 4.64) изгибающий момент  $M$ , усилие  $H$ , действующее в опорном закреплении настила, и прогиб  $f$  вычисляют по формулам:

$$M = \frac{q t^3}{8(1+\alpha)}; \quad H = \frac{\pi E_1 l}{l^3} \alpha; \quad f = \frac{f_0}{1+\alpha} = \frac{5}{384} \frac{q n l^4}{E_1 I (1+\alpha)};$$

$$E_1 I = \frac{E t^3}{12(1-\nu^2)}; \quad n = \frac{l}{f},$$

где  $t$  — толщина настила;  $\nu = 0,3$  — коэффициент Пуассона;  $f_0$  — балочный прогиб. Параметр  $\alpha$  определяют из уравнения

$$\alpha(1+\alpha^2) = 3(f_0/t)^2. \quad (4.73)$$

При решении кубического уравнения (4.73) необходимо задать невязку его корней. В программе 4.64 рекомендуется принимать  $\varepsilon = 0,05$ .

#### 4.2.2. КОЛОННЫ

Расчетные длины колонн постоянного сечения или отдельных участков ступенчатых колонн находят по формуле

$$l_{ef} = \mu l_0, \quad (4.74)$$

где  $l_0$  — геометрическая длина колонны или ее участка постоянного сечения;  $\mu$  — коэффициент расчетной длины, зависящий от условий закрепления концов колонны и характера нагрузки.

Коэффициент  $\mu$  следует вычислять по программам 4.65...4.68. Для колонн постоянного сечения одноэтажных рам (программа 4.65), в которых ригели жестко сопряжены с колоннами, коэффициент  $\mu$  определяют в зависимости от типа закрепления колонны на фундаменте:

при шарнирном закреплении (код = 1)

$$\mu = 2\sqrt{1 + 0,38/n}; \quad (4.75)$$

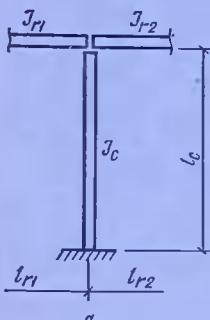
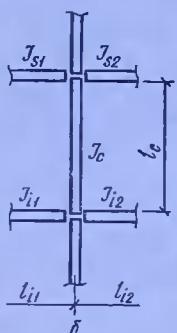


Рис. 4.9. К определению расчетных длин колонн постоянного сечения рам:  
а — одноэтажных; б — многоэтажных.



при жестком закреплении (код = 2)

$$\mu = \sqrt{\frac{n+0,56}{n+0,14}}; \quad (4.76)$$

$$n = \frac{l_c}{l_c} \left( \frac{l_{r1}}{l_{r1}} + \frac{l_{r2}}{l_{r2}} \right),$$

где  $l_c$ ,  $l_o$  — соответственно момент инерции сечения и длина проверяемой колонны;  $l_{r1}$ ,  $l_{r2}$  и  $l_{i1}$ ,  $l_{i2}$  — тоже, ригелей, примыкающих к этой колонне (рис. 4.9, а).

При шарнирном креплении ригеля к колонне и жестком закреплении колонны в фундаменте (код = 3) в формуле (4.76) следует принять  $n = 0$ .

Для колонн многоэтажных рам (программа 4.66) (три этажа и более) коэффициент  $\mu$ :  
при  $n > 0,2$

$$\mu = (p + 0,63) \sqrt{\frac{n+0,28}{np(p+0,9)+0,1n}}; \quad (4.77)$$

при  $n \leq 0,2$

$$\mu = (p + 0,68) \sqrt{\frac{n+0,22}{0,68p(p+0,9)(n+0,08)+0,1n}}. \quad (4.78)$$

В соответствии с указаниями п. 6.12 [11]:

$$0,03 \leq n = \frac{l_c}{2l_c} \left( \frac{l_{s1}}{l_{s1}} + \frac{l_{s2}}{l_{s2}} \right) \leq 50; \quad 0,03 \leq p = \frac{l_c}{2l_c} \left( \frac{l_{i1}}{l_{i1}} + \frac{l_{i2}}{l_{i2}} \right) \leq 50;$$

где  $l_{s1}$ ,  $l_{s2}$ ,  $l_{i1}$ ,  $l_{i2}$  и  $l_{s1}$ ,  $l_{s2}$  и  $l_{i1}$ ,  $l_{i2}$  — моменты инерций сечений и длины ригелей, примыкающих соответственно к верхнему и нижнему концу проверяемой колонны (рис. 4.9, б).

Для одноступенчатых колонн, верхний конец которых свободен (рис. 4.10, а) или закреплен только от поворота (рис. 4.10, б), коэффициент расчетной длины  $\mu_1$  для нижнего участка принимают соответственно по табл. 67 или 68 [11] в зависимости от параметров:

$$n = l_2 l_1 / (l_1 l_2); \quad \alpha = l_2 / l_1 \sqrt{l_1 / (l_2 \beta)}; \quad \beta = (F_1 + F_2) / F_2,$$

где  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $l_1$  и  $l_2$  — соответственно моменты инерции сечения и длины нижнего и верхнего участков колонны;  $F_2$  — расчетное усилие в верхней части колонны, соответствующее расчетному усилию  $F_1 + F_2$  в нижней части.

Исходя из фактических параметров  $n$  и  $\alpha$  по табл. 67 или 68 [11] выписывают четыре значения коэффициента  $\mu_1$ , искомое значение которого находится по интерполяции:  $\mu_1^I$  — по  $n_1$  и  $\alpha_1$ ;  $\mu_1^{II}$  — по  $n_2$  и  $\alpha_1$ ;  $\mu_1^{III}$  — по  $n_1$  и  $\alpha_2$ ;  $\mu_1^{IV}$  — по  $n_2$  и  $\alpha_2$ . Табличные значения  $n_t$  и  $\alpha_t$  принимают, соблюдая условия  $n_1 \leq n \leq n_2$  и  $\alpha_1 \leq \alpha \leq \alpha_2$ .

Коэффициент расчетной длины  $\mu_2$  для верхнего участка в обоих случаях

$$\mu_2 = \mu_1/\alpha \leq 3. \quad (4.79)$$

Коэффициенты расчетной длины  $\mu_1$  и  $\mu_2$  для одноступенчатых колонн со свободным и закрепленным от поворота верхним концом определяют по программе 4.67.

При неподвижном верхнем конце, шарниро-опертом (рис. 4.10, *в*) или закрепленном от поворота (рис. 4.10, *г*), коэффициент  $\mu_1$  для нижнего участка колонны (программа 4.68)

$$\mu_1 = \sqrt{[\mu_{12}^2 + \mu_{11}^2(\beta - 1)]/\beta}, \quad (4.80)$$

где  $\mu_{12}$  — коэффициент расчетной длины нижнего участка при  $F_1 = 0$ ;  $\mu_{11}$  — то же, при  $F_2 = 0$ . Коэффициенты  $\mu_{12}$  и  $\mu_{11}$  принимают по табл. 69 или 70 [11] в зависимости от отношений  $a = l_2/l_1$  и  $b = l_2/l_1$ .

Исходя из фактических значений  $a$  и  $b$  из соответствующей таблицы выписывают значения  $a_1 \leq a \leq a_2$  и  $b_1 \leq b \leq b_2$  и коэффициенты  $\mu_{12}$  ( $\mu_{11}$ ):  $\mu_{12}^I$  ( $\mu_{11}^I$ ) — по  $a_1$  и  $b_1$ ;  $\mu_{12}^{II}$  ( $\mu_{11}^{II}$ ) — по  $a_1$  и  $b_2$ ;  $\mu_{12}^{III}$  ( $\mu_{11}^{III}$ ) — по  $a_2$  и  $b_1$ ;  $\mu_{12}^{IV}$  ( $\mu_{11}^{IV}$ ) — по  $a_2$  и  $b_2$ . Поиск фактических значений  $\mu_{12}$  и  $\mu_{11}$  ведется линейной интерполяцией.

Расчет центрально- и внецентренно-сжатых колонн сплошностенчатого и сквозного сечения ведут по программам, приведенным в п. 4.1.1 и 4.1.3, причем геометрические характеристики принятых сечений определяют: для двутаврового симметричного сечения — по программе 4.16; для П-образного сечения — по программе 4.5; для произвольного сплошностенчатого сечения с заданными площадями ветвей и моментами их инерции относительно оси  $y$  —  $y$  (рис. 4.11, *а*) — по программе 4.69; для составного швеллерного сечения (рис. 4.11, *б*, *в*) — по программам 4.70 и 4.71 соответственно.

Программы 4.72...4.81 посвящены расчету деталей колонн.

Планки сквозной колонны (программа 4.72) рассчитывают на срез от силы  $F$  и изгиб от изгибающего момента  $M$ , действующего в плоскости планки. Суммарное напряжение в сечении углового шва крепления планки

$$\sigma_f = \sqrt{\sigma_M^2 + \tau_F^2} \leq R_{wf}\gamma_{wl}\gamma_c; \quad \sigma_M = \frac{6M}{\beta_f k_f l_w^2}; \quad \tau_F = \frac{F}{\beta_f k_f l_w}, \quad (4.81)$$

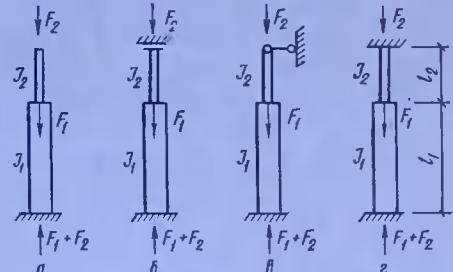


Рис. 4.10. К определению расчетных длин одноступенчатых колонн при верхнем конце:

*а* — свободном; *б* — закрепленном от поворота; *в* — шарниро-опертом; *г* — защемленном верхнем.

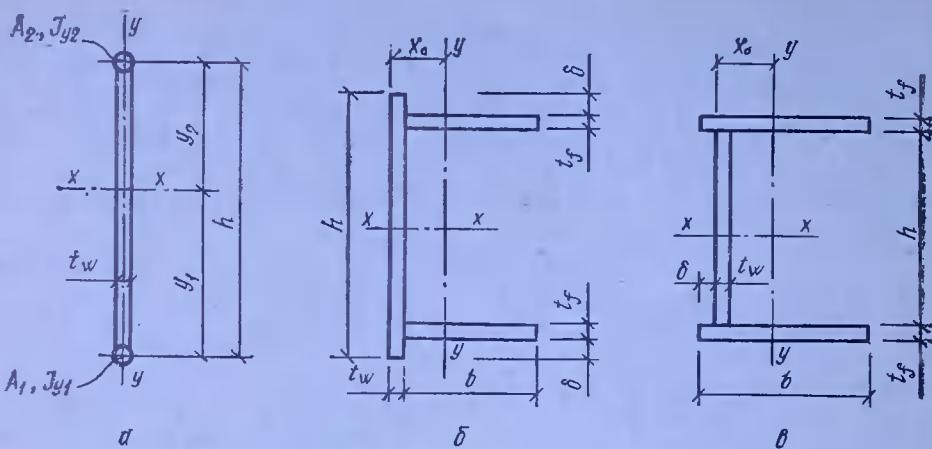


Рис. 4.11. К определению геометрических характеристик сечений:  
а — произвольного; б, в — составного швеллерного (варианты 1, 2).

где  $l_w$  — расчетная длина шва, принимаемая меньше ширины планки  $b_s$  на 1 см;  $k_f$  — катет шва;  $\beta_f$  — коэффициент, принимаемый по табл. 34 [11]. Здесь и далее приводится расчет сварного углового шва по металлу шва. При необходимости проверки сечения шва по металлу границы сплавления следует вместо  $R_{wf}$ ,  $\gamma_{wf}$ ,  $\beta_f$  принять значения  $R_{wz}$ ,  $\gamma_{wz}$ ,  $\beta_z$ .

Действующие на шов усилия определяют в зависимости от условной поперечной силы  $Q_{fic}$  (см. программу 4.9) и схемы размещения планок (см. рис. 4.1, 2):

$$F = Q_{fic} l / (2b); \quad M = Q_{fic} l / 4.$$

Оголовок колонны с парными ребрами (рис. 4.12) рассчитывают с целью определения размеров ребер  $l_h$ ,  $b_h$  и  $t_h$ , считая размеры плиты оголовка и сечения колонны заданными (программа 4.73). Из условия работы на смятие

$$l_h = \frac{N}{R_p \gamma_c (b_{op} + 2t_{pl})};$$

$$b_h = b_{op}/2 + 2t_{pl} - t_w.$$

Высоту ребра назначают из условия размещения сварных угловых швов требуемой длины:

$$l_h = \frac{N}{4\beta_f k_f R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c} + 1 \text{ см. (4.82)}$$

При

$$n = \frac{l_h}{85\beta_f k_f} < 1 \quad (4.83)$$

длина шва по формуле (4.82) удовлетворяет конструктивным требованиям (см. п. 12.8 [11]). При  $n > 1$  необходимо увеличить значения  $\beta_f$  и  $k_f$  и повторить расчет. По программе 4.73 допускается рассчитывать и другие типы оголовков.

При наличии консольных ребер или траверс в базе центрально-сжатой колонны толщину опорной плиты определяют по программе 4.74. Предварительно необходимо назначить размеры опорной плиты в плане  $B \times L$  исходя из расчетного сопротивления материала фундамента местному смятию  $R_\Phi$ :

$$q = N/(BL) \leq R_\Phi. \quad (4.84)$$

Элементы сечения колонны и консольные ребра или траверсы расчленяют опорную плиту на участки, отличающиеся размерами ( $b \times a$ ) и характером опиравания их кромок. Для участка, опертого по четырем сторонам:  $b$  — длина длинной стороны;  $a$  — короткой. При опиравании по трем сторонам:  $a$  — длина закрепленной стороны, перпендикулярной свободному краю длиной  $b$ . При расчете участка, опертого по двум сторонам, принимают  $a$  равным длине перпендикуляра, опущенного из угла пересечения открытых сторон на диагональ длиной  $b$ . Для консольного участка размер  $a$  равен вылету консоли, а в качестве  $b$  следует принимать величину, равную  $2a$ .

Максимальный изгибающий момент для каждого участка на единицу длины

$$M = q\alpha a^2. \quad (4.85)$$

где  $\alpha$  — коэффициент, принимаемый в зависимости от отношения сторон  $b/a$  по соответствующим таблицам [12]. Для консольного участка  $\alpha = 0,5$ .

Толщина плиты для каждого участка

$$t_i = \sqrt{6M/(R_y \gamma_c)}. \quad (4.86)$$

В качестве расчетной толщины плиты  $t_{\text{расч}}$  принимают наибольшее значение  $t_i$ , полученное по формуле (4.86) для каждого участка. При этом следует соблюдать условие  $t_{\min} \leq t_{\text{расч}} \leq t_{\max}$ , где  $t_{\min}$  и  $t_{\max}$  — наименьшая и наибольшая толщины, назначенные по конструктивным соображениям, если оно не выполнено, необходимо изменить размеры участков постановкой дополнительных диафрагм.

Высоту консольных ребер (рис. 4.13, а) определяют из условия прикрепления их сварными швами к стержню колонны с учетом напряжений в швах от изгиба и поперечной силы, найденных по формуле (4.81) (программа 4.75). Аналогично вычисляют высоту траверсы (рис. 4.13, а, б), проверяя ее дополнительно на срез и на изгиб как однопролетную двухконсольную балку пролетом  $h$  с опорами в местах расположения сварных швов (программа 4.76). В сбоях случаях необходимо выполнить условие (4.83), связанное с ограничением длины сварного углового шва.

Дополнительные диафрагмы (см. рис. 4.13, б) рассчитывают как балку пролетом  $b$ , при этом проверяют прочность сварного шва крепления диафрагмы к траверсам по формуле (4.81), учитывая требования (4.83) (программа 4.77).

В базе центрально-сжатой колонны с фрезерованным торцом (рис. 4.13, в) определяют размеры квадратной плиты со стороной  $B$  (в плане исходя из требования (4.84) и толщину плиты по формуле (4.86))

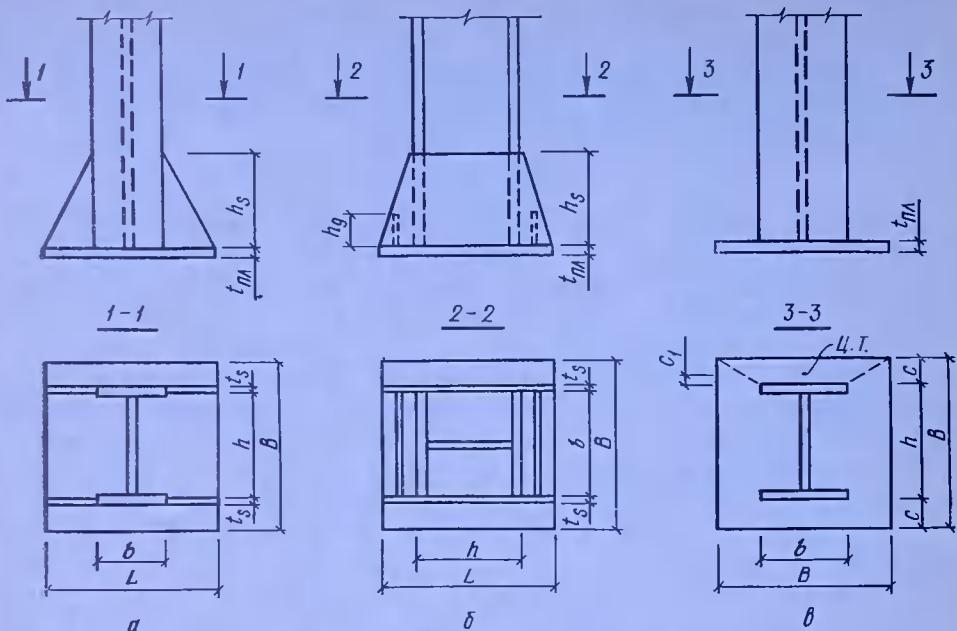


Рис. 4.13. Базы центрально-сжатых колонн:

*а* — с траверсами; *б* — с консольными ребрами; *в* — с фрезерованным торцом.

(программа 4.78). При этом

$$M = qAc_1, \quad (4.87)$$

где  $A$  — площадь трапеции, показанной на рис. 4.13, *в*;  $c_1$  — расстояние от центра тяжести трапеции до расчетного сечения у полки колонны (программа 4.78).

Для внецентренно-сжатых сплошностенчатых колонн (программа 4.79) ширина плиты базы  $B$  назначается по конструктивным соображениям (рис. 4.14), а длина определяется из условия равенства максимального сжимающего напряжения под плитой расчетному сопротивлению материала фундамента местному смятию:

$$L = \frac{N}{2BR_\Phi} + \sqrt{\left(\frac{N}{2BR_\Phi}\right)^2 + \frac{6M}{BR_\Phi}}. \quad (4.88)$$

Толщину опорной плиты находят по программе 4.74, вводя в качестве  $q$  реактивное опорное давление фундамента, условно принятое равномерно распределенным для рассматриваемого участка плиты.

Фундаментные болты рассчитывают на растягивающее усилие  $N_\Phi$ , возникающее при наличии под плитой зоны растягивающих напряжений (см. рис. 4.14). Усилие  $N_\Phi$  определяют из условия равновесия относительно центра тяжести сжатой зоны (программа 4.80)

$$N_\Phi = (M - Na)/y. \quad (4.89)$$

Требуемая площадь сечения фундаментных болтов

$$A_{ba} = \frac{N_\Phi}{nR_{ba}}, \quad (4.90)$$

где  $a$  — расстояние от оси колонны до центра тяжести сжатой зоны;  $y$  — то же, от оси фундаментных болтов;  $n$  — количество болтов, устанавливаемых с одной стороны базы;  $R_{\phi}$  — расчетное сопротивление растяжению фундаментных болтов.

Одновременно программа 4.80 позволяет проверить напряжения по краям плиты

$$\sigma_{\max(\min)} = \frac{N}{BL} \pm \frac{6M}{BL^2} \leq R_{\phi}. \quad (4.91)$$

При  $\sigma_{\max} > R$  необходимо увеличить размеры опорной плиты базы в плане  $h$ , а при  $\sigma_{\min} > 0$  сечение фундаментных болтов следует назначать конструктивно вследствие отсутствия в них растягивающих усилий.

Для уменьшения сечения фундаментных болтов усилие  $N_{\phi}$  определяют с учетом развития пластических деформаций в бетоне фундамента (программа 4.81). В этом случае условно считают сжимающие напряжения равномерно распределенными по длине  $\alpha(L + l)$ , где

$$\alpha = 1 - \sqrt{1 - \frac{2M_b}{R_{\phi}(L+l)^2 B}}; \quad M_b = N(e + 0,5L); \quad e = M/N.$$

Тогда (рис. 4.14, а)

$$N_{\phi} = \alpha(L + l)BR_{\phi} - N. \quad (4.92)$$

Требуемую площадь болтов с учетом их количества, устанавливаемого с одной стороны базы, вычисляют по формуле (4.90).

#### 4.2.3. СОЕДИНЕНИЯ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Расчет сварных соединений с угловыми швами на условный срез выполняют по программам, посвященным проектированию деталей и узлов стальных конструкций (см. 4.2.1 и 4.2.2).

Наиболее трудоемким из числа приведенных в СНиП [11] является расчет на действие момента в плоскости расположения швов. В этом случае напряжение в наиболее напряженной точке сварного соединения

$$\tau = M/(I_{fx} + I_{fy}) \sqrt{x_0^2 + y_0^2} \leq R_{wf}\gamma_{wf}\gamma_c. \quad (4.93)$$

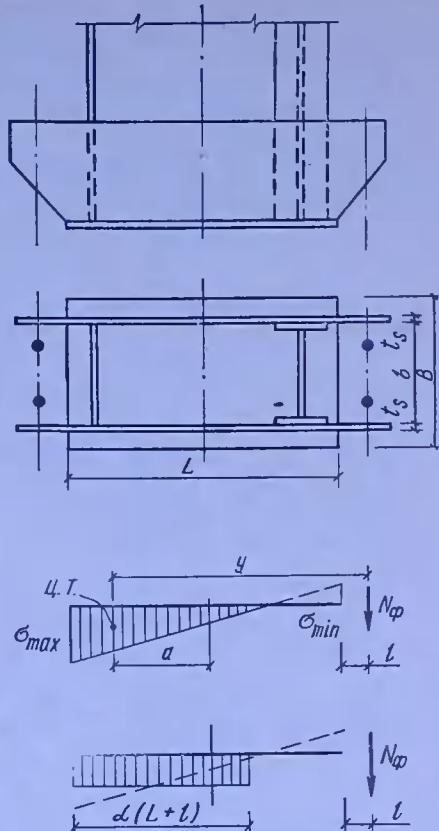


Рис. 4.14. Базы внецентренно-сжатой сплошностенчатой колонны.

Координаты центра тяжести сварного соединения  $x_0$  и  $y_0$ , а также другие геометрические характеристики определяют по программе 4.82.

Этот же расчет можно вести с использованием полярных геометрических характеристик — минимального момента сопротивления  $W_{n,\min}$  и момента инерции  $I_n$ . Если в соединении три шва (рис. 4.15, а), расчет ведут по программе 4.83, два (рис. 4.15, б) — по программе 4.84. Напряжение в этом случае определяют по формуле (программа 4.85)

$$\tau = M_{r1}/I_n. \quad (4.93, a)$$

Расчет соединений на болтах повышенной и нормальной точности, а также на высокопрочных болтах при действии поперечных или про-

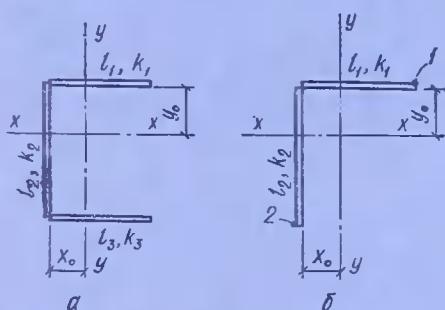


Рис. 4.15. К расчету сварного соединения при действии момента в плоскости расположения:

а, б — трех и двух швов.

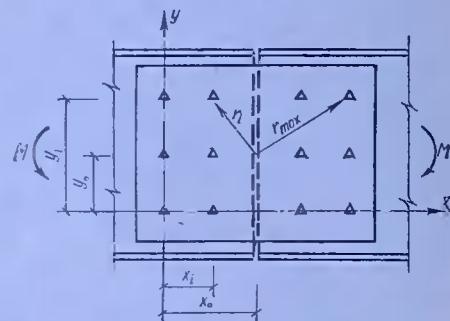


Рис. 4.16. К расчету болтового соединения при действии изгибающего момента.

дольных сил приведен в 4.2.1. При действии изгибающего момента, вызывающего сдвиг, соединения рассчитывают по программе 4.86. Усилия на болты распределяются пропорционально расстояниям от центра тяжести соединения до рассматриваемого  $i$ -го болта.

Для соединения с заданным количеством болтов  $n$  в произвольной ортогональной системе координат (рекомендуется координатные оси совмещать с рисками крайних болтов, рис. 4.16) находят координаты  $x_i$  и  $y_i$  каждого болта и координаты центра тяжести соединения  $x_0$  и  $y_0$ , а затем и усилие в  $i$ -м болте. Учитывая неравномерность распределения усилий между болтами при расчете можно ограничить количество болтов, для которых определяется  $N_i$ , приняв его равным  $k$ . В симметричном соединении достаточно принять  $k = 1$ , а в качестве  $x_i$  и  $y_i$  выбрать координаты наиболее удаленного от центра тяжести соединения болта, так как именно в нем возникает наибольшее усилие,

$$N_i = Mr_{\max}/\Sigma r_i^2, \quad (4.94)$$

где  $r_{\max}$  — расстояние от центра тяжести соединения до наиболее удаленного болта;  $\Sigma r_i^2$  — сумма квадратов расстояний до остальных болтов (см. рис. 4.16).

При совместном действии на соединение изгибающего момента  $M$  и поперечной силы  $Q$  условно считают, что усилие от  $Q$  равномерно распределяется на все болты, расположенные с одной стороны стыка

(программа 4.87). Тогда в наиболее удаленном болте действует равнодействующее усилие

$$N_1 = \sqrt{(Mr_{\max}/\Sigma r_i^2)^2 + (Q/n)^2}. \quad (4.95)$$

В соединении, где действуют силы  $M$ ,  $Q$  и  $N$ , усилие в  $i$ -м болте определяется как векторная сумма сил. В программе 4.88 вычисляются горизонтальная  $N_r$  и вертикальная  $N_v$  составляющие силы.

## ПРОГРАММЫ

, 4.1 ÷ 4.88

### Программа 4.1

Определение напряжения  
при проверке устойчивости  
центрально-сжатого стержня

Пх3	Пх1	Пх0	/	$F\sqrt{}$	/	Пх6	$F\sqrt{}$	×	хП3
Пх4	Пх2	Пх0	/	$F\sqrt{}$	/	Пх6	$F\sqrt{}$	×	хП4
Пх3	—	$Fx \geq 0$	27	Пх4	БП	28	Пх3	хП3	2
.	5	Пх3	—	$Fx \geq 0$	51	Пхс	Пхд	Пх6	×
—	Пх3	×	Пх3	$F\sqrt{}$	×	1	↔	—	БП
92	4	.	5	Пх3	—	$Fx < 0$	69	Пх7	Пх3
$Fx^2$	/	5	1	Пх3	—	/	БП	92	Пх9
Пхд	Пх6	×	—	Пх3	$Fx^2$	×	Пхб	Пха	Пх6
×	—	Пх3	×	—	Пх8	+	1	3	Пх6
×	—	Пх0	×	$F1/x$	Пх5	×	С/П		

**Инструкция.** Ввод  $A \rightarrow 0$ ;  $I_x \rightarrow 1$ ;  $I_y \rightarrow 2$ ;  $l_{ef,x} \rightarrow 3$ ;  $l_{ef,y} \rightarrow 4$ ;  $N \rightarrow 5$ ;  $R_y/E \rightarrow 6$ ; константы:  $332 \rightarrow 7$ ;  $1,47 \rightarrow 8$ ;  $0,0275 \rightarrow 9$ ;  $27,3 \rightarrow a$ ;  $0,371 \rightarrow b$ ;  $0,073 \rightarrow c$ ;  $5,53 \rightarrow d$ . В/О С/П. Индикация — σ;  $\bar{\lambda}_{\max} \leftarrow 3$ . При повторном счете константы можно не вводить.

**Контрольный пример.**  $80 \rightarrow 0$ ;  $3555 \rightarrow 1$ ;  $10125 \rightarrow 2$ ;  $600 \rightarrow 3$ ;  $900 \rightarrow 4$ ;  $1265 \rightarrow 5$ ;  $0,001359 \rightarrow 6$ ;  $332 \rightarrow 7$ ;  $1,47 \rightarrow 8$ ;  $0,0275 \rightarrow 9$ ;  $27,3 \rightarrow a$ ;  $0,371 \rightarrow b$ ;  $0,073 \rightarrow c$ ;  $5,53 \rightarrow d$ .

**Результат:**  $\sigma = 28,02$ ;  $\bar{\lambda}_{\max} = 3,32$ .

**Время счета:** 20 с.

### Программа 4.2

Определение коэффициента продольного изгиба

Пха	$F\sqrt{}$	×	хПб	2	.	5	↔	—	$Fx \geq 0$
31	2	.	5	3	Пха	×	0	.	0
7	3	—	Пхб	×	Пхб	$F\sqrt{}$	×	1	+
C/П	4	.	5	Пхб	—	$Fx < 0$	51	5	1
Пхб	—	Пхб	$Fx^2$	×	3	3	2	↔	/
C/П	5	.	5	3	Пха	×	0	.	0
2	7	5	↔	—	Пхб	$Fx^2$	×	2	7
.	3	Пха	×	0	.	3	7	1	—
Пхб	×	1	.	4	7	+	1	3	Пха
×	—	C/П							

**Инструкция.** Ввод  $R_y/E \rightarrow a$ ;  $\lambda \rightarrow X$ . В/О С/П. Индикация — φ. При повторном счете вводить только λ.

*Контрольный пример.*  $0,00194 \rightarrow a$ ;  $10 (120; 220) \rightarrow X$ .

*Результат:*  $\varphi = 0,982$  ( $0,26$ ;  $0,086$ ).

*Время счета:* 10 с (8 с; 8 с).

### Программа 4.3

Определение предельной гибкости сжатых стержней

$$\begin{array}{ccccccccc}
 \text{П}x0 & \text{П}x1 & / & \text{П}x2 & / & \text{П}x3 & / & x\text{П}6 & 0 \\
 5 & - & Fx < 0 & 18 & 0 & . & 5 & x\text{П}6 & 6 \ 0 \\
 x\text{П}7 & \text{П}x4 & 2 & 2 & 0 & - & Fx = 0 & 31 & 4 \ 0 \\
 x\text{П}7 & \text{П}x4 & \text{П}x7 & \text{П}x6 & \times & - & C/P
 \end{array}$$

*Инструкция.* Ввод  $N \rightarrow 0$ ;  $\varphi \rightarrow 1$ ;  $A \rightarrow 2$ ;  $R_y \rightarrow 3$ ; код  $\rightarrow 4$ . В/О С/П. Индикация —  $[\lambda]$ .

*Контрольный пример.*  $1000 \rightarrow 0$ ;  $0,85 \rightarrow 1$ ;  $60 \rightarrow 2$ ;  $21 \rightarrow 3$ ;  $180 \rightarrow 4$ .

*Результат счета:*  $[\lambda] = 123,9$ .

*Время счета:* 5 с.

### Программа 4.4

Определение коэффициента  $c$  для открытого П-образного сечения и напряжения при проверке устойчивости сжатого элемента по изгибо-крутильной форме потери устойчивости

$$\begin{array}{ccccccccc}
 \text{П}x3 & \text{П}x4 & / & x\text{П}3 & 3 & + & 4 & \times & \text{П}x3 & 2 \\
 + & / & \text{П}x3 & 6 & + & / & x\text{П}7 & \text{П}x6 & \text{П}x2 & \text{П}x0 \\
 / & FV & / & x\text{П}6 & Fx^2 & \text{П}x5 & \text{П}x4 & / & Fx^2 & \times \\
 0 & . & 0 & 5 & 2 & \times & 3 & 9 & x\text{П}3 & 2 \\
 \times & + & 8 & \times & 6 & \text{П}x3 & + & Fx^2 & / & + \\
 x\text{П}8 & \text{П}x1 & \text{П}x2 & + & \text{П}x0 & / & \text{П}x4 & Fx^2 & / & \text{П}x7 \\
 Fx^2 & + & 2 & \times & \text{П}x8 & / & x\text{П}9 & 1 & + & \text{П}x9 \\
 /- & 1 & + & Fx^2 & \text{П}x7 & Fx^2 & - 1 & 6 & \times & \text{П}x8 \\
 / & + & FV & + & 2 & \leftrightarrow & / & x\text{П}3 & C/P & \text{П}x6 \\
 C/P & / & \text{П}x0 & / & \text{П}x3 & / & C/P
 \end{array}$$

*Инструкция.* Ввод  $A \rightarrow 0$ ;  $I_x \rightarrow 1$ ;  $I_y \rightarrow 2$ ;  $b \rightarrow 3$ ;  $h \rightarrow 4$ ;  $t \rightarrow 5$ ;  $l_{ef,y} \rightarrow 6$ . В/О С/П. Индикация —  $c$ . С/П. Индикация —  $\lambda_y$ . Ввод  $N \rightarrow Y$ ;  $\varphi_y \rightarrow X$ . С/П. Индикация —  $\sigma$ .

*Контрольный пример.*  $80 \rightarrow 0$ ;  $3220 \rightarrow 1$ ;  $2300 \rightarrow 2$ ;  $8,4 \rightarrow 3$ ;  $19,2 \rightarrow 4$ ;  $1,6 \rightarrow 5$ ;  $700 \rightarrow 6$ ;  $600 \rightarrow Y$ ;  $0,313 \rightarrow X$ .

*Результат:*  $\sigma = 28,93$ ;  $c = 0,828$ ;  $\lambda_y = 130,6$ .

*Время счета:* 28 с.

### Программа 4.5

Определение геометрических характеристик открытого П-образного сечения

$$\begin{array}{ccccccccc}
 \text{П}x1 & 2 & \times & \text{П}x2 & + & \text{П}x3 & \times & x\text{П}a & \text{П}x1 & Fx^2 \\
 \text{П}x3 & \times & \text{П}x3 & Fx^2 & \text{П}x2 & \times & 2 & / & + & \text{П}x2 \\
 / & x\text{П}d & \text{П}x3 & 2 & / & — & Fx^2 & \text{П}x2 & \times & \text{П}x3 \\
 \times & \text{П}x3 & \text{П}x3 & Fx^2 & \times & \text{П}x2 & \times & 1 & 2 & / \\
 + & \text{П}x1 & 2 & / & \text{П}xd & — & Fx^2 & 2 & \times & \text{П}x1 \\
 \times & \text{П}x3 & \times & + & \text{П}x1 & \text{П}x1 & Fx^2 & \times & 6 & / \\
 \text{П}x3 & \times & + & x\text{П}b & 3 & \text{П}x2 & Fx^Y & 1 & 2 & / \\
 \text{П}x3 & \times & \text{П}x3 & \text{П}x3 & Fx^2 & \times & 6 & / & \text{П}x1 & \times \\
 + & \text{П}x2 & \text{П}x3 & + & Fx^2 & 2 & / & \text{П}x3 & \times & \text{П}x1 \\
 \times & + & x\text{П}c & C/P
 \end{array}$$

*Инструкция.* Ввод  $h \rightarrow 1$ ;  $b \rightarrow 2$ ;  $t \rightarrow 3$ . В/О С/П. Индикация —  $I_y$ ;  $A \leftarrow a$ ;  $I \leftarrow b$ ;  $I_y \leftarrow c$ ;  $y_0 \leftarrow d$ .

*Контрольный пример.*  $20 \rightarrow 1$ ;  $10 \rightarrow 2$ ;  $1,6 \rightarrow 3$ .

*Результат:*  $A = 80$ ;  $I_x = 3220$ ;  $I_y = 2300$ ;  $y_0 = 8,16$ .

*Время счета:* 26 с.

### Программа 4.6

Определение приведенной гибкости составного стержня с планками в двух плоскостях

$\Pi x_6$	$\Pi x_3$	$Fx^2$	$\Pi x_0$	$\times$	2	/	$\Pi x_1$	2	$\times$
+	$x\Pi_7$	$\Pi x_0$	/	2	/	$F\checkmark$	/	$x\Pi_8$	$\Pi x_2$
$x\Pi_a$	$\Pi\Pi$	90	4	0	$\leftrightarrow$	—	$F_x < 0$	35	$\Pi x_3$
1	—	$x\Pi_a$	БП	21	$\Pi x_a$	$\Pi x_2$	—	$F_x \neq 0$	44
9	9	9	C/P	$\Pi x_a$	$x\Pi_2$	$\Pi x_4$	$\Pi x_4$	$Fx^2$	×
$\Pi x_5$	×	1	2	/	$\Pi x_2$	×	$\Pi x_1$	/	$\Pi x_3$
/	$x\Pi_a$	5	—	$F_x \geqslant 0$	73	$\Pi x_8$	$Fx^2$	$\Pi x_9$	$Fx^2$
+	$F\checkmark$	C/P	$\Pi x_a$	$F1/x$	1	+	0	.	8
2	×	$\Pi x_9$	$Fx^2$	×	$\Pi x_8$	$Fx^2$	+	$F\checkmark$	C/P
$\Pi x_a$	$\Pi x_1$	$\Pi x_0$	/	$F\checkmark$	/	$x\Pi_9$	B/O		

- Инструкция.** 1. Ввод  $A_b \rightarrow 0$ ;  $I_{b1} \rightarrow 1$ ;  $l \rightarrow 2$ ;  $b \rightarrow 3$ ;  $b_s \rightarrow 4$ ;  $t_s \rightarrow 5$ ;  $l_y \rightarrow 6$ .  
 2. В/О С/П. 3. Индикация —  $\lambda_{ef}$ ;  $I_y \leftarrow 7$ ;  $\lambda_y \leftarrow 8$ ;  $\lambda_1 \leftarrow 9$ ; 3. Индикация — 999;  
 $l_1 \leftarrow a$ . При  $\bar{l} = l_1$ . 4. С/П. 5. Индикация по п. 3. При  $\bar{l} < l_1$ . 4. Ввод  $\bar{l} \rightarrow 2$ . 5. Переход к п. 2.

**Контрольный пример.**  $40,5 \rightarrow 0$ ;  $393 \rightarrow 1$ ;  $125 \rightarrow 2$ ;  $25 \rightarrow 3$ ;  $18 \rightarrow 4$ ;  $0,8 \rightarrow 5$ ;  $1200 \rightarrow 6$ .

**Результат:** 999;  $\bar{l} = l_1 = 124$ ;  $\lambda_{ef} = 101,2$ ;  $I_y = 13\,440$ ;  $\lambda_y = 93,15$ ;  $\lambda_1 = 39,8$ .

**Время счета:** 28 с.

### Программа 4.7

Определение приведенной гибкости составного стержня с планками в четырех плоскостях

4	0	$\Pi x_1$	$\Pi x_0$	/	$F\checkmark$	$x\Pi b$	$\times$	$x\Pi a$	$\Pi x_2$
—	$Fx < 0$	19	9	9	9	C/P	$\Pi x_a$	$x\Pi_2$	$\Pi x_2$
$\Pi x_b$	/	$x\Pi_9$	$\Pi x_6$	$\Pi x_0$	$\Pi x_3$	$Fx^2$	×	$\Pi x_1$	4
$\times$	+	$x\Pi_7$	$\Pi x_0$	4	×	/	$F\checkmark$	/	$x\Pi_8$
$\Pi x_4$	$\Pi x_4$	$Fx^2$	×	$\Pi x_5$	×	1	2	/	$\Pi x_2$
$\times$	2	/	$\Pi x_1$	/	$\Pi x_3$	/	$x\Pi a$	5	—
$Fx \geqslant 0$	71	$\Pi x_8$	$Fx^2$	$\Pi x_9$	$Fx^2$	2	×	+	$F\checkmark$
C/P	$\Pi x_a$	$F1/x$	1	+	$\Pi x_9$	$Fx^2$	×	1	.
6	4	×	$x\Pi_8$	$Fx^2$	+	$F\checkmark$	C/P		

- Инструкция.** i. Ввод  $A_b \rightarrow 0$ ;  $I_{b1} \rightarrow 1$ ;  $l \rightarrow 2$ ;  $b \rightarrow 3$ ;  $b_s \rightarrow 4$ ;  $t_s \rightarrow 5$ ;  $l_{ef} \rightarrow 6$ .  
 2. В/О С/П. 3. Индикация —  $\lambda_{ef}$ ;  $I \leftarrow 7$ ;  $\lambda \leftarrow 8$ ;  $\lambda_1 \leftarrow 9$ . Индикация — 999;  $l_1 \leftarrow a$ .  
 При  $\bar{l} = l_1$ . 4. С/П. 5. Индикация по п. 3. При  $\bar{l} < l_1$ . 4. Ввод  $\bar{l} \rightarrow a$ . 5. С/П. 6. Индикация по п. 3.

**Контрольный пример.** 1.  $12,8 \rightarrow 0$ ;  $122 \rightarrow 1$ ;  $100 \rightarrow 2$ ;  $40 \rightarrow 3$ ;  $20 \rightarrow 4$ ;  $1,2 \rightarrow 5$ ;  $700 \rightarrow 6$ .

**Результат:**  $\lambda_{ef} = 57,4$ ;  $I = 20\,970$ ;  $\lambda = 34,6$ ;  $\lambda_1 = 32,4$ .

**Время счета:** 17 с.

2. Аналогично п. 1, кроме  $200 \rightarrow 2$ .

**Результат:** 999;  $l_1 = 123$ ;  $\lambda_{ef} = 66,3$ ;  $I = 20\,970$ ;  $\lambda = 34,6$ ;  $\lambda_1 = 40$ .

**Время счета:** 19 с.

### Программа 4.8

Определение приведенной гибкости двухветвевого стержня с решетками

$\Pi x_2$	$x\Pi_c$	$\Pi x_5$	$\Pi x_3$	2	/	$Fx^2$	$\Pi x_0$	$\times$	$\Pi x_1$
+	2	×	$\Pi x_6$	×	$x\Pi_7$	$\Pi x_0$	2	×	$\Pi x_6$
$\times$	/	$F\checkmark$	/	$x\Pi_8$	$\Pi x_2$	$\Pi x_1$	$\Pi x_0$	/	$F\checkmark$
/	$x\Pi_9$	3	$\Pi x_3$	$Fx^2$	$\Pi x_2$	$Fx^2$	+	$F\checkmark$	$Fx^2$
1	0	×	$\Pi x_3$	$Fx^2$	/	$\Pi x_2$	/	$\Pi x_0$	×

2	$\times$	$\Pi x6$	$Fx^2$	$\times$	$\Pi x4$	/	$\Pi x8$	$Fx^2$	+
$F\sqrt{}$	$x\Pi d$	$\Pi x9$	—	$Fx < 0$	72	$\Pi x2$	2	—	$x\Pi 2$
БП	25	8	0	$\Pi x9$	—	$Fx < 0$	80	БП	66
$\Pi xc$	$\Pi x2$	—	$Fx \neq 0$	89	9	9	9	C/P	$\Pi xd$
C/P	$\Pi x2$	C/P	$x\Pi^2$	БП	00				

**Инструкция.** 1. Ввод  $A_b \rightarrow 0$ ;  $I_b \rightarrow 1$ ;  $l \rightarrow 2$ ;  $b \rightarrow 3$ ;  $A_{dl} \rightarrow 4$ ;  $I_{ef} \rightarrow 5$ ; код  $\rightarrow 6$ . В/О С/П. 3. Индикация —  $\lambda_{ef}$ ;  $I_y \leftarrow 7$ ;  $\lambda_y \leftarrow 8$ ;  $\lambda_1 \rightarrow 9$ . 3. Индикация — 999. 4. С/П. 5. Индикация —  $l_1$ , принятное программой. 6. При необходимости ввод приятия  $\bar{l} \rightarrow X$ . 7. С/П. 8. Индикация —  $\lambda_{ef}$ ;  $I_y \leftarrow 7$ ;  $\lambda_y \leftarrow 8$ ;  $\lambda_1 \leftarrow 9$ .

**Контрольный пример.** 1.  $25 \rightarrow 0$ ;  $100 \rightarrow 1$ ;  $84 \rightarrow 2$ ;  $80 \rightarrow 3$ ;  $10 \rightarrow 4$ ;  $1600 \rightarrow 5$ ;  $1 \rightarrow 6$ .

**Результат:**  $999, \lambda_{ef} = 41,7; I_y = 80\ 200; \lambda_y = 39,9; \lambda_1 = 41,0; l_1 = 82$ .

**Время счета:** 40 с.

2. Аналогично п. 1, кроме  $2 \rightarrow 6$ .

**Результат:**  $\lambda_{ef} = 46,6; I_y = 160\ 400; \lambda_y = 39,9; \lambda_1 = 42$ .

**Время счета:** 23 с.

### Программа 4.9

#### Определение условий поперечной силы

$x\Pi 2$	$\leftrightarrow$	$\Pi x6$	$F\sqrt{}$	$\times$	$x\Pi 3$	2	.	5	$\Pi x3$
—	$Fx \geqslant 0$	28	$\Pi xc$	$\Pi xd$	$\Pi x6$	—	—	$\Pi x3$	$\times$
$\Pi x3$	$F\sqrt{}$	—	—	1	—	—	69	4	.
5	$\Pi x3$	—	$Fx < 0$	46	$\Pi x7$	$\Pi x3$	$Fx^2$	/	5
1	$\Pi x3$	—	/	$\Pi x7$	69	$\Pi x9$	$\Pi xd$	$\Pi x6$	$\times$
—	$\Pi x3$	$Fx^2$	$\times$	$\Pi xb$	$\Pi xa$	$\Pi x6$	$\times$	—	$\Pi x3$
$\times$	—	$\Pi x8$	+	1	3	$\Pi x6$	$\times$	—	$F1/x$
$\Pi x2$	$\times$	7	1	5	$\Pi x6$	8	/—/	$\times$	2
3	3	0	$\Pi x6$	$F1/x$	—	$\times$	$C/P$		

**Инструкция.** Ввод констант  $332 \rightarrow 7$ ;  $47 \rightarrow 8$ ;  $0,0275 \rightarrow 9$ ;  $27,3 \rightarrow a$ ;  $0,371 \rightarrow b$ ;  $0,073 \rightarrow c$ ;  $5,53 \rightarrow d$ ;  $R_y/E \rightarrow 6$ ;  $\lambda \rightarrow Y$ ;  $N \rightarrow X$ . В/О С/П. Индикация —  $Q_{fic}$ . При повторении счета константы не вводить.

**Контрольный пример.**  $0,00116 \rightarrow 6$ ;  $60 \rightarrow Y$ ;  $100 \rightarrow X$ .

**Результат:**  $Q_{fic} = 1,307$ .

**Время счета:** 12 с.

### Программа 4.10

#### Определение усилия от обжатия поясов в раскосе крестовой решетки колонны

$\Pi x3$	$Fx^2$	$\Pi x4$	$Fx^2$	+	$F\sqrt{}$	$x\Pi 5$	$B \uparrow$	$Fx^2$	$\times$
$\Pi x3$	$B \uparrow$	$Fx^2$	×	2	$\times$	+	$F1/x$	$\Pi x5$	$\times$
$\Pi x4$	$Fx^2$	×	$\Pi x0$	×	$\Pi x1$	/	$\Pi x2$	$\times$	$C/P$

**Инструкция.** Ввод  $N \rightarrow 0$ ;  $A \rightarrow 1$ ;  $A_d \rightarrow 2$ ;  $b \rightarrow 3$ ;  $l \rightarrow 4$ . В/О С/П. Индикация —  $N_{ad}$ .

**Контрольный пример.**  $400 \rightarrow 0$ ;  $38,8 \rightarrow 1$ ;  $7,39 \rightarrow 2$ ;  $80 \rightarrow 3$ ;  $120 \rightarrow 4$ .

