3. Расчет усиления и армирования фундаментной плиты

3.1. Конструктивные решения по реконструкции

До начала строительства дома 015/1-2002-3 на строительной площадке находится железобетонная фундаментная плита (ФП) незавершенного строительства, выполненная из бетона класса В25, толщиной 1000 мм, причем подошва существующей плиты находится на отметке подошвы фундамента проектируемого дома. Настоящий проект предполагает реконструкцию существующей ФП с монтажом на ее основе фундамента нового дома. На рис. 3.1—3.2 показаны схемы расположения конструкций ФП проектируемого 17-этажного отсека, причем указан контур существующей фундаментной плиты и показано армирование этой плиты в нижнем слое. Основная нижняя арматура образует вязанную арматурную сетку со стержнями ∅25 мм и защитным слоем 4 см. Основная верхняя арматура существующей ФП представляет собой вязанную арматурную сетку со стержнями ∅18 мм и защитным слоем 2,5 см. Вся рабочая арматура класса А-III. Усиление фундаментной плиты выполнено заложением в тело плиты подкрепляющих балок, образованных системой продольных стержней арматуры класса А-III, охваченных двухсрезными хомутами класса А-I. Каркасы балок закладываются в штрабы вблизи нижней арматуры плиты как показано на схемах рис. 3.3, и штрабы замоноличиваются для обеспечения совместной работы усиливающей конструкции и ФП.

Балки направления *X* (направления буквенных координационных осей) выполнены тремя рядами рабочей арматуры, балки направления *Y* (направления цифровых координационных осей) выполнены двумя рядами рабочей арматуры. Сечение балки направления *X* показано на рис. 3.4, *а*, здесь же показано расположение рабочей арматуры в зоне пересечения балок. План зоны пересечения показан на рис. 3.4, *б*. Расположение балки направления *X* относительно нижней арматуры фундаментной плиты показано на рис. 3.4, *в*.

Часть существующей плиты в осях 6—8, К—Н согласно проекту будет удалена. Удаляемые участки имеют прямоугольную форму и показаны на рис. 3.27—3.28. Далее, говоря о существующей плите, будем подразумевать ее часть, оставшуюся на площадке.

Вокруг существующей плиты изготавливается фундаментная плита нового дома толщиной 1300 мм. Для этого часть плиты за пределами плана существующей изготавливается по обычной технологии, с армированием согласно расчетам, причем стыковку нижней продольной арматуры старой и новой плиты предполагается выполнить сваркой. Часть же плиты поверх существующей изготавливается с использованием ее верхней грани в качестве несъемной опалубки с поверхностью, подготовленной насечкой.

После установки подкрепляющих балок в старой плите верхняя арматура над штрабами не восстанавливается, поскольку этот слой арматуры в новой плите становится промежуточным и в расчете не учитывается.

Рисунки 3.1—3.3 исключены.

Рис. 3.1 и 3.2 содержат схемы расстановки арматуры нижнего слоя направлений *X* и *Y* соответственно, которые не информативны для последующего изложения и были использованы для назначения арматуры в модели (см. рис. 3.16). Конструкции нижнего яруса стоянки, изображенные в плане на этих рисунках, можно увидеть на схемах рис. 3.1.Доп и 3.2.Доп. Контур существующей ФП на плане проектируемой ФП показан на схемах 3.27—3.28. Рис. 3.3 содержит схему расположения подкрепляющих балок, которые в плане показаны на рис. 3.15. Разрез заложения балки в ФП, данный на этой схеме, соответствует рис. 3.4, *в*.

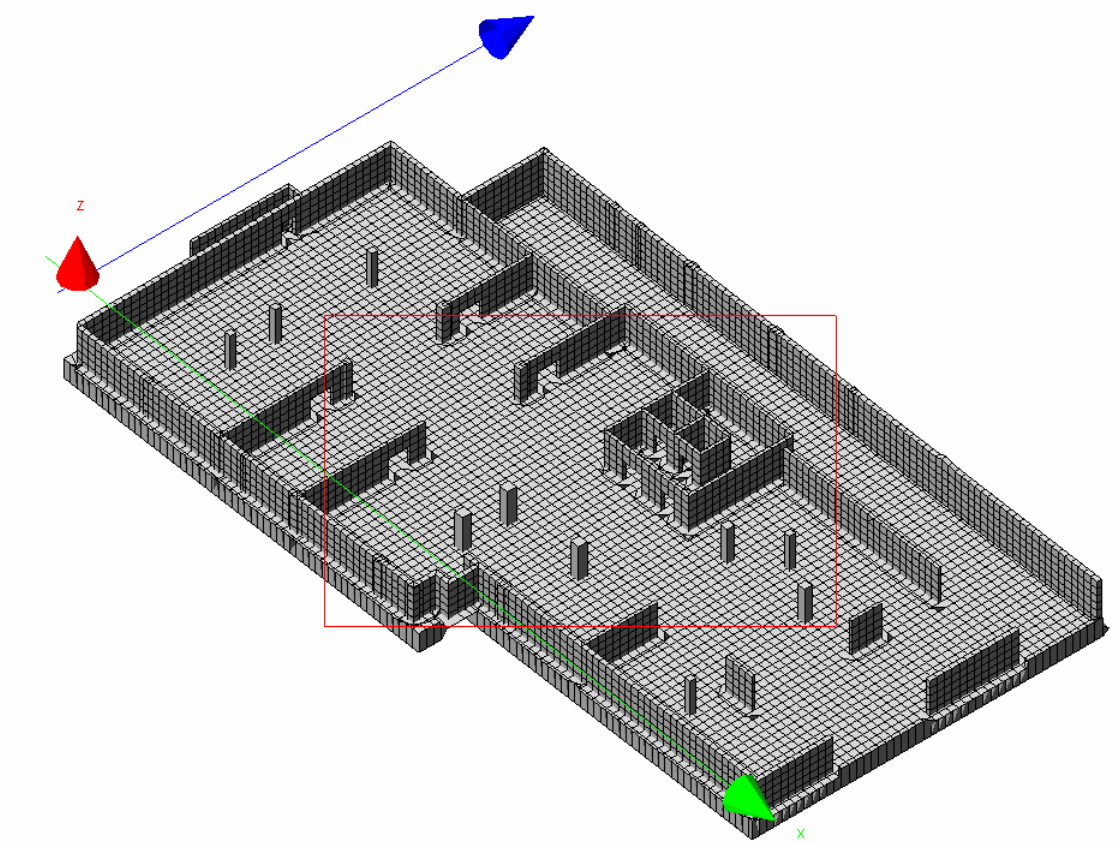

Рис. 3.1.Доп (взамен рис. 3.1, 3.2). Конструкции нижнего яруса автостоянки в 3D-изображении