**Результат:**  $N_{ad} = 39,3$ .

**Время счета:** 9 с.

### Программа 4.11

#### Определение напряжений в сечении сжатого раскоса соединительной решетки сквозной колонны

1	$\Pi x0$	$\Pi x1$	/	$\Pi \Pi$	29	$F \sin$	/	$x\Pi 1$	$\Pi x4$
$\Pi \Pi$	29	$F \cos$	/	$\Pi x5$	$\times$	$\Pi x2$	/	$\Pi x6$	$F\sqrt{}$
X	$x\Pi 0$	C/P	$\Pi \Pi$	34	$F1/x$	$\Pi x1$	$\times$	C/P	$\Pi x3$

$\Pi x4$	/	$F \operatorname{tg}^{-1}$	$B/O$	2	.	5	$\Pi x0$	--	$F_x \geq 0$
56	$\Pi x_c$	$\Pi x_d$	$\Pi x_b$	$\times$	$\overline{\text{БП}}$	97	4	$\times$	$F \sqrt{}$
$\times$	1	$\leftrightarrow$	$\overline{\text{БП}}$	74	$\Pi x_7$	$\Pi x_0$	$F x^2$	5	$\Pi x_0$
—	$F_x < 0$				$\Pi x_7$	$\Pi x_0$	/	1	$\Pi x_0$
—	/	$\Pi x_b$	$\Pi x_a$	$\times$	$\Pi x_9$	$\Pi x_d$	$\Pi x_6$	$\times$	$\Pi x_0$
$F x^2$	$\times$							$\times$	
$\Pi x_8$	+	1	3	$\Pi x_6$	$\times$	—		$B/O$	

**Инструкция.** Ввод  $Q_s \rightarrow 0$ ;  $A_d \rightarrow 1$ ;  $i_d \rightarrow 2$ ;  $b \rightarrow 3$ ;  $l \rightarrow 4$ ;  $\mu \rightarrow 5$ ;  $R_y/E \rightarrow 6$ ;  $332 \rightarrow 7$ ;  $1,47 \rightarrow 8$ ;  $0,0275 \rightarrow 9$ ;  $27,3 \rightarrow a$ ;  $0,371 \rightarrow b$ ;  $0,073 \rightarrow c$ ;  $5,53 \rightarrow d$ .  $B/O$  С/П. Индикация —  $\bar{\lambda}$ . С/П. Индикация —  $\sigma$ .

**Контрольный пример.**  $30 \rightarrow 0$ ;  $4,96 \rightarrow 1$ ;  $1,95 \rightarrow 2$ ;  $100 \rightarrow 3$ ;  $140 \rightarrow 4$ ;  $1 \rightarrow 5$ ;  $0,001019 \rightarrow 6$ ;  $332 \rightarrow 7$ ;  $1,47 \rightarrow 8$ ;  $0,0275 \rightarrow 9$ ;  $27,3 \rightarrow a$ ;  $0,371 \rightarrow b$ ;  $0,073 \rightarrow c$ ;  $5,53 \rightarrow d$ .

**Результат:**  $\bar{\lambda} = 2,82$ ;  $\sigma = 15,96$ .

**Время счета:** 27 с.

### Программа 4.12

#### Определение предельной гибкости стенок центрально-сжатых элементов

$x\Pi$	$\leftrightarrow$	$x\Pi 2$	2	0	6	0	0	$x\Pi 0$	C/П
ПП	90	C/П	ПП	90	0	.	9	$\times$	C/П
ПП	90	0	.	8	$\Pi x 1$	$\times$	0	.	3
6	+	$\times$	$x\Pi 4$	2	.	9	БП	78	ПП
90	0	.	1	9	$\Pi x 1$	$\times$	0	.	8
5	+	$\times$	$x\Pi 4$	1	.	6	БП	78	ПП
90	0	.	1	7	$\Pi x 1$	$\times$	0	.	7
6	+	$\times$	$x\Pi 4$	1	.	4	5	ПП	90
$\times$	$x\Pi 5$	$\leftrightarrow$	$\overline{F_x < 0}$	88	$\Pi x 5$	C/П	$\Pi x 4$	C/П	
$\Pi x 0$	$\Pi x 2$	/	$F \sqrt{}$	$B/O$					

**Инструкция.** 1. Ввод  $R_y \rightarrow Y$ ;  $\bar{\lambda} \rightarrow X$ . 2.  $B/O$  С/П. 3. Индикация — 20 600. 4. С/П — для двутавровых, швеллерных, прямоугольных трубчатых сечений при  $\bar{\lambda} \leq 0,8$ . 4. БП13 С/П — для трубчатых квадратных при  $\bar{\lambda} \leq 0,8$ . БП20 С/П — для двутавровых при  $\bar{\lambda} > 0,8$ . 4. БП39 С/П — для швеллерных и прямоугольных при  $\bar{\lambda} > 0,8$ . 4. БП59 С/П — для квадратных при  $\bar{\lambda} > 0,8$ . 5. Индикация —  $[\lambda_w]$ .

**Контрольный пример.** 1.  $21 \rightarrow Y$ ;  $0,5 \rightarrow X$ .

**Результат:**  $[\lambda_w] = 31,3$  — для двутавровых,  $[\lambda_w] = 28,2$  — для квадратных сечений.

**Время счета:** 8 с.

2.  $21 \rightarrow Y$ ;  $2 \rightarrow X$ .

**Результат:**  $[\lambda_w] = 61,4$  — для двутавровых,  $[\lambda_w] = 38,5$  — для швеллерных,  $[\lambda_w] = 34,5$  — для квадратных сечений.

**Время счета:** 8 с.

### Программа 4.13

#### Определение коэффициента $\beta$ для корректировки предельной гибкости стенок центрально-сжатого стержня

$\Pi x 2$	$F_x = 0$	61	$\Pi x 0$	2	$\times$	$\Pi x 3$	+	$B \uparrow$	$F x^2$
$\times$	$\Pi x 1$	$\times$	1	2	/	$x\Pi 5$	$\Pi x 3$	$\Pi x 3$	$F x^2$
$\times$	$\Pi x 4$	$\times$	$x\Pi 6$	/	1	0	/	/—/	1
+	$\Pi x 6$	/	$\Pi x 5$	$\times$	0	.	4	$\times$	1
+	$x\Pi 6$	6	$\Pi x 5$	$\Pi x 6$	/	—	$F_x < 0$	53	9
9	9	C/П	$\Pi x 7$	C/П	$\Pi x 5$	C/П	$\Pi x 6$	6	$\times$
C/П	$\Pi x 0$	$\Pi x 0$	$F x^2$	$\times$	$\Pi x 1$	$\times$	3	/	БП

**Инструкция.** 1. Ввод  $b_s \rightarrow 0$ ;  $t_s \rightarrow 1$ ; код  $\rightarrow 2$ ;  $t_w \rightarrow 3$ ;  $h_{ef} \rightarrow 4$ ; 2. В/О С/П. 3.

Индикация —  $\beta$ . 4. С/П. 5. Индикация —  $I_s$ . 6. С/П. 7. Индикация —  $6, h_{ef} t_w^3$ , означает, что условие  $d \leq 6$  выполнено. 7. Индикация — 999, означает что  $d > 6$  и следует изменить размеры ребра.

**Контрольный пример.** 1.  $10 \rightarrow 0$ ;  $1,2 \rightarrow 1$ ;  $0 \rightarrow 2$ ;  $1,2 \rightarrow 3$ ;  $100 \rightarrow 4$ .

**Результат:**  $\beta = 1,989$ ;  $I_s = 952,8$ ;  $6h_{ef} t_w^3 = 1037$ .

**Время счета:** 18 с.

2. Аналогично п. 1, кроме  $1 \rightarrow 2$ .

**Результат:**  $\beta = 1,711$ ;  $I_s = 400$ ;  $6h_{ef} t_w^3 = 1037$ .

**Время счета:** 18 с.

### Программа 4.14

#### Проверка прочности изгибающего элемента симметричного сечения

$\Pi x9$	$\Pi x7$	$Fx^2$	$F\sqrt{}$	$\Pi x1$	/	$x\Pi 1$	—	$Fx \geq 0$	78
$\Pi x a$	$\Pi x8$	$\Pi x0$	/	$\Pi x2$	×	$\Pi x3$	/	$x\Pi 2$	—
$Fx \geq 0$	82	$\Pi x9$	$\Pi x5$	$\Pi x3$	/	$\Pi x4$	/	$x\Pi 4$	$Fx^2$
$F\sqrt{}$	—	$Fx \geq 0$	86	C/П	$\Pi x a$	$\Pi x8$	$\Pi x6$	/	$\Pi x3$
/	$x\Pi b$	—	$Fx \geq 0$	90	$\Pi x9$	1	.	1	5
×	$\Pi x7$	$\Pi x0$	—	$\Pi x6$	×	2	/	$Fx^2$	$FBx$
$\Pi x4$	×	—	$\Pi x4$	$Fx^2$	+	3	$\Pi xb$	$Fx^2$	×
+	$F\sqrt{}$	$x\Pi c$	—	$Fx \geq 0$	94	BП	34	1	C/П
BП	10	2	C/П	BП	22	3	C/П	BП	35
4	C/П	BП	45	5	BП	34			

**Инструкция.** 1. Ввод  $I_x \rightarrow 0$ ;  $W_x \rightarrow 1$ ;  $S_x \rightarrow 2$  \*;  $t_w \rightarrow 3$ ;  $h_{ef} \rightarrow 4$  \*;  $F \rightarrow 5$ ;  $h_w \rightarrow 6$ ;  $M_{max} \rightarrow 7$ ;  $Q_{max} \rightarrow 8$ ;  $R_y \gamma_c \rightarrow 9$ ;  $R_s \gamma_c \rightarrow a$ . 2. В/О С/П. 3. Ввод  $M_1 \rightarrow 7$ ;  $Q_1 \rightarrow 8$ . 4. С/П. 5. Индикация —  $R_y \gamma_c = \sigma_{np}$ ;  $\sigma \leftarrow 1$ ;  $\tau \leftarrow 2$ ;  $\sigma_{loc} \leftarrow 4$ ;  $\tau_{xy} \leftarrow b$ ;  $\sigma_{np} \leftarrow c$ . 5. Индикация — 1 (2, 3, 4, 5), означает, что не выполнено соответствующее условие по формулам (3.14) ... (3.18). Для продолжения счета — С/П.

Предусмотрены многократные изменения  $M_1$  и  $Q_1$  и определение напряжений по формулам (3.17) и (3.18). Для выхода из цикла — В/О.

**Контрольный пример.**  $510\ 000 \rightarrow 0$ ;  $13\ 600 \rightarrow 1$ ;  $4880 \rightarrow 2$ ;  $1 \rightarrow 3$ ;  $15 \rightarrow 4$ ;  $10 \rightarrow 5$ ;  $115 \rightarrow 6$ ;  $280\ 000 \rightarrow 7$ ;  $930 \rightarrow 8$ ;  $21 \rightarrow 9$ ;  $15,4 \rightarrow a$ .  $150\ 000 \rightarrow 7$ ;  $930 \rightarrow 8$ .

**Результат:**  $\sigma = 20,3$ ;  $\tau = 8,90$ ;  $\sigma_{loc} = 0,667$ ;  $\tau_{xy} = 8,09$ ;  $\sigma_{np} = 21,7$ .

**Время счета:** 12 с.

### Программа 4.15

#### Определение коэффициентов $c$ для проверки прочности изгибающего элемента с учетом развития пластических деформаций

2	$x\Pi 0$	$\Pi x2$	$\Pi x3$	/	$x\Pi 6$	C/П	ПП	62	$k\Pi x0$
$Fx \neq 0$	53	$\Pi x5$	2	/	$\Pi x1$	$\Pi x3$	/	$x\Pi 9$	—
$Fx \geq 0$	28	$\Pi x7$	$x\Pi 8$	ПП	77	BП	53	$\Pi x9$	$\Pi x5$
/	$Fx^2$	$x\Pi 9$	1	↔	—	1	$\Pi x4$	$\Pi x9$	×
/	$F\sqrt{}$	$\Pi x7$	×	—	1	.	0	5	×
$x\Pi 8$	ПП	77	$\Pi x7$	C/П	1	+	2	/	C/П
БП	02	$\Pi xd$	$\Pi xc$	—	$\Pi xb$	$\Pi x a$	—	/	$\Pi x6$
$\Pi x a$	—	×	$\Pi xc$	+	$x\Pi 7$	B/O	$\Pi x8$	$\Pi x7$	—
$Fx \geq 0$	84	$\Pi x7$	$x\Pi b$	1	$\Pi x8$	—	$Fx \geq 0$	91	1
$x\Pi 8$	$\Pi x8$	C/П	B/O						

**Инструкция.** Ввод  $Q \rightarrow 1$ ;  $A_f \rightarrow 2$ ;  $A_w \rightarrow 3$ ;  $\alpha \rightarrow 4$ ;  $R_s \rightarrow 5$ . В/О С/П. Индикация —  $A_f/A_w$ . Ввод  $x_1 \rightarrow a$ ;  $x_2 \rightarrow b$ ;  $y_1 \rightarrow c$ ;  $y_2 \rightarrow d$  (по табл. 66 [11]). С/П. Индикация —  $c_1$ . С/П. Индикация —  $c_x$ . С/П. Индикация —  $c_{xm}$ . С/П. Индикация —  $A_f/A_w$ . Ввод  $y_3 \rightarrow c$ ;  $y_4 \rightarrow d$  (по табл. 66 [11]). С/П. Индикация —  $c_y$ . С/П. Индикация —  $c_{ym}$ .

\* Исходные данные не затираются.

**Контрольный пример.** 1.  $1800 \rightarrow 1$ ;  $72 \rightarrow 2$ ;  $180 \rightarrow 3$ ;  $0,7 \rightarrow 4$ ;  $21 \rightarrow 5$ .  $0,25 \rightarrow \rightarrow a$ ;  $0,5 \rightarrow b$ ;  $1,19 \rightarrow c$ ;  $1,12 \rightarrow d$ .  $1,47 \rightarrow c$ ;  $1,47 \rightarrow d$ .

**Результат:**  $c_1 = 1,148$ ;  $c_x = 1,148$ ;  $c_{xm} = 1,074$ ;  $A_f/A_w = 0,4$ ;  $c_y = 1,47$ ;  $c_{ym} = 1,235$ .

*Время счета:* 31 с.

2. Аналогично п. 1, кроме  $2500 \rightarrow 1$ .

**Результат:**  $c_1 = 1,085$ ;  $c_x = 1,148$ ;  $c_{xm} = 1,074$ ;  $A_f/A_w = 0,4$ ;  $c_y = 1,47$ ;  $c_{ym} = 1,235$ .

*Время счета:* 35 с.

### Программа 4.16

**Определение геометрических характеристик двутаврового составного симметричного сечения**

$\Pi_{xa}$	$\Pi_{xb}$	$\times$	2	$\times$	$\Pi_{xc}$	$\Pi_{xd}$	$\times$	+	$x\Pi_0$
$\Pi_{xc}$	$\Pi_{xb}$	+	$Fx^2$	$\Pi_{xa}$	$\times$	$\Pi_{xb}$	$\times$	2	/
$\Pi_{xc}$	$\Pi_{xc}$	$Fx^2$	$\times$	$\Pi_{xd}$	$\times$	1	2	/	+
$x\Pi_1$	$\Pi_{xc}$	2	/	$\Pi_{xb}$	+	$\Pi_{xl}$	$\leftrightarrow$	/	$x\Pi_3$
$\Pi_{xa}$	$\Pi_{xa}$	$Fx^2$	$\times$	$\Pi_{xb}$	$\times$	6	/	$x\Pi_2$	$\Pi_{xa}$
/	2	$\times$	$x\Pi_4$	$\Pi_{xc}$	$\Pi_{xb}$	+	2	/	$\Pi_{xa}$
$\times$	$\Pi_{xb}$	$\times$	$\Pi_{xd}$	$\Pi_{xc}$	$Fx^2$	$\times$	8	/	+
$x\Pi_5$	$\Pi_{xl}$	$\Pi_{x0}$	/	$F\checkmark$	$x\Pi_6$	$\Pi_{x2}$	$\Pi_{x0}$	/	$F\checkmark$
$x\Pi_7$	$\Pi_{xa}$	$Fx^2$	$\Pi_{xb}$	$\times$	8	/	$\Pi_{xc}$	$\Pi_{xd}$	$Fx^2$
$\times$	8	/	+	$x\Pi_8$	C/P				

**Инструкция.** Ввод  $b_f \rightarrow a$ ;  $t_f \rightarrow b$ ;  $h_w \rightarrow c$ ;  $t_w \rightarrow d$ . В/О С/П. Индикация —  $S_y$ ;  $A \leftarrow 0$ ;  $I_x \leftarrow 1$ ;  $I_y \leftarrow 2$ ;  $W_x \leftarrow 3$ ;  $W_y \leftarrow 4$ ;  $S_x \leftarrow 5$ ;  $i_x \leftarrow 6$ ;  $i_y \leftarrow 7$ ;  $S_y \leftarrow 8$ .

**Контрольный пример.**  $20 \rightarrow a$ ;  $1 \rightarrow b$ ;  $30 \rightarrow c$ ;  $0,8 \rightarrow d$ .

**Результат:**  $S_y = 52,4$ ;  $A = 64$ ;  $I_x = 11\,410$ ;  $I_y = 1333$ ;  $W_x = 713$ ;  $W_y = 133$ ;  $S_x = 400$ ;  $i_x = 13,4$ ;  $i_y = 4,56$ .

*Время счета:* 27 с.

### Программа 4.17

**Определение геометрических характеристик коробчатого составного сечения**

$\Pi_{xa}$	$\Pi_{xb}$	$\times$	$\Pi_{xc}$	$\Pi_{xd}$	$\times$	+	2	$\times$	$x\Pi_0$
3	$\Pi_{xa}$	$Fx^Y$	$\Pi_{xb}$	$\times$	$\Pi_{xd}$	$\Pi_{xd}$	$Fx^2$	$\times$	$\Pi_{xc}$
$\times$	+	6	/	$\Pi_{xa}$	$\Pi_{xd}$	+	$Fx^2$	2	/
$\Pi_{xd}$	$\times$	$\Pi_{xc}$	$\times$	+	$x\Pi_1$	3	$\Pi_{xc}$	$Fx^Y$	$\Pi_{xd}$
$\times$	$\Pi_{xb}$	$\Pi_{xb}$	$Fx^2$	$\times$	$\Pi_{xa}$	$\times$	6	/	
$\Pi_{xc}$	$\Pi_{xb}$	—	2	/	$\Pi_{x9}$	—	$Fx^2$	$\Pi_{xb}$	$\times$
$\Pi_{xa}$	$\times$	2	$\times$	+	$x\Pi_2$	$\Pi_{x0}$	/	$F\checkmark$	$x\Pi_4$
$\Pi_{xl}$	$\Pi_{x0}$	/	$F\checkmark$	$x\Pi_3$	$\Pi_{xl}$	$\Pi_{xa}$	2	/	$\Pi_{xd}$
+	/	$x\Pi_5$	$\Pi_{x2}$	$\Pi_{xc}$	2	/	/	$x\Pi_6$	C/P

**Инструкция.** Ввод  $\delta \rightarrow 9$ ;  $h_w \rightarrow a$ ;  $t_w \rightarrow b$ ;  $b_f \rightarrow c$ ;  $t_f \rightarrow d$ . В/О С/П. Индикация —  $W_y$ ;  $A \leftarrow 0$ ;  $I_x \leftarrow 1$ ;  $I_y \leftarrow 2$ ;  $i_x \leftarrow 3$ ;  $i_y \leftarrow 4$ ;  $W_x \leftarrow 5$ ;  $W_y \leftarrow 6$ .

**Контрольный пример.**  $2 \rightarrow 9$ ;  $40 \rightarrow a$ ;  $2 \rightarrow b$ ;  $40 \rightarrow c$ ;  $2 \rightarrow d$ .

**Результат:**  $A = 320$ ;  $I_x = 91\,950$ ;  $I_y = 67\,630$ ;  $i_x = 17,0$ ;  $i_y = 14,5$ ;  $W_x = 4179$ ;  $W_y = 3381$ .

*Время счета:* 29 с.

### Программа 4.18

**Проверка общей устойчивости балки из симметричного прокатного двутавра**

$\Pi_{x4}$	$\Pi_{x5}$	/	$Fx^2$	$\Pi_{x3}$	$\times$	$\Pi_{x2}$	/	1	.
5	4	$\times$	C/P	$\Pi_{x7}$	$\times$	$\Pi_{x9}$	/	$\Pi_{x2}$	.
$\Pi_{x1}$	/	$\Pi_{x5}$	$\Pi_{x4}$	/	$Fx^2$	$\times$	$x\Pi_a$	0	.
8	5	—	$Fx \geqslant 0$	47	0	.	2	1	$\Pi_{xa}$

$$\begin{array}{ccccccccc} \times & 0 & \cdot & 6 & 8 & + & x_{\text{Па}} & 1 & - \\ 53 & 1 & x_{\text{Па}} & \text{Пхб} & \text{Пх1} & \text{Пх5} & 2 & / & Fx \geqslant 0 \\ \text{Пха} & / & x_{\text{П9}} & \text{С/П} & & & & & \end{array}$$

**Инструкция.** Ввод  $I_x \rightarrow 1$ ;  $I_y \rightarrow 2$ ;  $I_t \rightarrow 3$ ;  $l_{ef} \rightarrow 4$ ;  $h \rightarrow 5$ ;  $M \rightarrow 6$ ;  $E \rightarrow 7$ ;  $R_y \rightarrow 8$ . В/О С/П. Индикация —  $\alpha$ . Ввод  $\psi \rightarrow X$  (по табл. 77 и 78 [11]). С/П. Индикация —  $\sigma$ ;  $\Phi_b \leftarrow a$ ;  $\sigma \leftarrow 9$ . При определении коэффициента  $\psi$  по табл. 72 [11] можно использовать регистры стека и адресуемые регистры  $b$ ,  $c$ ,  $d$ .

**Контрольный пример.**  $76\ 800 \rightarrow 1$ ;  $1725 \rightarrow 2$ ;  $140 \rightarrow 3$ ;  $900 \rightarrow 4$ ;  $60 \rightarrow 5$ ;  $30\ 000 \rightarrow 6$ ;  $20\ 600 \rightarrow 7$ ;  $21 \rightarrow 8$ ;  $3,8497 \rightarrow X$ .

**Результат:**  $\alpha = 28,12$ ;  $\sigma = 31,09$ ;  $\Phi_b = 0,377$ .  
Время счета: 16 с.

### Программа 4.19

Проверка общей устойчивости балки из сварного составного двутавра

$$\begin{array}{ccccccccc} \text{Пх4} & \text{Пх7} & \times & \text{Пх8} & / & \text{Пх6} & / & Fx^2 & 8 & \times \\ \text{Пх8} & 2 & / & \text{Пх5} & \text{Пх5} & Fx^2 & \times & \times & \text{Пхб} & / \\ \text{Пх7} & \text{Пх7} & Fx^2 & \times & / & 1 & + & \times & \text{С/П} & \text{Пх2} \\ \times & \text{Пх1} & / & \text{Пха} & \times & \text{Пхб} & / & \text{Пх8} & \text{Пх4} & / \\ Fx^2 & \times & x_{\text{П0}} & 0 & . & 8 & 5 & — & Fx \geqslant 0 & 68 \\ 0 & . & 2 & 1 & \text{Пх0} & \times & 0 & . & 6 & 8 \\ + & x_{\text{П0}} & 1 & — & Fx \geqslant 0 & 68 & 1 & x_{\text{П0}} & \text{Пх9} & \text{Пх0} \\ / & \text{Пх1} & / & 2 & / & \text{Пх3} & \times & x_{\text{Пс}} & \text{С/П} & \end{array}$$

**Инструкция.** Ввод  $I_x \rightarrow 1$ ;  $I_y \rightarrow 2$ ;  $h \rightarrow 3$ ;  $l_{ef} \rightarrow 4$ ;  $t_w \rightarrow 5$ ;  $b_f \rightarrow 6$ ;  $t_f \rightarrow 7$ ;  $h_1 \rightarrow 8$ ;  $M \rightarrow 9$ ;  $E \rightarrow a$ ;  $R_y \rightarrow b$ . В/О С/П. Индикация —  $\alpha$ . Ввод  $\psi \rightarrow X$  (по табл. 77 и 78 [11]). С/П. Индикация —  $\sigma$ ;  $\Phi_b \leftarrow 0$ ;  $\sigma \leftarrow c$ .

При подсчете  $\psi$  можно использовать регистры стека и адресуемые регистры  $c$ ,  $d$ .

**Контрольный пример.**  $846\ 525 \rightarrow 1$ ;  $27\ 356 \rightarrow 2$ ;  $128,6 \rightarrow 3$ ;  $1500 \rightarrow 4$ ;  $1,2 \rightarrow 5$ ;  $45 \rightarrow 6$ ;  $1,8 \rightarrow 7$ ;  $126,8 \rightarrow 8$ ;  $100\ 000 \rightarrow 9$ ;  $20\ 600 \rightarrow a$ ;  $21 \rightarrow b$ ;  $1,803 \rightarrow X$ .

**Результат:**  $\alpha = 2,539$ ;  $\sigma = 18,60$ ;  $\Phi_b = 0,408$ .  
Время счета: 24 с.

### Программа 4.20

Проверка устойчивости стенок балок, укрепленных только поперечными основными ребрами жесткости при  $\sigma_{loc} = 0$ .

$$\begin{array}{ccccccccc} \text{Пх5} & \times & \text{Пх3} & / & \text{Пх6} & \text{Пх4} & / & B \uparrow & Fx^2 & \times \\ \times & \text{С/П} & \text{Пх9} & \times & \text{Пх3} & \text{Пх4} & / & \text{Пх9} & \text{Пха} & / \\ Fy & \times & Fx^2 & / & \text{Пх0} & \text{Пх2} & / & \text{Пх3} & \times & 2 \\ \leftrightarrow & / & Fx^2 & x_{\text{Пd}} & \text{Пх3} & \text{Пх8} & — & Fx \geqslant 0 & 46 \\ \text{Пх3} & x_{\text{Пb}} & \text{Пх8} & \text{Пхc} & \text{БП} & 50 & \text{Пх3} & x_{\text{Пc}} & \text{Пх8} & x_{\text{Пb}} \\ 0 & . & 7 & 6 & \text{Пхb} & \text{Пхc} & / & Fx^2 & / & 1 \\ + & 1 & 0 & . & 3 & \times & \text{Пх7} & \times & \text{Пх9} & \text{Пхa} \\ / & Fy & \text{Пхc} & \times & \text{Пх4} & / & Fx^2 & / & \text{Пх1} & \text{Пх3} \\ / & \text{Пх4} & / & \leftrightarrow & / & Fx^2 & \text{Пхd} & + & Fy & x_{\text{Пd}} \\ \text{С/П} & & & & & & & & & \end{array}$$

**Инструкция.** Ввод  $M \rightarrow 0$ ;  $Q \rightarrow 1$ ;  $I_x \rightarrow 2$ ;  $h_w \rightarrow 3$ ;  $t_w \rightarrow 4$ ;  $b_f \rightarrow 5$ ;  $t_f \rightarrow 6$ ;  $R_s \rightarrow 7$ ;  $a \rightarrow 8$ ;  $R_y \rightarrow 9$ ;  $E \rightarrow a$ ;  $\beta \rightarrow X$ . В/О С/П. Индикация —  $\delta$ . Ввод  $c_{cr} \rightarrow X$  (табл. 21 [11]). С/П. Индикация —  $m$ . При подсчете  $c_{cr}$  можно использовать регистры стека и адресуемые регистры  $c$ ,  $b$ .

**Контрольный пример.**  $125\ 000 \rightarrow 0$ ;  $400 \rightarrow 1$ ;  $400\ 000 \rightarrow 2$ ;  $100 \rightarrow 3$ ;  $0,8 \rightarrow 4$ ;  $40 \rightarrow 5$ ;  $1,6 \rightarrow 6$ ;  $21 \rightarrow 7$ ;  $200 \rightarrow 8$ ;  $21 \rightarrow 9$ ;  $20\ 600 \rightarrow a$ ;  $0,8 \rightarrow X$ ;  $33,664 \rightarrow X$ .

**Результат:**  $\delta = 2,56$ ;  $m = 0,4687$ .  
Время счета: 27 с.

### Программа 4.21

Проверка устойчивости стенок балок с учетом развития пластических деформаций

Пх0	Пх1	/	$x_{Pc}$	2	.	5	—	$F_x \geq 0$	14
1	1	1	С/П	Пх5	Пх7	/	$F\sqrt{ }$	Пх2	×
Пх3	/	$x_{Pd}$	2	.	2	—	$F_x < 0$	33	2
2	2	С/П	6	Пхд	—	$F_x^2 < 0$	40	БП	29
Пхд	2	.	2	—	$F_x^2$	8	5	ВП	4
/—/	×	/—/	Пх9	Пхб	/	Пх3	/	Пх6	/
$Fx^2$	0	.	1	5	×	—	0	.	2
4	+	Пхс	+	Пх3	×	Пх2	$Fx^2$	×	Пх5
×	Пх4	×	$x_{Pd}$	Пх8	—	$F_x \geq 0$	92	Пхд	Пх8
/	С/П	5	5	5	5	С/П			

**Инструкция.** Ввод  $A_f \rightarrow 0$ ;  $A_w \rightarrow 1$ ;  $h_w \rightarrow 2$ ;  $t_w \rightarrow 3$ ;  $\gamma_c \rightarrow 4$ ;  $R_y \rightarrow 5$ ;  $R_s \rightarrow 6$ ;  $E \rightarrow 7$ ;  $M \rightarrow 8$ ;  $Q \rightarrow 9$ ;  $I \rightarrow a$ ;  $h \rightarrow b$ . В/О С/П. Индикация —  $k = [M]/M$ .  $[M] \leftarrow d$ . Индикация — 111, означает, что  $A_f/A_w < 0,25$  ( $A_f/A_w \leftarrow c$ ). Индикация — 222, означает, что  $\bar{\lambda}_w > 6$  или  $\bar{\lambda}_w < 2,2$  ( $\bar{\lambda}_w \leftarrow d$ ). Индикация — 5555, означает, что устойчивость не обеспечена ( $M > [M]$ ).

**Контрольный пример.**  $100 \rightarrow 0$ ;  $80 \rightarrow 1$ ;  $100 \rightarrow 2$ ;  $0,8 \rightarrow 3$ ;  $1 \rightarrow 4$ ;  $21 \rightarrow 5$ ;  $21 \rightarrow 6$ ;  $20\ 600 \rightarrow 7$ ;  $100\ 000 \rightarrow 8$ ;  $800 \rightarrow 9$ ;  $600\ 000 \rightarrow a$ ;  $100 \rightarrow b$ .

**Результат:**  $k = 2,4$ ;  $[M] = 240\ 000$ .

**Время счета:** 21 с.

### Программа 4.22

Проверка устойчивости стенок балок, укрепленных только поперечными основными ребрами жесткости при  $\sigma_{loc} \neq 0$

Пх0	Пх3	/	Пх4	×	2	/	Пх7	/	Пх2
Пхб	×	Пх5	/	Пх6	/	Пх8	/	+	$Fx^2$
Пх1	Пх4	/	Пх5	/	Пх9	/	$Fx^2$	+	$F\sqrt{ }$
$x_{Pc}$	Пха	↔	—	$Fx \geq 0$	42	2	2	2	С/П
Пхс	С/П	9	9	9	С/П	Пхс	С/П		

**Инструкция.** 1. Ввод  $M \rightarrow 0$ ;  $Q \rightarrow 1$ ;  $F \rightarrow 2$ ;  $I_x \rightarrow 3$ ;  $h_{ef} \rightarrow 4$ ;  $t_w \rightarrow 5$ ;  $I_{ef} \rightarrow 6$ ;  $\sigma_{cr} \rightarrow 7$ ;  $\sigma_{loc,cr} \rightarrow 8$ ;  $\tau_{cr} \rightarrow 9$ ;  $\gamma_c \rightarrow a$ ;  $\gamma_f \rightarrow b$ . 2. В/О С/П. 3. Индикация — 222, означает, что  $m \leq \gamma_c$ . 4. С/П. 5. Индикация —  $m$ . 3. Индикация — 999, означает, что  $m > \gamma_c$ . 4. С/П. 5. Индикация —  $m$ .

**Контрольный пример.**  $169\ 200 \rightarrow 0$ ;  $1000 \rightarrow 1$ ;  $100 \rightarrow 2$ ;  $470\ 000 \rightarrow 3$ ;  $100 \rightarrow 4$ ;  $1 \rightarrow 5$ ;  $18 \rightarrow 6$ ;  $35 \rightarrow 7$ ;  $20 \rightarrow 8$ ;  $26 \rightarrow 9$ ;  $0,95 \rightarrow a$ ;  $1(1,1) \rightarrow b$ .

**Результат:** 222;  $m = 0,88$  (0,905).

**Время счета:** 8 с.

### Программа 4.23

Определение критических напряжений  $\sigma_{cr}$  и  $\sigma_{loc,cr}$  при  $a/h_{ef} \leq 0,8$

Пх2	×	Пх0	/	Пх3	Пх4	/	$B \uparrow$	$Fx^2$	×
×	$x_{P9}$	С/П	ПП	60	Пх5	×	Пх5	Пх5	/
$F\sqrt{ }$	Пх0	×	Пх4	—	$Fx^2$	/	С/П	Пх1	Пх0
	$x_{P8}$	С/П	ПП	60	$x_{P3}$	С/П	ПП	60	$x_{Pd}$
Пх3	$x_{Pc}$	Пх8	$x_{P9}$	С/П	ПП	60	Пх5	×	Пх5
Пх7	/	$F\sqrt{ }$	Пх1	×	Пх4	/	$Fx^2$	/	С/П
Пхд	Пхс	—	Пхб	Пха	—	/	Пх9	Пха	—
×	Пхс	+	В/О						

**Инструкция.** Ввод  $h_{ef} \rightarrow 0$ ;  $a \rightarrow 1$ ;  $b_f \rightarrow 2$ ;  $t_f \rightarrow 3$ ;  $t_w \rightarrow 4$ ;  $R_y \rightarrow 5$ ;  $E \rightarrow 7$ ;  $\beta \rightarrow X$ . В/О С/П. Индикация —  $\delta$ . Ввод  $\delta_1 \rightarrow a$ ;  $\delta_2 \rightarrow b$ ;  $c_{cr1} \rightarrow c$ ;  $c_{cr2} \rightarrow d$  (по табл. 21 [11]). С/П. Индикация —  $\sigma_{cr}$ . С/П. Индикация —  $n$ . Ввод  $\delta_1 \rightarrow a$ ;  $\delta_2 \rightarrow b$ ;  $x_{11} \rightarrow c$ ;  $x_{21} \rightarrow d$  (по табл. 23 [11]). С/П. Ввод  $x_{12} \rightarrow c$ ;  $x_{22} \rightarrow d$  (по табл. 23 [11]). С/П. Индикация —  $n$ . Ввод  $n_1 \rightarrow a$ ;  $n_2 \rightarrow b$  (по табл. 23 [11]). С/П. Индикация —  $\sigma_{loc,cr}$ .

**Контрольный пример.**  $100 \rightarrow 0; 80 \rightarrow 1; 30 \rightarrow 2; 2 \rightarrow 3; 1 \rightarrow 4; 21 \rightarrow 5;$   
 $20\ 600 \rightarrow 7; 2 \rightarrow X; 4 \rightarrow a; 6 \rightarrow b; 34,6 \rightarrow c; 34,8 \rightarrow d. 4 \rightarrow a; 6 \rightarrow b; 13,3 \rightarrow c;$   
 $13,5 \rightarrow d; 16,6 \rightarrow c; 16,8 \rightarrow d; 0,6 \rightarrow a; 0,8 \rightarrow b.$

**Результат:**  $\delta = 4,8; \sigma_{cr} = 71,44; n = 0,8; \sigma_{loc,cr} = 53,69.$

**Время счета:** 21 с.

### Программа 4.24

Определение критических напряжений  $\tau_{cr}$  и предельных отношений  $[\sigma_{loc}/\sigma]$

$x\Pi d$	$\Pi x0$	$\Pi x1$	/	$x\Pi d$	—	$Fx \geq 0$	11	$\Pi xd$	$F1/x$
.	$\Pi x1$	$x\Pi c$	$\Pi x0$	$\Pi xd$	$Fx^2$	$Fx \geq 0$	19	$\Pi x0$	$x\Pi c$
.	7	6	$\Pi xd$	$Fx^2$	/	1	+	1	0
.	3	$\times$	$\Pi x6$	$\times$	$\Pi x5$	$\Pi x7$	/	$F\sqrt{ }$	$\Pi xc$
$\times$	$\Pi x4$	/	$Fx^2$	/	$C/\Pi$	$\Pi x2$	$\times$	$\Pi x0$	/
$\Pi x3$	$\Pi x4$	/	$B \uparrow$	$Fx^2$	$\times$	$\times$	$x\Pi 9$	$C/\Pi$	$\Pi x1$
$\Pi x0$	/	$x\Pi 8$	$C/\Pi$	$\Pi \Pi$	79	$x\Pi 4$	$C/\Pi$	$\Pi \Pi$	79
$x\Pi d$	$\Pi x4$	$x\Pi c$	$\Pi x8$	$x\Pi 9$	$C/\Pi$	$\Pi \Pi$	79	$C/\Pi$	$\Pi xd$
$\Pi xc$	—	$\Pi xb$	$\Pi xa$	—	/	$\Pi x9$	$\Pi xa$	—	$\times$
$\Pi xc$	+	B/O							

**Инструкция.** Ввод  $h_{ef} \rightarrow 0; a \rightarrow 1; b_f \rightarrow 2; t_f \rightarrow 3; t_w \rightarrow 4; R_y \rightarrow 5; R_s \rightarrow 6; E \rightarrow 7$ . В/О С/П. Индикация —  $\tau_{cr}$ . Ввод  $\beta \rightarrow X$ . С/П. Индикация —  $\delta$ . С/П. Индикация —  $n$ . Ввод  $\delta_1 \rightarrow a; \delta_2 \rightarrow b; x_{11} \rightarrow c; x_{21} \rightarrow d$  (из табл. 24 [11]). С/П. Ввод  $x_{12} \rightarrow c; x_{22} \rightarrow d$  (из табл. 24 [11]). С/П. Ввод  $n_1 \rightarrow a; n_2 \rightarrow b$  (из табл. 24 [11]). С/П. Индикация —  $[\sigma_{loc}/\sigma]$ .

**Контрольный пример.**  $100 \rightarrow 0; 150 \rightarrow 1; 30 \rightarrow 2; 2 \rightarrow 3; 1 \rightarrow 4; 21 \rightarrow 5; 13 \rightarrow 6; 20\ 600 \rightarrow 7; 2 \rightarrow X; 4 \rightarrow a; 5 \rightarrow b; 0,479 \rightarrow c; 0,536 \rightarrow d; 0,711 \rightarrow c; 0,874 \rightarrow d; 1,4 \rightarrow a; 1,6 \rightarrow b$ .

**Результат:**  $\tau_{cr} = 17,5, \delta = 4,8; n = 1,5, [\sigma_{loc}/\sigma] = 0,683$ .

**Время счета:** 23 с.

### Программа 4.25

Определение критических напряжений  $\sigma_{cr}$  при  $a/h_{ef} > 0,8$

$\Pi x6$	$Fx = 0$	22	$\Pi x1$	$\Pi x0$	/	$x\Pi 9$	$C/\Pi$	$\Pi \Pi$	40
$\Pi x5$	$\times$	$\Pi x5$	$\Pi x7$	/	$F\sqrt{ }$	$\Pi x0$	$\times$	$\Pi x4$	/
$Fx^2$	/	$C/\Pi$	$\Pi x3$	$\Pi x4$	$B \uparrow$	$Fx^2$	$\times$	$\Pi x2$	
$\times$	$\Pi x0$	/	$\times$	$x\Pi 9$	$C/\Pi$	$\Pi \Pi$	40	$B\Pi$	10
$\Pi xd$	$\Pi xc$	—	$\Pi xb$	$\Pi xa$	—	/	$\Pi x9$	$\Pi xa$	—
$\times$	$\Pi xc$	+	B/O						

**Инструкция.** 1. Код = 0. Ввод  $h_{ef} \rightarrow 0; a \rightarrow 1; b_f \rightarrow 2; t_f \rightarrow 3; t_w \rightarrow 4; R_y \rightarrow 5; 0 \rightarrow 6; 7$ . В/О С/П. Индикация —  $n = a/h_{ef}$ . Ввод  $n_1 \rightarrow a; n_2 \rightarrow b; c_{21} \rightarrow c; c_{22} \rightarrow d$  (по табл. 25 [11]). С/П. Индикация —  $\sigma_{cr}$ .

2. Код = 1. Ввод  $h_{ef} \rightarrow 0; a \rightarrow 1; b_f \rightarrow 2; t_f \rightarrow 3; t_w \rightarrow 4; R_y \rightarrow 5; 1 \rightarrow 6; E \rightarrow 7$ ; В/О С/П. Индикация — 1. Ввод  $\beta \rightarrow X$  (по табл. 22 [11]). С/П. Индикация —  $\delta$ . Ввод  $\delta_1 \rightarrow a; \delta_2 \rightarrow b; c_{cr1} \rightarrow c; c_{cr2} \rightarrow d$  (по табл. 21 [11]). С/П. Индикация —  $\sigma_{cr}$ .

**Контрольный пример.** 1.  $100 \rightarrow 0; 150 \rightarrow 1; 30 \rightarrow 2; 2 \rightarrow 3; 1 \rightarrow 4; 21 \rightarrow 5; 0 \rightarrow 6; 20\ 600 \rightarrow 7. 1,4 \rightarrow a; 1,6 \rightarrow b; 52,8 \rightarrow c; 62 \rightarrow d$ .

**Результат:**  $n = 1,5; \sigma_{cr} = 118$ .

**Время счета:** 14 с.

2. Аналогично п. 1, кроме  $1 \rightarrow 6; 2 \rightarrow X; 4 \rightarrow a; 6 \rightarrow b; 34,6 \rightarrow c; 34,8 \rightarrow d$ .

**Результат:**  $\delta = 4,8; \sigma_{cr} = 71,4$ .

**Время счета:** 14 с.

### Программа 4.26

Определение критических напряжений  $\sigma_{loc,cr}$  при  $a/h_{ef} > 0,8$

Пх3 С/П 25	Пх4 Х Пх8	/ Х 2	В↑ С/П 80 ХПа	Fx <sup>2</sup> /	Х Пх0 ХП18 Пх3 БП Пх1 2	Пх2 /	Х Пх8 Пх3 Пх0 58 /	Пх0 ПП 80 ХП13 ХП6 2 Х Пх1 —	Пх0 ПП 80 ХП13 ПП —	/ Х Пх6 Пх6 Пх1 Пх5 Пх7 Пх9 Пх9	Fx ≠ 0 — — — — — — —
$Fx \geq 0$	55	Пх1	БП	60	Пх0	2	Х	ХПб	Пх6	—	—
$Fx \neq 0$	66	Пх1	2	/	ХПб	Пх5	Пх5	Пх7	—	—	—
$F\sqrt{}$	Пхb	Х	Пх4	/	$Fx^2$	/	Пхa	Х	С/П	—	—
Пхd	Пхс	—	Пхb	Пхa	—	/	Пхa	Х	С/П	—	—
Х	Пхс	+	В/О				Пхa	Х	С/П	—	—

**Инструкция.** Ввод  $h_{ef} \rightarrow 0$ ;  $a \rightarrow 1$ ;  $b_f \rightarrow 2$ ;  $t_f \rightarrow 3$ ;  $t_w \rightarrow 4$ ;  $R_y \rightarrow 5$ ; код  $\rightarrow 6$ ;  $E \rightarrow 7$ . В/О С/П. Ввод  $\beta \rightarrow X$  (из табл. 22 [11]). С/П. Индикация — δ. С/П. Индикация —  $n = a/h_{ef}$ . Ввод  $\delta_1 \rightarrow a$ ;  $\delta_2 \rightarrow b$ ;  $x_{11} \rightarrow c$ ;  $x_{21} \rightarrow d$  (по табл. 23 [11]). С/П. Ввод  $x_{12} \rightarrow c$ ;  $x_{22} \rightarrow d$  (по табл. 23 [11]). С/П. Ввод  $n_1 \rightarrow a$ ;  $n_2 \rightarrow b$  (по табл. 23 [11]). С/П. Индикация —  $\sigma_{loc,cr}$ .

**Контрольный пример.** 1.  $100 \rightarrow 0$ ;  $150 \rightarrow 1$ ;  $30 \rightarrow 2$ ;  $2 \rightarrow 3$ ;  $1 \rightarrow 4$ ;  $21 \rightarrow 5$ ;  $0 \rightarrow 6$ ;  $20600 \rightarrow 7$ ;  $2 \rightarrow X$ ;  $4 \rightarrow a$ ;  $6 \rightarrow b$ ;  $36,3 \rightarrow c$ ;  $38,3 \rightarrow d$ ;  $45,2 \rightarrow c$ ;  $48,7 \rightarrow d$ ;  $1,4 \rightarrow a$ ;  $1,6 \rightarrow b$ .

**Результат:**  $\delta = 4,8$ ;  $n = 1,5$ ;  $\sigma_{loc,cr} = 38,32$ .

**Время счета:** 25 с.

2. То же.  $1 \rightarrow 6$ .  $2 \rightarrow X$ ;  $4 \rightarrow a$ ;  $6 \rightarrow b$ ;  $13,3 \rightarrow c$ ;  $13,5 \rightarrow d$ ;  $16,6 \rightarrow c$ ;  $16,8 \rightarrow d$ ;  $0,6 \rightarrow a$ ;  $0,8 \rightarrow b$ .

**Результат:**  $\delta = 4,8$ ;  $n = 0,75$ ;  $\sigma_{loc,cr} = 58,06$ .

**Время счета:** 25 с.

### Программа 4.27

- Проверка устойчивости стенок балок, укрепленных поперечными и продольными ребрами жесткости, при  $\sigma_{loc} = 0$

Пх8 ХПd /	Пх8 /	Пх9 4	/	FV /	Пх5 6	Х Пх2 /	Пх4 1	/	Пх5 Пх3	Fx <sup>2</sup> /
/	/	.	.	7	6	Х Пх3 /	Х Пх3 0	2	.	3
↔	1	XПс Пх7	Пхd	/	1	0	/	Fx <sup>2</sup>	/	/
X	0	.	7	6	Пх6	Пх5	/	/		
1	+	×	Пх1	Пх3	/	Пх4	/	↔	73	Пхa
$Fx^2$	Пхс	+	ХПс	Пхa	↔	—	$Fx \geq 0$	C/П	Пхa	
Пхс	/	C/П	5	5	5	5				

**Инструкция.** Ввод  $M \rightarrow 0$ ;  $Q \rightarrow 1$ ;  $I_x \rightarrow 2$ ;  $h_w \rightarrow 3$ ;  $t_w \rightarrow 4$ ;  $h_1 \rightarrow 5$ ;  $a \rightarrow 6$ ;  $R_s \rightarrow 7$ ;  $R_y \rightarrow 8$ ;  $E \rightarrow 9$ ;  $\gamma_c \rightarrow a$ . В/О С/П. Индикация —  $k = \gamma_c/\gamma_1$ ;  $\gamma_1 \leftarrow c$ . Индикация — 5555, означает, что  $k < 1$ , т. е. устойчивость пластиинки не обеспечена.

**Контрольный пример.** 1.  $100000 \rightarrow 0$ ;  $600 \rightarrow 1$ ;  $300000 \rightarrow 2$ ;  $100 \rightarrow 3$ ;  $0,6 \rightarrow 4$ ;  $30 \rightarrow 5$ ;  $200 \rightarrow 6$ ;  $13 \rightarrow 7$ ;  $21 \rightarrow 8$ ;  $20600 \rightarrow 9$ ;  $1 \rightarrow a$ .

**Результат:**  $k = 3,008$ ;  $\gamma_1 = 0,3325$ .

**Время счета:** 19 с.

2. Аналогично п. 1, кроме  $300000 \rightarrow 0$ ;  $1800 \rightarrow 1$ .

**Результат:** 5555;  $\gamma_1 = 1,207$ .

**Время счета:** 19 с.

### Программа 4.28

Проверка устойчивости стенок балки, укрепленных поперечными и продольными ребрами жесткости, при  $\sigma_{loc} \neq 0$

Пх0 Пх5	Пх3 /	/	Пх4 /	Х Пх6	2	/	Пхb Пх1	/	Пх2 Пх4	/
------------	----------	---	----------	----------	---	---	------------	---	------------	---

$$\begin{array}{ccccccccc} \Pi x_5 & / & \Pi x_d & / & Fx^2 & + & x\Pi a & \Pi x_7 & \leftrightarrow \\ Fx \geqslant 0 & 36 & \Pi x_7 & \Pi x_a & / & C/P & 5 & 5 & 5 \\ C/P & & & & & & & & \end{array}$$

**Инструкция.** Ввод  $M \rightarrow 0$ ;  $Q \rightarrow 1$ ;  $F \rightarrow 2$ ;  $I_x \rightarrow 3$ ;  $h_w \rightarrow 4$ ;  $t_w \rightarrow 5$ ;  $l_{ef} \rightarrow 6$ ;  $\gamma_c \rightarrow 7$ ;  $\sigma_{cr1} \rightarrow b$ ;  $\sigma_{loc,cr1} \rightarrow c$ ;  $\tau_{cr1} \rightarrow d$ . В/О С/П. Индикация —  $k = \gamma_c/\gamma_1$ ;  $\gamma_1 \leftarrow a$ . Индикация — 5555, означает, что  $k < 1$ , т. е. устойчивость пластиинки не обеспечена.

**Контрольный пример.**  $120\ 000 \rightarrow 0$ ;  $800 \rightarrow 1$ ;  $100 \rightarrow 2$ ;  $300\ 000 \rightarrow 3$ ;  $100 \rightarrow 4$ ;  $0,8 \rightarrow 5$ ;  $20 \rightarrow 6$ ;  $1 \rightarrow 7$ ;  $76 \rightarrow b$ ;  $19,2 \rightarrow c$ ;  $89 \rightarrow d$ .

**Результат:**  $k = 1,663$ ;  $\gamma_1 = 0,6013$ .

Время счета: 9 с.

### Программа 4.29

Определение критических напряжений в стенках балок, укрепленных поперечными и продольными ребрами жесткости, при  $\sigma_{loc} \neq 0$

$$\begin{array}{ccccccccc} \Pi x_5 & \Pi x_4 & \Pi x_6 & / & FV & \Pi x_1 & \times & \Pi x_2 & / & Fx^2 \\ / & 1 & 0 & . & 3 & \times & 0 & . & 7 & 6 \\ \Pi x_3 & \Pi x_1 & / & Fx^2 & / & 1 & + & \times & x\Pi d & 2 \\ \Pi x_3 & \Pi x_1 & / & x\Pi 9 & — & Fx < 0 & 39 & 2 & x\Pi 9 & \Pi x_9 \\ \Pi x_9 & F1/x & + & Fx^2 & x\Pi a & \Pi x_4 & \Pi x_4 & \Pi x_6 & / & FV \\ \Pi x_1 & \times & \Pi x_9 & \times & \Pi x_2 & / & Fx^2 & / & \Pi x_a & \times \\ \Pi x_7 & \Pi x_9 & \times & 1 & . & 2 & 4 & + & \times & x\Pi c \\ \Pi x_4 & \Pi x_4 & \Pi x_6 & / & FV & \Pi x_1 & \times & \Pi x_2 & / & Fx^2 \\ / & 1 & . & 1 & 9 & \times & \Pi x_a & \times & 1 & \Pi x_1 \\ \Pi x_0 & / & — & / & x\Pi b & C/P & & & & \end{array}$$

**Инструкция.** Ввод  $h_w \rightarrow 0$ ;  $h_1 \rightarrow 1$ ;  $t_w \rightarrow 2$ ;  $Q \rightarrow 3$ ;  $R_y \rightarrow 4$ ;  $R_s \rightarrow 5$ ;  $E \rightarrow 6$ ; константа  $0,476 \rightarrow 7$ . В/О С/П. Индикация —  $\sigma_{cr1}$ ;  $\sigma_{loc,cr1} \leftarrow c$ ;  $\tau_{cr1} \leftarrow d$ ;  $\sigma_{cr1} \leftarrow b$ .

**Контрольный пример.**  $1. 100 \rightarrow 0$ ;  $30 \rightarrow 1$ ;  $0,6 \rightarrow 2$ ;  $200 \rightarrow 3$ ;  $21 \rightarrow 4$ ;  $13 \rightarrow 5$ ;  $20\ 600 \rightarrow 6$ ;  $0,476 \rightarrow 7$ .

**Результат:**  $\sigma_{cr1} = 87,55$ ;  $\sigma_{loc,cr1} = 28,22$ ;  $\tau_{cr1} = 53,44$ .

Время счета: 26 с.

2. Аналогично п. 1, кроме  $58 \rightarrow 3$ .

**Результат:**  $\sigma_{cr1} = 84,12$ ;  $\sigma_{loc,cr1} = 28,6$ ;  $\tau_{cr1} = 63,22$ .

Время счета: 26 с.

### Программа 4.30

Определение минимальных размеров поперечных ребер жесткости балки

$$\begin{array}{ccccccccc} Fx = 0 & 10 & \Pi x_b & 3 & 0 & / & 4 & + & \text{БП} & 16 \\ \Pi x_b & 2 & 4 & / & 5 & + & C/P & \Pi x_c & \Pi x_d & / \\ FV & \times & 2 & \times & C/P & & & & & \end{array}$$

**Инструкция.** Ввод  $h_w \rightarrow b$ ;  $R_y \rightarrow c$ ;  $E \rightarrow d$ ; код  $\rightarrow X$ . В/О С/П. Индикация —  $b_h$ . Ввод принятой  $b_h \rightarrow X$ . С/П. Индикация —  $t_s$ .

**Контрольный пример.**  $1. 100 \rightarrow b$ ;  $21 \rightarrow c$ ;  $20\ 600 \rightarrow d$ ;  $0 \rightarrow X$ ;  $8 \rightarrow X$ .

**Результат:**  $b_h = 7,33$ ;  $t_s = 0,51$ .

Время счета: 4 с.

2. Аналогично п. 1, кроме  $1 \rightarrow X$ ;  $10 \rightarrow X$ .

**Результат:**  $b_h = 9,17$ ;  $t_s = 0,638$ .

Время счета: 4 с.

### Программа 4.31

Определение размеров поперечных ребер жесткости балки при наличии продольного ребра

$$\begin{array}{ccccccccc} 3 & \Pi x_1 & Fx^3 & \Pi x_0 & \times & 3 & \times & x\Pi 8 & \Pi x_4 & Fx = 0 \\ 19 & \Pi x_0 & 3 & 0 & / & 4 & + & \text{БП} & 25 & \Pi x_0 \\ 2 & 4 & / & 5 & + & x\Pi a & \Pi \Pi & 88 & \Pi \Pi & 51 \end{array}$$

Пх8	Пх9	—	$F_x < 0$	43	1	1	1	С/П	ПП
88	Пхb	С/П	2	2	2	С/П	ПП	51	БП
30	Пх4	$F_x = 0$	69	3	Пхa	2	×	Пх1	+
$F_x^Y$	Пхb	×	1	2	/	хП9	БП	87	3
Пхa	$F_x^Y$	Пхb	×	1	2	/	Пхa	Пхa	$F_x^2$
×	Пхb	×	4	/	+	хП9	В/О	Пх2	Пх3
/	Пхb	2	×	Пхa	×	хПb	В/О		

**Инструкция.** 1. Ввод  $h_w \rightarrow 0$ ;  $t_w \rightarrow 1$ ;  $R_y \rightarrow 2$ ;  $E \rightarrow 3$ ; код  $\rightarrow 4$ . 2. В/О С/П. 3. Индикация — 111, означает, что размеры ребра обеспечивают получение  $I_{s,\text{факт}} \geq I_s$ ;  $b_h \leftarrow a$ ;  $I_s \leftarrow 8$ . 4. Ввод принятой ширины ребра  $b'_h \rightarrow a$ . 5. С/П. 6. Индикация —  $t_s$ . 3. Индикация — 222, означает, что  $I_{s,\text{факт}} < I_s$ ; требуемый момент инерции  $I_s \leftarrow 8$ ;  $I_{s,\text{факт}} \leftarrow 9$ ;  $b_h \leftarrow a$ ;  $t_s \leftarrow b$ . 4. Ввод принятых размеров  $b'_h \rightarrow a$ ;  $t'_s \rightarrow b$ . 5. С/П. 6. Индикация — 111.

**Контрольный пример.** 1.  $100 \rightarrow 0$ ;  $0,6 \rightarrow 1$ ;  $21 \rightarrow 2$ ;  $20\ 600 \rightarrow 3$ ;  $0 \rightarrow 4$ ;  $8 \rightarrow a$ . Результат: 111;  $b_h = 7,33$ ;  $I_s = 64,8$ ;  $t_s = 0,51$ .

Время счета: 24 с.

2. Аналогично п. 1, кроме  $1,2 \rightarrow 1$ ;  $1 \rightarrow 4$ ;  $14 \rightarrow a$ ;  $0,8 \rightarrow b$ ;  $14 \rightarrow a$ .

Результат: 222;  $I_s = 518$ ;  $I_{s,\text{факт}} = 150$ ;  $b_h = 9,17$ ;  $t_s = 0,585$ .

Результат: 111;  $b_h = 14$ ;  $t_s = 0,80$ .

Время счета: 30 с.

### Программа 4.32

**Проверка прочности внецентренно-сжатого стержня, не подвергнутого воздействию динамических нагрузок**

Пх7	Пх8	Пх0	/	Пх3	Пх4	×	хПd	/	$F_x^Y$
Пх9	Пх5	/	Пх1	/	Пхd	/	+	Пхa	Пх6
/	Пх2	/	Пхd	/	+	хПc	1	—	$F_x < 0$
33	Пхc	С/П	3	3	3	3	С/П	ПП	48
хП5	С/П	ПП	48	хП6	С/П	БП	00	Пх8	Пх9
/	хП8	С/П	Пхc	Пхa	—	Пхb	Пх9	—	/
Пх8	Пх9	—	×	Пхa	+	В/О			

**Инструкция.** 1. При известных значениях  $c_x$ ,  $c_y$  и  $n$ . Ввод  $A_n \rightarrow 0$ ;  $W_{xn} \rightarrow 1$ ;  $W_{yn} \rightarrow 2$ ;  $R_y \rightarrow 3$ ;  $\gamma_c \rightarrow 4$ ;  $c_x \rightarrow 5$ ;  $c_y \rightarrow 6$ ;  $n \rightarrow 7$  (по табл. 66 [11]);  $N \rightarrow 8$ ;  $M_x \rightarrow 9$ ;  $M_y \rightarrow a$ . В/О С/П. Индикация —  $m$ . Индикация — 3333, прочность не обеспечена, т. е.  $m > \gamma_c$ ;  $m \leftarrow c$ .

2. При необходимости вычисления  $c_x$ ,  $c_y$  и  $n$ . Ввод  $A_n \rightarrow 0$ ;  $W_{xn} \rightarrow 1$ ;  $W_{yn} \rightarrow 2$ ;  $R_y \rightarrow 3$ ;  $\gamma_c \rightarrow 4$ ;  $A_f \rightarrow 8$ ;  $A_w \rightarrow 9$ . БП 38 С/П. Индикация —  $z = A_f/A_w$ . Ввод  $n \rightarrow 7$ ;  $n_1 \rightarrow 9$ ;  $c_{x1} \rightarrow a$ ;  $n_2 \rightarrow b$ ;  $c_{x2} \rightarrow c$  (по табл. 66 [11]). С/П. Ввод  $A_f \rightarrow 8$ ;  $A_w \rightarrow 9$ ; С/П. Индикация —  $z = A_f/A_w$ . Ввод  $n_1 \rightarrow 9$ ;  $c_{y1} \rightarrow a$ ;  $n_2 \rightarrow b$ ;  $c_{y2} \rightarrow c$  (по табл. 66 [11]). С/П. Индикация —  $m$ . Индикация — 3333, прочность не обеспечена, т. е.  $m > \gamma_c$ ;  $m \leftarrow c$ .

**Контрольный пример.**  $134 \rightarrow 0$ ;  $2250 \rightarrow 1$ ;  $546 \rightarrow 2$ ;  $21 \rightarrow 3$ ;  $1,1 \rightarrow 4$ ;  $1,052 \rightarrow 5$ ;  $1,47 \rightarrow 6$ ;  $1,5 \rightarrow 7$ ;  $700 \rightarrow 8$ ;  $20\ 000 \rightarrow 9$ ;  $1000 \rightarrow a$ .

Результат: 0,527.

Время счета: 11 с.

### Программа 4.33

**Интерполяция табличных значений коэффициентов  $\Phi_e$**

8	хПd	С/П	ПП	17	9	хПd	Пх8	С/П	ПП
17	С/П	Пх8	Пх9	ПП	17	С/П	↔	В↑	В↑
$F \uparrow$	$F \uparrow$	—	Пхb	Пхa	—	×	Пхc	Пхa	—
/	+	XхПd	В/О						

**Инструкция.** Ввод  $\lambda_1 \rightarrow a$ ;  $\bar{\lambda} \rightarrow b$ ;  $\lambda_2 \rightarrow c$ ; В/О С/П. Ввод  $\varphi_1 \rightarrow Y_1$ ;  $\varphi_2 \rightarrow X$  (по табл. 74 или 75 [11]). С/П. Ввод  $\varphi_3 \rightarrow Y$ ;  $\varphi_4 \rightarrow X$  (по табл. 74 или 75 [11]). С/П. Ввод  $m_1 \rightarrow a$ ;  $m_{ef} \rightarrow b$ ;  $m_2 \rightarrow c$ . С/П. Индикация —  $\varphi_e$ .

**Контрольный пример.**  $0,5 \rightarrow a$ ;  $0,75 \rightarrow b$ ;  $1 \rightarrow c$ ;  $538 \rightarrow Y$ ;  $484 \rightarrow X$ ;  $469 \rightarrow Y$ ;  $427 \rightarrow X$ ;  $2 \rightarrow a$ ;  $2,25 \rightarrow b$ ;  $2,5 \rightarrow c$ .

**Результат:**  $\varphi_e = 479,5$  (увеличено в 1000 раз).

**Время счета:** 12 с.

### Программа 4.34

Проверка устойчивости внецентренно-сжатого стержня в плоскости действия момента

Пх5	Пх6	/	Пх0	$\times$	Пх2	/	хП4	Пх7	FY
Пх3	$\times$	Пх1	Пх0	/	FY	/	хП3	хПб	С/П
Пх4	$\times$	xП4	8	xПd	C/П	ПП	50	9	xПd
Пх8	C/П	ПП	50	Пх4	xПb	C/П	xПc	$\leftrightarrow$	xПa
Пх8	Пх9	ПП	50	F1/x	Пх6	$\times$	Пх0	/	C/П
$\leftrightarrow$	B↑	B↑	F↑	F↑	—	Пхb	Пха	—	X
Пхc	Пха	—	/	+	KxПd	B/O	Пх3	Пхb	Пх5
Пх6	/	Пх0	$\times$	Пх2	/	хП4	C/П	БП	23

**Инструкция.** Сплошностенчатое сечение. Ввод  $A \rightarrow 0$ ;  $I \rightarrow 1$ ;  $W_c \rightarrow 2$ ;  $l_{ef} \rightarrow 3$ ;  $M \rightarrow 5$ ;  $N \rightarrow 6$ ;  $R_y/E \rightarrow 7$ . В/О С/П. Индикация —  $\bar{\lambda}$ ;  $m \leftarrow 4$ ;  $\bar{\lambda} \leftarrow 3$ . Ввод  $\eta \rightarrow X$  (по табл. 73 [11]). С/П. Индикация — 8;  $m_{ef} \leftarrow 4$ . Ввод  $\bar{\lambda}_1 \rightarrow a$ ;  $\bar{\lambda}_2 \rightarrow c$ ;  $\varphi_1 \rightarrow Y$ ;  $\varphi_2 \rightarrow X$  (по табл. 74 [11]). С/П. Ввод  $\varphi_3 \rightarrow Y$ ;  $\varphi_4 \rightarrow X$  (по табл. 74 [11]). С/П. Ввод  $m_1 \rightarrow Y$ ;  $m_2 \rightarrow X$  (по табл. 74 [11]). С/П. Индикация —  $\sigma$ ;  $\varphi_e \leftarrow 9$ .

Сквозное сечение. Ввод по п. 1, кроме  $\bar{\lambda}_{ef} \rightarrow 3$ . БП 67 С/П. Индикация —  $m$ . С/П. Индикация — 8.  $\lambda_1 \rightarrow a$ ;  $\lambda_2 \rightarrow c$ ;  $\varphi_1 \rightarrow Y$ ;  $\varphi_2 \rightarrow X$  (по табл. 75 [11]). С/П. Ввод  $\varphi_3 \rightarrow Y$ ;  $\varphi_4 \rightarrow X$  (по табл. 75 [11]). С/П. Ввод  $m_1 \rightarrow Y$ ;  $m_2 \rightarrow X$  (по табл. 75 [11]). С/П. Индикация —  $\sigma$ ;  $\varphi_e \leftarrow 9$ .

**Контрольный пример.** Сплошностенчатое сечение.  $102 \rightarrow 0$ ;  $21\ 138 \rightarrow 1$ ;  $1289 \rightarrow 2$ ;  $800 \rightarrow 3$ ;  $12\ 000 \rightarrow 5$ ;  $500 \rightarrow 6$ ;  $0,0010194 \rightarrow 7$ .  $1,56 \rightarrow X$ . Индикация — 8.  $1,5 \rightarrow a$ ;  $2 \rightarrow c$ ;  $0,388 \rightarrow Y$ ;  $0,352 \rightarrow X$ ;  $0,347 \rightarrow Y$ ;  $0,315 \rightarrow X$ ;  $2,5 \rightarrow Y$ ;  $3 \rightarrow X$ .

**Результат:**  $\bar{\lambda} = 1,77$ ;  $m = 1,899$ ;  $m_{ef} = 2,97$ ;  $\sigma = 14,75$ ;  $\varphi_e = 0,322$ .

**Время счета:** 14 с.

### Программа 4.35

Проверка прочности внецентренно-сжатого стержня иесимметричного сечения по растянутому волокну

Пх1	Пх3	/	1	Пх5	$Fx^2$	Пх1	$\times$	Fx	$Fx^2$
/	Пх6	/	Пх2	/	—	xПc	Пх4	$\times$	F1/x
Пх0	$\times$	—	$Fx < 0$	26	$/—/$	xПa	Пх7	Пх8	X
Пх9	/	xПb	$\leftrightarrow$	—	$Fx \geq 0$	38	Пха	C/П	2
2	2	C/П							

**Инструкция.** Ввод  $M \rightarrow 0$ ;  $N \rightarrow 1$ ;  $A \rightarrow 2$ ;  $A_n \rightarrow 3$ ;  $W_{nl} \rightarrow 4$ ;  $\lambda \rightarrow 5$ ;  $E \rightarrow 6$ ;  $R_u \rightarrow 7$ ;  $\gamma_c \rightarrow 8$ ;  $\gamma_u \rightarrow 9$ . В/О С/П. Индикация —  $\sigma$ ;  $d \leftarrow b$ ;  $\delta \leftarrow c$ ;  $a \leftarrow a$ . Индикация — 222, означает, что условие прочности не выполнено.

**Контрольный пример.**  $40\ 000 \rightarrow 0$ ;  $2000 \rightarrow 1$ ;  $100 \rightarrow 2$ ;  $94 \rightarrow 3$ ;  $2000 \rightarrow 4$ ;  $80 \rightarrow 5$ ;  $20\ 600 \rightarrow 6$ ;  $59,5 \rightarrow 7$ ;  $1 \rightarrow 8$ ;  $1,3 \rightarrow 9$ .

**Результат:**  $\sigma = 32,71$ ;  $d = 45,77$ ;  $\delta = 0,37$ .

**Время счета:** 11 с.

### Программа 4.36

Определение коэффициента  $c$  для проверки устойчивости внецентренно-сжатых стержней из плоскости действия момента

/	$\leftrightarrow$	/	$\times$	xП5	xП6	5	—	$Fx < 0$	14
ПП		61	xП7	C/П	Пхб	1	0	$Fx \geq 0$	24

ПП	52	$x\Pi_7$	C/П	5	$x\Pi_6$	ПП	61	$x\Pi_7$	1
0	$x\Pi_6$	ПП	52	$x\Pi_8$	$\Pi_{x^b}$	$\Pi_{x^5}$	$\times$	1	$\underline{+}$
$\Pi_{x^8}$	$\times$	2	$\Pi_{x^b}$	$\Pi_{x^5}$	$\times$	$\underline{-}$	$\Pi_{x^7}$	$\times$	$\underline{+}$
$x\Pi_7$	C/П	$\Pi_{x^6}$	$\Pi_{x^2}$	$\times$	$\Pi_{x^4}$	/	1	$\underline{+}$	$F\backslash/x$
B/O	1	$\Pi_{x^6}$	$\underline{-}$	$F_x \geq 0$	70	$\Pi_{x^c}$	$x\Pi_9$	BП	77
$\Pi_{x^6}$	2	0	/	$\Pi_{x^d}$	$\underline{+}$	$x\Pi_9$	$\Pi_{x^0}$	$\Pi_{x^1}$	$\underline{-}$
$F_x \geq 0$	85	1	BП	88	$\Pi_{x^3}$	$\Pi_{x^2}$	/	$FV$	1
$\Pi_{x^9}$	$\Pi_{x^6}$	$\times$	$\underline{+}$	/	B/O				

**Инструкция.** Ввод  $\lambda_c \rightarrow 0$ ;  $\lambda_y \rightarrow 1$ ;  $\varphi_y \rightarrow 2$ ;  $\varphi_c \rightarrow 3$ ;  $\varphi_b \rightarrow 4$ ;  $N \rightarrow X$ ;  $M \rightarrow Y$ ;  $W_c \rightarrow Z$ ;  $A \rightarrow T$ . Константы:  $0,2 \rightarrow b$ ;  $0,7 \rightarrow c$ ;  $0,65 \rightarrow d$  — для симметричных открытоых сечений;  $0,2 \rightarrow b$ ;  $0,6 \rightarrow c$ ;  $0,55 \rightarrow d$  — для замкнутых сечений. B/O C/П. Индикация —  $c$ ;  $m_x \leftarrow 5$ .

**Контрольный пример.** 1.  $92 \rightarrow 0$ ;  $90 \rightarrow 1$ ;  $0,612 \rightarrow 2$ ;  $0,598 \rightarrow 3$ ;  $1000 \rightarrow X$ ;  $25\ 000 \rightarrow Y$ ;  $2637 \rightarrow Z$ ;  $140 \rightarrow T$ ;  $0,2 \rightarrow b$ ;  $0,7 \rightarrow c$ ;  $0,65 \rightarrow d$ .

**Результат:**  $c = 0,55$ ;  $m_x = 1,33$ .

**Время счета:** 10 с.

2. Аналогично п. 1, кроме  $120 \rightarrow 1$ ;  $18\ 000 \rightarrow Y$ .

**Результат:**  $c = 0,759$ ;  $m_x = 0,955$ .

**Время счета:** 12 с.

3. Аналогично п. 1, кроме  $120 \rightarrow 1$ ;  $200 \rightarrow X$ .

**Результат:**  $c = 0,224$ ;  $m_x = 6,64$ .

**Время счета:** 21 с.

### Программа 4.37

#### Определение коэффициента $c_{\max}$

$\Pi_{x^7}$	$\Pi_{x^8}$	$\underline{+}$	$x\Pi_c$	3	$\Pi_{x^7}$	$F_x^Y$	$\Pi_{x^6}$	$\times$	2
$\times$	$\Pi_{x^9}$	$\Pi_{x^9}$	$Fx^2$	$\times$	$\Pi_{x^8}$	$\times$	$\underline{+}$	0	$\cdot$
4	3	3	$\times$	$\Pi_{x^0}$	/	$\Pi_{x^c}$	$Fx^2$	/	$\Pi_{x^3}$
$Fx^2$	$\times$	0	$\cdot$	1	5	6	$\times$	2	$\underline{+}$
$x\Pi_a$	$\Pi_{x^1}$	$\Pi_{x^2}$	$\underline{+}$	$\Pi_{x^0}$	/	$\Pi_{x^c}$	$Fx^2$	/	4
$\times$	$\Pi_{x^a}$	/	$x\Pi_b$	$\Pi_{x^4}$	$\Pi_{x^5}$	$\underline{/}$	$\Pi_{x^c}$	/	$Fx^2$
1	6	$\times$	$\Pi_{x^a}$	/	1	$\Pi_{x^b}$	$\underline{-}$	$Fx^2$	$\underline{+}$
$FV$	1	$\underline{+}$	$\Pi_{x^b}$	$\underline{+}$	$F\backslash/x$	2	$\times$	$x\Pi_d$	C/П

**Инструкция.** Ввод  $A \rightarrow 0$ ;  $I_x \rightarrow 1$ ;  $I_y \rightarrow 2$ ;  $\lambda_y \rightarrow 3$ ;  $M_x \rightarrow 4$ ;  $N \rightarrow 5$ ;  $b_f \rightarrow 6$ ;  $t_f \rightarrow 7$ ;  $h_w \rightarrow 8$ ;  $t_w \rightarrow 9$ . B/O C/П. Индикация —  $c_{\max}$ ;  $\mu \leftarrow a$ ;  $\delta \leftarrow b$ ;  $h \leftarrow c$ ;  $c_{\max} \leftarrow d$ .

**Контрольный пример.**  $64 \rightarrow 0$ ;  $11\ 410 \rightarrow 1$ ;  $1333 \rightarrow 2$ ;  $100 \rightarrow 3$ ;  $3700 \rightarrow 4$ ;  $600 \rightarrow 5$ ;  $20 \rightarrow 6$ ;  $1 \rightarrow 7$ ;  $30 \rightarrow 8$ ;  $0,8 \rightarrow 9$ .

**Результат:**  $c_{\max} = 0,926$ ;  $\mu = 2,6$ ;  $\delta = 0,317$ ;  $h = 31$ .

**Время счета:** 22 с.

### Программа 4.38

#### Проверка устойчивости стержня сплошностенчатого сечения, подверженного сжатию и изгибу в двух главных плоскостях

-	1	B↑	3	/	$\Pi_{x^4}$	$Fx^Y$	0	.	6	$\times$
1	B↑	4	/	$\Pi_{x^4}$	$Fx^Y$	0	.	4	$\times$	
$\leftrightarrow$	$F\downarrow$	+	$\Pi_{x^3}$	$\times$	$\Pi_{x^2}$	$\times$	$\Pi_{x^1}$	$\leftrightarrow$	/	
C/П										

**Инструкция.** Ввод  $N \rightarrow 1$ ;  $A \rightarrow 2$ ;  $\varphi_{ey} \rightarrow 3$ ;  $c \rightarrow 4$ . B/O C/П. Индикация —  $\sigma$ .

**Контрольный пример.**  $300 \rightarrow 1$ ;  $20 \rightarrow 2$ ;  $0,65 \rightarrow 3$ ;  $0,8 \rightarrow 4$ .

**Результат:**  $\sigma = 24,67$ .

**Время счета:** 12 с.

### Программа 4.39

определение предельной гибкости стенки двутаврового и коробчатого сечений  
внеклентренно-сжатого стержня при  $\bar{\lambda} \leq 0,8$

$x\Pi2$	$\leftrightarrow$	$x\Pi1$	$\frac{2}{\cdot}$	$\frac{0}{F_x \geq 0}$	$\frac{6}{19}$	$\frac{0}{\Pi\Pi}$	$\frac{0}{48}$	$x\Pi0$	$\frac{0}{C/\Pi}$	$\frac{0}{\Pi x1}$
$\frac{1}{C/\Pi}$	$\frac{-}{\Pi x1}$	$\frac{0}{\cdot}$	$\frac{31}{\cdot}$	$\frac{48}{\Pi\Pi}$	$\frac{1}{\cdot}$	$\frac{0}{\cdot}$	$\frac{3}{\cdot}$	$\frac{4}{C/\Pi}$	$\frac{3}{\Pi x0}$	$\frac{2}{\Pi x2}$
$\frac{9}{\cdot}$	$\frac{X}{B/O}$	$\frac{1}{+}$	$\frac{\Pi\Pi}{\cdot}$	$\frac{48}{\cdot}$	$\frac{\times}{\cdot}$	$\frac{C/\Pi}{\cdot}$	$\frac{\Pi x0}{\cdot}$	$\frac{\Pi x2}{\cdot}$		
$/$	$FV$									

**Инструкция.** Ввод  $m \rightarrow Y; R_y \rightarrow X$ . В/О С/П. Индикация —  $h_w/t_w$ .

**Контрольный пример.**  $0,1(2; 0,5) \rightarrow Y; 21 \rightarrow X$ .

**Результат:**  $h_w/t_w = 31,3$  (40,7; 34,0).

**Время счета:** 10 с (для каждого из вариантов).

### Программа 4.40

Определение предельной гибкости стенки двутаврового и коробчатого сечений  
внеклентренно-сжатого стержня при  $\bar{\lambda} > 0,8$

$0$	$\cdot$	$3$	$\Pi xb$	$\frac{-}{\cdot}$	$\frac{F_x \geq 0}{F_x \geq 0}$	$\frac{18}{\Pi\Pi}$	$\frac{F_x \geq 0}{\cdot}$	$\frac{10}{64}$	$\frac{\Pi\Pi}{C/\Pi}$	$\frac{43}{\Pi\Pi}$	$\frac{43}{C/\Pi}$
$\Pi xb$	$1$	$\frac{-}{64}$	$\Pi xb$	$\frac{0}{\Pi xb}$	$\frac{3}{\cdot}$	$\frac{3}{\cdot}$	$\frac{64}{0}$	$\frac{0}{C/\Pi}$	$\frac{43}{\cdot}$	$\frac{43}{7}$	
$\Pi\Pi$			$\Pi x9$	$\Pi x8$	$\frac{-}{\cdot}$	$\frac{\times}{\cdot}$	$\frac{\Pi x8}{\Pi xc}$	$\frac{+}{0}$	$\frac{\Pi x9}{C/\Pi}$	$\frac{8}{\cdot}$	$\frac{8}{\Pi xd}$
$/$			$FV$	$B/O$	$\Pi\Pi$	$38$	$\Pi xc$	$0$	$\cdot$	$8$	$\times$
$/$			$0$	$\cdot$	$3$	$6$	$\frac{+}{\cdot}$	$\frac{\times}{\cdot}$	$\frac{x\Pi4}{x\Pi4}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{\cdot}{9}$
$\Pi\Pi$			$82$	$x\Pi8$	$B/O$	$\Pi\Pi$	$38$	$\Pi xc$	$2$	$\frac{\cdot}{\cdot}$	$0$
$.$			$9$	$+$	$\times$	$x\Pi4$	$3$	$\cdot$	$1$	$\Pi\Pi$	$82$
$x\Pi9$	$B/O$		$\Pi\Pi$	$38$	$\times$	$x\Pi5$		$\leftrightarrow$	$-$	$F_x < 0$	$93$
$\Pi x5$	$\Pi\Pi$		$94$	$\Pi x4$	$B/O$						

**Инструкция.** Ввод  $E \rightarrow a; m \rightarrow b; \bar{\lambda} \rightarrow c; R_y \rightarrow d$ . В/О С/П. Индикация —  $h_w/t_w$ .

**Контрольный пример.** 1.  $20\ 600 \rightarrow a; 0,2(0,5; 2) \rightarrow b; 2 \rightarrow c; 21 \rightarrow d$ .

**Результат:**  $h_w/t_w = 61,4$  (60,9; 59,5).

**Время счета:** 14 с.

2. Аналогично п. 1, кроме  $0,5 \rightarrow b; 5 \rightarrow c$ .

**Результат:**  $h_w/t_w = 92,6$ .

**Время счета:** 29 с.

### Программа 4.41

Определение коэффициента  $a$  при проверке устойчивости стенки сечения  
внеклентренно-сжатого стержня

$\Pi xb$	$\Pi xc$	$/$	$x\Pi9$	$\Pi xa$	$\Pi xd$	$/$	$+$	$x\Pi6$	$\Pi x9$
$\Pi xa$	$\Pi xd$	$/$	$\frac{-}{C/\Pi}$	$\frac{-}{\Pi xc}$	$\frac{-}{\Pi xb}$	$/$	$x\Pi7$	$1$	
$F_x \geq 0$	$24$	$\Pi x7$	$C/\Pi$	$0$	$\cdot$	$5$	$\Pi x7$	$\frac{-}{xPa}$	$F_x \geq 0$
$33$		$\Pi x7$	$C/\Pi$	$\Pi xd$	$\Pi xc$	$/$	$\Pi xb$	$\times$	$\Pi x7$
$C/\Pi$									

**Инструкция.** Ввод  $M \rightarrow a; N \rightarrow b; A \rightarrow c; W_w \rightarrow d$ . В/О С/П. Индикация —  $a$ ;  $M_1 \leftarrow a$ .

**Контрольный пример.**  $80\ 000(40\ 000) \rightarrow a; 1000 \rightarrow b; 100 \rightarrow c; 5000 \rightarrow d$ .

**Результат:**  $\alpha = 1,23$  (0,888);  $M_1 = 80\ 000$  (50 000).

**Время счета:** 6 с (9 с).

### Программа 4.42

Определение предельной гибкости стенки двутаврового и коробчатого сечений внецентренно-сжатого стержня при  $\alpha \geq 1$

$\Pi x b$	$\Pi x c$	/	$x\Pi 9$	$\Pi x a$	$\Pi x d$	/	+	$x\Pi 6$	$\Pi x 9$
$\Pi x a$	$\Pi x d$	/	—	—	$\Pi x 6$	/	$x\Pi 7$	$\Pi x 3$	$\Pi x 4$
/	$\Pi x 5$	/	$\Pi x 6$	/	1	.	4	$\times$	$\Pi x 7$
2	$\times$	1	—	$\times$	$Fx^2$	4	$\times$	$\Pi x 7$	$Fx^2$
+	$FV$	2	+	$\Pi x 7$	—	$\Pi x 6$	$\times$	$\Pi x 1$	$\leftrightarrow$
/	$\Pi x 7$	2	$\times$	1	—	$\times$	$FV$	4	.
3	5	$\times$	$x\Pi 8$	$\Pi x 1$	$\Pi x 2$	/	$FV$	3	.
8	$\times$	$x\Pi 9$	$\Pi x 8$	—	$Fx \geq 0$	80	$\Pi x 8$	БП	82
$\Pi x 9$	$x\Pi 8$	$\Pi x 5$	$\leftrightarrow$	/	C/P				

**Инструкция.** Ввод  $E \rightarrow 1$ ;  $R_y \rightarrow 2$ ;  $Q \rightarrow 3$ ;  $t_w \rightarrow 4$ ;  $h_w \rightarrow 5$ ;  $M \rightarrow a$ ;  $N \rightarrow b$ ;  $A \rightarrow c$ ;  $W_w \rightarrow d$ . В/О С/П. Индикация —  $t_{min}$ ;  $h_w/t_w \leftarrow 8$ .

**Контрольный пример.** 20 600 → 1; 21 → 2; 200 → 3; 1 → 4; 50 → 5; 33 800 → → a; 300 → b; 110 → c; 1990 → d.

**Результат:**  $t_{min} = 0,42$ ;  $h_w/t_w = 119$ .

**Время счета:** 22 с.

### Программа 4.43

Определение предельных геометрических размеров стенки тавра при сжимающих напряжениях

$x\Pi 1$	/	—/	2	+	$FV$	4	/	1	+
$x\Pi 2$	$F \uparrow$	$x\Pi 0$	$\leftrightarrow$	$x\Pi 3$	$\Pi x 0$	4	—	$Fx \geq 0$	22
4	$x\Pi 10$	0	.	8	$\Pi x 0$	—	$Fx \geq 0$	33	0
.	8	$x\Pi 0$	$\Pi x 0$	0	.	0	7	$\times$	0
.	4	+	$\Pi x 2$	$\times$	2	0	6	0	0
$\Pi x 3$	/	$F V$	$\times$	$x\Pi 0$	$\Pi x 1$	$\leftrightarrow$	/	C/P	

**Инструкция.** Ввод  $R_y \rightarrow T$ ;  $\bar{\lambda} \rightarrow Z$ ;  $b_f \rightarrow Y$ ;  $h_{ef} \rightarrow X$ . В/О С/П. Индикация —  $t_{min}$ ,  $h_{ef}/t_w \leftarrow 0$ .

**Контрольный пример.** 21 → T; 2 (0,6; 5) → Z; 20 → Y; 20 → X.

**Результат:**  $t_{min} = 0,946$  (1,12; 0,75);  $h_{ef}/t_w = 21,1$  (17,9; 26,6).

**Время счета:** 14 с (для каждого из вариантов).

### Программа 4.44

Подбор сечения прокаткой балки

$\Pi x 0$	$\Pi x 3$	/	$\Pi x 4$	/	$\Pi x 7$	/	$x\Pi 8$	$\Pi x 1$	$\Pi x 6$
$\times$	$\Pi x 2$	$\times$	$\Pi x 5$	$\times$	2	0	6	0	0
/	$x\Pi 9$	-	$\Pi x 8$	C/P	$\Pi x d$	$\Pi x b$	—	$\Pi x c$	$\Pi x a$
/	$\Pi x 9$	$\Pi x a$	—	$\times$	$\Pi x b$	+	$x\Pi 7$	$F l/x$	$\Pi x 0$
$\times$	$\Pi x 8$	/	$x\Pi a$	$\Pi x 3$	$\Pi x 4$	$\times$	$x\Pi b$	—	$Fx < 0$
55	$\Pi x b$	$\Pi x a$	/	C/P	9	9	9	9	C/P
$\Pi x b$	$\Pi x a$	C/P							

**Инструкция.** 1. Ввод  $M \rightarrow 0$ ;  $M_n \rightarrow 1$ ;  $l \rightarrow 2$ ;  $R_y \rightarrow 3$ ;  $\gamma_c \rightarrow 4$ ;  $n \rightarrow 5$ ;  $\rho m \rightarrow 6$ ;  $c \rightarrow 7$ . 2. В/О С/П. 3. Индикация —  $W_{tp}$ ;  $I_{tp} \leftarrow Y$ ;  $W_{tp} \leftarrow X$ . Принять по сортаменту номер профиля. 4. Ввод  $W \rightarrow 8$ ;  $A_f/A_w \rightarrow 9$ ;  $x_1 \rightarrow a$ ;  $y_1 \rightarrow b$ ;  $x_2 \rightarrow c$ ;  $y_2 \rightarrow d$  (по табл. 66 [11]). 5. С/П. 6. Индикация —  $k$ ;  $c \leftarrow 7$ ;  $\sigma \leftarrow a$ ;  $R_y \gamma_c \leftarrow b$ . 6. Индикация — 9999, означает, что прочность не обеспечена. 7. С/П. 8. Индикация —  $\sigma$ ;  $R_y \gamma_c \leftarrow Y$ ;  $c \leftarrow 7$ ;  $\sigma \leftarrow X$ .

**Контрольный пример.** 1. 9500 → 0; 9000 → 1; 500 → 2; 21 → 3; 1 → 4; 400 → → 5; 0,1042 → 6; 1,15 → 7; 410 → 8; 0,6 → 9; 0,5 → a; 1,12 → b; 1 → c; 1,07 → d.

**Результат:**  $W_{tp} = 393$ ;  $I_{tp} = 9102$ ;  $k = 1,01$ ;  $c = 1,11$ ;  $\sigma = 20,87$ ;  $R_y \gamma_c = 21$ .

**Время счета:** 12 с.

2. То же,  $400 \rightarrow 8$ .

**Результат:**  $9999$ ;  $\sigma = 21,39$ ;  $R_y \gamma_c = 21$ ;  $c = 1,11$ .

**Время счета:** 12 с.

### Программа 4.45

**Определение оптимальной высоты составной балки при заданной гибкости стенки**

1	$B \uparrow$	3	/	$x\Pi d$	$\Pi x 0$	$\Pi x 5$	/	$\Pi x 6$	/
$\kappa \Pi a$	$\Pi x 9$	$\times$	$F_x Y$	$\Pi x d$	3	$\Pi x 8$	$\times$	1	-
$F l / \kappa$	3	$\times$	$F_x Y$	$\leftrightarrow$	$F \uparrow$	$\times$	$x \Pi b$	0	.
2	5	$\kappa \Pi d$	5	$\Pi x 1$	$\times$	$\Pi x 3$	$\times$	8	/
$\Pi x 9$	$\times$	2	0	6	0	0	/	$\Pi x 4$	$\times$
$F_k Y$	$\Pi x d$	3	$\Pi x 8$	$\times$	1	-	$F l / x$	2	$\times$
$F_k Y$	$\leftrightarrow$	$F \uparrow$	$\times$	$x \Pi c$	5	$\Pi x 5$	$\times$	$\Pi x 6$	$\times$
2	4	$\downarrow$	$\Pi x 3$	$\times$	2	0	6	0	0
/	$\Pi x 1$	$\times$	$\Pi x 0$	/	$\Pi x 4$	$\times$	$x \Pi d$	$C / \Pi$	$x \Pi b$
2	0	6	0	0	$x \Pi 9$	$C / \Pi$			

**Инструкция.** Ввод  $M \rightarrow 0$ ;  $M_n \rightarrow 1$ ;  $Q_{\max} \rightarrow 2$ ;  $l \rightarrow 3$ ;  $n \rightarrow 4$ ;  $R_y \rightarrow 5$ ;  $\gamma_c \rightarrow 6$ ;  $R_s \rightarrow 7$ ;  $\psi_w / \psi_f \rightarrow 8$ ;  $\lambda_w \rightarrow 9$ . В/О С/П. Индикация  $-h_{\min}$ ;  $W_{tp} \leftarrow a$ ;  $h_{np} \leftarrow b$ ;  $h_{jk} \leftarrow c$ ;  $h_{\min} \leftarrow d$ .

**Примечания:** 1. При использовании программы совместно с программой 4.46 необходимо продолжить счет. Ввод принятой высоты  $h \rightarrow X$ . С/П. Индикация — 20 600, означает, что программа 4.45 подготовлена к работе по программе 4.46. 2. При повторном счете по программе 4.45 вводить в соответствующие ячейки только изменяемые величины.

**Контрольный пример.**  $200\ 000 \rightarrow 0$ ;  $190\ 000 \rightarrow 1$ ;  $1800 \rightarrow 2$ ;  $1200 \rightarrow 3$ ;  $400 \rightarrow 4$ ;  $21 \rightarrow 5$ ;  $1 \rightarrow 6$ ;  $13 \rightarrow 7$ ;  $1,2 \rightarrow 8$ ;  $100 \rightarrow 9$ .

**Результат:**  $h_{\min} = 96,84$ ;  $W_{tp} = 9524$ ;  $h_{np} = 103,2$ ;  $h_{jk} = 120,8$ .

**Время счета:** 81 с.

### Программа 4.46

**Определение геометрических характеристик сечения составной балки**

$\Pi x 2$	$\Pi x b$	/	1	.	2	$\times$	$\Pi x 7$	/	$\Pi x 6$
/	$\kappa \Pi c$	$\Pi x 5$	$\Pi x 9$	$\Pi x d$	26	$F_v Y$	$\Pi x b$	$\times$	6
$\kappa \Pi d$	—	$F_x < 0$	26	$\Pi x d$	$x \Pi c$	$\Pi x c$	$C / \Pi$	$\Pi x a$	$\Pi x b$
/	$\Pi x b$	$\Pi x c$	$\times$	6	/	—	$x \Pi 8$	$\Pi x 9$	$\Pi x b$
/	$F_v Y$	/	$F_v Y$	$x \Pi d$	$\Pi x 8$	$\leftrightarrow$	/	$C / \Pi$	$\Pi x 8$
$\Pi x d$	$\times$	$\Pi x b$	$\Pi x d$	+	2	/	$F x^2$	$\times$	2
$\times$	$\Pi x b$	$\Pi x b$	$F x^2$	$\times$	$\Pi x c$	$\times$	1	2	/
+	$\Pi x d$	$\Pi x d$	$F x^2$	$\times$	$\Pi x 8$	$\times$	6	/	+
$\Pi x b$	2	/	$\Pi x d$	+	/	$C / \Pi$	$\Pi x 8$	$\Pi x d$	$\times$
2	$\times$	$\Pi x b$	$\Pi x c$	$\times$	+	$C / \Pi$			

**Инструкция.** Ввод  $M \rightarrow 0$ ;  $M_n \rightarrow 1$ ;  $Q_{\max} \rightarrow 2$ ;  $l \rightarrow 3$ ;  $n \rightarrow 4$ ;  $R_y \rightarrow 5$ ;  $\gamma_c \rightarrow 6$ ;  $R_s \rightarrow 7$ ;  $E \rightarrow 9$ ;  $W_{tp} \rightarrow a$ ;  $h_w \rightarrow b$ . В/О С/П. Индикация  $-t_{w,\min}$ . Ввод принятой толщины стенки  $t_w \rightarrow c$ . С/П. Индикация  $-b_f$ ;  $A_f \leftarrow 8$ ;  $t_{f,\min} \leftarrow d$ . Ввод принятых размеров  $b_f \rightarrow 8$ ;  $t_f \rightarrow d$ . С/П. Индикация  $-W$ . С/П. Индикация — A.

**Примечания:** 1. При необходимости совместно с принятой толщиной стенки ( $t_w \rightarrow c$ ) можно вводить измененную высоту ( $h_w \rightarrow b$ ). 2. При использовании данной программы непосредственно после программы 4.45 первый ввод не нужен. 3. При проверке сечения балки на срез на опоре без учета поясов в команде 05 вместо 2 набрать 5.

**Контрольный пример.** 200 000 → 0; 190 000 → 1; 1800 → 2; 1200 → 3; 400 → → 4; 21 → 5; 1 → 6; 13 → 7; 20 600 → 9; 9524 → a; 110 → b; 1,6 → c; 35 → 8; 1,8 → d.

**Результат:**  $t_{w,\min} = 1,51$ ;  $t_{f,\min} = 1,35$ ;  $b_f = 42,3$ ;  $A_f = 57,3$ ;  $W = 10\ 060$ ;  $A = = 302$ .

Время счета: 25 с.

### Программа 4.47

Определение оптимальной высоты балки по заданной толщине стенки

Пх0	Пх5	/	Пх6	/	хПа	Пх9	/	F	Y	3
Пх8	3	×	1	—	/	F	Y	×	хПб	1
B↑	3	/	xПс	5	Пх1	×	8	/	Пх3	
×	Пхd	/	Пх9	/	Пх4	×	Fx <sup>Y</sup>	Пхс	Пх8	
3	×	1	—	F1/x	2	×	Fx <sup>Y</sup>	↔	F↑	
×	xПс	5	Пх5	×	Пх6	×	2	4	/	
Пхd	/	Пх1	×	Пх0	/	Пх4	×	Пх3	×	
C/П	Пх2	1	.	2	×	Пхb	/	Пх7	/	
Пх6	/	Пх5	Пхd	/	F	Y	6	/	Пхb	×
C/П										

**Инструкция.** Ввод  $M \rightarrow 0$ ;  $M_n \rightarrow 1$ ;  $Q_{\max} \rightarrow 2$ ;  $l \rightarrow 3$ ;  $n \rightarrow 4$ ;  $R_u \rightarrow 5$ ;  $\gamma_e \rightarrow 6$ ;  $R_s \rightarrow 7$ ;  $\psi_w/\psi_f \rightarrow 8$ ;  $t_w \rightarrow 9$ ;  $E \rightarrow d$ . В/О С/П. Индикация —  $h_{\min}$ ;  $W_{\text{тр}} \leftarrow a$ ;  $h_{\text{пп}} \leftarrow b$ ;  $h_{\text{ж}} \leftarrow c$ . Ввод принятой высоты стенки  $h_w \rightarrow b$ . С/П. Индикация —  $t_w$ ;  $t_{w,c} \leftarrow Y$ ;  $t_{w,\lambda} \leftarrow X$ .

П р и м е ч а н и е. При проверке сечения балки на срез на опоре без учета поя-сов при вводе программы в команде 74 вместо 2 набрать 5.

**Контрольный пример.** 200 000 → 0; 190 000 → 1; 1800 → 2; 1200 → 3; 400 → 4; 21 → 5; 1 → 6; 13 → 7; 1,2 → 8; 1,2 → 9; 20600 → d; 110 → b.

**Результат:**  $h_{\min} = 96,8$ ;  $W_{\text{тр}} = 9524$ ;  $h_{\text{пп}} = 95,7$ ;  $h_{\text{ж}} = 121$ ;  $t_{w,\lambda} = 1,51$ ;  $t_{w,c} = = 0,58$ .

Время счета: 27 с.