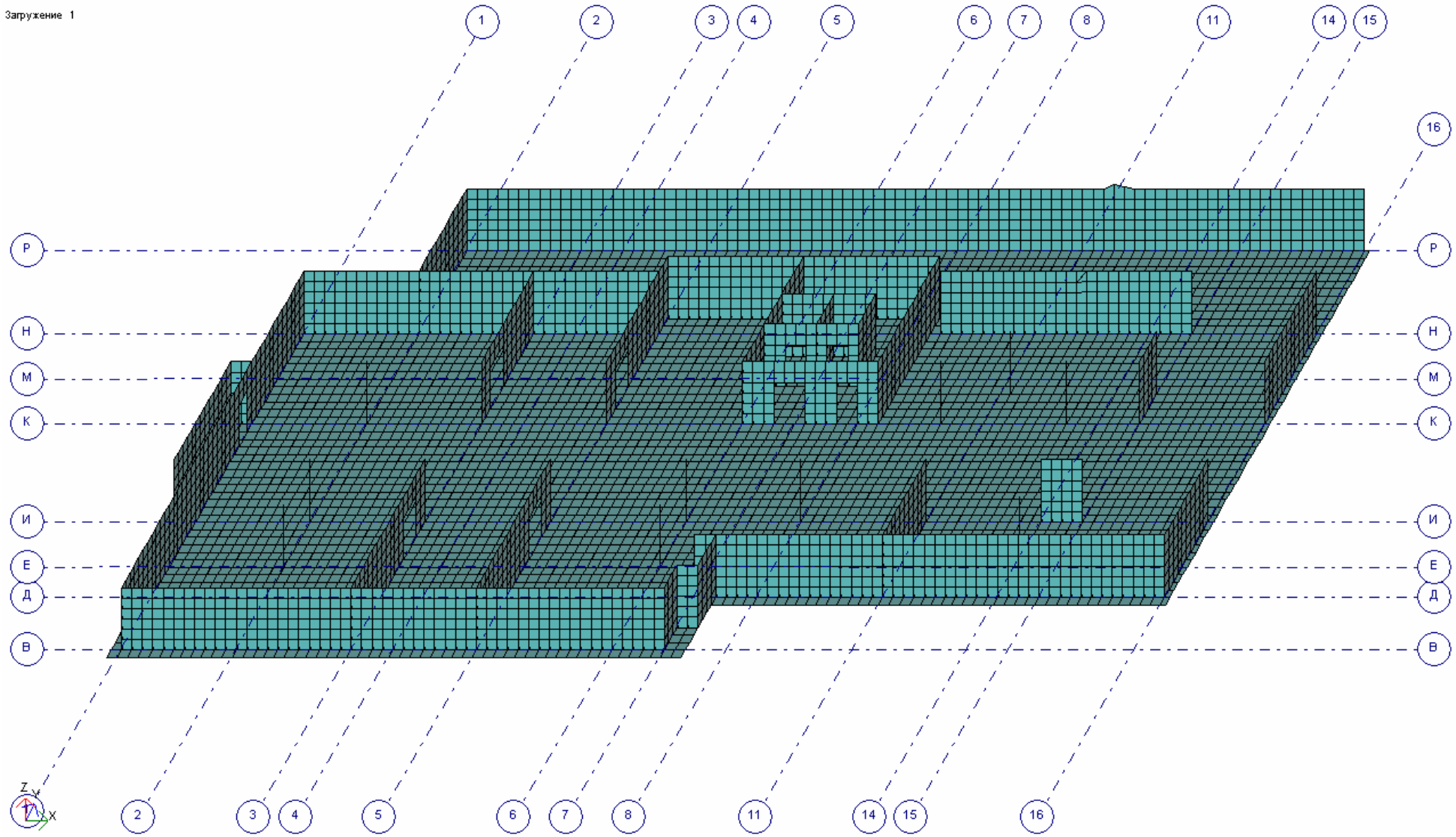

Рис. 3.2.Доп (взамен рис. 3.1, 3.2). Конструкции нижнего яруса автостоянки на конечно-элементной сети с ячейкой 0,5×0,5 м