### Программа 4.48

Определение размеров сечения поясов составной балки

Пха	Пхb	/	Пхс	Пхb	×	6	/	—	хП9	
Пх8	Пх5	/	F	Y	/	F	Y	↔	/	
Пхd	C/П	3	Пхb	Fx <sup>Y</sup>	Пхс	×	1	2	/	
Пх9	Пхd	×	Пхb	Пхd	+	2	/	Fx <sup>2</sup>	×	
2	×	+	Пхd	Пхd	Fx <sup>2</sup>	×	Пх9	×	6	
/	+	Пхb	2	/	Пхd	+	/	C/П	Пхb	
Пхс	×	Пх9	Пхd	×	2	×	+	C/П		

**Инструкция.** Ввод  $M \rightarrow 0$ ;  $M_n \rightarrow 1$ ;  $Q_{\max} \rightarrow 2$ ;  $l \rightarrow 3$ ;  $n \rightarrow 4$ ;  $R_y \rightarrow 5$ ;  $\gamma_e \rightarrow 6$ ;  $R_s \rightarrow 7$ ;  $E \rightarrow 8$ ;  $W_{\text{тр}} \rightarrow a$ ;  $h_w \rightarrow b$ ;  $t_w \rightarrow c$ . В/О С/П. Индикация —  $t_{f,\min}$ ;  $b_f \leftarrow Y$ . Ввод принятых размеров  $t_f \rightarrow d$ ;  $b_f \rightarrow 9$ . С/П. Индикация —  $W$ . С/П. Индикация —  $A$ .

П р и м е ч а н и е. При использовании программы непосредственно после про-граммы 4.47 первый ввод не нужен.

**Контрольный пример.** 200 000 → 0; 180 000 → 1; 1800 → 2; 1200 → 3; 400 → → 4; 21 → 5; 1 → 6; 13 → 7; 20 600 → 8; 9524 → a; 110 → b; 1,6 → c; 1,8 → d; 35 → 9

**Результат:**  $t_{f,\min} = 1,35$ ;  $b_f = 42,3$ ;  $W = 10\ 060$ ;  $A = 302$ .

Время счета: 19 с.

### Программа 4.49

Определение ширины пояса составной балки в месте изменения сечения

Пх0	Пх7	/	Пх8	/	Пх9	/	хПd	Пх1	/
Пх1	Пх2	×	6	—	хПa	Пх4	/	хПb	
С/П	хПb	Пх4	Пх4	Fx <sup>2</sup>	×	6	/	×	Пх1
Пх1	Fx <sup>2</sup>	×	Пх2	×	1	2	/	+	Пхb
Пх4	×	Пх1	Пх4	+	2	/	Fx <sup>2</sup>	×	2
×	+	хПc	Пх1	2	/	Пх4	+	/	хПd
Пх0	↔	/	Пх9	/	С/П	Пх1	Пх2	×	Пх5
×	Пх3	Пх4	×	Пх6	2	×	/—/	Пх5	+
×	2	×	+	Пхb	Пх4	×	4	×	Пх6
×	+	С/П							

**Инструкция.** Ввод  $M_x \rightarrow 0$ ;  $h_w \rightarrow 1$ ;  $t_w \rightarrow 2$ ;  $b_f \rightarrow 3$ ;  $t_f \rightarrow 4$ ;  $l \rightarrow 5$ ;  $x \rightarrow 6$ ;  $R_y \rightarrow 7$ ;  $\gamma_c \rightarrow 8$ ;  $c \rightarrow 9$ . В/О С/П. Индикация —  $b_{fx}$ ,  $A_{fx} \leftarrow a$ ;  $W_{tp} \leftarrow d$ . Ввод принятой ширины пояса  $b_{fx} \rightarrow X$ . С/П. Индикация —  $\sigma$ ;  $I_x \leftarrow c$ ;  $W \leftarrow d$ . С/П. Индикация —  $V$  (объем балки, см<sup>3</sup>).

**Контрольный пример.** 150 000 → 0; 110 → 1; 1,6 → 2; 35 → 3; 1,8 → 4; 1200 → 5; 200 → 6; 21 → 7; 1 → 8; 12 → 9; 18 → X.

**Результат:**  $b_{fx} = 15,9$ ;  $\sigma = 20,02$ ;  $I_x = 380\ 000$ ;  $W = 6689$ ;  $V = 337\ 920$ .

**Время счета:** 17 с.

### Программа 4.50

Определение геометрических характеристик опорного ребра балки

В ↑	1	—	$Fx = 0$	42	Пх3	хП9	ПП	68	хП8
Пх5	×	Пх9	Пх4	×	+	хП0	Пх5	Пх5	$Fx^2$
×	Пх8	×	1	2	/	Пх9	Пх9	$Fx^2$	×
Пх4	×	1	2	/	+	хП1	1	ВП	9
хП2	С/П	Пх7	ПП	68	хПb	—	$Fx \geq 0$	55	Пх8
2	×	хП8	БП	59	Пх7	Пх8	+	хП8	Пх3
2	×	Пх5	+	хП9	Пх8	БП	10	Пх6	$F1/x$
$F \checkmark$	Пх5	×	0	.	6	5	×	В/О	

**Инструкция.** Ввод  $b_h \rightarrow 3$ ;  $t_h \rightarrow 4$ ;  $t_w \rightarrow 5$ ;  $R_y/E \rightarrow 6$ ;  $a \rightarrow 7$ ; код → X. В/О С/П. Индикация —  $10^6$ ;  $A_{ct} \leftarrow 0$ ;  $I_x \leftarrow 1$ ;  $H \leftarrow 8$ ;  $B \leftarrow 9$ .

**Примечания:** 1. Параметр  $a$  вводить только при счете по код = 2. 2. Вычисленные значения  $A_{ct}$ ,  $I_x$  и  $I_y = \infty (1 \cdot 10^6)$  размещены по адресам, необходимым для работы по программе 4.1.

**Контрольный пример.** 1. 18 → 3; 1,6 → 4; 1,2 → 5; 0,001019 → 6; 1 → X.

**Результат:**  $A_{ct} = 58,1$ ;  $I_x = 781$ ;  $H = 24,4$ ;  $B = 18,0$ .

**Время счета:** 17 с.

2. Аналогично п. 1, кроме 25 → 7; 2 → X.

**Результат:**  $A_{ct} = 118$ ;  $I_x = 6871$ ;  $H = 48,9$ ;  $B = 37,2$ .

**Время счета:** 18 с.

### Программа 4.51

Определение количества высокопрочных болтов для крепления поясных накладок в монтажных стыках балок

0	хП0	Пх0	4	+	хП0	ПП	43	Пх1	×
Пх2	×	Пх4	×	2	×	Пх0	×	Пх5	Пх6
×	Пх9	×	—	$Fx \geq 0$	02	Пх0	С/П	4	/
1	—	6	×	5	.	2	+	Пх3	×
Пхd	+	С/П	Пх0	4	—	$Fx = 0$	53	0	.
8	БП	64	Пх0	8	—	$Fx = 0$	63	0	.
9	БП	64	1	В/О					

**Инструкция.** Ввод  $R_{bh}/\gamma_h \rightarrow 1$ ;  $A_{bh} \rightarrow 2$ ;  $d \rightarrow 3$ ;  $\mu \rightarrow 4$ ;  $b_f \rightarrow 5$ ;  $t_f \rightarrow 6$ ;  $I_x \rightarrow 7$ ;  $I_w \rightarrow 8$ ;  $R_g \gamma_c \rightarrow 9$ ;  $M \rightarrow a$ ;  $h \rightarrow b$ ; код  $\rightarrow c$ ;  $c \rightarrow d$ . В/О С/П. Индикация —  $n$ . С/П. Индикация —  $l_h$ .

При мечани я: 1. Величины  $I_x$ ,  $I_w$ ,  $M$  и  $h$  — можно не вводить, если не предусматривается работа программы 4.52. 2. Количество болтов  $n$  принято кратным 4. Если необходимо принять  $n$  кратным 2, то в командах 03 и 28 необходимо набрать 2 вместо 4. 3. При действии статических нагрузок следует использовать код = 0, динамических — код = 1.

**Контрольный пример.** 64 → 1; 2,45 → 2; 2 → 3; 0,5 → 4; 32 → 5; 1,6 → 6; 44 807 → 7; 6400 → 8; 21 → 9; 41 880 → a; 40 → b; 0 → c; 1 → d.

**Результат:**  $n = 8$ ;  $l_h = 23,4$ .

**Время счета:** 24 с.

### Программа 4.52

**Проверка прочности пояса в месте крепления поясных накладок в монтажных стыках балок**

ПП	36	F1/x	2	Px0	/	1	—	/—/	×
Pxa	X	Pxb	/	1	Pxb	Px7	—	—	×
xPa	Px9	↔	—	$F_x \geq 0$	30	Px0	C/P	Pxa	C/P
9	9	9	C/P	Pxa	C/P	Pxc	$F_x \neq 0$	43	PП
70	BП	69	PП	70	Pxb	Pxb	—	0	·
8	5	X	—	$F_x \neq 0$	61	Pxb	Pxb	—	BП
69	Pxb	Pxb	—	1	·	1	8	—	B/O
Pxb	Pxb	X	Px3	4	X	Pxb	X	—	B/O

**Инструкция.** 1. Ввод  $n \rightarrow 0$ ;  $d \rightarrow 3$ ;  $b_f \rightarrow 5$ ;  $t_f \rightarrow 6$ ;  $I_x \rightarrow 7$ ;  $I_w \rightarrow 8$ ;  $R_g \gamma_c \rightarrow 9$ ;  $M \rightarrow a$ ;  $h \rightarrow b$ ; код  $\rightarrow c$ . В/О С/П. Индикация —  $n$ , означает, что прочность пояса обеспечена. 3. Индикация — 999, означает, что прочность пояса не обеспечена. 4. С/П. 5. Индикация —  $\sigma$ .

При мечани я: 1. При работе непосредственно после программы 4.51 расчет следует начинать с п. 2. 2. Количество болтов принято кратным 4. Если необходимо принять  $n$  кратным 2, то в команде 03 следует набрать 1 вместо 2, в команде 74 — 2 вместо 4.

**Контрольный пример.** См. программу 4.51, кроме  $1 \rightarrow c$ .

**Результат:**  $n = 8$ ;  $\sigma = 20,45$ .

**Время счета:** 12 с.

### Программа 4.53

**Расчет сварного соединения вспомогательной балки с главной**

Px9	Px4	X	1	.	5	Px1	X	Px2	/
Px3	/	—	$F_x \geq 0$	64	Px5	Px7	X	xPa	Pxb
Px8	X	xPb	—	$F_x \geq 0$	28	Pxb	xPa	0	·
6	Px1	X	Pxa	/	Px2	1	—	/	Px4
/	C/P	xP0	8	5	Px0	X	Pxb	X	xPa
Px2	—	$F_x \geq 0$	56	Px0	C/P	2	2	2	C/P
Px2	Pxa	—	C/P	9	9	9	C/P	BП	15

**Инструкция.** 1. Ввод  $F \rightarrow 1$ ;  $l_w \rightarrow 2$ ;  $t_w \rightarrow 3$ ;  $\gamma_c \rightarrow 4$ ;  $\beta_f \rightarrow 5$ ;  $\beta_z \rightarrow 6$ ;  $R_{wf} \rightarrow 7$ ;  $R_{wz} \rightarrow 8$ ;  $R_s \rightarrow 9$ . 2. В/О С/П. 3. Индикация —  $k_f$ . 4. Ввод принятого катета шва  $k_f \rightarrow X$ . 5. С/П. 6. Индикация —  $k_f$ , означает, что прочность шва обеспечена и  $n \leq \leq 1$ . 6. Индикация — 222, означает, что  $n > 1$ . 7. С/П. 8. Индикация —  $n$ . 6. Индикация — 999, означает, что прочность стенки балки на срез при длине  $l_w$  не обеспечена. 7. С/П. 8. По п. 3.

При мечани я. При креплении вспомогательной балки одним сварным швом в командах 28...30 вместо 0,6 набрать 1,2.

**Контрольный пример.**  $200 \rightarrow 1; 30 \rightarrow 2; 0,8 \rightarrow 3; 1,1 \rightarrow 4; 0,7 \rightarrow 5; 1 \rightarrow 6;$   
 $18 \rightarrow 7; 17,1 \rightarrow 8; 13 \rightarrow 9.$

**Результат:**  $k_f = 0,298$ ; при принятом  $k_f = 0,6$  индикация — 0,6. При принятом  $k_f = 0,298$  индикация — 222.

**Время счета:** 18 с.

### Программа 4.54

#### Расчет болтового соединения вспомогательной балки с главной

$\Pi x1$	$Fx^2$	$Fx$	$\times$	4	/	$\Pi x3$	$\times$	$\Pi x5$	$\times$
$x\Pi b$	$\Pi x8$	$\Pi x9$	—	$Fx \geq 0$	19	$\Pi x9$	$B\Pi$	20	$\Pi x8$
$\Pi x1$	$\times$	$\Pi x4$	$\times$	$\Pi x5$	$\times$	$x\Pi c$	$\Pi x b$	—	$Fx \geq 0$
33	$\Pi x b$	$x\Pi c$	$\Pi x c$	$\Pi x b$	$\times$	1	.	2	—
$\Pi x2$	$\leftrightarrow$	/	$x\Pi 0$	C/P	$x\Pi 0$	3	$x\Pi b$	3	8
$\Pi x7$	—	$Fx \geq 0$	58	2	.	5	$x\Pi b$	$\Pi x b$	$\Pi x 0$
1	—	$\times$	4	+	$\Pi x1$	$\times$	$x\Pi d$	C/P	$x\Pi d$
$\Pi x b$	$\Pi x b$	$\times$	1	.	5	$\Pi x2$	$\times$	$\Pi x d$	/
$\Pi x9$	/	$x\Pi c$	—	$Fx \geq 0$	88	$\Pi x d$	C/P	9	9
9	C/P	$\Pi x c$	C/P	$x\Pi d$	B/P	70			

**Инструкция.** 1. Ввод  $d \rightarrow 1; F \rightarrow 2; R_{bs} \rightarrow 3; R_{bp} \rightarrow 4; \gamma_b \rightarrow 5; \gamma_c \rightarrow 6; R_y \rightarrow 7;$   
 $t_h \rightarrow 8; t_w \rightarrow 9; R_s \rightarrow a.$  2. В/О С/П. 3. Индикация —  $n.$  4. Ввод принятого  $n \rightarrow X.$   
5. С/П. 6. Индикация —  $l.$  7. Ввод принятого размера стенки  $l \rightarrow X.$  8. С/П. 9. Индикация —  $l,$  означает, что прочность стенки балки на срез обеспечена. 9. Индикация — 999, означает, что  $\tau > R_s \gamma_c.$  10. С/П. 11. Индикация —  $\tau.$  12. Ввод принятого размера стенки  $l \rightarrow X.$  13. С/П. 14. По п. 9.

**Контрольный пример.**  $2 \rightarrow 1; 160 \rightarrow 2; 15 \rightarrow 3; 40,5 \rightarrow 4; 0,9 \rightarrow 5; 1,1 \rightarrow 6;$   
 $21 \rightarrow 7; 1,2 \rightarrow 8; 1 \rightarrow 9; 13 \rightarrow a; 5 \rightarrow X.$

**Результат:**  $n = 4,1; l = 28.$

**Время счета:** 17 с.

### Программа 4.55

#### Определение напряжений в сжатой зоне стенки подкрановой балки

$\Pi x0$	$\Pi x5$	/	$x\Pi b$	P/P	66	+	C/P	P/P	58
P/P	71	+	C/P	P/P	58	0	.	3	X
$x\Pi c$	$\Pi x1$	$\Pi x7$	/	$\Pi x8$	/	$x\Pi d$	+	P/P	71
4	/	+	C/P	$\Pi x c$	$\Pi x d$	+	$Fx^2$	3	X
P/P	58	$Fx^2$	+	P/P	66	$\Pi x b$	+	$x\Pi c$	$Fx^2$
+	P/P	58	$\Pi x c$	X	—	$F \sqrt{ } C/P$	$\Pi x 3$	$\Pi x 4$	
X	$\Pi x 8$	/	$\Pi x 9$	/	B/O	P/P	58	4	/
B/O	$\Pi x 3$	1	.	5	X	0	.	7	5
$\Pi x 2$	X	$\Pi x a$	X	+	2	X	$\Pi x 8$	X	$\Pi x 6$
/	B/O								

**Инструкция.** Ввод  $M \rightarrow 0; Q \rightarrow 1; Q_t \rightarrow 2; F \rightarrow 3; \gamma_f \rightarrow 4; W_x \rightarrow 5; I_f \rightarrow 6;$   
 $t_w \rightarrow 7; t_w \rightarrow 8; l_{ef} \rightarrow 9; h_r \rightarrow a.$  В/О С/П. Индикация —  $\sigma_2.$  С/П. Индикация —  $\sigma_3.$   
С/П. Индикация —  $\tau_1.$  С/П. Индикация —  $\sigma_1.$

**Контрольный пример.**  $125\,000 \rightarrow 0; 1000 \rightarrow 1; 30 \rightarrow 2; 300 \rightarrow 3; 1,1 \rightarrow 4;$   
 $8340 \rightarrow 5; 400 \rightarrow 6; 100 \rightarrow 7; 1,2 \rightarrow 8; 30 \rightarrow 9; 19 \rightarrow a.$

**Результат:**  $\sigma_2 = 17,28; \sigma_3 = 14,3; \tau_1 = 12,36; \sigma_1 = 24,35.$

**Время счета:** 45 с.

### Программа 4.56

#### Определение напряжения при расчете на выносливость сжатой зоны подкрановой балки

$\Pi x0$	$\Pi x1$	/	$Fx^2$	$\Pi x2$	$\Pi x3$	/	$\Pi x4$	/	$Fx^2$
0	.	3	6	X	+	$F \sqrt{ }$	0	.	5
X	$\Pi x 5$	$\Pi x 6$	X	$\Pi x 4$	/	$\Pi x 7$	/	0	.

$$4 \times + \frac{\text{Px6}}{\times} 1 \cdot \frac{5}{2} \times + \frac{5}{x\text{Pd}} \times \frac{\text{Px8}}{\text{C/P}} \frac{\text{Px9}}{\text{Px4}}$$

**Инструкция.** Ввод  $M \rightarrow 0$ ;  $W_x \rightarrow 1$ ;  $Q \rightarrow 2$ ;  $h_w \rightarrow 3$ ;  $t_w \rightarrow 4$ ;  $\gamma_f \rightarrow 5$ ;  $F \rightarrow 6$ ;  $l_{ef} \rightarrow 7$ ;  $Q_f \rightarrow 8$ ;  $h_r \rightarrow 9$ ;  $I_f \rightarrow a$ . В/О С/П. Индикация —  $\sigma_1$ .

**Контрольный пример.**  $100\ 000 \rightarrow 0$ ;  $10\ 000 \rightarrow 1$ ;  $1000 \rightarrow 2$ ;  $100 \rightarrow 3$ ;  $1 \rightarrow 4$ ;  $1,1 \rightarrow 5$ ;  $140 \rightarrow 6$ ;  $14 \rightarrow 7$ ;  $50 \rightarrow 8$ ;  $18 \rightarrow 9$ ;  $420 \rightarrow a$ .

**Результат:**  $\sigma = 12,34$ .

**Время счета:** 15 с.

### Программа 4.57

**Проверка прочности балки с гибкой стенкой, укрепленной только поперечными ребрами жесткости, и определение сжимающей силы  $N$**

$$\begin{array}{ccccccccc} 1 & \text{Px6} & \text{Px7} & / & - & 3 & \cdot & 3 & \times \text{Px7} \\ \times & \text{Px1} & \times & \text{Px2} & \times & \text{Px4} & \times & \text{Px5} & \times 1 \\ \text{Px5} & Fx^2 & + & / & x\text{Pb} & \text{Px6} & \text{Px1} & \text{Px2} & \times \times \\ + & x\text{Pc} & 1 & \text{Px1} & \text{Px2} & / & \text{Px8} & \text{Px9} & / F \sqrt{ } \\ \times & F1/x & x\text{Pd} & - & 0 & . & 8 & 5 & \times \text{Px} \\ \times & \text{Px0} & \text{Px1} & / & \text{Px2} & / & + & \text{Px8} & \times \text{Px2} \\ \times & \text{Px1} & Fx^2 & \times & x\text{Pd} & \text{Px3} & \text{Px4} & / & Fx^2 \\ \text{Px} & \text{Px} & / & Fx^2 & Fx^2 & + & \text{C/P} & \text{BП} & 65 \end{array}$$

**Инструкция.** Ввод  $A_f \rightarrow 0$ ;  $h_w \rightarrow 1$ ;  $t_w \rightarrow 2$ ;  $M \rightarrow 3$ ;  $\beta \rightarrow 4$ ;  $\mu \rightarrow 5$ ;  $\tau_{cr} \rightarrow 6$ ;  $R_s \rightarrow 7$ ;  $R_y \rightarrow 8$ ;  $E \rightarrow 9$ ;  $Q \rightarrow a$ . В/О С/П. Индикация —  $c$ ;  $N \leftarrow b$ ;  $Q_u \leftarrow c$ ;  $M_u \leftarrow d$ .

**Примечание.** При счете после программы 4.58 значения  $\beta$ ,  $\mu$ ,  $\tau_{cr}$ ,  $R_s$ ,  $R_y$

■  $E$  можно не вводить.

**Контрольный пример.**  $30 \rightarrow 0$ ;  $250 \rightarrow 1$ ;  $0,8 \rightarrow 2$ ;  $[100\ 000 \rightarrow 3$ ;  $0,217 \rightarrow 4$ ;  $1,2 \rightarrow 5$ ;  $3,24 \rightarrow 6$ ;  $13 \rightarrow 7$ ;  $21 \rightarrow 8$ ;  $20600 \rightarrow 9$ ;  $400 \rightarrow a$ .

**Результат:**  $c = 0,03922$ ;  $N = 687$ ;  $Q_u = 1335$ ;  $M_u = 238\ 000$ .

**Время счета:** 21 с.

### Программа 4.58

**Определение коэффициента  $\beta$  и критического напряжения  $\tau_{cr}$  для проверки прочности балки с гибкой стенкой**

$$\begin{array}{ccccccccc} 8 & \text{Px0} & \times & \text{Px2} & / & \text{Px1} & Fx^2 & / & \text{Px3} & Fx^2 \\ / & \text{Px1} & Fx^2 & \text{Px3} & Fx^2 & + & \times & x\text{P4} & 0 & - \\ 0 & 3 & \leftrightarrow & - & Fx \geqslant 0 & 40 & \text{Px} & 5 & \text{Px4} & \times \\ + & x\text{P4} & \text{Px} & - & Fx < 0 & 52 & \text{Px} & x\text{P4} & \text{BП} & 52 \\ \text{Px} & 3 & \text{Px} & \times & + & x\text{P4} & \text{Px} & - & Fx \geqslant 0 & 52 \\ \text{Px} & x\text{P4} & \text{Px} & \text{Px} & x\text{P6} & / & x\text{P5} & 1 & \text{Px} & Fx < 0 \\ \text{Px} & x\text{P4} & \text{Px} & \text{Px} & x\text{P6} & / & x\text{P5} & 1 & \text{Px} & / \\ 66 & \text{Px} & F1/x & x\text{P5} & \text{Px} & x\text{P6} & \text{Px} & \text{Px} & \text{Px} & \\ \text{Px} & \text{Px} & / & F \sqrt{ } & \times & \text{Px} & \text{Px} & / & 1 & \\ 3 & \times & 0 & . & 7 & 6 & \text{Px} & \text{Fx}^2 & 0 & 1 \\ + & \times & x\text{P6} & \text{C/P} & & & \text{Px} & / & & \end{array}$$

**Инструкция.** Ввод  $W_{min} \rightarrow 0$ ;  $h_w \rightarrow 1$ ;  $t_w \rightarrow 2$ ;  $a \rightarrow 3$ ;  $R_s \rightarrow 7$ ;  $R_y \rightarrow 8$ ;  $E \rightarrow 9$ ; константы —  $0,4 \rightarrow a$ ;  $0,05 \rightarrow b$ ;  $0,15 \rightarrow c$ ;  $0,11 \rightarrow d$ . В/О С/П. Индикация —  $\tau_{cr}$ ;  $\beta \leftarrow 4$ ;  $\mu \leftarrow 5$ ;  $\tau_{cr} \leftarrow 6$ .

**Контрольный пример.**  $132 \rightarrow 0$ ;  $250 \rightarrow 1$ ;  $0,8 \rightarrow 2$ ;  $300 \rightarrow 3$ ;  $13 \rightarrow 7$ ;  $21 \rightarrow 8$ ;  $20\ 600 \rightarrow 9$ ;  $0,4 \rightarrow a$ ;  $0,05 \rightarrow b$ ;  $0,15 \rightarrow c$ ;  $0,11 \rightarrow d$ .

**Результат:**  $\tau_{cr} = 2,05$ ;  $\beta = 0,217$ ;  $\mu = 1,2$ .

**Время счета:** 21 с.

### Программа 4.59

Определение геометрических характеристик таврового сечения, образованного сжатым

поясом балки с гибкой стенкой и участком стенки высотой 0,5  $t_w \sqrt{E/R_y}$

$$\begin{array}{ccccccccc}
 \text{П}x9 & \text{П}x8 & / & F \vee & \text{П}x2 & \times & 0 & \cdot & 5 & \times \\
 \text{x}\Pi1 & \text{П}x2 & \times & \text{П}x3 & \text{П}x4 & \times & + & x\Pi5 & \text{П}x2 & \text{П}x1 \\
 \times & \text{П}x1 & \text{П}x4 & + & 2 & / & \times & \text{П}x5 & / & x\Pi6 \\
 Fx^2 & \text{П}x3 & \text{П}x4 & \times & \times & \text{П}x3 & \text{П}x4 & \text{П}x4 & Fx^2 & \times \\
 \times & 1 & 2 & / & + & \text{П}x1 & \text{П}x1 & Fx^2 & \times & \text{П}x2 \\
 \times & 1 & 2 & / & + & \text{П}x1 & \text{П}x4 & + & 2 & / \\
 \text{П}x6 & - & Fx^2 & \text{П}x1 & \text{П}x2 & \times & \times & + & x\Pi7 & \text{П}x4 \\
 2 & / & \text{П}x6 & + & x\Pi6 & / & x\Pi0 & C/\Pi & &
 \end{array}$$

**Инструкция.** Ввод  $t_w \rightarrow 2$ ;  $b \rightarrow 3$ ;  $t_f \rightarrow 4$ ;  $R_y \rightarrow 8$ ;  $E \rightarrow 9$ . В/О С/П. Индикация —  $W_{\min}$ ;  $h_1 \leftarrow 1$ ;  $A_t \leftarrow 5$ ;  $y \leftarrow 6$ ;  $I_x \leftarrow 7$ ;  $W_{\min} \leftarrow 0$ .

**Контрольный пример.**  $1 \rightarrow 2$ ;  $20 \rightarrow 3$ ;  $1,2 \rightarrow 4$ ;  $21 \rightarrow 8$ ;  $20\ 600 \rightarrow 9$ .

**Результат:**  $W_{\min} = 253,6$ ;  $h_1 = 15,7$ ;  $A_t = 39,7$ ;  $y = 3,93$ ;  $I_x = 996$ .

Время счета: 21 с.

### Программа 4.60

Определение геометрических характеристик таврового сечения, образованного односторонним ребром с примыкающими к нему участками стенки длиной по

$$0,65 t_w \sqrt{E/R_y}$$

$$\begin{array}{ccccccccc}
 \text{П}x9 & \text{П}x8 & / & F \vee & 1 & \cdot & 3 & \times & \text{П}x4 & \times \\
 \text{П}x2 & + & x\Pi3 & \text{П}x4 & \times & \text{П}x1 & \text{П}x2 & \times & + & x\Pi5 \\
 \text{П}x2 & \text{П}x1 & \times & \text{П}x1 & \text{П}x4 & + & 2 & / & \times & \text{П}x5 \\
 / & x\Pi6 & Fx^2 & \text{П}x3 & \text{П}x4 & \times & \times & \text{П}x3 & \text{П}x4 & \text{П}x4 \\
 Fx^2 & \times & \times & 1 & 2 & / & + & \text{П}x1 & \text{П}x1 & Fx^2 \\
 \times & \text{П}x2 & \times & 1 & 2 & / & + & \text{П}x1 & \text{П}x4 & + \\
 2 & / & \text{П}x6 & - & Fx^2 & \text{П}x1 & \text{П}x2 & \times & \times & + \\
 x\Pi7 & \text{П}x4 & 2 & / & \text{П}x6 & + & / & x\Pi0 & \text{П}x7 & \text{П}x5 \\
 / & F \vee & x\Pi a & \text{П}xb & \text{П}xd & - & Fx \geqslant 0 & 90 & \text{П}xd & x\Pi b \\
 1 & \text{П}xb & - & \text{П}xc & \times & C/\Pi & & & &
 \end{array}$$

**Инструкция.** Ввод  $b_h \rightarrow 1$ ;  $t_h \rightarrow 2$ ;  $t_w \rightarrow 4$ ;  $R_y \rightarrow 8$ ;  $E \rightarrow 9$ ;  $\beta \rightarrow b$ ;  $h_w \rightarrow c$ ;  $0,3 \rightarrow d$ . В/О. С/П. Индикация —  $I_{ef}$ ;  $W_{\min} \leftarrow 0$ ;  $b \leftarrow 3$ ;  $A_t \leftarrow 5$ ;  $y \leftarrow 6$ ;  $I_x \leftarrow 7$ ;  $i_x \leftarrow a$ .

**Контрольный пример.**  $16 \rightarrow 1$ ;  $1,2 \rightarrow 2$ ;  $1,2 \rightarrow 4$ ;  $21 \rightarrow 8$ ;  $20\ 600 \rightarrow 9$ ;  $0,217 \rightarrow b$ ;  $250 \rightarrow c$ ;  $0,3 \rightarrow d$ .

**Результат:**  $I_{ef} = 195,7$ ;  $W_{\min} = 556,4$ ;  $b = 50,06$ ;  $A_t = 79,27$ ;  $y = 2,08$ ;  $I_x = 1493$ ;  $i_x = 4,34$ .

Время счета: 26 с.

### Программа 4.61

Определение предельного момента для балки с гибкой стенкой, не укрепленной ребрами жесткости в пролете

$$\begin{array}{ccccccccc}
 \text{П}xa & \text{П}x8 & / & F \vee & \text{П}xc & \times & \text{П}xd & / & x\Pi7 & 1 \\
 B \uparrow & 5 & . & 6 & \text{П}xb & \times & \text{П}xd & / & \text{П}x9 & / \\
 \overline{-} & \text{П}xa & \times & \text{П}xd & \times & \text{П}xc & Fx^2 & \times & 1 & \text{П}x7 \\
 F1/x & - & 1 & . & 4 & \text{П}x7 & / & \times & \text{П}xb & \text{П}xd \\
 / & \text{П}xc & / & + & \times & C/\Pi & & & &
 \end{array}$$

**Инструкция.** Ввод  $E \rightarrow 8$ ;  $l \rightarrow 9$ ;  $R_y \rightarrow a$ ;  $A_f \rightarrow b$ ;  $h_w \rightarrow c$ ;  $t_w \rightarrow d$ . В/О С/П. Индикация —  $M_u$ .

**Контрольный пример.**  $20\ 600 \rightarrow 8$ ;  $800 \rightarrow 9$ ;  $21 \rightarrow a$ ;  $30 \rightarrow b$ ;  $100 \rightarrow c$ ;  $0,4 \rightarrow d$ .

**Результат:**  $M_u = 36\ 000$ .

Время счета: 12 с.

### Программа 4.62

Определение геометрических характеристик перфорированного двутавра

$\Pi x1$	4	$\Pi x4$	$\times$	$\Pi x3$	$\times$	+	$\Pi x0$	$\Pi x4$	$Fx^2$
$\times$	+	$x\Pi d$	$\Pi x4$	$\Pi x4$	$Fx^2$	$\times$	$\Pi x5$	$\times$	$\Pi x6$
1	4	$\times$	3	/	—	$x\Pi a$	$\Pi x4$	2	$\times$
/	$x\Pi 9$	$\Pi x d$	$\Pi x6$	2	$\times$	3	/	+	$x\Pi d$
$\Pi x3$	$\Pi x0$	$\Pi x4$	$\Pi x5$	$\times$	—	$\Pi x4$	$\times$	2	/
—	$\Pi x0$	2	/	$\Pi x4$	$\Pi x5$	$\times$	—	$x\Pi 7$	/
$x\Pi b$	$\Pi x1$	2	/	$\Pi x b$	$\Pi x4$	+	$Fx^2$	$\Pi x7$	$\times$
—	$\Pi x6$	3	/	—	$x\Pi C$	$\Pi x2$	2	/	$x\Pi 6$
$\Pi x4$	—	$\Pi x b$	—	/	$x\Pi 8$	$\Pi x a$	$\Pi x6$	$\Pi x4$	+
/	$x\Pi 7$	$\Pi x c$	$\Pi x b$	/	$x\Pi 6$	C/P			

**Инструкция.** Ввод  $A \rightarrow 0$ ;  $I_x \rightarrow 1$ ;  $h \rightarrow 2$ ;  $S_x \rightarrow 3$ ;  $d \rightarrow 4$ ;  $t_w \rightarrow 5$ . В/О С/П. Индикация —  $W_{\min}^t$ ;  $I_1 \leftarrow d$ ;  $I_2 \leftarrow a$ ;  $I_7 \leftarrow c$ ;  $z \leftarrow b$ ;  $W_1 \leftarrow 7$ ;  $W_2 \leftarrow 9$ ;  $W_{\min}^t \leftarrow 6$ ;  $W_{\max}^t \leftarrow 8$ .

**Контрольный пример.**  $46,5 \rightarrow 0$ ;  $7080 \rightarrow 1$ ;  $30 \rightarrow 2$ ;  $268 \rightarrow 3$ ;  $6 \rightarrow 4$ ;  $0,65 \rightarrow 5$ .

**Результат:**  $W_{\min}^t = 13,58$ ;  $I_1 = 15\ 300$ ;  $I_2 = 14\ 530$ ;  $I_7 = 98,38$ ;  $z = 7,24$ ;

$W_{\max}^t = 56,07$ ;  $W_1 = 691,9$ ;  $W_2 = 1211$ .

Время счета: 28 с.

### Программа 4.63

Определение напряжений в расчетных точках перфорированного двутавра при изгибе

$\times$	$\leftrightarrow$	/	$\Pi x5$	/	$\Pi x4$	2	$\times$	$\Pi x b$	+
2	$\times$	/	$\Pi x5$	2	$\times$	+	C/P	$x\Pi 3$	9
9	9	C/P	$x\Pi 2$	$F \downarrow$	$x\Pi 1$	$F \downarrow$	$x\Pi 0$	$F \downarrow$	$\Pi x7$
/	$\Pi x3$	4	/	$\Pi x0$	$\times$	$\Pi x8$	/	+	$\Pi x1$
$\Pi x9$	/	$\Pi x3$	4	/	$\Pi x2$	$\times$	$\Pi x6$	/	+
C/P	$x\Pi 1$	$Fx^2$	$\times$	2	0	6	0	0	/
$\Pi x a$	/	$\times$	$\Pi x1$	$\Pi x4$	2	$\times$	$\Pi x d$	+	/
1	2	—	$Fx < 0$	81	0	.	9	5	БП
82	1	/	$x\Pi 0$	$\Pi x1$	$\leftrightarrow$	/	C/P		

**Инструкция.** Ввод  $b \rightarrow 4$ ;  $t_w \rightarrow 5$ ;  $W_{\min}^t \rightarrow 6$ ;  $W_1 \rightarrow 7$ ;  $W_{\max}^t \rightarrow 8$ ;  $W_2 \rightarrow 9$ ;  $I_2 \rightarrow \rightarrow a$ ;  $z \rightarrow b$ ;  $I_7 \rightarrow c$ ;  $R_s V_c \rightarrow Z$ ;  $Q_3 \rightarrow Y$ ;  $S \rightarrow X$ . В/О С/П. Индикация —  $a_{\min}$ . Ввод принятого размера  $a \rightarrow X$ . С/П. Индикация — 999, означает переход на шаг определения напряжений. Ввод  $M \rightarrow T$ ;  $Q_1 \rightarrow Z$ ;  $M \rightarrow Y$ ;  $Q_1 \rightarrow X$ . С/П. Индикация —  $\sigma_2$ ;  $\sigma_1 \leftarrow Y$ . БП 23 С/П. Ввод  $h \rightarrow d$ ;  $\rho_m \rightarrow Z$ ;  $M_n \rightarrow Y$ ;  $l \rightarrow X$ . С/П. Индикация —  $Ux$ ;  $f \leftarrow 0$ .

Причесание: 1. При использовании программы непосредственно после работы по программе 4.62 вводить только  $R_s V_c$ ;  $Q_3$ ;  $S$ . 2. При необходимости определения напряжений при других значениях  $M$  и  $Q_1$ , ввод их выполнять многократно (бесконечный цикл). 3. При необходимости многократного определения прогиба балки ввод  $h$ ,  $\rho_m$ ,  $M_n$ ,  $l$  повторить после БП 51 С/П.

**Контрольный пример.**  $6 \rightarrow 4$ ;  $0,65 \rightarrow 5$ ;  $13,58 \rightarrow 6$ ;  $691,9 \rightarrow 7$ ;  $56,07 \rightarrow 8$ ;  $1210,9 \rightarrow 9$ ;  $14\ 531 \rightarrow a$ ;  $7,24 \rightarrow b$ ;  $98,38 \rightarrow c$ ;  $13 \rightarrow Z$ ;  $50 \rightarrow Y$ ;  $35 \rightarrow X$ ;  $10 \rightarrow X$ ;  $5000 \rightarrow T$ ;  $45 \rightarrow Z$ ;  $5000 \rightarrow Y$ ;  $45 \rightarrow X$ .  $30 \rightarrow d$ ;  $0,1042 \rightarrow Z$ ;  $4200 \rightarrow Y$ ;  $600 \rightarrow X$ .

**Результат:**  $a_{\min} = 6,68$ ; 999;  $\sigma_2 = 12,41$ ;  $\sigma_1 = 9,233$ ;  $l/f = 262,5$ ;  $f = 2,286$ .

Время счета: 24 с.

### Программа 4.64

Расчет плоского стального настила

$\Pi x8$	$Fx^2$	$Fx^2$	$\Pi x9$	$\Pi x b$	$Fx^2$	$\times$	/	6	.
4	/	$\Pi x d$	/	$\Pi x 0$	$\Pi x 2$	$\times$	$x\Pi 7$	$Fx^2$	3
$\Pi x9$	$Fx^2$	/	$x\Pi 6$			+	$x\Pi 1$	$\Pi \Pi$	85

$Fx^2$	$F \vee$	$\Pi x4$	$\leftrightarrow$	—	$Fx < 0$	54	$\Pi x5$	$Fx \geq 0$	48
$\Pi x2$	2	$\times$	$x\Pi 2$	$\Pi x1$	$x\Pi 0$	БП	24	$\Pi x2$	2
/	$x\Pi 2$	БП	24	$\Pi x8$	$\Pi x7$	1	$\Pi x1$	+	/
$x\Pi 7$	/	$x\Pi 6$	$\Pi xC$	$\Pi x8$	$Fx^2$	$\times$	8	/	1
$\Pi x1$	+	/	$\Pi x3$	$\Pi x8$	$Fx^2$	/	$\Pi x1$	$\times$	$\Pi x9$
$\Pi x9$	$Fx^2$	$\times$	$\times$	C/P	B↑	B↑	1	+	$Fx^2$
X	/—	$\Pi x6$	+	$\Pi x6$	/	$x\Pi 5$	B/O		

**Инструкция.** Ввод  $n \rightarrow a$ ;  $q_n \rightarrow b$ ;  $q \rightarrow c$ ;  $E_1 \rightarrow d$ ;  $l \rightarrow 8$ ;  $t \rightarrow 9$ ;  $\varepsilon \rightarrow 4$ ; константы 18 618 → 3; 0 → 0; 0,1 → 2. В/О С/П. Индикация —  $H$  (кН/см);  $M \leftarrow Y$ ;  $n \leftarrow 6$ ;  $f \leftarrow 7$ .

**Примечание.** При повторном счете константы 0 и 0,1 вводить обязательно.

**Контрольный пример.** 150 → a; 0,002 → b; 0,0022 → c; 22 637 → d; 120 → 8; 1,2 → 9; 0,05 → 4; константы 18 618 → 3; 0 → 0; 0,1 → 2.

**Результат:**  $H = 2,68$ ;  $M = 1,8$ ;  $n = 159$ ;  $f = 0,752$ .

**Время счета:** 80 с.

### Программа 4.65

**Определение коэффициента расчетной длины колонн постоянного сечения одноэтажных рам**

/	$x\Pi 3$	$F \uparrow$	/	$\Pi x3$	+	C/P	/	/	$x\Pi 1$
C/P	$x\Pi 0$	1	—	$Fx = 0$	28	0	.	3	8
$\Pi x1$	/	1	+	$F \vee$	2	$\times$	C/P	$\Pi x0$	2
—	$Fx = 0$	48	$\Pi x1$	0	.	5	6	+	$\Pi x1$
0	.	1	4	+	5	$F \vee$	C/P	2	C/P

**Инструкция.** Ввод  $I_{r1} \rightarrow T$ ;  $l_{r1} \rightarrow Z$ ;  $I_{r2} \rightarrow Y$ ;  $l_{r2} \rightarrow X$ . В/О С/П. Ввод  $I_c \rightarrow y$ ;  $I_o \rightarrow X$ . С/П. Ввод код → X. С/П. Индикация —  $\mu$ .

**Примечание.** Допускается ввод абсолютных или относительных значений моментов инерции.

**Контрольный пример.** 2 → T; 2400 → Z; 3 → Y; 3000 → X; 1 → Y; 1000 → X; 1 (2; 3) → X.

**Результат:**  $\mu = 2,197$  (1,1; 2).

**Время счета:** 9 с.

### Программа 4.66

**Определение коэффициента расчетной длины колонн постоянного сечения многоэтажных рам**

/	$x\Pi a$	$F \uparrow$	/	$\Pi x a$	+	$x\Pi c$	C/P	/	$x\Pi a$
$F \uparrow$	/	$\Pi x a$	+	$x\Pi d$	C/P	/	$F^1/x$	2	/
$x\Pi b$	$\Pi x c$	$\times$	$x\Pi c$	$\Pi x b$	$\Pi x d$	$\times$	$x\Pi d$	1	3
$x\Pi 0$	2	$x\Pi 1$	$K\Pi x 0$	$\Pi x 7$	—	$Fx \geq 0$	40	$\Pi x 7$	$Kx\Pi 0$
$FL1$	33	0	.	2	$\Pi x c$	—	$Fx < 0$	70	$\Pi x c$
$\Pi x 9$	+	$\Pi x c$	$\Pi x d$	$\times$	$\Pi x d$	$\Pi x 5$	+	×	$\Pi x c$
$\Pi x 8$	×	+	/	$F \vee$	$\Pi x d$	$\Pi x 2$	+	×	C/P
$\Pi x c$	$\Pi x 6$	+	$\Pi x 3$	$\Pi x d$	$\times$	$\Pi x d$	$\Pi x 5$	+	×
$\Pi x c$	$\Pi x 4$	+	$\times$	$\Pi x c$	$\Pi x 8$	$\times$	+	/	$F \vee$
$\Pi x d$	$\Pi x 3$	+	$\times$	C/P					

**Инструкция.** Ввод  $I_{s1} \rightarrow T$ ;  $l_{s1} \rightarrow Z$ ;  $I_{s2} \rightarrow Y$ ;  $l_{s2} \rightarrow X$ ; константы: 0,63 → 2; 0,68 → 3; 0,08 → 4; 0,9 → 5; 0,22 → 6; 50 → 7; 0,1 → 8; 0,28 → 9. В/О С/П. Ввод  $I_{i1} \rightarrow T$ ;  $l_{i1} \rightarrow Z$ ;  $I_{i2} \rightarrow Y$ ;  $l_{i2} \rightarrow X$ . С/П. Ввод  $I_c \rightarrow Y$ ;  $I_o \rightarrow X$ . С/П. Индикация —  $\mu$ .

**Примечания:** 1. При повторном счете константы не вводить. 2. Допускается ввод абсолютных или относительных значений моментов инерции.

**Контрольный пример.**  $1 \rightarrow T$ ;  $600 \rightarrow Z$ ;  $1 \rightarrow Y$ ;  $600 \rightarrow X$ ; константы:  $0,63 \rightarrow 2$ ;  $0,68 \rightarrow 3$ ;  $0,08 \rightarrow 4$ ;  $0,9 \rightarrow 5$ ;  $0,22 \rightarrow 6$ ;  $50 \rightarrow 7$ ;  $0,1 \rightarrow 8$ ;  $0,28 \rightarrow 9$ ;  $1 \rightarrow T$ ;  $600 \rightarrow Z$ ;  $1 \rightarrow Y$ ;  $600 \rightarrow X$ ;  $0,5 \rightarrow Y$ ;  $400 \rightarrow X$ .

**Результат:**  $\mu = 1,231$ .

**Время счета:** 21 с.

### Программа 4.67

**Определение коэффициентов расчетной длины  $\mu_1$  и  $\mu_2$  для одноступенчатых колонн со свободным и закрепленным только от поворота верхним концом**

$\Pi x2$	$\Pi x0$	/	$\Pi x1$	$\times$	$\Pi x3$	/	$x\Pi7$	$\Pi x0$	$\Pi x2$
/	$\Pi x4$	$\Pi x5$	+	$\Pi x5$	/	$x\Pi6$	/	$F \sqrt{}$	$\Pi x3$
$\times$	$\Pi x1$	/	$x\Pi8$	C/P	$\Pi x8$	$x\Pi9$	P/P	56	$x\Pi4$
C/P	$\Pi x1$	56	$x\Pi5$	C/P	$\Pi x7$	$x\Pi9$	$\Pi x4$	$x\Pi c$	$\Pi x5$
$x\Pi d$	$\Pi x1$	56	$x\Pi c$	$\Pi x8$	/	$x\Pi d$	3	$\leftrightarrow$	—
$Fx < 0$	54	3	$x\Pi d$	$\Pi x d$	C/P	$\Pi x d$	$\Pi x c$	—	$\Pi x b$
$\Pi x a$	—	/	$\Pi x 9$	$\Pi x a$	—	$\times$	$\Pi x c$	+	B/O

**Инструкция.** Ввод  $I_1 \rightarrow 0$ ;  $l_1 \rightarrow 1$ ;  $I_2 \rightarrow 2$ ;  $l_2 \rightarrow 3$ ;  $F_1 \rightarrow 4$ ;  $F_2 \rightarrow 5$ . В/О С/П. Индикация —  $a$ ;  $n \leftarrow 7$ . Ввод  $a_1 \rightarrow a$ ;  $a_2 \rightarrow b$ ;  $\mu_1^I \rightarrow c$ ;  $\mu_2^{III} \rightarrow d$  (по табл. 67 или 68 [11]). С/П. Ввод  $\mu_1^{II} \rightarrow c$ ;  $\mu_1^{IV} \rightarrow d$  (по табл. 67 или 68 [11]). С/П. Ввод  $n_1 \rightarrow a$ ;  $n_2 \rightarrow b$  (по табл. 67 или 68 [11]). С/П. Индикация —  $\mu_2$ ;  $\mu_1 \leftarrow c$ ;  $\mu_2 \leftarrow d$ .

**Примечание.** Допускается ввод абсолютных или относительных значений моментов инерции.

**Контрольный пример.**  $3 \rightarrow 0$ ;  $900 \rightarrow 1$ ;  $1 \rightarrow 2$ ;  $400 \rightarrow 3$ ;  $1000 \rightarrow 4$ ;  $100 \rightarrow 5$ ;  $0,2 \rightarrow a$ ;  $0,4 \rightarrow b$ ;  $2,06 \rightarrow c$ ;  $2,21 \rightarrow d$ .  $2,07 \rightarrow c$ ;  $2,28 \rightarrow d$ .  $0,7 \rightarrow a$ ;  $0,8 \rightarrow b$ .

**Результат:**  $a = 0,2321$ ;  $n = 0,75$ ;  $\mu_2 = 3$ ;  $\mu_1 = 2,09$ .

**Время счета:** 24 с.

### Программа 4.68

**Определение коэффициентов расчетной длины  $\mu_1$  и  $\mu_2$  для одноступенчатой колонны с неподвижным шарнирно-опертым и закрепленным от поворота верхним концом**

$\Pi x4$	$\Pi x5$	+	$\Pi x5$	/	$x\Pi6$	$\Pi x2$	$\Pi x0$	/	$x\Pi4$
$\Pi x3$	$\Pi x1$	/	$x\Pi5$	$\Pi x2$	$\Pi x0$	/	$\Pi x6$	/	$F \sqrt{}$
$\Pi x3$	$\times$	$\Pi x1$	/	$x\Pi1$	$\Pi x5$	$\Pi x4$	C/P	$\Pi x4$	$x\Pi9$
P/P	76	$x\Pi7$	C/P	$\Pi x4$	$x\Pi9$	P/P	76	$F x^2$	$\Pi x6$
—	$x\Pi d$	—	$\times$	$\Pi x7$	$F x^2$	+	$\Pi x6$	/	$x\Pi c$
$\Pi x1$	/	$x\Pi d$	3	$\leftrightarrow$	—	$Fx < 0$	60	3	$x\Pi d$
$\Pi x d$	C/P	$\Pi x d$	$\Pi x c$	—	$\Pi x b$	$\Pi x a$	—	/	$\Pi x 9$
$\Pi x a$	—	$\times$	$\Pi x c$	+	B/O	P/P	62	$x\Pi2$	C/P
P/P	62	$x\Pi3$	C/P	$\Pi x 5$	$x\Pi9$	$\Pi x 2$	$x\Pi c$	$\Pi x 3$	$x\Pi d$
P/P	62	B/O							

**Инструкция.** Ввод  $I_1 \rightarrow 0$ ;  $l_1 \rightarrow 1$ ;  $I_2 \rightarrow 2$ ;  $l_2 \rightarrow 3$ ;  $F_1 \rightarrow 4$ ;  $F_2 \rightarrow 5$ . В/О С/П. Индикация —  $a$ ;  $b \leftarrow Y$ . Ввод  $a_1 \rightarrow a$ ;  $a_2 \rightarrow b$ ;  $\mu_1^{I2} \rightarrow c$ ;  $\mu_2^{III2} \rightarrow d$  (по табл. 69 или 70 [11]). С/П. Ввод  $\mu_{12}^{II} \rightarrow c$ ;  $\mu_{12}^{IV} \rightarrow d$  (по табл. 69 или 70 [11]). С/П. Ввод  $b_1 \rightarrow a$ ;  $b_2 \rightarrow b$  (по табл. 69 или 70 [11]). С/П. Ввод  $a_1 \rightarrow a$ ;  $a_2 \rightarrow b$ ;  $\mu_1^{I1} \rightarrow c$ ;  $\mu_2^{III1} \rightarrow d$  (по табл. 69 или 70 [11]). С/П. Ввод  $\mu_{11}^{II} \rightarrow c$ ;  $\mu_{11}^{IV} \rightarrow d$  (по табл. 69 или 70 [11]). С/П. Ввод  $b_1 \rightarrow a$ ;  $b_2 \rightarrow b$  (по табл. 69 или 70 [11]). Индикация —  $\mu_2$ ;  $\mu_1 \leftarrow c$ ;  $\mu_2 \leftarrow d$ .

**Примечание.** Допускается ввод абсолютных или относительных значений моментов инерции.

**Контрольный пример.**  $3 \rightarrow 0$ ;  $900 \rightarrow 1$ ;  $1 \rightarrow 2$ ;  $400 \rightarrow 3$ ;  $10 \rightarrow 4$ ;  $1 \rightarrow 5$ .  $0,3 \rightarrow a$ ;  $0,4 \rightarrow b$ ;  $1,27 \rightarrow c$ ;  $1,17 \rightarrow d$ .  $1,44 \rightarrow c$ ;  $1,32 \rightarrow d$ ;  $0,4 \rightarrow a$ ;  $0,5 \rightarrow b$ ;  $0,3 \rightarrow a$ ;  $0,4 \rightarrow b$ ;  $0,71 \rightarrow c$ ;  $0,69 \rightarrow d$ ;  $0,8 \rightarrow c$ ;  $0,75 \rightarrow d$ ;  $0,4 \rightarrow a$ ;  $0,5 \rightarrow b$ .

**Результат:**  $a = 0,333$ ;  $b = 0,444$ ;  $\mu_1 = 0,8076$ ;  $\mu_2 = 3$ .

**Время счета:** 48 с.

### Программа 4.69

Определение геометрических характеристик произвольного сплошностенчатого сечения колонны

$\Pi_{xc}$	$\Pi_{xd}$	$\times$	$\Pi_{xa}$	$+$	$\Pi_{xb}$	$+$	$x\Pi_0$	$\Pi_{xc}$	$Fx^2$
$\Pi_{xd}$	$\times$	2	/	$\Pi_{xb}$	$\Pi_{xc}$	$\times$	+	$\Pi_{x0}$	/
$x\Pi_5$	$\Pi_{xc}$	-	/-	$x\Pi_4$	$Fx^2$	$\Pi_{xb}$	$\times$	$\Pi_{x5}$	$Fx^2$
$\Pi_{xa}$	$\times$	+	+	$\Pi_{xc}$	$\Pi_{xc}$	$Fx^2$	$\times$	$\Pi_{xd}$	$\times$
2	/	+	+	$\Pi_{xc}$	2	/	$\Pi_{x5}$	-	$Fx^2$
$\times$	$\Pi_{xc}$	$\times$	+	$x\Pi_1$	$\Pi_{x5}$	/	$x\Pi_2$	$\Pi_{x1}$	$\Pi_{x4}$
/	$x\Pi_3$	$\Pi_{xa}$	$\Pi_{x5}$	$\times$	$\Pi_{x5}$	$Fx^2$	$\Pi_{xd}$	$\times$	2
/	+	$x\Pi_6$	$\Pi_{x1}$	$\Pi_{x0}$	/	$F \vee$	$x\Pi_d$	$\Pi_{x8}$	$\Pi_{x9}$
+	$x\Pi_7$	$\Pi_{x8}$	$\Pi_{xa}$	/	$F \vee$	$x\Pi_a$	$\Pi_{x9}$	$\Pi_{xb}$	/
$F \vee$	$x\Pi_b$	$\Pi_{x7}$	$\Pi_{x0}$	/	$F \vee$	$x\Pi_c$	C/P		

**Инструкция.** Ввод  $A_1 \rightarrow a$ ;  $A_2 \rightarrow b$ ;  $h \rightarrow c$ ;  $t_w \rightarrow d$ ;  $I_{y1} \rightarrow 8$ ;  $I_{y2} \rightarrow 9$ . В/О С/П.

Индикация —  $i_y$ ;  $A \leftarrow 0$ ;  $I_x \leftarrow 1$ ;  $W_1 \leftarrow 2$ ;  $W_2 \leftarrow 3$ ;  $y_2 \leftarrow 4$ ;  $y_1 \leftarrow 5$ ;  $S_x \leftarrow 6$ ;  $I_y \leftarrow 7$ ;  $i_y \leftarrow a$ ;  $i_{y2} \leftarrow b$ ;  $i_y \leftarrow c$ ;  $i_x \leftarrow d$ .

П р и м е ч а н и е. Учитывая, что моменты инерции ветвей относительно собственных осей, параллельных оси  $x$ , малы, ими пренебрегают.

**Контрольный пример.**  $40 \rightarrow a$ ;  $30 \rightarrow b$ ;  $80 \rightarrow c$ ;  $1 \rightarrow d$ ;  $1333 \rightarrow 8$ ;  $562,5 \rightarrow 9$ .

**Результат:**  $A = 150$ ;  $I_x = 153\,600$ ;  $W_1 = 4114$ ;  $W_2 = 3600$ ;  $y_2 = 42,667$ ;  $y_1 = 87,333$ ;  $S_x = 2190$ ;  $I_y = 1895$ ;  $i_{y1} = 5,77$ ;  $i_{y2} = 4,33$ ;  $i_y = 3,55$ ;  $i_x = 32$ .

Время счета: 28 с.

### Программа 4.70

Определение геометрических характеристик составного швеллера (вариант 1, рис. 4.11, б)

$\Pi_{x1}$	$\Pi_{x2}$	$\times$	$\Pi_{x3}$	$\Pi_{x4}$	$\times$	2	$\times$	+	$x\Pi_5$
0	$x\Pi_b$	1	$x\Pi_c$	2	$x\Pi_d$	$\Pi\Pi$	80	$x\Pi_6$	$\Pi_{x1}$
$\Pi_{x4}$	—	2	/	$\Pi_{x0}$	—	$x\Pi_b$	4	$x\Pi_c$	3
$x\Pi_d$	$\Pi\Pi$	80	2	$\times$	$\Pi_{x6}$	+	$x\Pi_6$	$\Pi_{x3}$	$\Pi_{x2}$
+	$\Pi_{x4}$	$\times$	$\Pi_{x3}$	$\times$	$\Pi_{x5}$	/	$x\Pi_b$	$\Pi_{x2}$	2
/	+	$x\Pi_8$	2	$x\Pi_C$	1	$x\Pi_d$	$\Pi\Pi$	80	$x\Pi_7$
$\Pi_{x3}$	2	/	$\Pi_{x2}$	+	$\Pi_{x8}$	—	$x\Pi_b$	3	$x\Pi_C$
4	$x\Pi_d$	$\Pi\Pi$	80	2	$\times$	$\Pi_{x7}$	+	$x\Pi_7$	C/P
3	K $\Pi_{xc}$	$Fx^Y$	K $\Pi_{xd}$	$\times$	1	2	/	K $\Pi_{xc}$	K $\Pi_{xd}$
$\times$	$\Pi_{xb}$	$Fx^2$	$\times$	+	B/O				

**Инструкция.** Ввод  $\delta \rightarrow 0$ ;  $h \rightarrow 1$ ;  $t_w \rightarrow 2$ ;  $b \rightarrow 3$ ;  $t_f \rightarrow 4$ . В/О С/П. Индикация —  $I_y$ ;  $A \leftarrow 5$ ;  $I_x \leftarrow 6$ ;  $I_y \leftarrow 7$ ;  $x_0 \leftarrow 8$ .

**Контрольный пример.**  $2 \rightarrow 0$ ;  $40 \rightarrow 1$ ;  $2 \rightarrow 2$ ;  $10 \rightarrow 3$ ;  $1 \rightarrow 4$ .

**Результат:**  $A = 100$ ;  $I_x = 16\,790$ ;  $I_y = 769,3$ ;  $x_0 = 2,2$ .

Время счета: 47 с.

### Программа 4.71

Определение геометрических характеристик составного швеллера (вариант 2, рис. 4.11, б)

$\Pi_{xa}$	$\Pi_{xb}$	$\times$	$\Pi_{xc}$	$\Pi_{xd}$	$\times$	2	$\times$	+	$x\Pi_1$
$\Pi_{xa}$	$\Pi_{xa}$	$Fx^2$	$\times$	$\Pi_{xb}$	$\times$	1	2	/	$\Pi_{xa}$
$\Pi_{xd}$	+	$Fx^2$	2	/	$\Pi_{xd}$	$\times$	$\Pi_{xc}$	$\times$	+
$x\Pi_2$	$\Pi_{xc}$	$\Pi_{xb}$	—	2	/	$\Pi_{x9}$	—	2	+
$\Pi_{xc}$	$\times$	$\Pi_{xd}$	$\times$	$\Pi_{x1}$	/	$\Pi_{xb}$	2	/	+
$x\Pi_0$	$\Pi_{xc}$	$\Pi_{xc}$	$Fx^2$	$\times$	$\Pi_{xd}$	$\times$	2	$\times$	$\Pi_{xb}$
$\Pi_{xb}$	$Fx^2$	$\times$	$\Pi_{xa}$	$\times$	+	1	2	/	$\Pi_{x0}$
$\Pi_{xb}$	2	/	—	$Fx^2$	$\Pi_{xa}$	$\times$	$\Pi_{xb}$	$\times$	+
$\Pi_{x0}$	$\Pi_{x9}$	+	$\Pi_{xc}$	2	/	$Fx^2$	2	$\times$	+
$\Pi_{xc}$	$\times$	$\Pi_{xd}$	$\times$	+	$x\Pi_3$	C/P			

**Инструкция.** Ввод  $\delta \rightarrow 9$ ;  $h \rightarrow a$ ;  $t_w \rightarrow b$ ;  $b \rightarrow c$ ;  $t_f \rightarrow d$ . В/О С/П. Индикация —  $I_y$ ;  $A \leftarrow 1$ ;  $I_x \leftarrow 2$ ;  $I_y \leftarrow 3$ ;  $x_0 \leftarrow 0$ .

**Контрольный пример.**  $9,6 \rightarrow 9$ ;  $30 \rightarrow a$ ;  $0,8 \rightarrow b$ ;  $20 \rightarrow c$ ;  $1 \rightarrow d$ .

**Результат:**  $A = 64$ ;  $I_x = 11410$ ;  $I_y = 1335$ ;  $x_0 = 0,4$ .

Время счета: 27 с.

### Программа 4.72

Определение напряжений в сварном шве крепления плафон сквозных колонн

2	3	3	0	Px5	Px4	/	—	7	1
5	ВП	8	/—/	×	Px2	×	Px3	/	$x\Pi 8$
Px1	×	Px0	/	2	/	$x\Pi 9$	Px6	1	—
Px7	×	/	$x\Pi C$	Px8	Px1	×	4	/	$x\Pi a$
Px6	1	—	$Fx^2$	Px7	×	6	/	/	$x\Pi b$
$Fx^2$	PxC	$Fx^2$	+	$F \sqrt{}$	$x\Pi d$	C/P			

**Инструкция.** Ввод  $b \rightarrow 0$ ;  $l \rightarrow 1$ ;  $N \rightarrow 2$ ;  $\varphi \rightarrow 3$ ;  $R_y \rightarrow 4$ ;  $E \rightarrow 5$ ;  $b_s \rightarrow 6$ ;  $\beta_f k_f \times$   $\times (\beta_z k_z) \rightarrow 7$ . В/О С/П. Индикация —  $\sigma_{f(z)}$ ;  $Q_{fic} \leftarrow 8$ ;  $F \leftarrow 9$ ;  $M \leftarrow a$ ;  $\sigma_M \leftarrow b$ ;  $\tau_F \leftarrow c$ ;  $\sigma_{f(z)} \leftarrow d$ .

**Контрольный пример.**  $35 \rightarrow 0$ ;  $120 \rightarrow 1$ ;  $1800 \rightarrow 2$ ;  $0,8 \rightarrow 3$ ;  $21 \rightarrow 4$ ;  $20\ 600 \rightarrow 5$ ;  $18 \rightarrow 6$ ;  $0,56 \rightarrow 7$ .

**Результат:**  $\sigma_f = 24,45$ ;  $Q_{fic} = 21,7$ ;  $F = 37,2$ ;  $M = 651$ ;  $\sigma_M = 24,1$ ;  $\tau_F = 3,9$ .

Время счета: 14 с.

### Программа 4.73

Расчет оголовка центрально-сжатой колонны

Px1	2	/	Px3	—	Px2	2	/	+	$x\Pi c$
СП	$x\Pi c$	Px0	Px4	/	Px7	/	$x\Pi c$	/	2
/	$x\Pi d$	Px5	Px6	/	$F \sqrt{}$	2	$x\Pi c$	×	
↔	—	$Fx \geqslant 0$	43	Px5	Px6	/	$F \sqrt{}$	2	×
PxС	×	$x\Pi d$	Pxd	C/P	8	5	$x\Pi a$	×	$Px b$
×	$x\Pi d$	Px0	4	/	$x\Pi a$	/	$Px b$	/	$Px 8$
/	$Px 9$	/	Px7	/	1	+	$x\Pi c$	—	$Fx \geqslant 0$
73	Pxc	C/P	9	9	9	C/P	Pxc	Pxd	/
C/P	BП		45						

**Инструкция.** 1. Ввод  $N \rightarrow 0$ ;  $b_{оп} \rightarrow 1$ ;  $t_{пл} \rightarrow 2$ ;  $t_w \rightarrow 3$ ;  $R_p \rightarrow 4$ ;  $R_y \rightarrow 5$ ;  $E \rightarrow 6$ ;  $\gamma_c \rightarrow 7$ ;  $R_{wz}$  ( $R_{wf}$ )  $\rightarrow 8$ ;  $\gamma_{wz}$  ( $\gamma_{wf}$ )  $\rightarrow 9$ ;  $\beta_z$  ( $\beta_f$ )  $\rightarrow a$ ;  $k_f \rightarrow b$ ; 2. В/О С/П. 3. Индикация —  $b_h$ . 4. Ввод принятой ширины  $b_h \rightarrow X$ . 5. С/П. 6. Индикация —  $t_h$ . 7. С/П. 8. Индикация —  $l_h$ , означает, что  $n \leqslant 1$ . 8. Индикация — 999, означает, что  $n > 1$ . 9. С/П. 10. Индикация —  $n$ . 11. Ввод принятых  $\beta_f \rightarrow a$ ;  $k_f \rightarrow b$ . 12. С/П. 13. Индикация —  $l_h$ .

**Контрольный пример.**  $1000 \rightarrow 0$ ;  $18 \rightarrow 1$ ;  $3 \rightarrow 2$ ;  $1,6 \rightarrow 3$ ;  $32 \rightarrow 4$ ;  $21 \rightarrow 5$ ;  $20600 \rightarrow 6$ ;  $1,1 \rightarrow 7$ ;  $18 \rightarrow 8$ ;  $1 \rightarrow 9$ ;  $0,7 \rightarrow a$ ;  $1 \rightarrow b$ .

**Результат:**  $b_h = 9$ ;  $t_h = 1,578$ ;  $l_h = 19,03$ .

Время счета: 19 с.

### Программа 4.74

Определение толщины опорной плиты базы центрально-сжатой колонны

Px2	$x\Pi 6$	Px6	C/P	$x\Pi 8$	/	C/P	Px1	×	Px8
$Fx^2$	×	6	×	Px4	/	Px5	/	$F \sqrt{}$	$x\Pi 7$
C/P	Px3	↔	—	$Fx \geqslant 0$	35	Px7	Px6	—	$Fx \geqslant 0$
02	Px7	$x\Pi 6$	BП	02	9	9	9	C/P	B/P
02									

**Инструкция.** 1. Ввод  $q \rightarrow 1$ ;  $t_{\min} \rightarrow 2$ ;  $t_{\max} \rightarrow 3$ ;  $R_y \rightarrow 4$ ;  $\gamma_c \rightarrow 5$ . 2. В/О С/П. 3. Индикация —  $t_{\min}$ . 4. Ввод  $b \rightarrow Y$ ;  $a \rightarrow X$ . 5. С/П. 6. Индикация —  $b/a$ . 7. Ввод  $\alpha \rightarrow X$ . 8. С/П. 9. Индикация —  $t_l$ . 10. С/П. 11. Индикация —  $t_{pl}$ . 11. Индикация — 999, означает, что при заданном значении  $t_{\max}$ ,  $t_{pl} > t_{\max}$  (и нужны дополнительные ребра и диафрагмы). 12. С/П. 13. По п. 3.

При мечани е. Пп. 4...7 повторять по числу участков опорной плиты.

**Контрольный пример.** 1,3 → 1; 2 → 2; 6 → 3; 21 → 4; 1,2 → 5. 20 → Y; 12 → X (участок 1); 0,087 → X; 15 → Y; 10 → X (участок 2); 0,081 → X; 30 → Y; 16 → X (участок 3); 0,097 → X.

**Результат:**  $t = 2$ ;  $b/a = 1,66$ ;  $t_1 = 1,969$ ;  $b/a = 1,5$ ;  $t_2 = 1,583$ ;  $b/a = 1,875$ ;  $t_s = 2,77$ ;  $t_{pac} = 2,77$ .

Время счета: 12 с (каждый цикл).

### Программа 4.75

#### Определение высоты консольных ребер базы центрально-сжатой колонны

$Px0$	$Px2$	/	$Px3$	/	С/П	$x\Pi0$	$\Pi\Pi$	91	$Fx^2$
4	/	$Px2$	×	$Px0$	×	$x\Pi d$	6	×	$Px a$
/	$Px8$	/	$Px9$	/	$FV$	$x\Pi b$	$Px0$	2	/
$Px2$	×	$\Pi\Pi$	91	×	$Px6$	/	$Px5$	/	$Px b$
1	—	/	$x\Pi c$	$Px4$	↔	—	$Fx \geq 0$	85	$Px d$
6	×	$Px5$	/	$Px6$	/	$Px b$	1	—	$Fx^2$
/	$B \uparrow$	$Fx^2$	$Px C$	$Fx^2$	+	$F V$	$x\Pi c$	↔	$Px 4$
↔	—	$Fx \geq 0$	85	$Px4$	$Px9$	×	$Px7$	×	$Px c$
—	$Fx \geq 0$	85	$Px b$	C/П	$Px b$	2	+	$x\Pi b$	BП
27	$Px3$	$Px1$	—	2	/	B/O			

**Инструкция.** 1. Ввод  $N \rightarrow 0$ ;  $b \rightarrow 1$ ;  $B \rightarrow 2$ ;  $L \rightarrow 3$ ;  $R_{wf} \rightarrow 4$ ;  $k_f \rightarrow 5$ ;  $\beta_f \rightarrow 6$ ;  $\gamma_{wf} \rightarrow 7$ ;  $R_y \rightarrow 8$ ;  $\gamma_c \rightarrow 9$ ;  $t_s \rightarrow a$ . 2. В/О С/П. 3. Индикация —  $q$ . 4. С/П. 5. Индикация —  $h_s$ . 6. Ввод принятой высоты  $h_s \rightarrow X$ . 7. С/П. 8. Индикация —  $h_s$ ;  $\sigma_f \leftarrow c$ .

При мечани я: 1. При необходимости после п. 3 можно изменить  $B$  и  $L$  и перейти к п. 2. 2. После п. 5 вместе с  $h_s$  допускается вводить также  $t_s$ ,  $k_f$ ,  $\beta_f$ . 3. При повторном счете вводить только  $N$  и изменившиеся величины.

**Контрольный пример.** 3000 → 0; 40 → 1; 50 → 2; 80 → 3; 18 → 4; 0,6 → 5; 0,7 → 6; 1 → 7; 21 → 8; 1,1 → 9; 1,4 → a.

**Результат:**  $q = 0,75$ ;  $h_s = 64,38$ ;  $\sigma_f = 18,5$ .

Время счета: 240 с.

### Программа 4.76

#### Определение высоты траверсы базы центрально-сжатой колонны

$Px0$	$Px1$	$Px2$	×	/	$x\Pi d$	С/П	8	5	$Px3$
×	$Px4$	×	$Px0$	4	/	$Px3$	/	$Px4$	/
$Px5$	/	$Px6$	/	$Px8$	/	1	+	$x\Pi c$	—
$Fx \geq 0$	64	$Px c$	C/П	$x\Pi c$	$Px d$	$Px1$	4	/	$Px 2$
$Px9$	—	2	/	$Fx^2$	×	6	×	$Px a$	/
$Px c$	$Fx^2$	/	×	$x\Pi b$	$Px7$	$Px8$	×	↔	—
$Fx \geq 0$	70	$Px c$	C/П	2	2	2	C/П	BП	00
3	3	3	C/П	$Px b$	C/П	$x\Pi c$	8	5	$Px 3$
×	$Px4$	×	↔	—	$Fx \geq 0$	64	BП	35	

**Инструкция.** 1. Ввод  $N \rightarrow 0$ ;  $B \rightarrow 1$ ;  $L \rightarrow 2$ ;  $\beta_f \rightarrow 3$ ;  $k_f \rightarrow 4$ ;  $R_{wf} \rightarrow 5$ ;  $\gamma_{wf} \rightarrow 6$ ;  $R_y \rightarrow 7$ ;  $\gamma_c \rightarrow 8$ ;  $h \rightarrow 9$ ;  $t_s \rightarrow a$ . 2. В/О С/П. 3. Индикация —  $q$ . 4. С/П. 5. Индикация —  $h_s$ . 6. Ввод принятой высоты  $h_s \rightarrow X$ . 7. С/П. 8. Индикация —  $h_s$ , означает, что  $n \leq 1,5$ . Индикация — 222, означает, что  $n > 1,6$ . Ввод  $\beta_f \rightarrow 3$ ;  $k_f \rightarrow 4$ . 7. С/П. 8. По п. 5. 5. Индикация — 333, означает, что  $\sigma > R_y \gamma_c$ . 6. С/П. 7. Индикация —  $\sigma$ . 8. Ввод принятой высоты  $h_s \rightarrow X$ . 9. С/П. 10. По п. 5.

При мечани е. В п. 8 вместе с  $h_s$  допускается вводить  $t_s \rightarrow a$ .

**Контрольный пример.**  $4000 \rightarrow 0; 40 \rightarrow 1; 120 \rightarrow 2; 0,7 \rightarrow 3; 0,6 \rightarrow 4; 18 \rightarrow 5; 1 \rightarrow 6; 21 \rightarrow 7; 1,1 \rightarrow 8; 40 \rightarrow 9; 1,4 \rightarrow a. 1,2 \rightarrow 4.$

**Результат:**  $q = 0,83; 222; h_s = 61,1.$

**Время счета:** 22 с.

### Программа 4.77

#### Определение высоты диафрагмы базы центрально-сжатой колонны

$\Pi x0$	$\Pi x1$	/	$\Pi x2$	/	$\Pi x2$		$\Pi x9$	-	2	/
$\Pi xb$	-	2	/	$\Pi xb$	+		$\times$	$x\Pi d$	8	5
$\Pi x3$	$\times$	$\Pi x4$	$\times$	$\Pi xa$	2		$\Pi xd$	$\times$	$\Pi x3$	
/	$\Pi x4$	/	$\Pi x5$	/	$\Pi xb$		$\Pi xd$	/	$\Pi x8$	1
+	$x\Pi c$	-	$Fx \geqslant 0$	69	$\Pi xc$	C/P	$x\Pi c$	$\Pi x7$	$\Pi x8$	
$\times$	$\Pi xa$	$Fx^2$	8	/	$\Pi xd$	$\times$	6	$\times$	$\Pi xb$	
/	$\Pi xc$	$Fx^2$	/	-	$Fx \geqslant 0$	75	$\Pi xc$	C/P	2	
2	2	C/P	BП	00	3	3	3	C/P	$x\Pi c$	
8	5	$\Pi x3$	$\times$	$\Pi x4$	$\times$	$\Pi xc$	BП	42		

**Инструкция.** 1. Ввод  $N \rightarrow 0; B \rightarrow 1; L \rightarrow 2; \beta_f \rightarrow 3; k_f \rightarrow 4; R_{wf} \rightarrow 5; v_{wf} \rightarrow 6; R_y \rightarrow 7; v_c \rightarrow 8; h \rightarrow 9; b \rightarrow a; t_d \rightarrow b.$  2. В/О С/П. 3. Индикация —  $h_{d1}$ . 4. Ввод принятой высоты  $h_{d1} \rightarrow X.$  5. С/П. 6. Индикация —  $h_d$ , означает, что  $n \leqslant 1$  и  $\sigma \leqslant R_y v_c.$  6. Индикация — 222, означает, что  $n > 1.$  7. Ввод принятых  $\beta_f \rightarrow 3; k_f \rightarrow 4.$  8. С/П. 9. По п. 3.6. Индикация — 333, означает, что  $\sigma > R_y v_c.$  7. Ввод принятой высоты  $h_d \rightarrow X.$  8. С/П. 9. По п. 3.

**Контрольный пример.** 1.  $6000 \rightarrow 0; 40 \rightarrow 1; 125 \rightarrow 2; 0,7 \rightarrow 3; 0,8 \rightarrow 4; 18 \rightarrow 5; 1 \rightarrow 6; 21 \rightarrow 7; 1,1 \rightarrow 8; 40 \rightarrow 9; 25 \rightarrow a; 1,4 \rightarrow b; 32 \rightarrow X.$

**Результат:**  $h_{d1} = 30,69; h_d = 32.$

**Время счета:** 20 с.

2. Аналогично п. 1, кроме  $0,5 \rightarrow 4; 0,8 \rightarrow 4; 32 \rightarrow X.$

**Результат:** 222.  $h_{d1} = 30,69; h_d = 32.$

**Время счета:** 28 с.

### Программа 4.78

#### Расчет опорной плиты базы внецентренно-сжатой колонны с фрезерованным торцом

$\Pi x0$	$\Pi x3$	/	$F \sqrt{-}$	$x\Pi 9$	C/P	$x\Pi 9$	$\Pi x2$	-	2	
/	$Fx^3$	$\Pi x0$	$\Pi x9$	$Fx^2$	/	$\times$	2	/	$\Pi x1$	
2	$\times$	$\Pi x8$	+	$\times$	6	$\times$	$\Pi x1$	/	$\Pi x4$	
/	$\Pi x5$	/	$F \sqrt{-}$	C/P						

**Инструкция.** Ввод  $N \rightarrow 0; b \rightarrow 1; h \rightarrow 2; R_\phi \rightarrow 3; R_y \rightarrow 4; v_c \rightarrow 5.$  В/О С/П. Индикация —  $B.$  Ввод принятого размера  $B \rightarrow X.$  С/П. Индикация —  $t_{pl}.$

**Контрольный пример.**  $1000 \rightarrow 0; 50 \rightarrow 1; 50 \rightarrow 2; 1,5 \rightarrow 3; 28 \rightarrow 4; 1,1 \rightarrow 5; 26 \rightarrow X.$

**Результат:**  $B = 25,8; t_{pl} = 7,08.$

**Время счета:** 10 с.

### Программа 4.79

#### Определение размеров опорной плиты внецентренно-сжатой сплошностенчатой колонны

$\Pi x0$	2	/	$\Pi x2$	/	$\Pi x3$	/	$x\Pi 4$	$Fx^2$	$\Pi x1$	
6	$\times$	$\Pi x2$	/	$\Pi x3$	/	+	$F \sqrt{-}$	$\Pi x4$	+	

**Инструкция.** Ввод  $N \rightarrow 0; M \rightarrow 1; B \rightarrow 2; R_\phi \rightarrow 3.$  В/О С/П. Индикация —  $L.$

**Контрольный пример.**  $1000 \rightarrow 0; 30000 \rightarrow 1; 45 \rightarrow 2; 1,5 \rightarrow 3.$

**Результат:**  $L = 59,5.$

**Время счета:** 9 с.

### Программа 4.80

#### Расчет фундаментных болтов

$\Pi x_6$	$\Pi x_1$	$\Pi x_2$	/	$\Pi x_3$	/	$x\Pi a$	$\Pi x_0$	$\Pi x_2$	/
$\Pi x_3$	$Fx^2$	/	6	$x\Pi b$	+	$x\Pi 8$	$\Pi x_4$	$Fx \geq 0$	
59	$\Pi x_a$	$\Pi x_b$	—	$x\Pi 9$	$Fx < 0$	65	$\Pi x_3$	$\Pi x_4$	+
$\Pi x_8$	$\Pi x_3$	X	$\Pi x_8$	$\Pi x_9$	—	/	3	/	$x\Pi a$
—	$x\Pi b$	$\Pi x_0$	$\Pi x_1$	$\Pi x_3$	2	/	$\Pi x_a$	—	X
—	$\Pi x_b$	/	$\Pi x_7$	C/P		$\Pi x_5$	/	C/P	9
9	9	C/P	$\Pi x_8$	C/P	2	2	2	C/P	$\Pi x_9$

C/P

**Инструкция.** 1. Ввод  $M \rightarrow 0$ ;  $N \rightarrow 1$ ;  $B \rightarrow 2$ ;  $L \rightarrow 3$ ;  $l \rightarrow 4$ ;  $R_{ba} \rightarrow 5$ ;  $R_\phi \rightarrow 6$ ;  $n \rightarrow 7$ . 2. В/О С/П. 3. Индикация —  $N_\phi$ . 4. С/П. 5. Индикация —  $A_{ba}$ . 5. Индикация — 999, означает, что  $\sigma_{max} > R_\phi$ . 6. С/П. 7. Индикация —  $\sigma_{max}$ . 5. Индикация — 222, означает, что  $\sigma_{min} > 0$ . 6. С/П. 7. Индикация —  $\sigma_{min}$ .

**Контрольный пример.** 100 000 → 0; 1000 → 1; 60 → 2; 120 → 3; 10 → 4; 18 → 5; 1,5 → 6; 2 → 7.

**Результат:**  $N_\phi = 301,9$ ;  $A_{ba} = 16,77$ .

**Время счета:** 18 с.

### Программа 4.81

#### Расчет фундаментных болтов с учетом пластических деформаций бетона

1	$\Pi x_0$	$\Pi x_1$	/	$\Pi x_3$	2	/	+	$\Pi x_1$	X
2	X	$\Pi x_6$	/	$\Pi x_2$	/	$\Pi x_3$	$\Pi x_4$	+	$Fx^3$
/	—	$FV^-$	1	↔	—	$\Pi x_6$	X	$\Pi x_3$	$\Pi x_4$
+	X	$\Pi x_2$	X	$\Pi x_1$	—	$\Pi x_7$	/	C/P	$\Pi x_5$
/	C/P								

**Инструкция.** Ввод  $M \rightarrow 0$ ;  $N \rightarrow 1$ ;  $B \rightarrow 2$ ;  $L \rightarrow 3$ ;  $l \rightarrow 4$ ;  $R_{ba} \rightarrow 5$ ;  $R_\phi \rightarrow 6$ ;  $n \rightarrow 7$ . В/О С/П. Индикация —  $N_\phi$ . С/П. Индикация —  $A_{ba}$ .

**Контрольный пример.** 100 000 → 0; 1000 → 1; 60 → 2; 120 → 3; 10 → 4; 18 → 5; 1,3 → 6; 2 → 7.

**Результат:**  $N_\phi = 158,1$ ;  $A_{ba} = 8,78$ .

**Время счета:** 12 с.

### Программа 4.82

#### Определение координат центра тяжести сварного соединения и площадей отдельных швов

$\Pi x_1$	$\Pi x_2$	X	$x\Pi 7$	$\Pi x_3$	$\Pi x_4$	X	$x\Pi 8$	+	$\Pi x_5$
$\Pi x_6$	X	$x\Pi 9$	+	$x\Pi 0$	$\Pi x_1$	$\Pi x_1$	2	/	X
$\Pi x_5$	2	/	$\Pi x_9$	X	+	$\Pi x_0$	/	$x\Pi c$	$\Pi x_8$
2	/	$\Pi x_3$	X	$\Pi x_9$	$\Pi x_3$	X	+	$\Pi x_0$	/
$x\Pi d$	$\Pi x_7$	$\Pi x_d$	$Fx^2$	X	$\Pi x_3$	$\Pi x_d$	—	$Fx^2$	$\Pi x_9$
X	+	$\Pi x_3$	$\Pi x_3$	$Fx^2$	X	$\Pi x_4$	X	1	2
/	+	$\Pi x_3$	2	/	$\Pi x_d$	—	$Fx^2$	$\Pi x_8$	X
+	$x\Pi a$	C/P							

**Инструкция.** Ввод  $l_1 \rightarrow 1$ ;  $\beta_{f_k} \rightarrow 2$ ;  $l_2 \rightarrow 3$ ;  $\beta_{f_k} \rightarrow 4$ ;  $l_3 \rightarrow 5$ ;  $\beta_{f_k} \rightarrow 6$ . В/О С/П. Индикация —  $I_{fx}$ ;  $A \leftarrow 0$ ;  $A_1 \leftarrow 7$ ;  $A_2 \leftarrow 8$ ;  $A_3 \leftarrow 9$ ;  $l_{fx} \leftarrow a$ ;  $x_0 \leftarrow c$ ;  $y_0 \leftarrow d$ .

**Примечание.** Возможно задавать катет одного из швов равным нулю.

**Контрольный пример.** 20 → 1; 1 → 2; 40 → 3; 1 → 4; 20 → 5; 1 → 6.

**Результат:**  $I_{fx} = 21\,333$ ;  $A = 80$ ;  $A_1 = 20$ ;  $A_2 = 40$ ;  $A_3 = 20$ ;  $x_0 = 5$ ;  $y_0 = 20$ .

**Время счета:** 19 с.

### Программа 4.83

Определение полярных геометрических характеристик сварного соединения с тремя швами

3	$\Pi x1$	$Fx^Y$	$\Pi x2$	$\times$	$\Pi x5$	$\Pi x6$	$\times$	$\Pi x6$
$\times$	$+$	$1$	$2$	$/$	$\Pi x8$	$\Pi x8$	$\times$	$+$
$\Pi x1$	$2$	$/$	$\Pi x8$	$-$	$Fx^2$	$\Pi x7$	$\times$	$+$
$2$	$/$		$\Pi x8$	$-$	$Fx^2$	$\Pi x9$	$+$	$\Pi x5$
$+$	$x\Pi 7$		$\Pi x3$	$\Pi xd$	$Fx^2$	$Fx^2$	$\Pi x8$	$\Pi x8$
$x\Pi 8$	$\Pi x1$		$\Pi x8$	$-$	$Fx^2$	$\Pi x8$	$+$	$F \sqrt{}$
$-$	$Fx < 0$	65	$\Pi x9$	$x\Pi 8$	$\Pi x7$	$\Pi x8$	$/$	$x\Pi 9$
								$C/P$

**Инструкция.** Ввод  $A \rightarrow 0$ ;  $I_1 \rightarrow 1$ ;  $\beta_f k_1 \rightarrow 2$ ;  $I_2 \rightarrow 3$ ;  $\beta_f k_2 \rightarrow 4$ ;  $I_3 \rightarrow 5$ ;  $\beta_f k_3 \rightarrow 6$ ;  $A_1 \rightarrow 7$ ;  $A_3 \rightarrow 8$ ;  $I_x \rightarrow a$ ;  $x_0 \rightarrow c$ ;  $y_0 \rightarrow d$ . В/О С/П. Индикация —  $W_{\min}$ ;  $I_n \leftarrow 7$ .

Причина. Ввод не нужен при работе после программы 4.82.

**Контрольный пример.**  $80 \rightarrow 0$ ;  $20 \rightarrow 1$ ;  $1 \rightarrow 2$ ;  $40 \rightarrow 3$ ;  $1 \rightarrow 4$ ;  $20 \rightarrow 5$ ;  $1 \rightarrow 6$ ;  $20 \rightarrow 7$ ;  $40 \rightarrow 8$ ;  $20 \rightarrow 9$ ;  $21333 \rightarrow a$ ;  $5 \rightarrow c$ ;  $20 \rightarrow d$ .

**Результат:**  $W_{\min} = 986,7$ ;  $I_n = 24670$ .

Время счета: 21 с.

### Программа 4.84

Определение полярных геометрических характеристик сварного соединения с двумя швами

$\Pi x1$	$\Pi x2$	$\times$	$x\Pi 7$	$\Pi x3$	$\Pi x4$	$\times$	$x\Pi 8$	$+$	$x\Pi 0$
$\Pi x1$	$Fx^2$	$\Pi x2$	$+$	$2$	$/$	$\Pi x0$	$/$	$x\Pi c$	$\Pi x3$
$Fx^2$	$\Pi x4$	$\times$	$2$	$/$	$\Pi x0$	$/$	$x\Pi d$	$Fx^2$	$\Pi x7$
$\times$	$\Pi x3$	$\Pi x3$	$Fx^2$	$\times$	$1$	$2$	$/$	$\Pi x4$	$\times$
$+$	$\Pi x3$	$2$	$/$	$\Pi xd$	$-$	$Fx^2$	$\Pi x8$	$\times$	$+$
$x\Pi a$	$\Pi x1$	$\Pi x1$	$Fx^2$	$\times$	$\Pi x2$	$\times$	$1$	$2$	$/$
$\Pi x8$	$\Pi x8$				$\Pi x1$	$2$	$/$	$\Pi x8$	$-$
$Fx^2$	$\Pi x7$	$\times$	$+$	$x\Pi b$	$\Pi x8$	$+$	$x\Pi 9$	$\Pi x3$	$\Pi xd$
$-$	$Fx^2$	$\Pi x8$	$Fx^2$	$+$	$F \sqrt{}$	$x\Pi 7$	$\Pi x1$	$\Pi x8$	$-$
$Fx^2$	$\Pi xd$	$Fx^2$	$+$	$F \sqrt{}$	$x\Pi 8$	$C/P$			

**Инструкция.** Ввод  $I_1 \rightarrow 1$ ;  $\beta_f k_1 \rightarrow 2$ ;  $I_2 \rightarrow 3$ ;  $\beta_f k_2 \rightarrow 4$ . В/О; С/П. Индикация —  $r_2$ ;  $A \leftarrow 0$ ;  $I_n \leftarrow 9$ ;  $I_x \leftarrow a$ ;  $I_y \leftarrow b$ ;  $x_0 \leftarrow c$ ;  $y_0 \leftarrow d$ ;  $r_1 \leftarrow 7$ ;  $r_2 \leftarrow 8$ .

**Контрольный пример.**  $20 \rightarrow 1$ ;  $1 \rightarrow 2$ ;  $20 \rightarrow 3$ ;  $1 \rightarrow 4$ .

**Результат:**  $r_2 = 15,81$ ;  $A = 40$ ;  $I_n = 3333$ ;  $I_x = 1666$ ;  $I_y = 1668$ ;  $x_0 = 5$ ;  $y_0 = 5$ ;  $r_1 = 5$ ;  $r_1 = 15,81$ .

Время счета: 19 с.

### Программа 4.85

Определение напряжений в сварном соединении при действии изгибающего момента в плоскости расположения швов

$\Pi x1$	$\Pi x2$	$\times$	$2$	$\times$	$x\Pi 7$	$\Pi x3$	$\Pi x4$	$\times$	$x\Pi 8$
$+$	$x\Pi 0$	$\Pi x1$	$Fx^2$	$\Pi x2$	$\times$	$\Pi x0$	$/$	$x\Pi c$	$\Pi x3$
$2$	$/$	$x\Pi d$	$\Pi x3$	$\Pi x3$	$Fx^2$	$\times$	$\Pi x4$	$\times$	$1$
$2$	$/$	$\Pi xd$	$Fx^2$	$\Pi x7$	$\times$	$+$	$x\Pi a$	$\Pi x1$	$\Pi x1$
$Fx^2$	$\times$	$\Pi x2$	$\times$	$6$	$/$	$\Pi x1$	$2$	$/$	$\Pi x8$
$-$	$Fx^2$	$\Pi x7$	$\times$	$+$	$\Pi x8$	$Fx^2$	$\Pi x8$	$\times$	$+$
$x\Pi b$	$\Pi x8$	$+$	$x\Pi 9$	$\Pi x1$	$\Pi x8$	$-$	$Fx^2$	$\Pi xd$	$Fx^2$
$+$	$F \sqrt{}$	$x\Pi 8$	$/$	$x\Pi 7$	$\Pi x5$	$\leftrightarrow$	$/$	$C/P$	

**Инструкция.** Ввод  $I_1 \rightarrow 1$ ;  $\beta_f k_1 \rightarrow 2$ ;  $I_2 \rightarrow 3$ ;  $\beta_f k_2 \rightarrow 4$ ;  $M \rightarrow 5$ . В/О С/П. Индикация —  $\tau$ ;  $W_n \leftarrow 7$ ;  $r_1 \leftarrow 8$ ;  $I_n \leftarrow 9$ ;  $I_x \leftarrow a$ ;  $I_y \leftarrow b$ ;  $x_0 \leftarrow c$ ;  $y_0 \leftarrow d$ .

*Контрольный пример.*  $20 \rightarrow 1; 1 \rightarrow 2; 40 \rightarrow 3; 1 \rightarrow 4; 40\ 000 \rightarrow 5$ .

*Результат:*  $\tau = 405; W_n = 986; r_1 = 25; I_n = 24670; I_x = 21330; I_y = 3333; x_0 = 5; y_0 = 20$ .

*Время счета:* 21 с.

### Программа 4.86

Определение усилия в  $i$ -м болте соединения при действии изгибающего момента

0	$x\Pi c$	$x\Pi 5$	$x\Pi 6$	$x\Pi 7$	$x\Pi 8$	1	$x\Pi a$	C/П	$\Pi x a$
1	—	$Fx \neq 0$	58	3	$x\Pi 1$	8	$x\Pi 2$	3	$x\Pi 9$
ПП	74	7	$x\Pi 1$	9	$x\Pi 2$	4	$x\Pi 9$	ПП	74
$\Pi x 5$	$\Pi x 7$	—	$Fx^2$	$\Pi x 6$	$\Pi x 8$	—	$Fx^2$	+	$F \sqrt{}$
$x\Pi b$	$\Pi x b$	$x\Pi 7$	$\Pi x 6$	$x\Pi 8$	$\Pi x a$	1	—	$\Pi x b$	$Fx^2$
$\times$	$\Pi x c$	+	ПП	85	$Fx^2$	+	$x\Pi c$	$\Pi x a$	1
+	$x\Pi a$	$FL 0$	08	C/П	ПП	85	$\Pi x 5$	×	$\Pi x c$
/	$FL 0$	64	C/П	$\Pi x a$	1	—	$K\Pi x 2$	×	$K\Pi x 9$
+	$\Pi x a$	/	$K\Pi 1$	B/O	$\Pi x 7$	$\Pi x 3$	—	$Fx^2$	$\Pi x 8$
$\Pi x 4$	—	$Fx^2$	+	$F \sqrt{}$	B/O				

*Инструкция.* Ввод  $n \rightarrow 0$ ; B/O C/П. Ввод  $x_l \rightarrow 3$ ;  $y_l \rightarrow 4$ . C/П. Ввод  $M \rightarrow 5$ ;  $k \rightarrow 0$ . Ввод  $x_l \rightarrow 3$ ;  $y_l \rightarrow 4$ . C/П. Индикация —  $N_l$ ;  $x_0 \leftarrow 7$ ;  $y_0 \leftarrow 8$ ;  $\Sigma r_i^2 \leftarrow c$ .

*Примечания:* 1. Первый ввод  $x_l$  и  $y_l$  повторять  $n$  раз. 2. Второй ввод  $x_l$  и  $y_l$  повторять  $k$  раз. 3. При известных  $x_0, y_0, \Sigma r_i^2$  можно ввести их значения, по соответствующим адресам набрать БП 65 и перейти к вводу  $M, k$ , не выполняя предыдущие действия.

*Контрольный пример.*  $6 \rightarrow 0; 0 \rightarrow 3; 0 \rightarrow 4; 6 \rightarrow 3; 0 \rightarrow 4; 0 \rightarrow 3; 6 \rightarrow 4; 6 \rightarrow 3; 6 \rightarrow 4; 0 \rightarrow 3; 12 \rightarrow 4; 6 \rightarrow 3; 12 \rightarrow 4; 100 \rightarrow 5; 1 \rightarrow 0; 0 \rightarrow 3; 0 \rightarrow 4$ .

*Результат:*  $N_1 = 3,387; x_0 = 3; y_0 = 6; \Sigma r_i^2 = 198$ .

*Время счета:* 28 с.

### Программа 4.87

Определение усилия в  $i$ -м болте соединения при действии изгибающего момента и поперечной силы

$\Pi x 6$	$\Pi x d$	/	$x\Pi 6$	C/П	ПП	35	$x\Pi a$	$\Pi x 5$	×
$\Pi x c$	/	$x\Pi b$	$\Pi x 7$	$\Pi x 3$	—	$\Pi x a$	/	$\Pi x 6$	×
2	×	$\Pi x b$	×	$\Pi x 6$	$Fx^2$	—	$\Pi x b$	$Fx^2$	—
/—/	$F \sqrt{}$	$FL 0$	04	C/П	$\Pi x 7$	$\Pi x 3$	—	$Fx^2$	$\Pi x 8$
$\Pi x 4$	—	$Fx^2$	+	$F \sqrt{}$	B/O				

*Инструкция.* Ввод  $M \rightarrow 5; Q \rightarrow 6; \Sigma r_i^2 \rightarrow c; x_0 \rightarrow 7; y_0 \rightarrow 8; n \rightarrow d; k \rightarrow 0$ . B/O C/П. Ввод  $x_l \rightarrow 3; y_l \rightarrow 4$ . C/П. Индикация —  $N_l$ .

*Примечания:* 1. При работе после программы 4.86 в команде 06 набрать 85, а после набора команды 35 дальнейший текст программы 4.87 не вводить. В этом случае в качестве исходных данных вводить только значения  $M, Q, n$  и  $k$ . 2. Ввод  $x_l$  и  $y_l$  выполняет  $k$  раз.

*Контрольный пример.*  $100 \rightarrow 5; 10 \rightarrow 6; 198 \rightarrow c; 3 \rightarrow 7; 6 \rightarrow 8; 6 \rightarrow d; 1 \rightarrow 0; 0 \rightarrow 3; 0 \rightarrow 4$ .