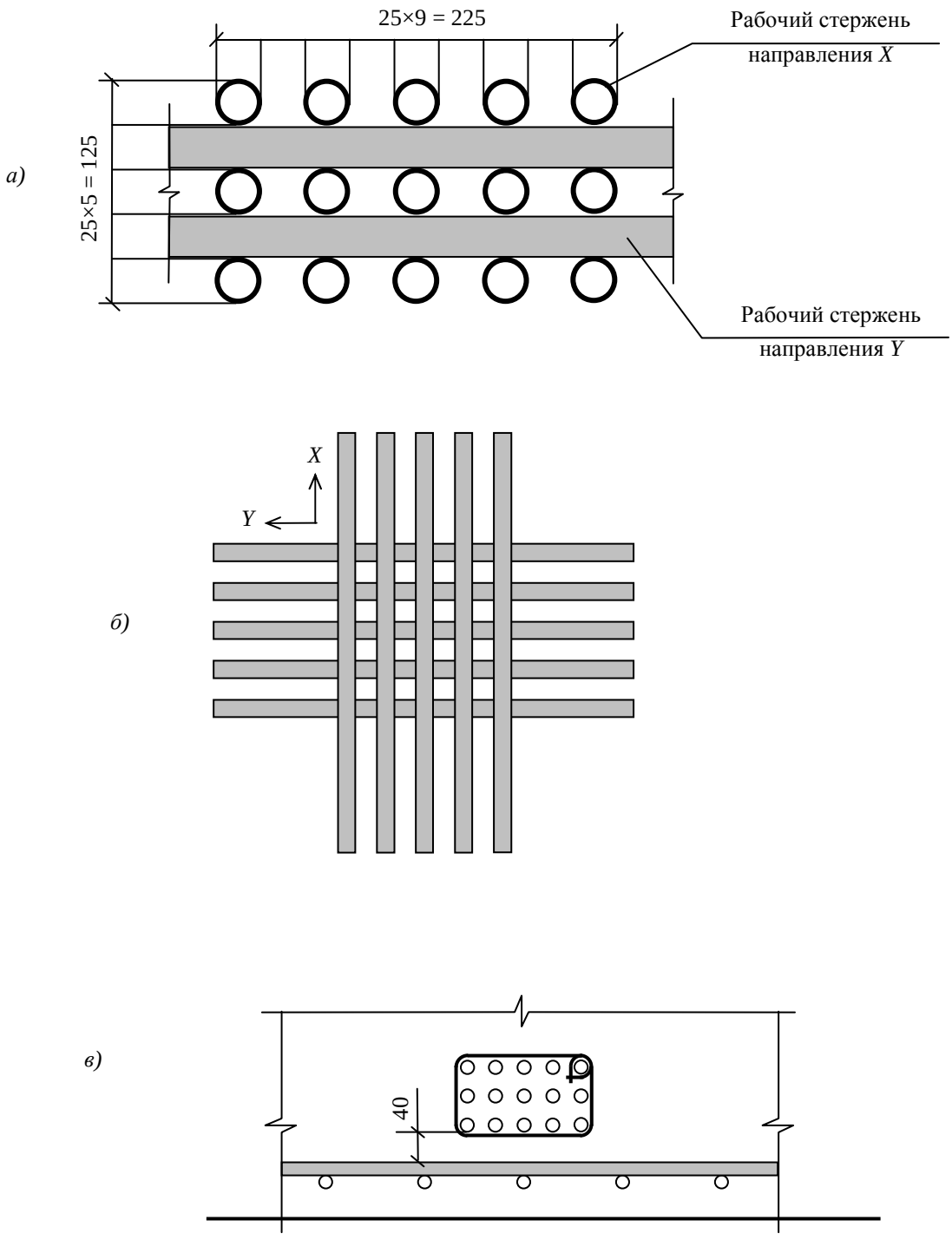
25×9 = 225
Рабочий стержень направления X
а)
25×5 = 125
Рабочий стержень направления Y
X
Y
б)
в)
40

Рис. 3.4

3.2. Методика расчета

Первый этап расчета состоит в определении армирования фундаментной плиты через НДС, установленное для обычной линейно-упругой модели каркаса. Определяется основная арматура и зоны дополнительного армирования. На этом этапе подкрепляющие балки в модель не включаются.

На втором этапе строится нелинейно-упругая модель ФП, в которой армирование задается по результатам 1 этапа расчета. В пределах существующей части ФП расстановка нижней продольной арматуры в модели выполняется согласно схемам на рис. 3.1—3.3. В пределах вновь изготавливаемой части плиты нижняя арматура задается по расчету предыдущего этапа; точно также по результатам предыдущего этапа задается вся верхняя арматура плиты. В модель вводится подкрепляющая балка-двутавр (рис. 3.4), деформируемая по нелинейному закону совместно с оболочечной конструкцией плиты.