*Результат:*  $N_1 = 3,034$ .

*Время счета:* 22 с.

### Программа 4.88

Определение усилия в  $i$ -м болте соединения при действии изгибающего момента, поперечной и продольной сил

$x\Pi 9$	$F \uparrow$	$x\Pi 6$	$F \uparrow$	$x\Pi 5$	$F \uparrow$	$x\Pi d$	$\Pi x 6$	$\Pi x d$	/
$x\Pi 6$	$\Pi x 9$	$\Pi x d$	/	$x\Pi 9$	C/П	$x\Pi 4$	$\leftrightarrow$	$x\Pi 3$	ПП
61	$x\Pi a$	$\Pi x 6$	×	$\Pi x c$	/	$\Pi x b$	$\Pi x 7$	$\Pi x 3$	—

$\Pi x a$	/	$\Pi x b$	$\times$	$\Pi x 9$	+	$x \Pi 3$	$F x^2$	$\Pi x 9$	$\Pi x 4$
—	$\Pi x a$	/	$\Pi x b$	$\times$	$\Pi x 6$	+	$x \Pi 4$	$F x^2$	+
$F \vee$	$x \Pi b$	$\Pi x 4$	$\Pi x 3$	$x \Pi 4$	$\leftrightarrow$	$x \Pi 3$	$\Pi x b$	$F L 0$	15
$C/\Pi$	$\Pi x 7$	$\Pi x 3$	—	$F x^2$	$\Pi x 8$	$\Pi x 4$	—	$F x^2$	+

**Инструкция.** Ввод  $k \rightarrow 0$ ;  $x_0 \rightarrow 7$ ;  $y_0 \rightarrow 8$ ;  $\Sigma r_i^2 \rightarrow c$ ;  $n \rightarrow T$ ;  $M \rightarrow Z7$ ;  $N \rightarrow Y$ ;  $Q \rightarrow X$ . В/О С/П. Ввод  $x_i \rightarrow Y$ ;  $y_i \rightarrow X$ . С/П. Индикация —  $N_i$ ;  $N_r \leftarrow 3$ ;  $N_b \leftarrow 4$ .

**Примечания:** 1. Ввод  $x_i$  и  $y_i$ ; повторять  $k$  раз. 2. При работе после программы 4.86 значения  $x_0$ ,  $y_0$  и  $\Sigma r_i^2$  не вводить.

**Контрольный пример.**  $1 \rightarrow 0$ ;  $3 \rightarrow 7$ ;  $6 \rightarrow 8$ ;  $198 \rightarrow c$ ;  $6 \rightarrow T$ ;  $100 \rightarrow Z$ ;  $10 \rightarrow Y$ ;  $2 \rightarrow X$ ;  $0 \rightarrow Y$ ;  $0 \rightarrow X$ .

**Результат:**  $N_1 = 4,988$ ;  $N_r = 4,697$ ;  $N_b = 1,68$ .

**Время счета:** 16 с.



## РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Деревянные конструкции применяются в зданиях и сооружениях сельского, гражданского и промышленного строительства, когда это технически целесообразно и экономически обоснованно.

В сельском строительстве деревянные конструкции применяют в производственных и складских одноэтажных зданиях, в гражданском их целесообразно использовать в покрытиях залов общественных зданий, выставочных павильонов, в малоэтажном домостроении, в промышленном — в одноэтажных отапливаемых и неотапливаемых зданиях IV и V классов огнестойкости со смешанным каркасом. При проектировании конструкций необходимо учитывать условия эксплуатации, капитальность, степень ответственности и огнестойкость строительного объекта, а также возможности сырьевой и производственной базы.

Для всех видов зданий общественного и производственного назначения рекомендуется принимать:

шаг деревянных балок, ферм, арок и рам — 3 и 6 м;

панели и плиты ограждающих конструкций — шириной 1,2 и 1,5 м, длиной 3 и 6 м;

пролеты несущих конструкций — в соответствии с действующими стандартами и нормами проектирования по видам строительства.

При проектировании деревянных конструкций необходимо руководствоваться требованиями нормативных документов [2], [3], [10].

В несущих деревянных конструкциях используют:

круглый лес для конструкций, изготавливаемых в построенных условиях (например, сельскохозяйственные здания с блочно-стоечным каркасом и др.);

пиломатериалы и клееные заготовки из них, как основные конструкционные материалы для конструкций из цельной и клееной древесины.

Толщину склеиваемых слоев в элементах, как правило, не следует принимать более 33 мм. В прямолинейных элементах допускается толщина слоев до 42 мм при условии устройства в них продольных прорезей (п. 5.7 [2]).

Для многослойных клееных заготовок из древесины сосны и ели наиболее целесообразно применять пиломатериалы толщиной 40 и 25 мм, причем тонкие пиломатериалы следует использовать для изго-

**Таблица 5.1. Рекомендуемый сортамент пиломатериалов [10]**

Толщина (высота), мм	Ширина, мм				Толщина (высота), мм	Ширина, мм			
	100	125	150	175		100	125	150	175
19	100	125	150	—	100	—	125	150	175
25	100	125	150	175	150	—	125	150	175
40	100	125	150	—	175	—	125	—	175
50	100	125	150	175					

тования гнутоклеенных с ограниченным радиусом кривизны и растянутых элементов; пиломатериалы из осины и лиственницы можно использовать толщиной 25 мм с устройством в них продольных компенсационных прорезей, располагаемых на расстоянии 40 мм друг от друга и не менее чем на 10...15 мм от кромки доски. Глубина прорезей должна быть равной половине толщины слоя, ширина — 2...3 мм (п. 2.2 [10]).

Номинальные размеры пиломатериалов хвойных пород принимают по ГОСТ 24454—80\*Е (СТ СЭВ 1264—78, СТ СЭВ 1265—78, СТ СЭВ 1147—78) или по сокращенному сортаменту [10] (табл. 5.1 [10]).

## 5.1. НЕРАЗРЕЗНЫЕ ПРОГОНЫ ПОКРЫТИЯ

Прогоны покрытия изготавливают из двух- или четырехкантных брусьев или досок, поставленных на ребро, по одной из следующих схем (рис. 5.1):

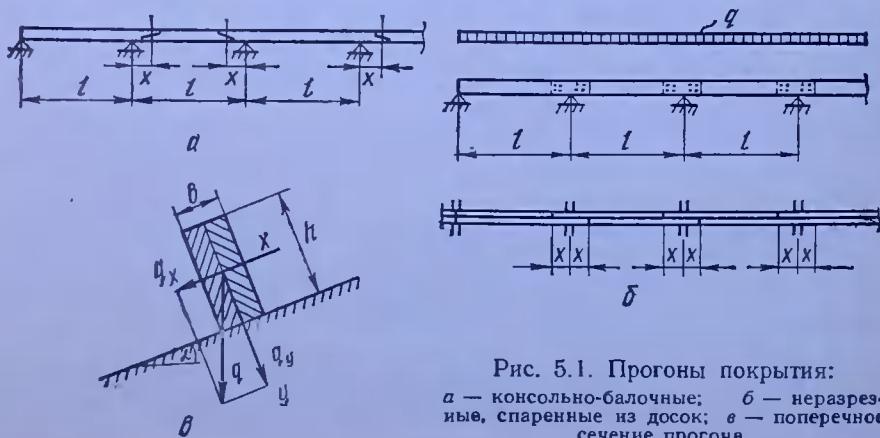


Рис. 5.1. Прогоны покрытия:  
а — консольно-балочные; б — неразрезные,  
спаренные из досок; в — поперечное  
сечение прогона.

разрезные однопролетные балки более простые в изготовлении и монтаже, но требующие большего расхода древесины. Их стыкуют на опорах впритык, на накладках или вразбежку;

консольно-балочные, многопролетные статически определимые системы, выполненные из брусьев. Расстояние до шарниров и изгибающие моменты следует принимать по табл. 5.2. Консольно-балочные прогоны в местах шарниров соединяют косым прирубом (п. 6.16 [2]). К недостаткам прогонов этого типа можно отнести небольшой пролет (до 4,5 м при длине лесоматериалов 6,5 м) и необходимость увеличения поперечного сечения в крайнем пролете и на первой промежуточной опоре;

**Таблица 5.2. Моменты и прогибы консольно-балочных и неразрезных прогонов**

Значение	Решение прогона		Значение	Решение прогона	
	равномоментное	равнопрогибное		равномоментное	равнопрогибное
Расстояние от опор до шарнира $X$	$0,15l$	$0,21l$	То же, в пролетах $M_{\text{пр}}$	$\frac{ql^2}{16}$	$\frac{ql^2}{24}$
Изгибающие моменты на опорах $M_{\text{оп}}$	$-\frac{q l^2}{16}$	$-\frac{q l^2}{12}$	Максимальные прогибы $f$	$\frac{2q^{\frac{1}{4}} l^4}{384EI}$	$\frac{q^{\frac{1}{4}} l^4}{384EI}$

неразрезные спаренные из двух, поставленных на ребро, досок, соединенных гвоздями (табл. 5.2). Эти прогоны выполняют по равнопрогибной схеме, стыки досок — вразбежку, соединение — гвоздями. Количество гвоздей с каждой стороны стыка

$$n_{\text{гв}} \geqslant \frac{M_{\text{оп}}}{2X_{\text{гв}}T_{\text{гв}}}, \quad (5.1)$$

где  $X_{\text{гв}}$  — расстояние от опоры до центра гвоздевого забоя;  $T_{\text{гв}}$  — несущая способность одного гвоздя ([2]).

Так как прогон работает на косой изгиб, то прогиб

$$f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}. \quad (5.2)$$

Если все пролеты равны между собой, то изгибающий момент на первой промежуточной опоре

$$M_{\text{оп}} = ql^2/10, \quad (5.3)$$

а прогиб прогона в крайнем пролете

$$f_{\text{kp}} = \frac{25q^{\frac{1}{4}}l^4}{384EI}. \quad (5.4)$$

При этом сечение прогона в крайних пролетах должно быть усилено, а опорная реакция первой промежуточной опоры будет больше остальных на 13 %, что потребует проверки и возможного усиления опорной конструкции.

Размеры поперечного сечения неразрезного прогона покрытия определяют по программе 5.1, используя в качестве исходных данных

пролет  $l$ , значения расчетной  $q$  и нормативной  $q^*$  равномерно распределенных нагрузок, а также расчетное сопротивление  $R_u$  и модуль упругости  $E$  древесины. Отношением высоты сечения к его ширине  $\eta = h/b$  необходимо задаваться предварительно в пределах 1...2. В результате машинного счета находят размеры прямоугольного сечения прогона  $h_u \times b_u$ , удовлетворяющие условию прочности, и  $h_l \times b_l$  — условию жесткости.

## 5.2. КЛЕЕНЫЕ БАЛКИ

В зависимости от применяемых материалов клееные балки подразделяют на дощатоклеенные прямоугольного поперечного сечения, состоящие из склеенных между собой по пласти досок, и клееванерные с поясами из клееной древесины и стенками из водостойкой фанеры. К дощатоклеенным балкам относят прямолинейные и гнутоклеенные. Прямолинейные балки предусматривают постоянной высоты и двускатные с уклоном  $i \leq 5\%$  под рулонную кровлю, высоту поперечного сечения гнутоклеенных балок — постоянной или переменной. Эти балки применяют при уклонах 10...25%; одна из опор независимо от пролета должна быть подвижной для исключения появления распора. Дощатоклеенные балки рекомендуются для пролетов до 18 м. Высоту назначают не менее  $1/16$  пролета. Таким балкам с шарнирным опиранием следует придавать строительный подъем, равный  $1/200$  пролета.

В kleеных изгибаемых и сжато-изгибаемых элементах в поперечном сечении допускается сочетать древесину нескольких сортов и пород.

Пояса kleеных балок с плоской фанерной стенкой следует выполнять из вертикально поставленных досок. В поясах балок коробчатого сечения допускается горизонтальное расположение слоев. Если высота поясов превышает 100 мм, то в досках следует предусматривать горизонтальные пропилы со стороны фанерных стенок. Для стенок клееванерных балок необходимо использовать водостойкую фанеру толщиной не менее 8 мм.

В двускатных балках при симметричном загружении тремя и более сосредоточенными грузами или равномерно распределенной нагрузкой расчетное сечение находится от опоры на расстоянии (п. 6.12 [10] и п. 6.3 [3])

$$X = lh_{\text{оп}}/(2h), \quad (5.5)$$

где  $l$  — пролет балки;  $h$  — высота балки в середине пролета;  $h_{\text{оп}}$  — высота балки на опоре; принимается не менее половины ее в середине пролета.

Изгибающий момент и высота в расчетном сечении:

$$M_x = \frac{qx}{2} (l - x); \quad (5.6)$$

$$h_x = h_{\text{оп}} + ix, \quad (5.7)$$

где  $i$  — уклон верхнего пояса балки.

В гнутоклеенных балках постоянной высоты при действии нагрузки на всем пролете для напряжений изгиба вдоль волокон древесины и радиальных растягивающих напряжений поперек волокон расчетным является сечение в середине пролета. Напряжение изгиба

$$\sigma_u = (M/W) k_u = R_u, \quad (5.8)$$

где  $k_u = 1 + 0,5h/r$ .

Максимальные радиальные напряжения, зависящие от кривизны криволинейного участка и параметра  $h/l$ , проверяют по формуле

$$\sigma_r = (M/W) k_r = R_{p90}, \quad (5.9)$$

где  $k_r = 0,25h/r - 0,083 (h/l - 0,034)$ .

В случае чистого изгиба  $k_r = 0,25h/r$ .

Исходя из требований, предъявляемых к kleевым балкам нормами [2], по программе 5.2 определяют требуемую высоту сечения балки с параллельными поясами:  $h_\sigma$  (по нормальным напряжениям),  $h_\tau$  (по касательным напряжениям) и  $h_f$  (по прогибу). Для этого предварительно задают отношением  $\eta = h/b = 4\dots10$ , а также находят коэффициент  $k_\phi$  (табл. 2 приложения 4 [2]) в зависимости от формы эпюры изгибающих моментов и закрепления концов балки на опорах.

При известных пролете  $l$  и действующих нагрузках  $q$  и  $q^H$ , прочность двухскатной балки по касательным напряжениям и ее жесткость проверяют по программе 5.3. Для этого назначают (или определяют заранее) размеры поперечного сечения в середине пролета  $h_{cp} \times b$  и уклон ската  $i$ . С помощью этой программы вычисляют ординату расчетного сечения  $x$ , высоту балки в этом сечении  $h_x$  и на опоре  $h_{op}$ , значения наибольшего прогиба  $f$  и прогиба балки постоянного сечения высотой  $h_{cp}$ , найденного без учета деформаций сдвига  $f_0$ :

$$x = \frac{lh_{op}}{2h_{cp}}; \quad h_{op} = h_{cp} - i \frac{l}{2}; \quad h_x = h_{op} + ix;$$

$$f_0 = \frac{5q^H l^4}{384EI_{cp}}; \quad f = \frac{f_0}{k} (1 + c(h_{cp}/l)^2).$$

Значения коэффициентов  $k$  и  $c$  для основных расчетных схем балок приведены в табл. 3 приложения 4 [2].

Учитывая, что нормы ограничивают относительный прогиб балки,

$$f/l = 1/n_0 \leq [f/l],$$

с помощью программы 5.3 находят значение  $n_0$ .

При проектировании деревянных конструкций обычно стремятся подобрать поперечное сечение минимальной площади, удовлетворяющее всем требованиям норм проектирования. Один из возможных вариантов такой задачи решается программой 5.4.

Условия прочности и жесткости (см. пп. 4.9, 4.10, 4.33 [2]):

$$h\sqrt{b} = \sqrt{6M/R_u}; \quad hb = 1,5Q/R_{ck}; \quad h\sqrt[3]{b} = 6,85\sqrt{q^H l^3/E},$$

преобразуем, обозначив правые части через  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  соответственно:

$$h\sqrt{b} = \alpha; \quad (5.10)$$

$$hb = \beta; \quad (5.11)$$

$$h\sqrt[3]{b} = \gamma. \quad (5.12)$$

Решая совместно уравнения (5.12) и (5.11), найдем размеры поперечного сечения

$$b_2 = \sqrt[3]{\beta^3/\gamma^3}; \quad h_2 = \frac{\beta \sqrt[3]{\gamma^3}}{\sqrt[3]{\beta^3}}. \quad (5.13)$$

Решая совместно уравнения (5.11) и (5.10), получим

$$b_1 = \beta^2/\alpha; \quad h_1 = \alpha^2/\beta. \quad (5.14)$$

Вычислив по формулам (5.13) и (5.14) значения ширины и высоты сечения, выбираем большее значение  $h$  и соответствующее ему значение  $b$ , которые будут искомыми размерами поперечного сечения балки минимальной площади. При этом

$$A_{\min} = b_1 h_1 = b_2 h_2.$$

### 5.3. ДВУХШАРНИРНЫЕ РАМЫ

Основные несущие конструкции большинства деревянных зданий промышленного назначения — двухшарнирные рамы с жестким защемлением стоек в фундаменте и шарнирным прикреплением ригеля к стойкам. Ригелем могут служить балки, фермы, арки с затяжками. Так как ригель соединен со стойками шарнирно, его вычисляют независимо от расчета стоек.

В соответствии с п. 6.45 [10] на раму (рис. 5.2) действуют:

вертикальные постоянные нагрузки от веса покрытия и стенового ограждения, а также от собственного веса несущей конструкции;

вертикальные временные нагрузки от веса снега и кранов;

горизонтальные временные нагрузки от ветра (активное и пассивное давление) и торможения кранов.

Вертикальные нагрузки при центральном опирании ригеля на стойки вызывают в стойках только сжимающие усилия. Под действием горизонтальных нагрузок стойки, соединенные ригелем, работают совместно и рама является один раз статически неопределенной. За лишнюю неизвестную принимают реакцию ригеля — продольное усилие  $x$ , приложенное на уровне верха стойки, жесткость ригеля  $EA_{\text{риг}} = \infty$ .

Под действием горизонтальных нагрузок перемещение верха левой и правой стоек будет одинаковым, т. е.  $\Delta_L = \Delta_R$ . Их определяют как для консольных балок:

$$\Delta_R = \frac{W_1 H^3}{3EI} + \frac{q_1 H^4}{8EI} - \frac{xH^3}{3EI}; \quad \Delta_L = \frac{W_2 H^3}{3EI} + \frac{q_2 H^4}{8EI} + \frac{xH^3}{3EI}. \quad (5.15)$$

Решая совместно эти уравнения, получим

$$x = \frac{3}{16} H (q_1 - q_2) + \frac{W_1 - W_2}{2}, \quad (5.16)$$

где  $q_1$  и  $q_2$  — равномерно распределенная нагрузка от ветрового напора и отсоса;  $W_1$  и  $W_2$  — сосредоточенные ветровые нагрузки на уровне

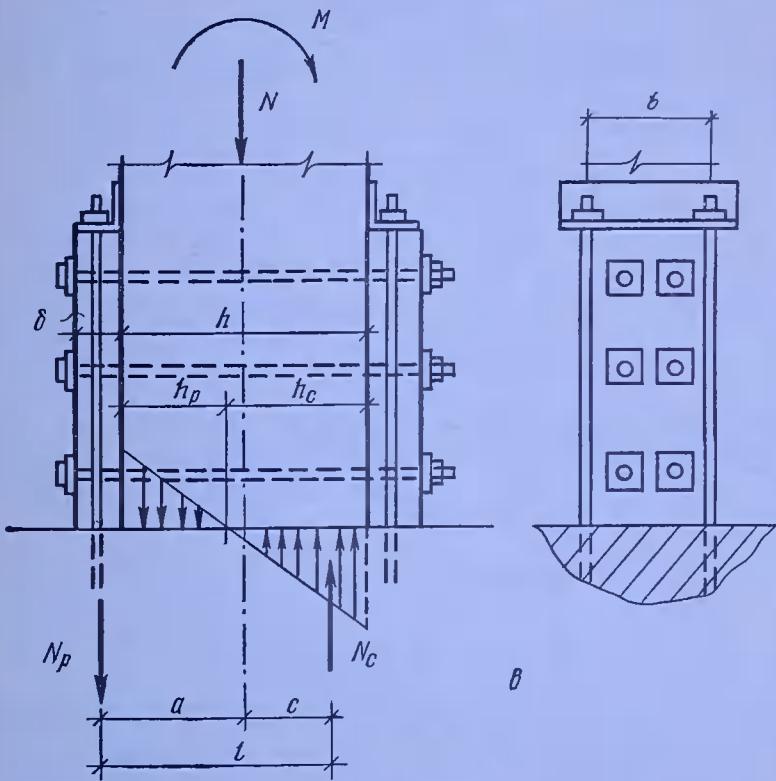
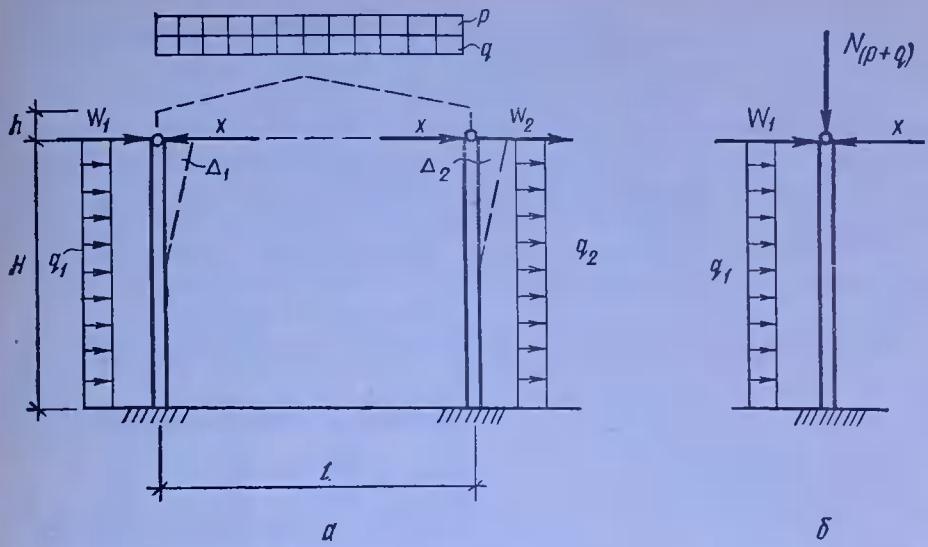


Рис. 5.2. Двухшарнирная рама:

*а* — расчетная схема рамы; *б* — расчетная схема стойки; *в* — узел крепления стойки к фундаменту.

верху стойки, соответственно равные  $q_1 h$  и  $q_2 h$ ;  $h$  — высота торцевой части ригеля и парапета здания.

Если в качестве ригеля применяют треугольные, многоугольные и сегментные фермы, а также арки и своды, то  $h = 0$  и, следовательно,  $W_1 = W_2 = 0$ . К стойкам рамы прикладываются вертикальные силы, равные опорной реакции ригеля. Собственным весом стойки, ввиду его малости, пренебрегаем. Вес стенового ограждения, обычно опирающегося на нижние обвязочные или на фундаментные балки, передается непосредственно на фундамент. В этом случае расчетные усилия составят:

изгибающий момент в заделке стойки

$$M = \frac{q_1 H^2}{2} + H(W_1 - x), \quad (5.17)$$

продольная сила

$$N = N_{\text{пост}} + N_{\text{вр}} = N_{\text{оп}}^{\text{пир}}, \quad (5.18)$$

где  $N_{\text{оп}}^{\text{пир}}$  — опорная реакция ригеля рамы;

поперечная сила

$$Q = W_1 - x + q_1 H. \quad (5.19)$$

После вычисления  $M$ ,  $N$  и  $Q$  можно подбирать сечения стойки рамы.

Условие прочности стойки рамы (п. 4.17 [2]):

$$\sigma = \frac{N}{A_{\text{расч}}} + \frac{M_g}{W_{\text{расч}}} \leq R_e,$$

где  $M_g = M/\xi$ , а  $\xi = 1 - \frac{N}{\varphi R_c A_{\text{бр}}}$ .

Программа 5.5 разработана для определения размеров поперечно-го сечения стойки рамы, удовлетворяющих условию прочности. Для этого необходимо задать отношение  $\eta = h/b = 2\dots 4$  в соответствии с п. 6.50 [2] и  $\xi$ .

Жесткое закрепление стойки в фундаменте обеспечивается постановкой болтов, расчет которых выполняют с помощью программы 5.6. Численные значения и ординаты эпюры растягивающих и сжимающих напряжений (рис. 5.2, б) определяют по формулам:

$$\sigma_p = \frac{N}{A_{\text{расч}}} - \frac{M}{W_{\text{расч}}\xi}; \quad \sigma_c = \frac{N}{A_{\text{расч}}} + \frac{M}{W_{\text{расч}}\xi}; \quad (5.20)$$

$$h_p = \frac{\sigma_p h}{\sigma_p + \sigma_c}; \quad h_c = \frac{\sigma_c h}{\sigma_p + \sigma_c}. \quad (5.21)$$

Растягивающее усилие в анкере  $N_6$  вычисляют из уравнения равновесия сил относительно центра тяжести эпюры сжимающих напряжений:

$$N_6 e - \frac{M}{\xi} + N_c c = 0; \quad N_6 = \frac{M}{\xi e} - \frac{N_c c}{e}, \quad (5.22)$$

где  $e = \delta/2 + h_p + \gamma_s h_c$ .

Требуемая площадь поперечного сечения болта

$$A_{tp} = \frac{N_6}{R_p m_a m}, \quad (5.23)$$

где  $m_a = 0,8$ ;  $m = 0,85$  — коэффициенты, принимаемые по 3.4 [2]. Необходимые для определения параметра  $\xi$  значения гибкости  $\lambda$  и коэффициента продольного изгиба  $\varphi$  находят по формулам (7) и (8) п. 4.3 [2].

## ПРОГРАММЫ

, 5.1 ÷ 5.6

### Программа 5.1

Определение размеров  
поперечного сечения неразрезного  
прогона покрытия

$\Pi x6$	$F \sin$	$\Pi x2$	$\times$	$\Pi x6$	$F \cos$	$+$	$x\Pi d$	$\Pi x1$	$Fx^2$
$\Pi x2$	$\times$	2	/	$\Pi x4$	/	$\Pi x5$	$Fx^2$	/	$x\Pi c$
$\Pi x d$	$\Pi x c$	$\times$	$x\Pi b$	3	$F1/x$	$x\Pi b$	$Fx^Y$	$x\Pi a$	$\Pi x5$
$\Pi x a$	$\times$	$x\Pi 10$	4	$B\uparrow$	$\Pi x5$	$Fx^Y$	$\Pi x6$	$F \sin$	$Fx^2$
$\times$	$\Pi x6$	$F \cos$	$Fx^2$	+	$FV$	$x\Pi 9$	3	$B\uparrow$	$\Pi x1$
$Fx^Y$	$\Pi x3$	$\times$	6	.	2	5	$\times$	$\Pi x7$	/
$\Pi x5$	$Fx^2$	/	$\Pi x5$	/	$\Pi x9$	$\times$	$x\Pi 8$	4	$F1/x$
$x\Pi 8$	$Fx^Y$	$x\Pi d$	$\Pi x5$	$\Pi x d$	$\times$	$x\Pi c$	C/P		

**Инструкция.** Ввод  $l \rightarrow 1$ ;  $q \rightarrow 2$ ;  $q^H \rightarrow 3$ ;  $R_u \rightarrow 4$ ;  $n \rightarrow 5$ ;  $\alpha \rightarrow 6$ ;  $E \rightarrow 7$ ; В/О С/П. Индикация —  $h_f$ ;  $b_f \leftarrow ; h_u \leftarrow 0$ ;  $b_u \leftarrow a$ .

**Контрольный пример.** 4000 → 1; 2,5 → 2; 2,2 → 3; 12,0 → 4; 2 → 5; 20 → 6;  $8 \cdot 10^3 \rightarrow 7$ .

**Результат:**  $h_f = 138$ ;  $b_f = 69$ ;  $h_u = 176$ ;  $b_u = 88$ .

**Время счета:** 45 с.

### Программа 5.2

Определение требуемой высоты сечения клееной балки

$\Pi x1$	$Fx^2$	$\Pi x2$	$\times$	$\Pi x3$	$\times$	0	.	7	5
$\times$	$\Pi x4$	/	$x\Pi a$	3	$F1/x$	$\Pi x a$	$Fx^Y$	$x\Pi a$	$\Pi x1$
$\Pi x2$	$\times$	$\Pi x3$	$\times$	0	.	7	5	$\times$	$\Pi x5$
/	$FV$	$x\Pi b$	3	$B\uparrow$	$\Pi x3$	$Fx^Y$	$\Pi x1$	$\times$	$\Pi x1$
$\times$	$\Pi x2$	$\times$	$\Pi x8$	$\times$	0	.	0	0	5
4	$\times$	$\Pi x4$	/	$\Pi x7$	/	$x\Pi c$	4	$F1/x$	$\Pi x c$
$Fx^Y$	$x\Pi c$	3	$B\uparrow$	$\Pi x1$	$Fx^Y$	$\Pi x6$	$\times$	$\Pi x3$	$\times$
4	6	.	8	7	5	$\times$	$\Pi x9$	/	$x\Pi 10$
4	$F1/x$	$\Pi x0$	$Fx^Y$	$x\Pi d$	C/P				

**Инструкция.** Ввод  $l \rightarrow 1$ ;  $q \rightarrow 2$ ;  $\eta \rightarrow 3$ ;  $R_u \rightarrow 4$ ;  $R_{ck} \rightarrow 5$ ;  $q^H \rightarrow 6$ ;  $k_\Phi \rightarrow 7$ ;  $E \rightarrow 8$ ;  $I_p \rightarrow 9$ . В/О С/П. Индикация —  $h_f$ ;  $h_\tau \leftarrow b$ ;  $h_\sigma \leftarrow a$ .

**Контрольный пример.** 18 000 → 1; 16 → 2; 5 → 3; 12,63 → 4; 1,263 → 5; 14 → 6; 1,13 → 7; 3000 → 8; 8421,05 → 9.

**Результат:**  $h_f = 1228$ ;  $h_\tau = 925$ ;  $h_\sigma = 1155$ .

**Время счета:** 55 с.

### Программа 5.3

#### Проверка прочности двускатной балки

4	B↑	Px8	Fx <sup>y</sup>	Px0	X	xP15	3	B↑	Pxс
KНОП	Pxb	×	Px9	×	6	.	4	×	xP7
Pxb	Px7	/	xP1	Px8	2	.	Pxd	×	Pxс
—	/—/	xP7	Px7	Pxс	/	0	.	8	5
X	0	.	1	5	+	xP6	Px7	Pxс	/
3	.	8	X	1	5	.	4	+	xP4
Pxс	Px8	/	X	Px4	X	1	+	Px1	×
Px6	/	xP5	Px8	Px5	/	xP3	Px8	Pxa	×
3	X	Px7	/	Pxb	/	4	/	xP2	Px8
Px7	X	2	/	Pxс	/	xP6	Px6	Px	X
Px7	+	xP4	C/P						

**Инструкция.** Ввод  $l \rightarrow 8$ ;  $E \rightarrow 9$ ;  $q^h \rightarrow 0$ ;  $q \rightarrow a$ ;  $b \rightarrow b$ ;  $h_{cp} \rightarrow c$ ;  $i \rightarrow d$ . В/О С/П.  
Индикация —  $h_x$ ;  $x \leftarrow 6$ ;  $\tau \leftarrow 2$ ;  $n_0 \leftarrow 3$ ;  $f \leftarrow 5$ ;  $h_{on} \leftarrow 7$ ;  $f_0 \leftarrow 1$ .

**Контрольный пример.** 15 000 → 8; 9052,63 → 9; 14 → 0; 17 → a; 140 → b;  
1,4 → c;  $1/_{20} \rightarrow d$ .

**Результат:**  $h_x = 1300$ ;  $x = 5491$ ;  $\tau = 13,3275$ ;  $n_0 = 314,06$ ;  $f = 47,8$ ;  $h_{on} = 1025$ ;  
 $f_0 = 31,8$ .

Время счета: 35 с.

### Программа 5.4 (МК-61, МК-52)

#### Определение размеров поперечного сечения минимальной площади клееной балки

Px1	$Fx^2$	Px2	X	6	X	8	/	Px4	/
$F\sqrt{}$	$xPld$	Px1	Px2	X	1	.	5	X	Px5
/	2	/	xPс	3	B↑	Px1	$Fx^y$	Px3	X
Px6	/	$F\sqrt{}$	6	.	8	5	X	xPb	Pxс
$Fx^2$	$Pxd$	$Fx^2$	/	xP0	Pxd	$Fx^2$	Pxс	/	xP9
3	B↑	Pxс	$Fx^y$	xP7	3	B↑	Pxb	$Fx^y$	xPe
/	$F\sqrt{}$	xP8	Pxe	$F\sqrt{}$	Pxс	X	Px7	$F\sqrt{}$	/
xP7	Px8	Px7	X	xPe	C/P				

**Инструкция.** Ввод  $l \rightarrow 1$ ;  $q \rightarrow 2$ ;  $q^h \rightarrow 3$ ;  $R_u \rightarrow 4$ ;  $R_{ck} \rightarrow 5$ ;  $E \rightarrow 6$ . В/О С/П.  
Индикация —  $A$ ;  $h_2 \leftarrow 7$ ;  $b_2 \leftarrow 8$ ;  $h_1 \leftarrow 9$ ;  $b_1 \leftarrow 0$ ;  $\gamma \leftarrow b$ ;  $\beta \leftarrow c$ ;  $\alpha \leftarrow d$ .

**Контрольный пример.** 18 000 → 1; 16 → 2; 14 → 3; 12,63 → 4; 1,263 → 5;  
8421,05 → 6.

**Результат:**  $A = 171\,000$ ;  $h_2 = 1339$ ;  $b_2 = 128$ ;  $h_1 = 1800$ ;  $b_1 = 95$ ;  $\gamma = 0,674$ ;  
 $\beta = 0,171$ ;  $\alpha = 0,555$ .

Время счета: 40 с.

### Программа 5.5 (МК-61, МК-52)

#### Определение размеров поперечного сечения стойки двухшарнирной рамы

Pxa	Pxс	/	Pxe	/	xP1	Pxb	6	X	Pxe
$Fx^2$	/	Pxс	/	Px0	/	xP2	Px1	3	/
xP3	3	B↑	Px3	$Fx^y$	xP3	Px2	2	/	$Fx^2$
xP4	Px3	Px4	+	$F\sqrt{}$	xP5	Px2	2	/	/—/
Px5	+	xP6	3	$F1/x$	Px6	$Fx^y$	xP6	Px2	2
/	Px5	+	xP7	3	$F1/x$	Px7	$Fx^y$	xP7	Px6
Px7	+	xP8	Pxe	Px8	X	xP9	Px8	Px9	X
xPd	C/P								

**Инструкция.** Ввод  $\xi \rightarrow 0$ ;  $N \rightarrow a$ ;  $M \rightarrow b$ ;  $R_c \rightarrow c$ ;  $\eta \rightarrow e$ . В/О С/П. Индикация —  $A$ ;  $h \leftarrow 9$ ;  $b \leftarrow 8$ .

**Контрольный пример.**  $0,8 \rightarrow 0$ ;  $161\,000 \rightarrow a$ ;  $35,65 \cdot 10^3 \rightarrow b$ ;  $13,895 \rightarrow c$ ;  $2 \rightarrow e$ .

**Результат:**  $A = 65\,000$ ;  $h = 361$ ;  $b = 180$ .

**Время счета:** 35 с.

### Программа 5.6 (МК-61, МК-52)

Определение площади поперечного сечения болтов, прикрепляющих стойку рамы к фундаменту

Пх3	Пх1	/	Пх5	/	Пхс	/	1	—	/—/
хП4	Пх7	6	×	Пх4	/	Пха	/	Пх9	$Fx^2$
/	хП6	Пх3	Пхс	/	хП8	Пхб	Пх8	—	хП10
Пх8	Пх6	+	хПb	Пх0	Пхb	+	хПd	Пх0	Пх9
×	Пхd	/	хПe	Пхb	Пх9	×	Пхd	/	хП6
Пх9	Пхе	—	В↑	Пх6	3	/	—	хП8	Пх2
2	/	Пхе	+	В↑	Пх6	2	×	3	/
+	хПd	Пх7	Пх4	/	Пхd	/	В↑	Пх3	Пх8
×	Пхd	/	—	хП0	С/П				

**Инструкция.** Ввод  $\varphi \rightarrow 1$ ;  $\delta \rightarrow 2$ ;  $N \rightarrow 3$ ;  $R_c \rightarrow 5$ ;  $M \rightarrow 7$ ;  $h \rightarrow 9$ ;  $b \rightarrow a$ ;  $F \rightarrow c$ . В/О С/П. Индикация —  $N_6$ ;  $e \leftarrow d$ ;  $c \leftarrow 8$ ;  $h_c \leftarrow 6$ ;  $h_p \leftarrow e$ ;  $\sigma_c \leftarrow b$ ;  $\sigma_p \leftarrow 0$ ;  $\xi \leftarrow 4$ .

**Контрольный пример.**  $0,882 \rightarrow 1$ ;  $0,125 \rightarrow 2$ ;  $161\,000 \rightarrow 3$ ;  $18,945 \rightarrow 5$ ;  $35,65 \cdot 10^3 \rightarrow 7$ ;  $361 \rightarrow 9$ ;  $169 \rightarrow a$ ;  $0,065 \rightarrow c$ .

**Результат:**  $N_6 = 52\,170$ ;  $e = 350$ ;  $c = 146$ ;  $h_a = 220$ ;  $h_p = 141$ ;  $\sigma_c = 13,879$ ;  $\sigma_p = 8,925$ ;  $\xi = 0,852$ .

**Время счета:** 40 с.



### ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Проектирование строительных конструкций, их элементов, деталей и узлов связано с расчетом значительного количества конкретных конструкций, которые не нашли отражения в настоящем справочнике. Приведенные в предыдущих главах программы могут быть использованы только для выполнения отдельных вычислительных процедур, в то время как проектировщик должен принять конструктивное решение, установить расчетные схемы и выбрать нагрузки, выполнить статические расчеты и т. п.

Основные характеристики конструкций, рассмотренных в 6.1 и 6.2, широко используются в практике проектирования. Сопоставление полученных результатов с данными, изложенными в [4], наглядно показывает преимущество расчета на микрокалькуляторе по сравнению с ручным счетом. Программы сопровождаются примерами, предна-

значенными для контроля правильности ввода исходной информации и работы микрокалькулятора. Эти примеры расчета изложены для конкретных задач и не рассматривают возможные их разветвления, указанные в алгоритмах.

## 6.1. РЕБРИСТАЯ ПЛИТА ПЕРЕКРЫТИЯ

Конструктивный расчет панелей зависит от формы сечения. При подборе продольной арматуры панели с ребрами вверху приводят к тавровому сечению, а с ребрами внизу и сплошные — рассматривают как прямоугольные с шириной, равной соответственно сумме толщин ребер. При расчете прочности наклонного сечения в качестве расчетной принимают суммарную ширину ребер. Кроме расчета их в продольном направлении полку панели рассматривают как балочную или опертую по контуру в зависимости от соотношения сторон.

Перед началом расчета необходимо назначить геометрические размеры элементов перекрытия, выполнить сбор нагрузок, определить их расчетные пролеты, усилия и рабочую высоту сечения. В соответствии с требованиями нормативных документов устанавливают класс бетона и марку стали, их расчетные и нормативные сопротивления.

При расчете конструктивных элементов плиты определяют:

- 1) полки на местный изгиб — граничную относительную высоту сжатой зоны бетона (программа 2.1) и площадь сечения арматуры (программа 2.7);
- 2) поперечных ребер — площадь сечения продольной арматуры (программы 2.7, 2.9) и шаг поперечных стержней (программа 2.22);
- 3) продольных ребер — граничную относительную высоту сжатой зоны бетона (программа 2.1), расчетный случай таврового сечения и площадь сечения продольной арматуры (программы 2.7, 2.8), а также шаг поперечных стержней (программа 2.24);
- 4) геометрические характеристики поперечного сечения панели (программа 2.36);
- 5) потери предварительного напряжения арматуры;
- 6) нормальные сечения продольных ребер по образованию трещин (программа 2.37);
- 7) ширину раскрытия нормальных трещин в продольных ребрах (программа 2.41);
- 8) наклонные сечения продольных ребер по образованию трещин (программа 2.40);
- 9) прогибы панели (программы 2.43 или 2.44).

В качестве примера рассмотрим расчет ребристой панели перекрытия высотой 400 мм, шириной 3 м и длиной 5,55 м. Состоит из полки толщиной 50 мм, трех продольных ребер высотой 400 мм и шириной: понизу крайних — 85 и среднего — 170 мм и поверху — соответственно 100 и 240 мм, поперечных ребер — торцевых, высотой 400 мм и шириной понизу 100 мм и поверху 125 мм и промежуточных, высотой 200 мм и шириной понизу 50 мм и поверху 100 мм (см. рис. 5.2).

Плита изготовлена из тяжелого бетона класса В20; коэффициент условий работы бетона  $\gamma_b = 0,9$  ( $R_b = 11,5 \cdot 0,9 = 10,35$  МПа;  $R_{bt} =$

$$= 0,9 \cdot 0,9 = 0,81 \text{ МПа}; R_{b,ser} = 15 \text{ МПа}; R_{bt,ser} = 1,4 \text{ МПа}; E_b = 2,4 \cdot 10^4 \text{ МПа}.$$

Полка армирована сварными рулонными сетками из арматурной проволоки периодического профиля, укладываемыми между продольными ребрами снизу и над ними поверху полки. В нижних сетках предусмотрена рабочая арматура в двух направлениях, в верхних — поперечная. Арматура класса Вр-І при  $d = 4$  мм ( $R_s = 365$  МПа,  $E_s = 1,7 \cdot 10^6$  МПа).

Арматура напрягаемая продольных ребер класса А-ІV ( $R_s = 510$  МПа,  $R_{s,ser} = 590$  МПа,  $E_s = 1,9 \cdot 10^6$  МПа) и ненапрягаемая продольных и поперечных ребер — сварные каркасы, нижние стержни которых — класса А-ІІІ (при  $d \geq 10$  мм  $R_s = 365$  МПа;  $R_{s,ser} = 390$  МПа;  $E_s = 2 \cdot 10^6$  МПа), а верхние и поперечные — класса Вр-І (при  $d = 5$  мм;  $R_s = 360$  МПа;  $R_{sw} = 260$  МПа;  $E_s = 1,7 \times 10^5$  МПа). Нижние и верхние продольные стержни сварных каркасов поперечных ребер в зоне продольного среднего ребрастыкуются внахлестку дополнительными стержнями  $d = 10$  мм из арматуры класса А-ІІІ при монтаже каркасов. В плите допустимо образование трещин, к ней предъявляется третья категория требований по трещиностойкости.

Плиты изготовлены по поточно-агрегатной технологии с электротермическим способом напряжения арматуры на упоры формы. Предварительное напряжение без учета потерь  $\sigma_{sp} = 400$  МПа. Бетон подвергается тепловой обработке. Обжатие бетона при прочности  $R_{bp} = 0,8$   $R = 0,8 \cdot 20 = 16$  МПа.

Выполняя расчет полки на местный изгиб, находим граничную относительную высоту сжатой зоны бетона по программе 2.1. Исходные данные:  $\alpha = 0,85$ ;  $8 \cdot 10^{-5}$   $R_b = 8,28 \cdot 10^{-2}$ ;  $L = -1$ ;  $\sigma_{sc,u} = 5 \times 10^4$ ;  $\gamma_b = 0,9$ ;  $R_s = 36\ 500$ . Результат:  $\xi_R = 0,628$ .

Определяем площадь сечения арматуры по программе 2.7. Исходные данные:  $M = 5,38 \cdot 10^6$ ;  $b = 1000$ ;  $h_0 = 38$ ;  $R_b = 1035$ ;  $R_s = 36\ 500$ ;  $\xi_R = 0,628$ ;  $\mu_{min} = 0,0005$ . Результат:  $A_s = 39,51$ .

При расчете поперечных ребер определяем площадь сечения продольной арматуры по программе 2.7. Исходные данные:  $M = 3,85 \times 10^6$ ;  $b = 570$ ;  $h_0 = 180$ ;  $R_b = 1035$ ;  $R_s = 36\ 500$ ;  $\xi_R = 0,628$ ;  $\mu_{min} = 0,0005$ . Результат:  $A_s = 59,2$ .

Шаг поперечных стержней находим по программе 2.22. Исходные данные:  $h = 200$ ;  $h_0 = 180$ ;  $Q_b = 4370$ ;  $k = 1$ ;  $Q_{b,min} = 4370$ ;  $c = 600$ ;  $M_b = 2,62 \cdot 10^6$ ;  $R_{sw}nA_{sw} = 509\ 600$ ;  $(\Phi_b h_0)/(\Phi_b Q) = 4,13 \times 10^{-2}$ ;  $Q = 10\ 900$ . Результат: 100.

Расчет продольных ребер начинаем с определения граничной относительной высоты сжатой зоны бетона по программе 2.1. Исходные данные:  $\alpha = 0,85$ ;  $8 \cdot 10^{-5} \cdot R_b = 8,28 \cdot 10^{-2}$ ;  $L = 1$ ;  $k = 1$ ;  $I = 1$ ;  $\gamma_{sp_1} \sigma_{sp_2} = 32\ 800$ ;  $\sigma_{scu} = 50\ 000$ ;  $\gamma_b = 0,9$ ;  $R_s = 51\ 000$ . Результат:  $\xi_R = 0,567$ .

Подбор арматуры — по программе 2.7. Исходные данные:  $M = 198,44 \cdot 10^6$ ;  $b = 2950$ ;  $h_0 = 360$ ;  $A_s = 0$ ;  $R_s = 0$ ;  $R_b = 1035$ ;  $\eta = 1,2$ ;  $\mu_{min} = 0,0005$ ;  $\xi_R = 0,567$ ;  $R_{sp} = 51\ 000$ . Результат: 923,8.

Расчет прочности наклонного сечения продольных ребер — по программе 2.24. Исходные данные:  $h = 400$ ;  $h_0 = 360$ ;  $Q_b = 77\ 300$ ;  $k = -1,36$ ;  $Q_{b\ min} = 114\ 600$ ;  $c = 1200$ ;  $M_b = 1,37 \cdot 10^8$ ;  $R_{sw}nA_{sw} = 2\ 038\ 400$ ;  $\frac{\varphi_{h_0}h_0}{\varphi_b Q} = 6,15 \cdot 10^{-3}$ ;  $Q = 146\ 310$ . Результат: 150.

Геометрические характеристики поперечного сечения панели без учета арматуры определяем по программе 2.36. Исходные данные:  $\gamma = 1,75$ ;  $\gamma' = 1,5$ ;  $\alpha_{sp} = 0$ ;  $\alpha_s = 0$ ;  $h = 400$ ;  $a_1 = 375$ ;  $A_1 = 1,475 \times 10^5$ ;  $a_2 = 175$ ;  $A_2 = 136\ 500$ . Результат:  $A_{red} = 284\ 000$ ;  $S_{red} = 792 \cdot 10^5$ ;  $y_0 = 278,8$ ;  $I_{red} = 3,47 \cdot 10^9$ ;  $W_{red} = 1,24 \cdot 10^7$ ;  $W_{pl} = 2,18 \cdot 10^7$ ;  $W_{red} = 2,87 \cdot 10^7$ ;  $W_{pl}' = 4,3 \cdot 10^7$ .

Принимаем суммарные потери  $\sigma_l = 100$  МПа. Рассчитываем нормальные сечения продольных ребер по образованию трещин по программе 2.37. Исходные данные:  $A_{red} = 3355 \cdot 10^2$ ;  $y_0 I_{red} = 5,65 \times 10^{12}$ ;  $M_g = 7,31 \cdot 10^6$ ;  $R_{bp} = 2400$ ;  $K = 1$ ;  $R_{b,ser} = 1780$ ;  $W_{red} = 35,5 \cdot 10^6$ ;  $R_{b,ser} W_{pl} = 9,7 \cdot 10^9$ . Результат: 0, образуются нормальные трещины.

Определяем ширину раскрытия трещин по программе 2.41. Исходные данные:  $(M_r + P_2 e_{sp2})/(P_2) = 28,8$ ;  $0,2\delta_1\varphi_1\eta(3,5 - 100\mu)^3\sqrt{d} = 7,17 \cdot 10^{-6}$ ;  $10\mu\alpha = 0,64$ ;  $\beta = 1,8$ ;  $P_2/(R_{b,ser}b) = 32,75$ ;  $A_{sp} + A_s = 1021,4$ ;  $(b_f - b)/b = 6,56$ ;  $h_f = 50$ ;  $A_{sp}' + A_s = 330$ ;  $\alpha/2vb = 0,02$ ;  $h_0 = 360$ ;  $P_2 = 227,4 \cdot 10^3$ ;  $M_{r_2} + P_2 e_{sp_2} = 1,68 \cdot 10^8$ ;  $\delta_n = 1,05$ ;  $x = 82,8$ . Результат:  $a_{crc_1} = 0,16$ .

Наклонные сечения продольных ребер по образованию трещин рассчитываем по программе 2.40. Исходные данные:  $P_2 = 227,4 \cdot 10^3$ ;  $e_{0p_2} = 210$ ;  $A_{red} = 5168 \cdot 10^2$ ;  $I/I_{red} = 4,5 \cdot 10^{-8}$ ;  $M_{r_2} = 167,86 \cdot 10^6$ ;  $I = 1$ ;  $Q_1 = 123,77 \cdot 10^3$ ;  $M_1 \operatorname{tg} \beta/h_0 = 0$ ;  $S_{red}/yb = 209,8$ ;  $\alpha - \beta = 0,2$ ;  $R_{b,ser} = 1500$ ;  $R_{bt,ser} = 140$ . Результат: 0, наклонные трещины не образуются.

Для вычисления прогибов панели вычисляем кривизну изгибающего предварительно напряженного элемента на участках с трещинами в растянутой зоне по программе 2.44. Исходные данные:  $M_r = 167,86 \times 10^6$ ;  $P_2/h_0 = 631,6$ ;  $P_2 e_{sp_2} = 227,4 \cdot 10^3$ ;  $bh_0 R_{b,ser} = 2,1 \cdot 10^8$ ;  $\varphi_{ts} = 1,1$ ;  $l_{s,tot}/h_0 = 1,78$ ;  $\psi_b/((\varphi_f + \xi) bh_0 E_b v) = 5,76 \cdot 10^{-12}$ ;  $zh_0 = 117\ 720$ ;  $M_{rp} = 38 \cdot 10^6$ ;  $(E_s A_s + E_{sp} A_{sp})^{-1} = (2,56 \cdot 10^5)^{-1}$ . Результат:  $1/r = 0,3 \cdot 10^5$ . Тогда прогиб  $f_{tot} = \rho_m (1/r)_1 = 5/48 \cdot 0,3 \times 10^{-5} = 3,12 \cdot 10^{-7}$ .

## 6.2. РИГЕЛЬ

Ригель многопролетного балочного перекрытия представляет собой элемент рамной конструкции. Статический расчет производится по указаниям 3.1. При свободном опирании концов ригеля на стены, большей его жесткости по сравнению с жесткостью колонны, равных пролетах и сравнительно небольшой временной нагрузке ( $v = 5$  кПа) ригель рассчитывают как неразрезную балку по методу предельного равновесия.

Перед началом расчета определяют расчетные пролеты, выполняют сбор нагрузок, находят расчетные усилия и рабочую высоту сечения. В соответствии с требованиями нормативных документов устанавливают класс бетона и марку стали, их расчетные и нормативные сопротивления.

При расчете ригеля определяют:

1) граничную относительную высоту сжатой зоны бетона (программа 2.1), расчетный случай таврового сечения и площадь сечения продольной арматуры (программа 2.7, 2.8 или 2.17);

2) геометрические характеристики приведенного сечения (программа 2.36);

3) потери предварительного напряжения арматуры;

4) прочность (окончательный расчет) нормальных сечений по изгибающему моменту (2.1, 2.3 или 2.12);

5) прочность наклонных сечений ригеля (программа 2.19, 2.20);

6) нормальные сечения ригеля по образованию трещин (программа 2.38 и 2.39);

7) в стадии эксплуатации — расчет рамы по деформированной схеме, проверка трещиностойкости сечений (программа 2.37 и 2.39);

8) наклонные сечения ригеля по образованию трещин в стадии эксплуатации (программа 2.40);

9) ширину раскрытия нормальных трещин (программа 2.41);

10) закрытие нормальных трещин (программа 2.42);

11) эпюры материалов (построение).

В качестве примера рассмотрим расчет ригеля первого пролета. В нем действует максимальный изгибающий момент  $M = 594,9 \cdot 10^6$ . Принимаем размеры сечения ригеля тавровой формы с полкой внизу:  $b = 300$ ;  $b_f = 650$ ;  $h_f = 400$ ;  $c = 175$ ;  $a = 50$  (см. рис. 4.5 [4]). Ригель изготавливается из тяжелого бетона класса В30, коэффициент условий работы бетона  $\gamma_{b_2} = 0,9$  ( $R_b = 17 \cdot 0,9 = 15,3$ ;  $R_{b,t} = 1,2 \cdot 0,9 = 1,08$ ;  $R_{b,ser} = 22$ ;  $R_{bt,ser} = 1,8$ ;  $E_b = 2,9 \cdot 10^4$ ). Рабочая продольная арматура в пролете принята стержневая класса А-III (при  $d \geq 10$ ;  $R_s = 365$ ;  $R_{s,ser} = 390$ ;  $E_s = 2 \cdot 10^5$ ).

Граничную относительную высоту сжатой зоны бетона вычисляем по программе 2.1. Исходные данные:  $\alpha = 0,85$ ;  $8 \cdot 10^{-5} R_b = 0,122$ ;  $L = -1$ ;  $\sigma_{scu} = 50\ 000$ ;  $\gamma_{b_2} = 0,9$ ;  $R_s = 36\ 500$ . Результат:  $\xi_R = 0,586$ .

Площадь сечения продольной арматуры находим по программе 2.7. Исходные данные:  $M = 5,97 \cdot 10^8$ ;  $b = 300$ ;  $h_0 = 740$ ;  $R_b = 1530$ ;  $R_s = 36\ 500$ ;  $\xi_R = 0,586$ ;  $\mu_{min} = 0,0005$ . Результат:  $A_s = 2561$ .

Учитывая, что рабочая арматура ненапрягаемая, пункты 2, 3, 4 не выполняются.

Прочности наклонных сечений ригеля рассчитываем по программе 2.19. Исходные данные:  $q = 44,56$ ;  $v = 72$ ;  $R_{bl} = 108$ ;  $R_{sw} = 17\ 500$ ;  $h = 800$ ;  $A_{sce} = 78,5$ ;  $b = 300$ ;  $a = 60$ ;  $\varphi_{b_2} = 2$ ;  $\varphi_{b_3} = 0,6$ ;  $\varphi_{b_4} = 1,5$ ;  $\varphi_i = 0,273$ ;  $\varphi_n = 0$ . Результат:  $s = 150$ .

### 6.3. СПЛОШНАЯ ПЛИТА ПЕРЕКРЫТИЯ

В настоящем примере приведен расчет сплошной опертой по контуру плиты перекрытия из тяжелого бетона. При расчете определяют:

1) исходные данные для проектирования (геометрические размеры, прочностные и деформативные характеристики, нагрузки);

2) классы арматуры плиты вдоль расчетных пролетов, коэффициенты  $v_{opt}$  и  $\gamma_s$  (п. 3.2.3);

3) изгибающие моменты вдоль расчетных пролетов, соответствующие оптимальному армированию (программа 3.49);

4) площадь сечения рабочей арматуры (программа 2.7);

5) коэффициенты армирования  $\mu_1$  и  $\mu_2$ , проверяют условия (см. п. 3.2.3);

6) момент образования трещин при изгибе вдоль пролета  $l_1$  по программе 2.37 или по приближенным формулам;

7) нагрузку, при которой в плите образуются трещины (программа 3.52);

8) моменты, воспринимаемые рабочей арматурой вдоль пролетов  $l_1$  и  $l_2$  (по программе 3.46);

9) предельную равномерно распределенную нагрузку на плиту для предельных состояний второй группы (программа 3.47);

10) предельный прогиб плиты (программа 3.53) и сравнивают его с допустимым.

Рассчитываем свободно опертую по контуру плиту перекрытия крупнопанельного здания размерами в плане  $3,58 \times 6,58$  м и толщиной 0,12 м. Размеры опорных площадок: вдоль короткого пролета 0,05 м, вдоль длинного — 0,07 м. Расчетные пролеты плиты:

$$l_1 = 3,58 - 0,05 = 3,53 \text{ м}; \quad l_2 = 6,58 - 0,07 = 6,51 \text{ м},$$

при этом  $\lambda = l_2/l_1 = 1,844$ . Плита изготовлена кассетным способом из тяжелого бетона класса В15. Расчетные сопротивления для предельных состояний:

первой группы (при расчете на длительные нагрузки)

$$R_b = 8,5 \cdot 0,9 \cdot 0,85 = 6,5 \text{ МПа}; \quad R_{bt} = 0,75 \cdot 0,9 \cdot 0,85 = 0,57 \text{ МПа};$$

второй группы

$$R_{b,ser} = 11 \text{ МПа}; \quad R_{bt,ser} = 1,15 \text{ МПа}.$$

Начальный модуль упругости бетона при сжатии и растяжении для изделий кассетного изготовления  $E_b = 20,5 \cdot 10^3 \cdot 0,85 = 17,4 \times 10^3 \text{ МПа}$ .

Нагрузки на 1 м<sup>2</sup> плиты без учета собственного веса: расчетная 4,5, нормативная 3,6 и длительная 2,6 кПа. Вес 1 м<sup>2</sup> плиты  $0,12 \cdot 25\ 000 = 3$  кПа. Суммарные нагрузки на плиту, кПа: с учетом коэффициента надежности по назначению  $\gamma_n = 0,95$ :

расчетная  $q = 0,95 (3 \cdot 1,1 + 4,5) = 7,350$ ;

нормативная  $q_n = 0,95 (3 + 3,6) = 6,216$ ;

длительная  $q_l = 0,95 (3 + 2,6) = 5,266$ .

Расчет плиты по первой группе предельных состояний при действии эксплуатационных нагрузок. Принимается армирование плиты

сварной сеткой, в которой стержни вдоль пролета  $l_1$  через один обрываются согласно эпюре моментов. Арматура вдоль пролета  $l_1$  принята из стали класса А-III, вдоль пролета  $l_2$  — из стали класса Вр-І. При таком армировании  $\gamma_s = 0,9$ . Принимаем  $h_{01} = 100$  мм,  $h_{02} = 92$  мм. При  $l_1/h = 13,6$  и  $\lambda = 1,844$  по рис. 3.18  $\gamma_p = 0,98$ .

Расчетные изгибающие моменты вдоль пролетов  $l_1$  и  $l_2$ , соответствующие оптимальному армированию, определяют по программе 3.49. Исходные данные:  $I = -1$ ;  $q = 0,735$ ;  $l_1 = 353$ ;  $l_2 = 651$ ;  $\lambda = 1,844$ ;  $\gamma_s h_{02}/h_{01} = 0,9 \frac{92}{100}$ ;  $\gamma_p = 0,98$ ; Результат:  $M_1 = 6118193,5$ ;  $M_2 = 266201,5$ .

Требуемое армирование вычисляют по программе 2.7. Результат:  $A_{s1} = 2,61$ ;  $A_{s2} = 0,23$  (на 1 м).

Принятое армирование соответственно:  $\varnothing 10$  с шагом 300 мм из стали класса А-III и  $\varnothing 3$  мм с шагом 300 мм из стали класса Вр-І.

Коэффициенты армирования, %:  $\mu_1 = 0,261 > \mu_{min} = 0,05$ ;  $\mu_2 = 0,025$ ;  $\mu = 0,5 (\mu_1 + \mu_2) = 0,141 > \mu_{min} = 0,05$ .

Принятое армирование удовлетворяет условиям прочности при эксплуатационных нагрузках и требованиям к минимальному проценту армирования.

**Расчет плиты по образованию трещин.** Изгибающий момент, соответствующий образованию трещин при изгибе вдоль пролета  $l_1$ , приближенно определяют по формуле

$$M_{crc} = l_2 h^2 R_{bt,ser} / 3,5 = 651 \cdot 120^2 \cdot 1,15 / 3,5 = 3,08 \cdot 10^6.$$

При  $\lambda = 1,844 \alpha_1 = 0,095$  (рис. 320, a).

Нагрузку, при которой в пролете плиты появляются трещины, вычисляют по программе 2.37. Исходные данные:  $l_1 = 353$ ;  $l_2 = 651$ ;  $\alpha_1 = 0,095$ ;  $M_{crc} = 3,08 \cdot 10^6$  (так как расчет ведется по одностадийной схеме, рассчитывать можно начиная с шага 65).

Результат:  $q_{crc} = 0,3997$  (с учетом коэффициента надежности по назначению  $\gamma_n = 0,95$ ,  $q_{crc} = 0,4207$ ). Очевидно, что  $q_{crc} = 0,4207 < q_n = 0,62$ .

В плите образуются трещины.

**Расчет прогибов плиты.** Определим предельную нагрузку  $q_{ser}$  при следующих характеристиках материалов для предельных состояний второй группы:  $R_{s,ser} = 390$  МПа,  $R_{s,ser_2} = 405$  МПа,  $R_{b,ser} = 11$  МПа,  $R_{bt,ser} = 1,15$  МПа,  $E_s = 2 \cdot 10^5$  МПа.

Моменты, воспринимаемые рабочей арматурой, установленной вдоль пролетов  $l_1$  и  $l_2$ , определяют по программе 3.46:  $M_1 = 6,09 \cdot 10^6$ ,  $M_2 = 1,08 \cdot 10^6$ . Тогда

$$q_{ser} = \frac{24}{l_1^3} \frac{M_1 + M_2}{\gamma_p (3\lambda - 1)} = \frac{24}{353^3} \frac{(6,09 + 1,08) \cdot 10^6}{0,98 (3 \cdot 1,844 - 1)} = 0,881.$$

Приведенный коэффициент армирования  $\mu = 0,17 \cdot 10^{-2}$ . Относительная высота сжатой зоны бетона

$$\xi = 0,1 + 0,5 \mu R_{s,ser} / R_{b,ser} = 0,1 + 0,5 \cdot 0,17 \cdot 10^{-2} \cdot 390 / 11 = 0,13.$$

При влажности воздуха 40 % и более  $\nu = 0,15$ .

$$\eta_1 = \frac{h_{01}}{h_{01} - 7} = \frac{100}{93} = 1,075;$$

$$\eta_2 = 1 + 0,2(\lambda - 1) = 1 + 0,2(1,844 - 1) = 1,17.$$

По рис. 3.20, в  $\beta_1 = 0,108$ .

Прогиб от длительно действующих нагрузок вычисляют по программе 3.53. Исходные данные:  $l_1^2 = 124\,60\,900 \text{ мм}^2$ ;  $\beta_1/(\varphi_b E_b h^3) = 4,225828 \cdot 10^{-12} \text{ 1/N} \cdot \text{мм}$ ;  $q_{crc} = 4,2 \text{ кПа}$ ;  $q_{ser} = 8,81 \text{ кПа}$ ;  $q_l = 5,266 \text{ кПа}$ ;  $q_n = 6,2 \text{ кПа}$ ;  $\frac{0,141 R_{s,ser_1}}{h_{01} E_s} \left(1 + \frac{0,9 \mu E_s}{E_b \xi v}\right) \eta_1 \eta_2 = 6,5769696 \cdot 10^{-6} \text{ 1/мм}$ ;  $\varphi_b = 2$ . Результат: 23,18 мм.

Прогиб превышает допустимый  $l/200 = 3530/200 = 17,6 \text{ мм}$ . Необходимо усилить армирование плиты.

Увеличим вдвое арматуру вдоль пролета  $l_1$ . Тогда:

$$M_1 = 121,8 \cdot 10^5; q_{ser} = \frac{24}{353^2} \frac{(121,8 + 10,8) \cdot 10^5}{0,98 (3 \cdot 1,844 - 1)} = 1,63;$$

$$\mu = 0,5(2 \cdot 0,251 + 0,09) = 0,295\%;$$

$$\xi = 0,1 + 0,5 \cdot 0,295 \cdot 10^{-2} \cdot 390/11 = 0,152.$$

Прогиб определяем по программе 3.53. Исходные данные:  $l_1^2 = 12\,460\,900 \text{ мм}^2$ ;  $\beta_1/(\varphi_b E_b h^3) = 4,225828 \cdot 10^{-12} \text{ 1/N} \cdot \text{мм}$ ;  $q_{crc} = 4,2 \text{ кПа}$ ;  $q_{ser} = 0,0163 \text{ кПа}$ ;  $q_l = 5,266 \text{ кПа}$ ;  $q_n = 6,2 \text{ кПа}$ ;  $\frac{0,141 R_{s,ser_1}}{h_{01} E_s} \left(1 + \frac{0,9 \mu E_s}{E_b \xi v}\right) \eta_1 \eta_2 = 8,086877 \cdot 10^{-6} \text{ 1/мм}$ ;  $\varphi_b = 2$ . Результат: 13,904 мм < 17,6 мм.

Таким образом, требуемый прогиб обеспечен. Окончательно принимаем: вдоль пролета  $l_1$  — арматура диаметром 8 мм с шагом 100 мм из стали класса А-III; вдоль пролета  $l_2$  — арматура диаметром 4 мм с шагом 150 мм из стали класса Вр-I.

#### 6.4. ВНУТРЕННЯЯ ПАНЕЛЬНАЯ СТЕНА

При расчете несущей способности внутренней панельной стены при платформенном двустороннем опирании сплошных плит перекрытий на стену определяют:

1) исходные данные (геометрические, прочностные и деформативные характеристики, характеристики косвенного армирования, характеристики точности монтажа);

2) прочность опорного сечения стеновой панели в уровне верхнего и нижнего расчетного швов (программа 3.27) с предварительным вычислением  $\eta_1$  (программы 3.32...3.36) в зависимости от схемы опирания плиты перекрытия на стеновую панель;

3) эксцентрикситет продольной силы (программы 3.37...3.41) в зависимости от конструктивного решения стыка;

4) прочность панелей по горизонтальному сечению по программе 3.28 (для опорного и среднего сечений);

5) прочность стеновой панели по средним сечениям при внерадиальном сжатии из плоскости стены (программа 3.42).

Рассчитывают прочность внутренней панельной стены и горизонтальных стыковых соединений стеновых панелей.

Стеновые панели толщиной  $t = 0,16$  м из тяжелого бетона класса В20 бетонируют в вертикальном положении в кассетных установках. Верхнее опорное сечение стеновой панели усилено косвенным армированием в виде одного горизонтально расположенного каркаса с продольными и поперечными стержнями диаметром 8 мм  $A_{tr} = 50$  мм<sup>2</sup>. Расстояние между продольными стержнями  $l_{tr} = 120$  мм, шаг поперечных стержней каркаса  $C_{tr} = 100$  мм.

Расчетное сопротивление бетона сжатию постоянными и длительными нагрузками (с учетом коэффициентов условий работы  $\gamma_{b_2} = 0,9$ ;  $\gamma_{b_3} = 0,85$ ;  $\gamma_{b_4} = 0,9$  по СНиП 2.03.01-84)  $R_b = 11,5 \cdot 0,9 \cdot 0,85 \times 0,9 = 7,92$  МПа.

Номинальные толщины растворных швов: над плитой перекрытия — 25, под ней — 15 мм.

Марка раствора в горизонтальных швах M100. Возможные взаимные смещения сборных элементов в стыке: стеновых панелей  $\delta_w = 15$  мм (при монтаже с применением подкосов); плит перекрытий  $\delta_p = 10$  мм.

Суммарное смещение плит перекрытия относительно их проектного положения  $\delta_{pl} = \delta_p \times 1,4 = 14$  мм. Суммарный номинальный размер по толщине стены платформенных площадок  $b_{pl} = 2 \cdot 70 = 140$  мм. Расчетная ширина растворного шва при двустороннем опирании плит перекрытия  $b_m = t = 160$  мм.

Расчет опорного сечения в уровнях верхнего растворного шва. Коэффициент  $\eta_i$ , учитывающий конструктивное решение стыка, находят по программе 3.32. Исходные данные:  $I = 1$ ;  $K = 0$ ;  $L = -1$ ;  $S = 1$ ;  $R_{bp}/R_{bw} = 6,5/9,3$ ;  $1,4\delta_p = 14$  мм;  $b_{pl} = 140$  мм;  $t = 160$  мм;  $\gamma_{pl} = 0,9$ ;  $\gamma_{vac} = 0,5$ . Результат:  $\eta_i = 0,644$ .

Расчетную прочность горизонтального стыка при сжатии определяют по программе 3.27. Исходные данные  $I = 0$ ;  $K = 1$ ;  $t_m/b_m = 35/160$ ;  $R_m/B_w = 10/20$ ;  $20A_{tr} = 0$ ;  $C_{tr} = 1$ ;  $S_{tr} = 1$ ;  $l_{tr} = 1$ ;  $R_{bw} = 9,3$  МПа;  $\eta_i = 0,644$ ;  $t = 0,16$  м;  $d_i = 6$  м. Результат:  $N_u = 5\ 024\ 270 > N = 610\ 000$ .

Расчет опорного сечения в уровнях нижнего растворного шва. Исходные данные для определения коэффициента  $\eta$  по программе 3.32:  $I = 1$ ;  $K = 0$ ;  $L = -1$ ;  $S = 1$ ;  $R_{bp}/R_{bw} = 6,5/8,66$ ;  $1,4\delta_p = 14$  мм;  $b_{pl} = 140$  мм;  $t = 160$  мм;  $\gamma_{pl} = 0,9$ ;  $\gamma_{vac} = 0,5$ .

Результат:  $\eta_i = 0,665$ .

Исходные данные для определения расчетной прочности горизонтального стыка в уровне нижнего шва при сжатии — по программе 3.27.  $I = 0$ ;  $K = 1$ ;  $t_m/b_m = 21/160$ ;  $R_m/B_w = 10/20$ ;  $20A_{tr} = 1000$  мм<sup>2</sup>;  $l_{tr} = 120$  мм;  $C_{tr} = 100$  мм;  $S_{tr} = 80$  мм;  $t = 160$  мм;  $R_{bw} = 8,66$  МПа;  $\eta_i = 0,665$ ;  $t = 0,16$ ;  $d_i = 6$  м.

Результат:  $N_u = 5\ 305\ 280 > N = 610\ 000$ .

Определение эксцентричеситета продольной силы. Для платформенного стыка  $e_j^0$  вычисляют по программе 3.37. Исходные данные:  $I =$

$= -1$ ,  $t = 160$  мм;  $b_{pl}^{sup} = 140$  мм;  $\delta_p = 10$  мм;  $\delta_w = 15$  мм;  $\Delta b_{pl}^{sup} = 0$ . Результат:  $e_i^0 = 2,57$  мм.

**Проверка прочности панелей по горизонтальному сечению.** Расчет прочности горизонтального сечения столбов производится по программе 3.28. Исходные данные:

для среднего сечения:  $N = 610\ 000$ ;  $Q = 65\ 500$ ;  $R_c = 7,06$  МПа;  $h = 6$  м;  $t = 0,16$  м;  $e_{0h}/h = 0,6/6$ ;  $A = 0,96$  м<sup>2</sup>. Результат: 4 ( $\sigma = 635416,62$  Па). Продолжаем расчет по программе 3.31, выполнив предварительно Пх3 хПа БП 25 С/П. Исходные данные:  $N = 610\ 000$ ;  $Q = 65\ 500$ ;  $R_c = 7,06$  МПа;  $h = 6$  м;  $t = 0,16$  м;  $e_{0h}/h = 0,1$ ;  $\gamma_t = 2,5$ ;  $R_{bt} = 0,689$  МПа;  $\sigma = 635416,62$  Па;  $I = -1$ . Результат: 1 ( $Q_u = 917050,3$ );

для опорного сечения:  $N = 610\ 000$ ;  $Q = 65\ 500$ ;  $R_c = 4,82$  МПа;  $h = 6$  м;  $t = 0,16$  м;  $e_{0h}/h = 0,1$ ;  $A = 0,96$  м<sup>2</sup>. Результат: 4 ( $\sigma = 635416,62$  Па).

Исходные данные для расчета по программе 3.31:  $N = 610\ 000$ ;  $Q = 65\ 500$ ;  $R_c = 4,82$  МПа;  $h = 6$  м;  $t = 0,16$  м;  $e_{0h}/h = 0,1$ ;  $\eta = 0,7$ ;  $\sigma = 635416,62$  Па;  $I = 1$ . Результат: 1 ( $Q_u = 427\ 000$ ).

Расчет прочности стеновой панели по средним сечениям при внеклентренном сжатии из плоскости стены. Вычисляем по программе 3.42. Исходные данные:  $I = 3$ ;  $2d/(3H_0) = 2 \cdot 6/(3 \cdot 2,8)$ ;  $H_0\eta_p = 2800$  мм;  $e_0/t = 2,57/160$ ;  $R_{bw} = 9,3$  МПа;  $t = 160$  мм;  $0,533E_{bw}/\varphi_t = 8154,9$  МПа;  $A_w = 960\ 000$  мм<sup>2</sup>. Результат:  $N_u = 677\ 620,11 > N = 610\ 000$ .

Таким образом, прочность панели внутренней несущей стены обеспечена.

## 6.5. СТАЛЬНАЯ БАЛКА СОСТАВНОГО СЕЧЕНИЯ

Алгоритм расчета стальной балки составного сечения можно использовать при проектировании балок перекрытий и покрытий, а также и других сооружений, в которых есть составные изгибающие элементы. Перед началом расчета выбирают расчетную схему балки, определяют действующие нагрузки и находят наибольший изгибающий момент и перерезывающую силу. В соответствии с требованиями нормативных документов устанавливают марку стали и ее расчетные сопротивления, включая расчетные сопротивления соединений.

Расчет и конструирование составных балок с помощью разработанных программ для микрокалькуляторов необходимо выполнять в такой последовательности:

1) определить высоту сечения балки (программа 4.45) или высоту сечения и толщину стенки (программа 4.47). На основе анализа значений с учетом сортамента конструктивных требований и унификации принимаемого решения скорректировать полученные параметры;

2) найти сечение пояса балки (программы 4.46 или 4.48), размеры пояса (ширину и толщину) привести в соответствие с требованиями сортамента;

3) вычислить геометрические характеристики принятого двутаврового сечения (программа 4.16);

4) проверить напряжения в расчетных сечениях балки при работе ее в упругой области (программа 4.14) или с учетом развития пластических деформаций, с этой целью соответствующие коэффициенты найти по программе 4.15. Если какая-либо проверка не выполняется, необходимо скорректировать размеры поперечного сечения и перейти к п. 3;

5) определить уменьшенную ширину пояса балки в случае необходимости изменения ее поперечного сечения (программа 4.49). Оптимальное по расходу стали значение ординаты места изменения сечения можно установить, варьируя значение ординаты. Обращение к пп. 3 и 4 необходимо для проверки напряжений в балке с уменьшенным поперечным сечением;

6) установить необходимость укрепления стенки балки ребрами жесткости и места их расположения;

7) определить минимальные размеры поперечных ребер жесткости (программы 4.30 или 4.31) с корректировкой полученных значений в соответствии с требованиями сортамента;

8) определить геометрические характеристики ребра как сжатой стойки (программа 4.60) в случае, если приняты односторонние ребра жесткости, и проверить его как внецентренно-сжатый стержень (программа 4.34);

9) вычислить размеры опорного ребра (программа 4.50) и проверить его в зависимости от принятого конструктивного решения;

10) проверить устойчивость опорного ребра балки (программа 4.1). В случае, если условие не выполняется, следует изменить сечение ребра и перейти к п. 8;

11) проверить устойчивость стенки балки в пределах каждого отсека (программы 4.20...4.22, 4.27, 4.28), при этом возможно использование программ, определяющих значения критических напряжений (программы 4.23...4.26, 4.29). Если проверки для какого-либо отсека не выполняются, следует перейти к п. 6, уменьшив размеры отсека, либо к п. 3, увеличив толщину стенки;

12) проверить общую устойчивость балки (программа 4.18). При невыполнении проверки следует перейти к пп. 1...3, скорректировав размеры сечения балки;

13) установить места расположения монтажного стыка отправочных элементов балки и определить расчетные усилия в этом сечении;

14) определить требуемое количество высокопрочных болтов (программа 4.51) для обеспечения прочности стыка поясов и нахождения геометрических размеров поясной накладки;

15) проверить прочность пояса балки по ослабленному сечению в месте стыка (программа 4.52);

16) скомпоновать стык стенки балки, определить места расположения высокопрочных болтов по аналогичным проектам либо ориентируясь на приближенные расчеты;

17) определить полярный момент инерции стыка стенки (программа 4.86);

18) вычислить максимальное сдвигающее усилие, действующее на высокопрочный болт в соединении (программа 4.87);

19) проверить несущую способность наиболее нагруженного высокопрочного болта стыка стенки. В случае, если несущая способность болта не обеспечена, перейти к п. 16;

20) рассчитать узлы крепления примыкающих балок с определением катета сварного шва (программа 4.53) или количества болтов (программа 4.54).

Рассмотрим расчет главной балки перекрытия рабочей площадки производственного здания, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой  $q = 150 \text{ кН/м}$  ( $q_n = 130 \text{ кН/м}$ ). Пролет балки  $l = 15 \text{ м}$ . Расчетные сопротивления стали  $R_y = 210 \text{ МПа}$ ,  $R_s = 130 \text{ МПа}$ . Модуль упругости  $E = 2,06 \cdot 10^5 \text{ МГПа}$ . Предельный относительный прогиб  $[f/l] = 1/n = 1/400$ .

Расчетные усилия в сечениях балки:  $M = 4218 \text{ кН} \cdot \text{м}$  ( $M_n = 3656 \text{ кН} \cdot \text{м}$ ),  $Q_{\max} = 1125 \text{ кН}$ .

Для определения параметров поперечного сечения (см. рис. 4.3, а) предварительно назначаем толщину стенки исходя из того, что  $h_w \approx l/11 = 1,36 \text{ м}$ :

$$t_w = h_w/100 = 0,0136 \text{ м.}$$

Отношение строительных коэффициентов стенки  $\Psi_w$  и поясов  $\Psi_f$  для балок переменного сечения обычно колеблется в пределах 1,1...1,15 [7]. Принимаем  $\Psi_w/\Psi_f = 1,15$  и с помощью программы 4.47 находим высоту сечения балки. Исходные данные:  $M = 4218 \cdot 10^6$ ,  $M_n = 3656 \cdot 10^5$ ,  $Q_{\max} = 1125 \cdot 10^3$ ,  $l = 15000$ ,  $n = 400$ ,  $R_y = 210$ ,  $\gamma_c = 1$ ,  $R_s = 130$ ,  $\Psi_w/\Psi_f = 1,15$ ,  $t_w = 13,6$ ,  $E = 206000$ . Результат —  $h_{min} = 1100 \text{ мм}$ ,  $W_{tp} = 20085 \cdot 10^3$ ,  $h_{tp} = 1344 \text{ мм}$ ,  $h_{jk} = 1586 \text{ мм}$ .

Принимаем  $h_w = 140 \text{ см}$  и вновь вводим в программу. Тогда  $t_w = 7,45 \text{ мм}$ ,  $t_{w,c} = 7,41 \text{ мм}$ ,  $t_{w,f} = 7,44 \text{ мм}$ . Исходя из требований сортамента окончательно принимаем  $h_w = 145 \text{ см}$ ,  $t_w = 1 \text{ см}$ .

Сечение поясов определяем с помощью программы 4.47. Исходные данные:  $M = 4218 \cdot 10^3$ ,  $M_n = 3656 \cdot 10^5$ ,  $Q_{\max} = 1125 \cdot 10^3$ ,  $l = 15000$ ,  $n = 400$ ,  $R_y = 210$ ,  $\gamma_c = 1$ ,  $R_s = 130$ ,  $E = 206000$ ,  $W_{tp} = 20085 \cdot 10^3$ ,  $h_w = 1450$ ,  $t_w = 10$ . Результат —  $t_{f,min} = 19,1 \text{ мм}$ ,  $b_f = 598,4 \text{ мм}$ .

Корректируем полученные результаты и по программе 4.16 определяем геометрические характеристики двутаврового сечения. Исходные данные:  $b_f = 48$ ,  $t_f = 2,5$ ,  $h_w = 145$ ,  $t_w = 1,0$ . Результат —  $S_y = 738 \text{ см}^3$ ,  $A = 385 \text{ см}^2$ ,  $I_x = 1559427 \text{ см}^4$ ;  $I_y = 46080 \text{ см}^4$ ;  $W_x = 20792 \text{ см}^3$ ;  $W_y = 1920 \text{ см}^3$ ;  $S_x = 11478 \text{ см}^3$ ;  $i_x = 63,64 \text{ см}$ ;  $i_y = 10,94 \text{ см}$ .

Прочность сечения балки в середине пролета и на расстоянии  $1/4l$  от опоры, где  $M_1 = 316400 \text{ кН} \cdot \text{см}$  и  $Q_1 = 562,5 \text{ кН}$ , производим по программе 4.14. Исходные данные:  $I_x = 1559 \cdot 10^7$ ,  $W_x = 20792 \times 10^5$ ,  $S_x = 11478 \cdot 10^2$ ,  $t_w = 10$ ,  $t_{ef} = 10$ ,  $F = 0$ ,  $h_w = 1450$ ,  $M = 4218 \cdot 10^6$ ,  $Q_{\max} = 1125 \cdot 10^3$ ,  $R_y \gamma_c = 210$ ,  $R_s \gamma_c = 130$ ,  $M_1 = 3164 \cdot 10^6$ ,  $Q_1 = 5625 \cdot 10^3$ . Результат —  $R_y \gamma_c = \sigma_{np} = 79,7 \text{ МПа}$ ,  $\sigma = 202,9 \text{ МПа}$ ,  $\tau = 82,8 \text{ МПа}$ ;  $\sigma_{loc} = 0$ ,  $\tau_{xy} = 38,8 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_{np} = 161,7 \text{ МПа}$ .

Таким образом, подобранное сечение балки удовлетворяет всем проверкам.

Ширину пояса изменяем на расстоянии 3 м от опоры по программе 4.49. Изгибающий момент в этом сечении  $M_x = 270\ 000 \text{ кН} \cdot \text{см}$ . Исходные данные:  $M_x = 27 \cdot 10^3$ ,  $h_w = 1450$ ,  $t_w = 10$ ,  $b_f = 480$ ,  $t_f = 2,5$ ,  $l = 15\ 000$ ,  $x = 3000$ ,  $R_y = 210$ ,  $\gamma_c = 1$ ,  $c = 1$ . Результат:  $b_{fx} = 258 \text{ мм}$ ,  $A_{fx} = 6450 \text{ см}^2$ ,  $W_{tp} = 12\ 857 \cdot 10^3 \text{ мм}^3$ . После уточнения размеров пояса по сортаменту вводим в программу принятую ширину  $b_{fx} = 280 \text{ мм}$ . Тогда  $\sigma = 199,4 \text{ МПа}$ ;  $I_x = 1\ 015\ 594 \cdot 10^4 \text{ мм}^4$ ;  $W = 13\ 541\ 000 \text{ см}^3$ ;  $V = 5175 \cdot 10^5 \text{ мм}^3$ .

Для установления необходимости расстановки ребер жесткости находим значение условной гибкости стенки:

$$\bar{\lambda}_w = \frac{145}{1} \sqrt{\frac{210}{206\ 000}} = 4,62.$$

Так как  $\bar{\lambda}_w > 3,5$  (п. 73 [11]), необходимо проверить устойчивость стенки балки, установив парные поперечные ребра жесткости с шагом 1,5 м (см. рис. 4.4, а). Размеры ребер жесткости определяем по программе 4.30. Исходные данные:  $h_w = 1450$ ,  $R_y = 210$ ,  $E = 206\ 000$ , код = 0. Результат:  $b_t = 88,3 \text{ мм}$ . Вводим в программу принятую ширину ребра  $b_h = 100 \text{ мм}$ . Тогда  $t_s = 6,3 \text{ мм}$ . Принимаем  $t_s = 8 \text{ мм}$ .

По программе 4.23 находим критические напряжения. Исходные данные:  $h_{ef} = 1450$ ,  $a = 1500$ ,  $b_t = 480$ ,  $t_f = 25$ ,  $t_w = 10$ ,  $R_y = 210$ ,  $E = 206\ 000$ ;  $\beta = 10^{10}$ . Результат:  $\delta = 5,17^{11}$ . Для определения коэффициента  $c_{cr}$  по табл. 21 [11] принимаем значения  $\delta_1 = 5^{11}$ ;  $\delta_2 = 6^{11}$ ;  $c_{cr1} = 35,5$ ,  $c_{cr2} = 35,5$ . Тогда  $\sigma_{cr} = 347,8 \text{ МПа}$ , так как  $\sigma_{loc} = 0$ ,  $\sigma_{loc,cr} = 0$ .

Критическое напряжение  $\tau_{cr}$  вычисляем по программе 4.24. Исходные данные:  $h_{ef} = 1450$ ;  $a = 1500$ ;  $b_t = 480$ ;  $t_f = 25$ ,  $t_w = 10$ ;  $R_y = 210$ ;  $R_s = 130$ ;  $E = 206\ 000$ . Результат:  $\tau_{cr} = 106,8 \text{ МПа}$ .

Проверяем устойчивость стенки для двух сечений, находящихся на расстоянии от опоры на 3,75 ( $M = 316\ 400 \text{ кН} \cdot \text{см}$ ,  $Q = 562,5 \text{ кН}$ ) и на 5,25 м ( $M = 383\ 000 \text{ кН} \cdot \text{см}$ ,  $Q = 337,5 \text{ кН}$ ).

$$\sigma_1 = \frac{316\ 400 \cdot 72,5 \cdot 10}{1\ 559\ 400} = 147,1 \text{ МПа}; \quad \tau_1 = \frac{562,5 \cdot 10}{145 \cdot 1} = 38,7 \text{ МПа}.$$

$$\sigma_2 = \frac{383\ 000 \cdot 72,5 \cdot 10}{1\ 559\ 400} = 178,1 \text{ МПа}; \quad \tau_2 = \frac{337,5 \cdot 10}{145 \cdot 1} = 23,2 \text{ МПа}.$$

$$\sqrt{\left(\frac{147,1}{347,8}\right)^2 + \left(\frac{38,7}{106,8}\right)^2} = 0,557 < 0,95;$$

$$\sqrt{\left(\frac{178,1}{347,8}\right)^2 + \left(\frac{23,2}{106,8}\right)^2} = 0,556 < 0,95.$$

Таким образом, местная устойчивость стенки обеспечена.

Устанавливаем торцевое опорное ребро (см. рис. 4.5, а) размерами  $b_h \times t_h = 25 \times 2,2 \text{ (см} \times \text{см)}$ . Геометрические размеры условной стойки, в состав которой входит опорное ребро и участок стенки длиной  $c = 0,65t_w \sqrt{E/R_y}$ , вычисляем по программе 4.50. Исходные данные:  $b_h = 25$ ;  $t_h = 2,2$ ;  $t_w = 1$ ;  $R_y/E = 0,001019$ ; код = 1. Результат:  $A_{cr} = 75,36 \text{ см}^2$ ;  $I_x = 2866 \text{ см}^4$ ;  $H = 20,36 \text{ см}$ ;  $B = 25 \text{ см}$ .

Устойчивость опорного ребра проверяем по программе 4.1. Исходные данные:  $A = 75,36 \cdot 10^2$ ;  $I_x = 2866 \cdot 10^4$ ;  $I_y = 10^{10}$ ,  $l_{ef,x} = 1450$ ,  $l_{ef,y} = 1450$ ,  $N = 1125 \cdot 10^3$ ,  $R_y/E = 0,001019$ . Результат:  $\sigma = 151,6$  МПа,  $\lambda_{max} = 0,75$ .

## 6.6. СТАЛЬНАЯ ЦЕНТРАЛЬНО-СЖАТАЯ КОЛОННА

Исходя из конструктивного решения сооружения, в состав которого входит центрально-сжатая колонна, устанавливают ее расчетную схему, действующие нагрузки, тип поперечного сечения и расчетные длины относительно главных осей. Последовательность расчета:

1) проверить устойчивость колонны относительно оси наименьшей жесткости (программа 4.1). Удовлетворение требования непревышения напряжения в сечении колонны расчетного сопротивления стали обеспечивается перебором в порядке возрастания геометрических характеристик сечения, для вычисления которых могут быть использованы программы 4.5, 4.16. При необходимости коэффициент продольного изгиба вычисляют отдельно (программа 4.2);

2) определить значения предельной гибкости колонны (программа 4.3);

3) вычислить фактическую гибкость колонны и сравнить ее с предельной. Если гибкость колонны превышает предельную, следует перейти к п. 1, увеличив размеры элементов сечения;

4) установить предельную гибкость стенки сечения (программа 4.12) и сравнить ее с фактической. Если фактическая гибкость выше предельной, следует увеличить толщину стенки и перейти к п. 1. Для колонны сквозного сечения расчет относительно материальной оси выполняется по указаниям, изложенным в пп. 1...3. Местную устойчивость стенки отдельной ветви следует проверять по п. 4;

5) определить расстояния между ветвями колонны и шага планок или раскосов соединительной решетки. Необходимо найти вариант, при котором приведенная гибкость (программы 4.6...4.8) относительно свободной оси не будет превышать гибкость стержня относительно материальной оси. В противном случае следует найти коэффициент продольного изгиба (программа 4.2) по условной приведенной гибкости и в режиме «ручная работа» проверить устойчивость колонны относительно свободной оси с проверкой по п. 3;

6) определить условные поперечные силы (программа 4.9) для расчета планок и раскосов. В случае применения крестовой решетки усиление от обжатия ветвей в раскосе вычисляют по программе 4.20;

7) проверить крепления планок к колонне (программа 4.72) с подбором ширины планки и размеров сварных швов. При раскосной решетке напряжения в раскосе находят по программе 4.11;

8) рассчитать ребра оголовка колонны (программа 4.73) с определением его геометрических параметров и подбором сварных швов;

9) скомпоновать базу колонны;

10) определить размеры опорной плиты в плане и высоту траверсы или консольных ребер (программы 4.75 или 4.76);

11) рассчитать толщины опорной плиты (программа 4.74). При необходимости изменения размеров участков опорной плиты следует перейти к п. 9;

12) вычислить высоту диафрагмы (программа 4.77) в случае необходимости ее постановки.

В равной мере относятся к колоннам и сплошного, и сквозного поперечных сечений пп. 8...12.

Рассмотрим расчет сквозной колонны, расчетные длины которой равны  $l_x = 6$  м,  $l_y = 12$  м. Колонна выполнена из двух швеллеров (рис. 4.1 б) № 30 по ГОСТ 8240—72\* и нагружена центрально-приложенной силой  $N = 1500$  кН. Расчетное сопротивление стали  $R_y = 235$  МПа. Модуль упругости  $E = 2,06 \cdot 10^5$  МПа.

Проверку устойчивости стержня колонны относительно оси  $x - x$  выполняем по программе 4.1. Исходные данные:  $A = 81 \cdot 10^2$ ,  $I_x = 1162 \cdot 10^5$ ;  $I_y = 10^6$ ;  $l_{ef,x} = 6000$ ;  $l_{ef,y} = 12\,000$ ;  $N = 15 \cdot 10^3$ ;  $R_y/E = 0,001141$ . Результат:  $\sigma = 217$  МПа  $< R_y$ ;  $\lambda_{max} = 1,692$  ( $\lambda_x = 50,09$ ).

С помощью программы 4.6 находим расстояние между ветвями и шаг соединительных планок исходя из требований п. 5.6 [11] о том, чтобы гибкость отдельных ветвей не превышала 40. Предварительно назначаем (см. рис. 4.1, г) расстояние между ветвями  $b = 40$  см, размеры  $b_s \times t_s = 25 \times 1$  (см  $\times$  см) и шаг планок  $l = 100$  см. Исходные данные:  $A_b = 4050$ ;  $I_b = 327 \cdot 10^4$ ;  $l = 1000$ ;  $b = 400$ ,  $b_s = 250$ ;  $t_s = 10$ ;  $I_y = 12\,000$ . Результат:  $\lambda_{ef} = 69,04$ ,  $I_y = 33\,054$  см $^4$ ,  $\lambda_y = 59,4$ ,  $\lambda_1 = 35,2$ . Так как  $\lambda_x = 50,09 < \lambda_{ef} = 69,04$ , повторяем расчет, изменяя исходные данные:  $A_b = 40,5$ ;  $I_b = 327$ ;  $l = 90$ ,  $b = 58$ ,  $b_s = 28$ ,  $t_s = 1$ ,  $I_y = 1200$ . Результат:  $\lambda_{ef} = 51,95$ ;  $I_y = 68\,775$  см $^4$ ;  $\lambda_y = 41,18$ ;  $\lambda_1 = 31,7$ .

Так как  $\lambda_{ef} = 51,95$  несколько выше значения  $\lambda_x$ , проверяем устойчивость стержня колонны относительно оси  $y - y$ , определяя коэффициент продольного изгиба по программе 4.2. Исходные данные:  $R_y/E = 0,001141$ ;  $\lambda = 51,95$ . Результат:  $\varphi = 0,84497$ . Тогда

$$\sigma = \frac{1500 \cdot 10}{81 \cdot 0,84497} = 219,2 \text{ МПа} < R_y.$$

Пределенную гибкость колонны вычисляем по программе 4.3 как для основных колонн. Исходные данные:  $N = 1500$ ;  $\varphi = 0,84497$ ;  $A = 81$ ;  $R_y = 23,5$ ; код = 180. Результат:  $[\lambda] = 124 > \lambda_{ef} = 51,95$ .

Для проверки правильности выбора размеров планок определяем напряжения в сварном шве крепления планок по программе 4.72. Исходные данные:  $b = 580$ ;  $l = 900$ ;  $N = 15 \cdot 10^3$ ;  $\varphi = 0,84497$ ;  $R_y = 235$ ;  $E = 206\,000$ ;  $b_s = 280$ ;  $b_f k_f = 0,42$ . Результат:  $\sigma_f = 82,3$  МПа.

## 6.7. ДЕРЕВЯННЫЙ НЕРАЗРЕЗНОЙ ПРОГОН ПОКРЫТИЯ

Прогон выполнен из спаренных досок (см. рис. 5.1, б) пролетом  $l = 4$  м. Линейная нагрузка на прогон: расчетная —  $q = 2,5$ , нормативная —  $q^* = 2,2$  кН/м. Угол наклона  $\alpha = 20^\circ$ .

Значения нагрузок и изгибающих моментов в направлении главных осей сечения  $x - x$  и  $y - y$  (см. рис. 5.1, в):

$$q_x^h = q^h \sin \alpha = 0,7524 \text{ кН/м}; q_y^h = q^h \cos \alpha = 2,0673 \text{ кН/м}; q_x = q \sin \alpha = 0,865 \text{ кН/м}; q_y = q \cos \alpha = 2,349 \text{ кН/м};$$

$$M_x = \frac{0,865 \cdot 4^2}{8} = 1,153 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_y = \frac{2,349 \cdot 4^2}{9} = 3,132 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

По программе 5.1, задавшись  $\eta = 2$ , определяем размеры сечения, удовлетворяющие условиям прочности и жесткости. Исходные данные:  $l = 4,0$ ;  $q = 2,5$ ;  $q^h = 2,2$ ;  $R_u = 12\ 000$ ;  $\eta = 2$ ;  $\alpha = 20$ ;  $E = 8 \cdot 10^6$ . Результат:  $b_u = 0,088$ ;  $h_u = 0,176$ ;  $b_f = 0,069$ ;  $h_f = 0,138$ . С учетом сортамента пиломатериалов принимаем  $h \times b = 0,175 \times (2 \cdot 0,5)$ .

Условие прочности прогона (формула (20) [2]):

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq R_u,$$

где  $M_x$  и  $M_y$  — составляющие изгибающего момента для главных осей сечения;  $W_x$  и  $W_y$  — моменты сопротивления поперечного сечения относительно главных осей  $x$  и  $y$ .

Принимая  $R_u = 12$  МПа и вычисляя моменты сопротивления принятого сечения  $W_x = 0,00051 \text{ м}^3$  и  $W_y = 0,000292 \text{ м}^3$ , найдем значение напряжения в наиболее напряженной точке:

$$\sigma = \frac{1,153}{0,00051} + \frac{3,132}{0,000292} = 10,09 \text{ МПа} < R_u = 12 \text{ МПа}.$$

Принятые размеры поперечного сечения удовлетворяют условию прочности.