Второй этап моделирования содержит две фазы: **фаза прочностного расчета** состоит в проверке отсутствия разрушений в плите — при их наличии армирование уточняется и расчет повторяется; в **фазе проверок** устанавливается соответствие площади заложенной в модель продольной арматуры и площади арматуры, полученной согласно действующим нормам по внутренним усилиям в плите. Усилия в любом сечении плиты, полученные в нелинейном расчете, должны определять армирование, которое если и превышает по площади заданную в модели арматуру, то не существенно (до 5%). Этим проверяется корректность нелинейной модели, а также соответствие заложенной арматуры требованиям по раскрытию трещин. Дело в том, что на первом этапе обеспечиваются только условия отсутствия пластических шарниров в элементах, но раскрытие трещин не контролируется. На втором же этапе расчет арматуры по усилиям выполняется с учетом требований по трещиностойкости, и существенное несоответствие требуемой арматуры заложенной в модель говорит о невыполнении этих требований. В то же время незначительное превышение площади арматуры в ходе проверки можно допустить с учетом того, что СНиП задают требования по арматуре с некоторым завышением, вызванным огрублением задачи до статически определимой.

Корректировки армирования с последующим пересчетом по нелинейной модели в настоящем отчете не описаны. Представлен расчет по последней нелинейно-упругой модели, давшей удовлетворительные результаты. В ходе корректировок потребовалось изменить первоначальную расстановку арматуры, полученную в линейном расчете.

Для нелинейного моделирования НДС фундаментной плиты строилось расчетное сочетание усилий (РСН), в котором постоянные и длительные нагрузки взяты с коэффициентами 1, кратковременные нагрузки рассматриваются как длительные, для чего нормируются коэффициентами сочетаний величиной 0,35. Ветровые нагрузки при расчете ФП не учитывались. Диаграммы состояния бетона задавались трехлинейные для случая длительного действия нагрузки по СП 52-101-2003.

Модель фундаментной плиты содержит все конструкции от перекрытия 2 яруса стоянки (на отм. –3,250) и ниже. Фундаментная плита задана преимущест-

венно квадратными нелинейно-упругими элементами пластины размера 250×250 мм; подкрепляющие плиту балки заданы нелинейно-упругими стержневыми элементами с жесткими вставками. Остальные конструкции представлены линейно-упругими элементами. Конструкции выше перекрытия второго яруса заменяются в модели усилиями, которые они создают в горизонтальных сечениях на отм. –3,250. Эти усилия вводятся в модель как нагрузки по всем загружениям.

Реакция основания задается через упругий отпор в узлах фундаментной плиты. Для этого на квадратной сетке с шагом 0,5 м расположены одноузловые упругие элементы, жесткость которых подобрана так, чтобы обеспечивался тот же отпор, что и при назначенном коэффициенте постели модели Винклера. Этот коэффициент принят С1 = 827 т/м^3 согласно отчету «Рабочий проект подготовки грунтового основания фундаментов... 89-05-УГ2. РГСУ, НПЛ «Геобезопасность», Ростов-на-Дону, 2005». Площадь ячейки сети составляет 0,25 м^2, на каждую внутреннюю ячейку приходится один одноузловой элемент типа 51, жесткость которого назначена R = 827 т/м^3 × 0,25 м^2 ≈ 200 т/м.

В модели учитываются конечные размеры сечений колонн в зонах опоры на ФП. Вместо точечной опоры для каждой колонны задается поверхность ее контакта с плитой. Пятно контакта задается жестким телом, образованным 4 элементами пластин, принадлежащих ФП и окружающих опорный узел. С учетом шага сети пластинчатых элементов получаем сечение каждой колонны 500×500 мм. Жесткость элементов, моделирующих сечение, задается как у упругой плиты толщиной 21 см при модуле упругости 2·10^8 т/м^2. Этим достигается корректность нелинейно-упругой модели ФП: при уменьшении шага конечно-элементной сети плиты до нуля и отсутствии вычислительных ошибок в модельном НДС не возникает сингулярностей.