Вычислим моменты инерции сечения:

$$I_x = \frac{0,1 \cdot 0,175^3}{12} = 4,47 \cdot 10^{-5} \text{ м}^4; I_y = \frac{0,175 \cdot 0,1^3}{12} = 1,46 \cdot 10^{-5} \text{ м}^4.$$

Прогиб прогона при модуле упругости  $E = 8000$  МПа:

$$f_x = \frac{0,7524 \cdot 4^4}{384 \cdot 8 \cdot 10^6 \cdot 1,46 \cdot 10^{-5}} = 0,0043 \text{ м};$$

$$f_y = \frac{2,0673 \cdot 4^4}{384 \cdot 8 \cdot 10^6 \cdot 4,47 \cdot 10^{-5}} = 0,0038 \text{ м};$$

$$f = \sqrt{0,0043^2 + 0,0038^2} = 0,0058 \text{ м};$$

$$f/l = \frac{0,0058}{4} = \frac{1}{693} < \left[ \frac{f}{l} \right] = \frac{1}{200}.$$

Принятые размеры поперечного сечения удовлетворяют требованиям второй группы предельных состояний.

## 6.8. КЛЕЕННАЯ БАЛКА С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ ПОЯСАМИ

Клееная балка пролетом  $l = 18$  м нагружена равномерно распределенной нагрузкой  $q = 16$  кН/м ( $q^a = 14$  кН/м).

В соответствии с указаниями пп. 3.1, 3.2 [2] и приложением 3 [10] принимаем расчетные сопротивления и модуль упругости древесины:  $R_u = 12,63$  МПа,  $R_{ck} = 1,263$  МПа,  $E = 8421$  МПа. Для двушарнирной балки, закрепленной только по концам пролета,  $k_\phi = 1,13$  (см. табл. 2 приложения 4 [2]). Предельный прогиб  $[f/l] = 1/300$ .

Принимая предварительно отношение  $\eta = 5$  по программе 5.2, получим значения высоты сечения балки.

Исходные данные:  $l = 18$ ;  $q = 16$ ;  $\eta = 5$ ;  $R_u = 12\,630$ ;  $R_{ck} = 1263$ ;  $q^a = 14$ ;  $k_\phi = 1,13$ ;  $E = 8\,421\,000$ ;  $l_p = 3$ .

Результат:  $h_\sigma = 1,155$ ;  $h_\tau = 0,925$ ;  $h_f = 1,228$ .

Исходя из наибольшего значения высоты, необходимая ширина сечения  $b = h/\eta = 1,228/5 = 0,245$  м.

Для изготовления балки используют доски шириной 245 и толщиной 33 мм. При этом необходимое количество слоев досок по высоте балки  $n_{cl} = 1,228/0,033 = 37,2$ . Принимаем 38 слоев, тогда высота сечения  $h = 0,033 \cdot 38 = 1,254$  м.

Принятое сечение проверяем:

а) по нормальным напряжениям (п. 4.9 [2])

$$M = \frac{16 \cdot 18^3}{8} = 648 \text{ кН} \cdot \text{м}; \quad W = \frac{0,245 \cdot 1,254^2}{6} = 0,064 \text{ м}^3;$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = 10,12 \text{ МПа} < R_u;$$

б) по касательным напряжениям (п. 4.10 [2])

$$Q = \frac{16 \cdot 18}{2} = 144 \text{ кН}; \quad S_{6p} = \frac{0,245 \cdot 1,254^3}{8} = 0,048 \text{ м}^3;$$

$$I_{6p} = \frac{0,245 \cdot 1,254^3}{12} = 0,040 \text{ м}^4; \quad \tau = \frac{QS_{6p}}{I_{6p}b} = 0,7 \text{ МПа} < R_{ck};$$

в) на устойчивость плоской формы деформирования (п. 4.14 [2]). Принимаем, что сжатая кромка раскреплена прогонами с шагом  $l_p = 3$  м. Тогда

$$\varphi_M = 140 \frac{b^2}{l_p h} k_\phi = 140 \frac{0,245^2}{3 \cdot 1,254} 1,13 = 2,52;$$

$$\sigma = \frac{M}{\varphi_M W_{6p}} = 4,02 \text{ МПа} < R_u;$$

г) по прогибу (п. 4.33 [2]):

$$f_0 = \frac{5 \cdot 14 \cdot 18^4}{384 \cdot 8,4 \cdot 10^6 \cdot 0,040} = 0,056 \text{ м}; \quad f = 0,056 \left(1 + \left(\frac{1,254}{18}\right)^2\right) = 0,056 \text{ м};$$

$$f/l = \frac{0,056}{18} = \frac{1}{317} < \left[\frac{f}{l}\right] = \frac{1}{300}.$$

## 6.9. ДВУХСКАТНАЯ КЛЕЕНАЯ БАЛКА

Двухскатная клееная балка пролетом  $l = 15$  м с уклоном верхнего пояса  $i = 5\%$  (рис. 6.1) нагружена равномерно распределенной нагрузкой  $q = 17$  кН/м ( $q^h = 13$  кН/м). Материал балки — доски сосовые толщиной 0,033 м, 2-го и 3-го сорта. Доски 2-го сорта используют в крайних зонах на 0,15 высоты поперечного сечения. Расчетные сопротивления и модуль упругости:  $R_u = 13,579$  МПа,  $R_{ck} = 1,579$  МПа,  $E = 9052,63$  МПа. Предельный изгиб  $[f/l] = 1/n_0 = 1/300$ .

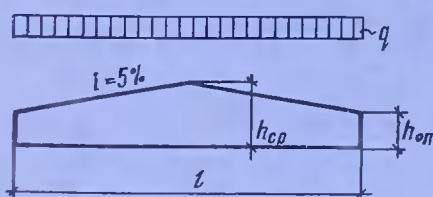


Рис. 6.1. Расчетная схема двухскатной балки.

Результат:  $h_x = 1,3$ ;  $x = 5,491$ ;  $\tau = 1332$ ;  $h_0 = 314$ ;  $f = 0,0478$ ;  $h_{op} = 1,025$ ;  $f_0 = 0,0318$ . Таким образом, проверка прочности по касательным напряжениям и по прогибу выполнена, так как  $\tau < R_{ck}$ , и  $1/n_0 < [f/l]$ .

Проверим расчетное сечение с ординатой  $x$  по нормальным напряжениям. При

$$M_x = \frac{qx}{2} (l - x) = \frac{17 \cdot 5,491}{2} (15 - 5,491) = 443,818 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$W_x = \frac{0,14 \cdot 1,3^2}{6} = 0,0394 \text{ м}^3, \text{ получим } \sigma_x = \frac{M_x}{W_x} = 11,255 \text{ МПа.}$$

## 6.10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ КЛЕЕНОЙ БАЛКИ МИНИМАЛЬНОЙ ПЛОЩАДИ

Используя исходные данные контрольного примера, с помощью программы 5.4 получим параметры поперечного сечения прямоугольной формы, обеспечивающие минимум его площади. По условиям обеспечения прочности и жесткости поперечное сечение минимальной площади  $A = 0,171 \text{ м}^2$  может быть скомпоновано так:  $h_1 \times b_1 = 1,8 \times 0,095 \text{ (м} \times \text{м)}$  или  $h_2 \times b_2 = 1,339 \times 0,128 \text{ (м} \times \text{м)}$ .

# ПРИЛОЖЕНИЕ

Программа 1

Программа 2

## ПРОГРАММЫ РЕШЕНИЯ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ \*

### Программа 1 (МК-52, МК-61)

Решение системы  $n \leq 4$  линейных уравнений

$x\Pi_4$	1	4	$x\Pi e$	$x\Pi_2$	$\Pi x_0$	$x\Pi_1$	C/П	$\Pi x_4$	/
K $\times\Pi_2$	FL1	07	$\Pi x_e$	$x\Pi_3$	$\Pi x_0$	$x\Pi_1$	FL1	23	K $\Pi x_3$
C/П	BП	19	Cx	K $\times\Pi_2$	FL1	24	K $\times\Pi_2$	Px0	Px2
+	x $\Pi_1$	x $\Pi_2$	Px3	—	$F_x \neq 0$	42	C/П	PП	83
BП	28	K $\Pi x_0$	Px0	x $\Pi_3$	C/П	K $\Pi x_2$	—	x $\Pi_4$	+
x $\Pi_3$	Pxе	x $\Pi_1$	x $\Pi_2$	K $\Pi x_1$	—	PП	83	Px3	+
x $\Pi_3$	Px1	—	Fx = 0	64	Px0	x $\Pi_1$	K $\Pi x_3$	K $\times\Pi_2$	FL1
77	BП	13	Px0	↔	B↑	K $\Pi x_3$	×	K $\Pi x_1$	+
K $\times\Pi_2$	F↓	FL0	85	F↓	x $\Pi_0$	B/O			

Инструкция. Ввод  $n \rightarrow 0$ .

$$a_{11} \quad \text{B/O} \quad \text{C/П} \quad a_{12} \quad \text{C/П} \quad \dots \quad a_{1n} \quad \text{C/П} \quad q_1 \quad \text{C/П}$$

$$a_{21} \quad \text{C/П} \quad \dots \quad a_{2n} \quad \text{C/П} \quad q_2 \quad \text{C/П}$$

$$a_{nn} \quad \text{C/П} \quad \dots \quad a_{nn} \quad \text{C/П} \quad q_n \quad \text{C/П}$$

Индикация —  $x_1$  ( $x_1 \leftarrow d$ ). С/П. Индикация  $x_2$  ( $x_2 \leftarrow c$ ). С/П.

Индикация  $x_3$  ( $x_3 \leftarrow b$ ). С/П. Индикация  $x_4$  ( $x_4 \leftarrow a$ ).

Контрольный пример.

$$\begin{bmatrix} 2 & 12 & 20 & 2 \\ 6 & 8 & 2 & 2 \\ 5 & 5 & 10 & 0 \\ 10 & 2 & 4 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 94 \\ 36 \\ 45 \\ 30 \end{bmatrix}$$

Результат:  $x_1 = 1$ ,  $x_2 = 2$ ,  $x_3 = 3$ ,  $x_4 = 4$ .

Время счета: 40 с.

### Программа 2 (МК-52, МК-61)

Решение системы из пяти линейных уравнений

$\Pi x_e$	/	K $\Pi x_0$	5	$x\Pi_d$	C/П	$\Pi x_d$	↔	B↑	F↑
B↑	K $\Pi x_0$	X	K $\Pi x_d$	+	PП	95	$F_x < 0$	09	F↓
↔	x $\Pi_d$	C/П	P $\Pi x_d$	—	Px0	3	+	$F_x \geq 0$	09
F↑	K $\Pi x_d$	—	P $\Pi x_d$	x $\Pi_0$	F↓	C/П	K $\Pi x_0$	F↑	↔
/	FBx	↔	P $\Pi$	95	$F_x = 0$	35	F↓	↔	x $\Pi_d$
1	3	x $\Pi_0$	x $\Pi_1$	F↓	K $\Pi x_1$	/—/	B↑	F↓	B↑
K $\Pi x_d$	X	K $\Pi x_1$	+	K $\Pi x_0$	PП	96	$F_x = 0$	58	F↑
↔	x $\Pi_d$	Px1	Px0	6	—	—	—	Fx = 0	54
x $\Pi_1$	F↓	K $\Pi x_d$	K $\Pi x_0$	Cx	PП	95	$F_x < 0$	81	+
1	3	x $\Pi_0$	BП	20	K $\times\Pi_d$	F↓	$\Pi x_d$	1	—
x $\Pi_d$	1	—	B/O						

\* Программы заимствованы из работ [12, 13].

*Инструкция.* Ввод 13 → 0;  $a_{11} \rightarrow e$ .  
 $a_{12}$  В/О С/П  $a_{13}$  В/О С/П  $a_{14}$  В/О С/П  $a_{15}$  В/О С/П  $q_1$  В/О С/П  
 13 хП0 0 хП3 хП4 хП5 хП6 хП7  
 $a_{21}$  С/П  $a_{22}$  С/П ...  $q_2$  С/П

$a_{51}$  С/П  $a_{52}$  С/П ...  $q_5$  С/П.

*Результат:*  $x_1 \leftarrow c$ ;  $x_2 \leftarrow b$ ;  $x_3 \leftarrow a$ ;  $x_4 \leftarrow 9$ ;  $x_5 \leftarrow 8$ .

*Контрольный пример:*

$$\begin{bmatrix} 2 & 10 & 16 & -2 & 8 \\ 3 & 2 & 4 & 0 & 8 \\ 6 & -4 & 1 & 3 & 5 \\ 8 & -2 & 4 & -3 & 1 \\ 3 & 2 & 4 & 1 & 5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 86 \\ 59 \\ 38 \\ 9 \\ 48 \end{bmatrix}$$

*Результат:*  $x_1 = 1$ ;  $x_2 = 2$ ;  $x_3 = 3$ ;  $x_4 = 4$ ;  $x_5 = 5$ .

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования: СНиП 2.03.01-84.— М., 1985.— 79 с.
2. Деревянные конструкции. Нормы проектирования: СНиП II-25-80.— М., 1983.— 65 с.
3. Дроздов П. Ф., Додонов М. И., Паньшин Л. Л., Саруханян Р. Л. Проектирование и расчет многоэтажных гражданских зданий и их элементов.— М.: Стройиздат, 1986.— 350 с.
4. Железобетонные конструкции / Под ред. А. Я. Барашикова.— К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.— 413 с.
5. Каменные и армокаменные конструкции. Нормы проектирования: СНиП II-22-81.— М., 1983.— 40 с.
6. Нагрузки и воздействия: СНиП 2.01.07-85.— М., 1986.— 40 с.
7. Нилов А. А., Пермяков В. А., Прицкер А. Я. Стальные конструкции производственных зданий.— К.: Будівельник, 1986.— 272 с.
8. Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП II-25-80) / ЦНИИСК.— М.: Стройиздат, 1986.— 136 с.
9. Пособие по проектированию конструкций жилых зданий (к СНиП 2.08.01—85) / ЦНИИЭПжилища.— М.: Стройиздат, 1987.— 165 с.
10. Руководство по проектированию kleеных деревянных конструкций / ЦНИИСК.— М., 1977.— 194 с.
11. Стальные конструкции. Нормы проектирования: СНиП II-23-81\*.— М., 1988.— 96 с.
12. Трохименко Я. К. Программирование микрокалькуляторов «Электроника МК-52» и «Электроника-61».— К.: Техніка, 1987.— 208 с.
13. Трохименко Я. К., Любич Ф. Д. Инженерные расчеты на программируемых микрокалькуляторах.— К.: Техніка, 1985.— 328 с.

# УКАЗАТЕЛЬ ПРОГРАММ

2.1. Определение граничной относительной высоты сжатой зоны изгибаемых элементов	28
2.2. Проверка прочности нормальных сечений изгибаемых элементов прямоугольного профиля с одноочной ненапрягаемой арматурой	29
2.3. Определение прочности нормальных сечений изгибаемых элементов прямоугольного профиля с одноочной предварительно напрягаемой арматурой	29
2.4. Определение прочности нормальных сечений изгибаемых элементов прямоугольного профиля с двойной ненапрягаемой арматурой	30
2.5. Определение прочности нормальных сечений изгибаемых элементов прямоугольного профиля с двойной предварительно напрягаемой арматурой при $\xi \leq \xi_R$	30
2.6. Определение прочности нормальных сечений изгибаемых элементов прямоугольного профиля с двойной предварительно напрягаемой арматурой при $\xi > \xi_R$	30
2.7. Определение площади сечения неизогибающейся арматуры в изгибаемых элементах прямоугольного профиля из условия прочности нормальных сечений	31
2.8. Определение площади сечения предварительно напрягаемой растянутой одноочной арматуры в изгибаемых элементах прямоугольного профиля	31
2.9. Определение площади сечения продольной ненапрягаемой двойной арматуры в изгибаемых элементах из условия прочности нормальных сечений	32
2.10. Определение площади сечения продольной растянутой ненапрягаемой арматуры в изгибаемых элементах прямоугольного профиля при заданной сжатой арматуре	32
2.11. Определение прочности нормальных сечений изгибаемых элементов таврового профиля с одноочной ненапрягаемой арматурой	32
2.12. Определение прочности нормальных сечений изгибаемых элементов таврового профиля с одноочной предварительно напрягаемой и неизогибающейся арматурой при $\xi \leq \xi_R$	33
2.13. Определение прочности нормальных сечений изгибаемых элементов таврового профиля с одноочной предварительно напрягаемой и неизогибающейся арматурой при $\xi > \xi_R$	33
2.14 (МК-61, МК-52). Определение прочности нормальных сечений изгибаемых предварительно напряженных элементов таврового профиля с двойной напрягаемой и ненапрягаемой арматурой	34
2.15. Определение прочности нормальных сечений изгибаемых предварительно напряженных элементов таврового профиля с двойной напрягаемой и ненапрягаемой арматурой (продолжение)	34
2.16 (МК-52, МК-61). Определение площади сечения ненапрягаемой арматуры в изгибаемых элементах таврового профиля из условия прочности нормальных сечений	34
2.17 (МК-52, МК-61). Определение площади сечения предварительно напрягаемой растянутой одноочной арматуры в изгибаемых элементах таврового профиля	35

2.18. Проверка прочности наклонной полосы между наклонными трещинами на действие поперечной силы	35
2.19 (МК-52, МК-61). Проверка прочности наклонных сечений изгибаемых элементов постоянной высоты на действие поперечной силы ( $a_1 \geq (\Phi_{b_2}/\Phi_{b_3}) h_0$ )	36
2.20. Проверка прочности наклонных сечений изгибаемых элементов постоянной высоты на действие поперечной силы (продолжение)	36
2.21 (МК-52, МК-61). Расчет поперечной арматуры в изгибаемых элементах постоянной высоты из условия прочности наклонных сечений на действие поперечной силы, постоянной в пределах наклонного сечения	36
2.22 (МК-52, МК-61). Расчет поперечной арматуры в изгибаемых элементах постоянной высоты, загруженных равномерно распределенной нагрузкой, из условия прочности наклонных сечений на действие поперечной силы	37
2.23 (МК-52, МК-61). Определение шага поперечных стержней при равномерно распределенной нагрузке	37
2.24 (МК-52, МК-61). Расчет поперечной арматуры в изгибаемых элементах постоянной высоты, загруженных сосредоточенной нагрузкой, из условия прочности наклонных сечений на действие поперечной силы	38
2.25 (МК-52, МК-61). Определение шага поперечных стержней при сосредоточенной нагрузке	38
2.26. Определение коэффициентов $\delta_e$ и $\varphi_l$	39
2.27. Определение коэффициента увеличения начального эксцентрикитета сжатых элементов прямоугольного профиля (при $l_0/h < 10$ , принять $\eta = 1$ , при $l_0/h > 10$ и $\mu < 0,025$ определить $N_{cr} = E_b b h^3 / (2 l_0^2)$ и при $N \leq N_{cr} \eta = (1 - N/N_{cr})^{-1}$	39
2.28. Проверка прочности сжатых элементов прямоугольного профиля при случайных эксцентрикитетах (при $l_0/h \leq 20$ ; в противном случае рассчитывают по программе 2.30)	39
2.29 (МК-52, МК-61). Определение площади сечения арматуры в сжатых элементах прямоугольного профиля при случайных эксцентрикитетах (при $l_0/h \leq 20$ ; в противном случае рассчитывают по программам 2.31 и 2.32)	40
2.30. Проверка прочности внецентренно сжатых элементов прямоугольного профиля (симметрическое армирование)	40
2.31. Определение площади сечения арматуры во внецентренно сжатых элементах прямоугольного профиля при симметричном армировании	41
2.32 (МК-52, МК-61). Определение площади сечения арматуры во внецентренно сжатых элементах прямоугольного профиля при несимметричном армировании	41
2.33. (МК-52, МК-61). Определение площади сечения двойной арматуры во внецентренно сжатых элементах прямоугольного профиля при несимметричном армировании	42
2.34 (МК-52, МК-61). Проверка прочности внецентренно растянутых элементов прямоугольного профиля при симметричном армировании ( $A_s = A'_s$ , $A_{sp} = A_{sp}'$ ) и при выполнении условия $e' \leq h_0 - a'$ для несимметричного армирования	42
2.35. Проверка прочности внецентренно растянутых элементов прямоугольного профиля с несимметричным армированием при $e' > h_0 - a'$	42
2.36 (МК-52, МК-61). Определение геометрических характеристик приведенного сечения изгибающегося элемента	43
2.37. Определение момента образования трещин, нормальных к продольной оси изгибающегося элемента	44
2.38. Расчет нормальных сечений изгибаемых элементов по образованию трещин в стадии изготовления	44
2.39. Определение коэффициента $\lambda$	45

2.40 (МК-52, МК-61). Расчет по образованию трещин, наклонных к продольной оси изгибаемого элемента с прямолинейной предварительно напрягаемой арматурой	45
2.41 (МК-52, МК-61). Определение ширины раскрытия трещин, нормальных к продольной оси изгибаемого элемента	46
2.42. Расчет по закрытию трещин, нормальных к продольной оси изгибаемого элемента	46
2.43. Определение кривизны изгибаемого предварительно напряженного элемента на участках без трещин в растянутой зоне	47
2.44. Определение кривизны изгибаемого предварительно напряженного элемента на участках с трещинами в растянутой зоне	47
3.1. Определение эквивалентной равномерно распределенной ветровой нагрузки	61
3.2. Определение перемещений здания рамной конструкции	62
3.3. Определение жесткостных характеристик здания рамно-связевой системы со сплошными диафрагмами	62
3.4. Определение перемещений и усилий в несущих элементах здания рамно-связевой системы со сплошными диафрагмами	62
3.5. Определение жесткостных характеристик здания рамно-связевой системы с проемными диафрагмами	63
3.6. Определение перемещений и усилий в несущих элементах здания рамно-связевой системы с проемными диафрагмами	63
3.7. Определение усилий и площади сечения арматуры пилона при сдвиге	63
3.8. Определение положения центра изгиба здания прямоугольного плана	64
3.9. Определение суммы центробежных моментов инерции пилонов относительно собственных осей, а также их произведения на расстояние от центральных осей до центра тяжести пилонов	64
3.10. Определение центра изгиба здания с произвольным расположением и профилем пилонов	64
3.11. Определение крутильного момента инерции	65
3.12. Проверка общей устойчивости здания	65
3.13. Проверка прогиба здания от крена	65
3.14. Определение динамических характеристик здания	66
3.15. Проверка выполнения условия жесткости связей сдвига	68
3.16 (МК-52, МК-61). Определение коэффициента податливости железобетонной перемычки в стадии до образования трещин	107
3.17 (МК-52, МК-61). Определение сдвиговой податливости железобетонной перемычки прямоугольного сечения в стадии трещинообразования	107
3.18 (МК-52, МК-61). Определение сдвиговой податливости железобетонной перемычки таврового сечения в стадии трещинообразования	108
3.19. Определение коэффициента $\Delta_{i,1}$	109
3.20. Определение коэффициентов $\Delta_{i2} — \Delta_{i4}$	109
3.21. Определение $T_l (\xi)$ по формуле (3.60)	110
3.22. Определение коэффициентов системы уравнений (3.65)	110
3.23. Определение усилий в сечении $\xi$ ветви $i$ составного стержня	110
3.24. Определение приведенной изгибной жесткости вертикальной диафрагмы	111
3.25. Определение периода основного тона колебаний здания	111
3.26. Определение ускорения колебаний верха здания	111
3.27. Расчет прочности горизонтальных стыков при сжатии	112
3.28. Проверка прочности столбов по горизонтальным сечениям	112
3.29 (МК-52, МК-61). Определение предельных усилий для опорного и среднего сечений столба	113

3.30 (МК-52, МК-61). Проверка прочности горизонтальных опорных и средних сечений столба	113
3.31 (МК-52, МК-61). Проверка прочности элемента на действие сдвигающих сил	114
3.32. Определение коэффициента $\eta_j$ для платформенного горизонтального стыка и платформенных узлов монолитных стен с передачей сжимающей нагрузки только через опорные участки плит перекрытий	114
3.33 (МК-52, МК-61). Определение коэффициента $\eta_j$ для контактного стыка с передачей нагрузки через контактные участки	115
3.34 (МК-52, МК-61). Определение коэффициента $\eta_j$ для контактно-платформенного стыка с передачей нагрузки через платформенный и контактный участки	115
3.35 (МК-52, МК-61). Определение коэффициента $\eta_j$ для монолитных стыков, а также для контактных узлов монолитных стен с передачей сжимающей нагрузки через слой бетона, уложенного в полость стыка	115
3.36 (МК-52, МК-61). Определение коэффициента $\eta_j$ для платформенно-монолитных стыков, а также комбинированных узлов монолитных стен с передачей нагрузки через платформенные и монолитные участки	116
3.37. Определение эксцентрикситета $e_j^0$ для платформенного стыка	116
3.38. Определение эксцентрикситета $e_j^0$ для контактного стыка	116
3.39. Определение эксцентрикситета $e_j^0$ для контактно-платформенного стыка	117
3.40. Определение эксцентрикситета $e_j^0$ для платформенно-монолитного стыка	117
3.41. Определение эксцентрикситета $e_j^0$ для монолитного стыка	118
3.42 (МК-52, МК-61). Расчет прочности стен по средним сечениям при внецентренном сжатии из плоскости стены	118
3.43 (МК-52, МК-61). Определение расчетной прочности при сдвиге для бесшпоночных соединений	118
3.44 (МК-52, МК-61). Определение расчетной прочности при сдвиге одной шпонки бетонного шпоночного соединения	119
3.45 (МК-52, МК-61). Определение прочности при сдвиге железобетонной шпонки после образования трещин	119
3.46. Определение изгибающих моментов, воспринимаемых плитой перекрытия по расчетным сечениям	119
3.47 (МК-52, МК-61). Определение предельной равномерно распределенной нагрузки для свободно опертых плит перекрытия	120
3.48. Определение предельной равномерно распределенной нагрузки для защемленных плит перекрытия	120
3.49. Определение расчетных изгибающих моментов вдоль пролетов $l_1$ и $l_2$ , соответствующих оптимальному армированию для свободно опертых плит	120
3.50. Определение допустимой равномерно распределенной нагрузки из условия прочности на срез в опертой по двум сторонам многопустотной плите	121
3.51. Определение допустимой равномерно распределенной нагрузки из условия прочности на срез в опертой по трем сторонам многопустотной плите	121
3.52. Расчет плит перекрытий по образованию трещин	122
3.53. Определение прогибов от длительно действующих нагрузок свободно опертых по трем или четырем сторонам плит с закрепленными от подъема углами	122
3.54. Определение максимальных прогибов от длительно действующих нагрузок сборных плит, рассчитываемых с учетом двух стадий работы	122
3.55. Определение напряжения в растянутой арматуре в сечении с трещиной	123
4.1. Определение напряжения при проверке устойчивости центрально-сжатого стержня	151
4.2. Определение коэффициента продольного изгиба	151

4.3. Определение предельной гибкости сжатых стержней	152
4.4. Определение коэффициента $c$ для открытого П-образного сечения и напряжения при проверке устойчивости сжатого элемента по изгибо-крутильной форме потери устойчивости	152
4.5. Определение геометрических характеристик открытого П-образного сечения	152
4.6. Определение приведенной гибкости составного стержня с планками в двух плоскостях	153
4.7. Определение приведенной гибкости составного стержня с планками в четырех плоскостях	153
4.8. Определение приведенной гибкости двухветвевого стержня с решетками	153
4.9. Определение условной поперечной силы	154
4.10. Определение усилия от обжатия поясов в раскосе крестовой решетки колонны	154
4.11. Определение напряжений в сечении сжатого раскоса соединительной решетки сквозной колонны	154
4.12. Определение предельной гибкости стенок центрально-сжатых элементов	155
4.13. Определение коэффициента $\beta$ для корректировки предельной гибкости стенок центрально-сжатого стержня	155
4.14. Проверка прочности изгибающего элемента симметричного сечения	156
4.15. Определение коэффициентов $c$ для проверки прочности изгибающего элемента с учетом развития пластических деформаций	156
4.16. Определение геометрических характеристик двутаврового составного симметричного сечения	157
4.17. Определение геометрических характеристик коробчатого составного сечения	157
4.18. Проверка общей устойчивости балки из симметричного прокатного двутавра	157
4.19. Проверка общей устойчивости балки из сварного составного двутавра	158
4.20. Проверка устойчивости стенок балок, укрепленных только поперечными основными ребрами жесткости при $\sigma_{loc} = 0$	158
4.21. Проверка устойчивости стенок балок с учетом развития пластических деформаций	159
4.22. Проверка устойчивости стенок балок, укрепленных только поперечными основными ребрами жесткости при $\sigma_{loc} \neq 0$	159
4.23. Определение критических напряжений $\sigma_{cr}$ и $\sigma_{loc,cr}$ при $a/h_{ef} \leqslant 0,8$	159
4.24. Определение критических напряжений $\tau_{cr}$ и предельных отношений $[\sigma_{loc}/\sigma]$	159
4.25. Определение критических напряжений $\sigma_{cr}$ при $a/h_{ef} > 0,8$	160
4.26. Определение критических напряжений $\sigma_{loc,cr}$ при $a/h_{ef} > 0,8$	161
4.27. Проверка устойчивости стенок балок, укрепленных поперечными и продольными ребрами жесткости, при $\sigma_{loc} = 0$	161
4.28. Проверка устойчивости стенок балки, укрепленных поперечными и продольными ребрами жесткости, при $\sigma_{loc} \neq 0$	161
4.29. Определение критических напряжений в стенках балок, укрепленных поперечными и продольными ребрами жесткости, при $\sigma_{loc} \neq 0$	162
4.30. Определение минимальных размеров поперечных ребер жесткости балки	162
4.31. Определение размеров поперечных ребер жесткости балки при наличии продольного ребра	162
4.32. Проверка прочности внецентренно-сжатого стержня, не подвергнутого воздействию динамических нагрузок	163
4.33. Интерполяция табличных значений коэффициентов $\Phi_e$	163

4.34. Проверка устойчивости внецентренно-сжатого стержня в плоскости действия момента	164
4.35. Проверка прочности внецентренно-сжатого стержня несимметричного сечения по растянутому волокну	164
4.36. Определение коэффициента $c$ для проверки устойчивости внецентренно-сжатых стержней из плоскости действия момента	164
4.37. Определение коэффициента $c_{\max}$	165
4.38. Проверка устойчивости стержня сплошностенчатого сечения, подверженного сжатию и изгибу в двух главных плоскостях	165
4.39. Определение предельной гибкости стенки двутаврового и коробчатого сечений внецентренно-сжатого стержня при $\bar{\lambda} \leq 0,8$	166
4.40. Определение предельной гибкости стенки двутаврового и коробчатого сечений внецентренно-сжатого стержня при $\bar{\lambda} \geq 0,8$	166
4.41. Определение коэффициента $\alpha$ при проверке устойчивости стенки сечения внецентренно-сжатого стержня	166
4.42. Определение предельной гибкости стенки двутаврового и коробчатого сечений внецентренно-сжатого стержня при $\alpha \geq 1$	167
4.43. Определение предельных геометрических размеров стенки тавра при сжимающих напряжениях	167
4.44. Подбор сечения прокатной балки	167
4.45. Определение оптимальной высоты составной балки при заданной гибкости стенки	168
4.46. Определение геометрических характеристик сечения составной балки	168
4.47. Определение оптимальной высоты балки по заданной толщине стенки	169
4.48. Определение размеров сечения поясов составной балки	169
4.49. Определение ширины пояса составной балки в месте изменения сечения	170
4.50. Определение геометрических характеристик опорного ребра балки	170
4.51. Определение количества высокопрочных болтов для крепления поясных накладок в монтажных стыках балок	170
4.52. Проверка прочности пояса в месте крепления поясных накладок в монтажных стыках балок	171
4.53. Расчет сварного соединения вспомогательной балки с главной	171
4.54. Расчет болтового соединения вспомогательной балки с главной	172
4.55. Определение напряжений в сжатой зоне стенки подкрановой балки	172
4.56. Определение напряжения при расчете на выносливость сжатой зоны подкрановой балки	172
4.57. Проверка прочности балки с гибкой стенкой, укрепленной только поперечными ребрами жесткости, и определение сжимающей силы $N$	173
4.58. Определение коэффициента $\beta$ и критического напряжения $\tau_{cr}$ для проверки прочности балки с гибкой стенкой	173
4.59. Определение геометрических характеристик таврового сечения, образованного сжатым поясом балки с гибкой стенкой и участком стенки высотой $0,5t_w\sqrt{E/R_y}$	174
4.60. Определение геометрических характеристик таврового сечения, образованного односторонним ребром с примыкающими к нему участками стенки длиной по $0,65t_w\sqrt{E/R_y}$	174
4.61. Определение предельного момента для балки с гибкой стенкой, не укрепленной ребрами жесткости в пролете	174
4.62. Определение геометрических характеристик перфорированного двутавра	175
4.63. Определение напряжений в расчетных точках перфорированного двутавра при изгибе	175
4.64. Расчет плоского стального настила	175

4.65. Определение коэффициента расчетной длины колонн постоянного сечения одноэтажных рам	176
4.66. Определение коэффициента расчетной длины колонн постоянного сечения многоэтажных рам	176
4.67. Определение коэффициентов расчетной длины $\mu_1$ и $\mu_2$ для одноступенчатых колонн со свободным и закрепленным только от поворота верхним концом	177
4.68. Определение коэффициентов расчетной длины $\mu_1$ и $\mu_2$ для одноступенчатой колонны с неподвижным шарнирно-опертым и закрепленным от поворота верхним концом	177
4.69. Определение геометрических характеристик произвольного сплошно-стенчатого сечения колонны	178
4.70. Определение геометрических характеристик составного швеллера (вариант 1, рис. 4.11, б)	178
4.71. Определение геометрических характеристик составного швеллера (вариант 1, рис. 4.11, в)	178
4.72. Определение напряжений в сварном шве крепления планок сквозных колонн	179
4.73. Расчет оголовка центрально-сжатой колонны	179
4.74. Определение толщины опорной плиты базы центрально-сжатой колонны	179
4.75. Определение высоты консольных ребер базы центрально-сжатой колонны	179
4.76. Определение высоты траверсы базы центрально-сжатой колонны	180
4.77. Определение высоты диафрагмы базы центрально-сжатой колонны	180
4.78. Расчет опорной плиты базы внецентренно-сжатой колонны с фрезерованным торцом	181
4.79. Определение размеров опорной плиты внецентренно-сжатой сплошно-стенчатой колонны	181
4.80. Расчет фундаментных болтов	182
4.81. Расчет фундаментных болтов с учетом пластических деформаций бетона	182
4.82. Определение координат центра тяжести сварного соединения и площадей отдельных швов	182
4.83. Определение полярных геометрических характеристик сварного соединения с тремя швами	183
4.84. Определение полярных геометрических характеристик сварного соединения с двумя швами	183
4.85. Определение напряжений в сварном соединении при действии изгибающего момента в плоскости расположения швов	183
4.86. Определение усилия в $i$ -м болте соединения при действии изгибающего момента	184
4.87. Определение усилия в $i$ -м болте соединения при действии изгибающего момента и поперечной силы	184
4.88. Определение усилия в $i$ -м болте соединения при действии изгибающего момента, поперечной и продольной сил	184
5.1. Определение размеров поперечного сечения неразрезного прогона покрытия	193
5.2. Определение требуемой высоты сечения клееной балки	193
5.3. Проверка прочности двухскатной балки	194
5.4. Определение размеров поперечного сечения минимальной площади клееной балки	194
5.5. Определение размеров поперечного сечения стойки двухшарнирной рамы	194
5.6. Определение площади поперечного сечения болтов, прикрепляющих стойку рамы к фундаменту	195
1 (МК-52, МК-61). Решение системы $n \leq 4$ линейных уравнений	213
2 (МК-52, МК-61). Решение системы из пяти линейных уравнений	213

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Предисловие . . . . .</b>	<b>3</b>
<b>Глава 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОГРАММИРУЕМЫХ МИКРОКАЛЬКУЛЯТОРАХ . . . . .</b>	<b>5</b>
<b>1.1. Устройство, функциональные возможности и система команд программируемых микрокалькуляторов . . . . .</b>	<b>5</b>
1.1.1. Устройство . . . . .	5
1.1.2. Функциональные возможности . . . . .	6
1.1.3. Режимы работы ПМК . . . . .	7
1.1.4. Классификация операторов . . . . .	9
1.1.5. Описание групп операторов . . . . .	10
1.1.6. Программирование основных конструкций языка МК-34 . . . . .	12
1.1.7. Специальные приемы программирования . . . . .	14
<b>1.2. Методика составления, проверки и отладки программ . . . . .</b>	<b>15</b>
1.2.1. Методика составления . . . . .	15
1.2.2. Набор программ и счет . . . . .	17
1.2.3. Методика отладки . . . . .	18
1.2.4. Правила оформления . . . . .	19
<b>1.3. Работа с перепрограммируемым запоминающим устройством . . . . .</b>	<b>20</b>
<b>Глава 2. РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ . . . . .</b>	<b>22</b>
<b>2.1. Расчет железобетонных элементов по первой группе предельных состояний . . . . .</b>	<b>22</b>
2.1.1. Изгибающие элементы . . . . .	22
2.1.2. Сжатые и растянутые элементы . . . . .	24
<b>2.2. Расчет железобетонных элементов по второй группе предельных состояний . . . . .</b>	<b>26</b>
2.2.1. Расчет по образованию и раскрытию трещин . . . . .	26
2.2.2. Расчет по деформациям . . . . .	27
<b>Глава 3. РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ЗДАНИЙ . . . . .</b>	<b>48</b>
<b>3.1. Расчет элементов каркасных зданий . . . . .</b>	<b>48</b>
3.1.1. Общие сведения. Конструктивные схемы зданий . . . . .	48
3.1.2. Нагрузки на здание . . . . .	48
3.1.3. Определение перемещений здания. Статический расчет . . . . .	50
3.1.4. Расчет несущей способности основных конструктивных элементов . . . . .	56
3.1.5. Армирование элементов жесткости . . . . .	58
3.1.6. Определение центра изгиба здания . . . . .	58
3.1.7. Определение общей устойчивости здания . . . . .	59
3.1.8. Влияние податливости основания на перемещения здания . . . . .	60
3.1.9. Определение динамических характеристик здания . . . . .	61

<b>3.2. Расчет элементов бескаркасных зданий . . . . .</b>	<b>66</b>
3.2.1. Определение усилий в несущей системе здания . . . . .	66
3.2.2. Расчет прочности бетонных стен . . . . .	78
3.2.3. Расчет железобетонных плит перекрытий . . . . .	93
<b>Г л а в а 4. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ . . . . .</b>	<b>123</b>
4.1. Расчет элементов стальных конструкций . . . . .	123
4.1.1. Центрально-сжатые элементы . . . . .	124
4.1.2. Изгибающие элементы . . . . .	128
4.1.3. Внекентренно-сжатые элементы . . . . .	133
4.2. Проектирование стальных конструкций . . . . .	136
4.2.1. Балки . . . . .	136
4.2.2. Колонны . . . . .	143
4.2.3. Соединения стальных конструкций . . . . .	149
<b>Г л а в а 5. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ . . . . .</b>	<b>185</b>
5.1. Неразрезные прогоны покрытия . . . . .	186
5.2. Клееные балки . . . . .	188
5.3. Двухшарнирные рамы . . . . .	190
<b>Г л а в а 6. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА . . . . .</b>	<b>195</b>
6.1. Ребристая плита перекрытия . . . . .	196
6.2. Ригель . . . . .	198
6.3. Сплошная плита перекрытия . . . . .	200
6.4. Внутренняя панельная стена . . . . .	202
6.5. Стальная балка составного сечения . . . . .	204
6.6. Стальная центрально-сжатая колонна . . . . .	208
6.7. Деревянный неразрезной прогон покрытия . . . . .	209
6.8. Клееная балка с параллельными поясами . . . . .	211
6.9. Двухскатная kleеная балка . . . . .	212
6.10. Определение размеров поперечного сечения kleеной балки минимальной площади . . . . .	212
<b>Приложение . . . . .</b>	<b>213</b>
<b>Список использованной литературы . . . . .</b>	<b>214</b>
<b>Указатель программ . . . . .</b>	<b>215</b>

**Справочное издание**

**Библиотека проектировщика**

*Барашиков Арнольд Яковлевич, Гольдберг Михаил Григорьевич,  
Лишак Вадим Израилевич и др.*

**СПРАВОЧНИК ПО РАСЧЕТУ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ  
НА ПРОГРАММИРУЕМЫХ МИКРОКАЛЬКУЛЯТОРАХ**

Художник обложки А. Ф. Мороз  
Художественный редактор Б. В. Сушко  
Технический редактор А. М. Короб  
Корректор В. Б. Кацман

ИБ № 3135

---

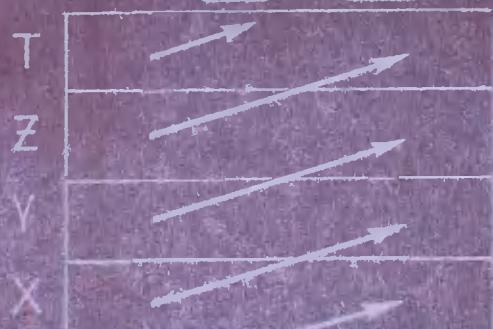
Сдано в набор 03.11.88. Подписано в печать 06.03.89. БФ 04037. Формат 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага типографская № 2 Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ л. 14. Усл. кр -отт. 14,5. Уч.-изд л 16,81. Тираж 17 600 экз Зак. № 9—1197. Цена 1 р. 30 к

Издательство «Будивельник» 252053 Киев, ул. Обсерваторная, 25.

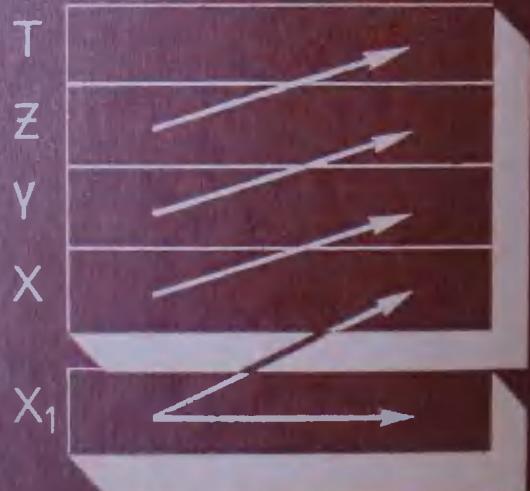
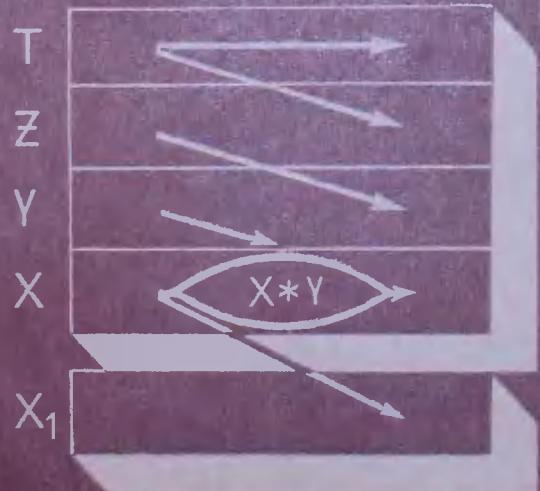
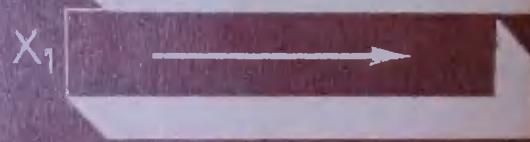
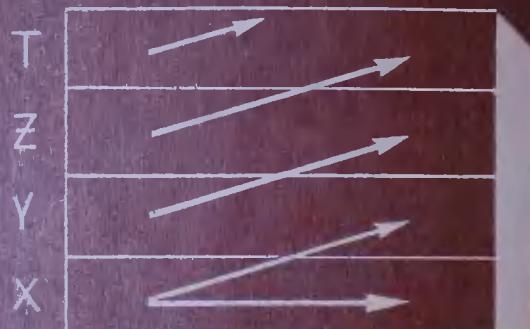
Отпечатано с матриц Голового предприятия республиканского производственного объединения «Полиграфкнига», на Киевской фабрике печатной рекламы им. XXVI съезда КПСС, 252067 Киев, ул. Выборгская, 84.

---

КРОМЕ  $Bt$  И  $Cx$

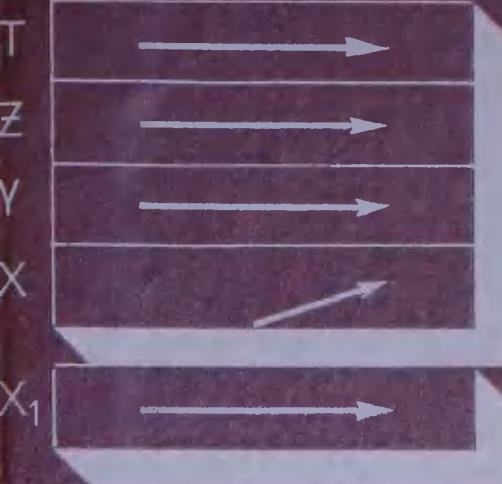


$Bt$

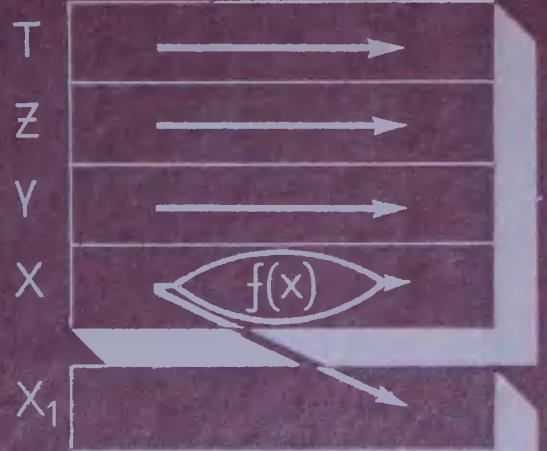


ПЕРЕДВИЖЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ В СТЕКЕ  
(ОТ АНГЛИЙСКОГО СЛОВА «СТЕК», ОЗНАЧАЮЩЕГО  
РАСШИРЯЕТ ВОЗМОЖНОСТИ МИКРОКАЛЬКУЛЯТОРов  
ПРИ СОСТАВЛЕНИИ ПРОГРАММ,  
ПОЗВОЛЯЕТ УМЕНЬШИТЬ КОЛИЧЕСТВО ОПЕРАЦИЙ

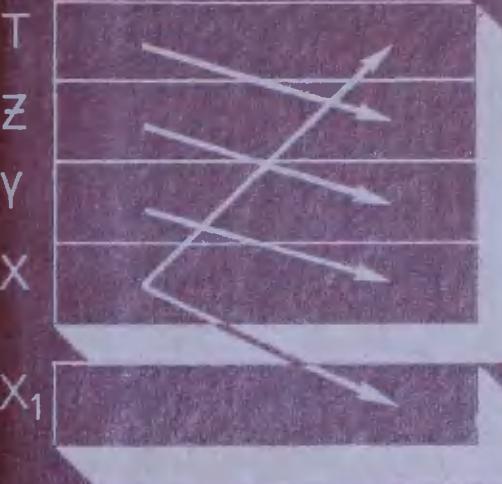
 или 



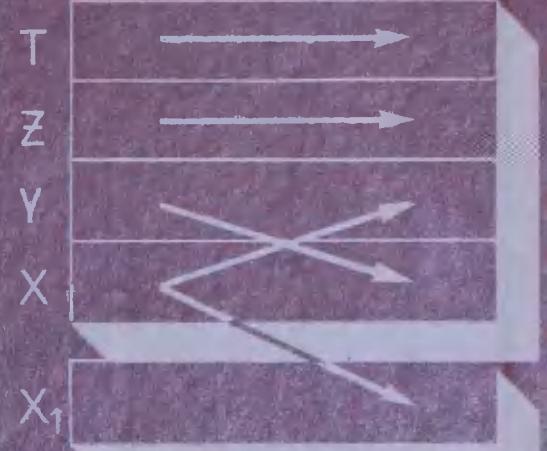
 









ГО «ОХАПКА, СТОПКА»  
ТОРА

ДИЙ ПРИ ВЫЧИСЛЕНИИ