3.3. Расчет армирования ФП на 1 этапе

3.3.1. Выборка из файла исходных данных на армирование фундаментной плиты

ЛИРА (Ж/б конструкции) V.9.2 KIEV (Copyright)
ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ - 015-17эт.fidarm

```
1666   )
1667   (3/
1668   1 P0    1.3 /
1669   )
1670   (9/
1671   1 7 0 6 4 3 0 0 10 0 3 1 0 0 0/
1672   )
1673   (10/
1674   1 B25 1 0 1 0.9 1 0 0 0 0.3 0.2/
1675   )
1676   (11/
1677   1 A3 A3 A3 1 1 1 25 0 1/
1678   )
```

Документ 9. Общие характеристики

Номер стро-ки	Модуль армирования	Расч. по II сост.	Расстояние к ц.т. арматуры A1	A2	A3	Расчетные длины Y	Z	Констр. характ. стержня	Стати-ческая опред.	Тип армирования	Расчетная длина =0 коэфф.=1	Боковая ар-ра в полке тавра 0-нет,1-да
1	7	0	6	4	3	0	0	10	0	3	1	0

Документ 3. Сечение.

Номер стро-ки	Тип сече-ния	Размеры (сечение стержней-см, толщина плиты(b)-м)					
		b(D)	h(D1)	b1	h1	b2	h2
1	P0	1.3	0	0	0	0	0

Документ 10.Бетон.

Номер стро-ки	Класс бетон	Вид бето-на	Марка легкого бетона	Коэф.услов. работы		Случайный эксцентриситет		Условия эксплуатации	Ширина раскрытия трещин	
				твер	KP1	KP2	EY	EZ		Крат/мм	Длит/мм
1	B25	1	0	1	0.9	1	0	0	0	0.3	0.2

Документ 11. Арматура.

Номер стро-ки	Класс продольной арматуры		Класс поперечной арматуры	Коэф. работы арматур	Коэффициент учета сейсмики		Предельно допустимый диаметр(мм)	Кол-во стержней в углах сечения
	по X	по Y			МКР1	МКР2		
1	A3	A3	A3	1	1	1	25	1

Характеристики бетона и арматуры

БЕТОН

Класс бетона: B25
Начальный модуль упругости, т/(м*м): Eb = 3060000.0
Расчетное сопротивление осевому сжатию, т/(м*м): Rb = 1480.0
Расчетное сопротивление осевому растяжению, т/(м*м): Rbt = 107.0
Нормативное сопротивление осевому сжатию, т/(м*м): Rbn = 1890.0
Нормативное сопротивление осевому растяжению, т/(м*м): Rbtn= 163.0
Потери предварительного напряжения арматуры от усадки бетона, т/(м*м): 3931.0

АРМАТУРА

Класс арматуры: A3
Модуль упругости, т/(м*м): Es = 20000000.0
Расчетное сопротивление растяжению продольной арматуры, т/(м*м): Rs = 37500.0
Расчетное сопротивление растяжению поперечной арматуры, т/(м*м): Rsw= 30000.0
Расчетное сопротивление сжатию, т/(м*м): Rsc= 37500.0
Нормативное сопротивление растяжению, т/(м*м): Rs,ser= 40000.0

3.3.2. Схемы армирования

На рис. 3.5—3.10 показаны мозаичные схемы армирования фундаментной плиты в плане. В данном случае местные оси (вдоль которых лежит арматура) параллельны одноименным глобальным осям, а оси Z и Z_1 одинаково направлены. Последнее означает, что «верх» в местной СК – это действительно верх.

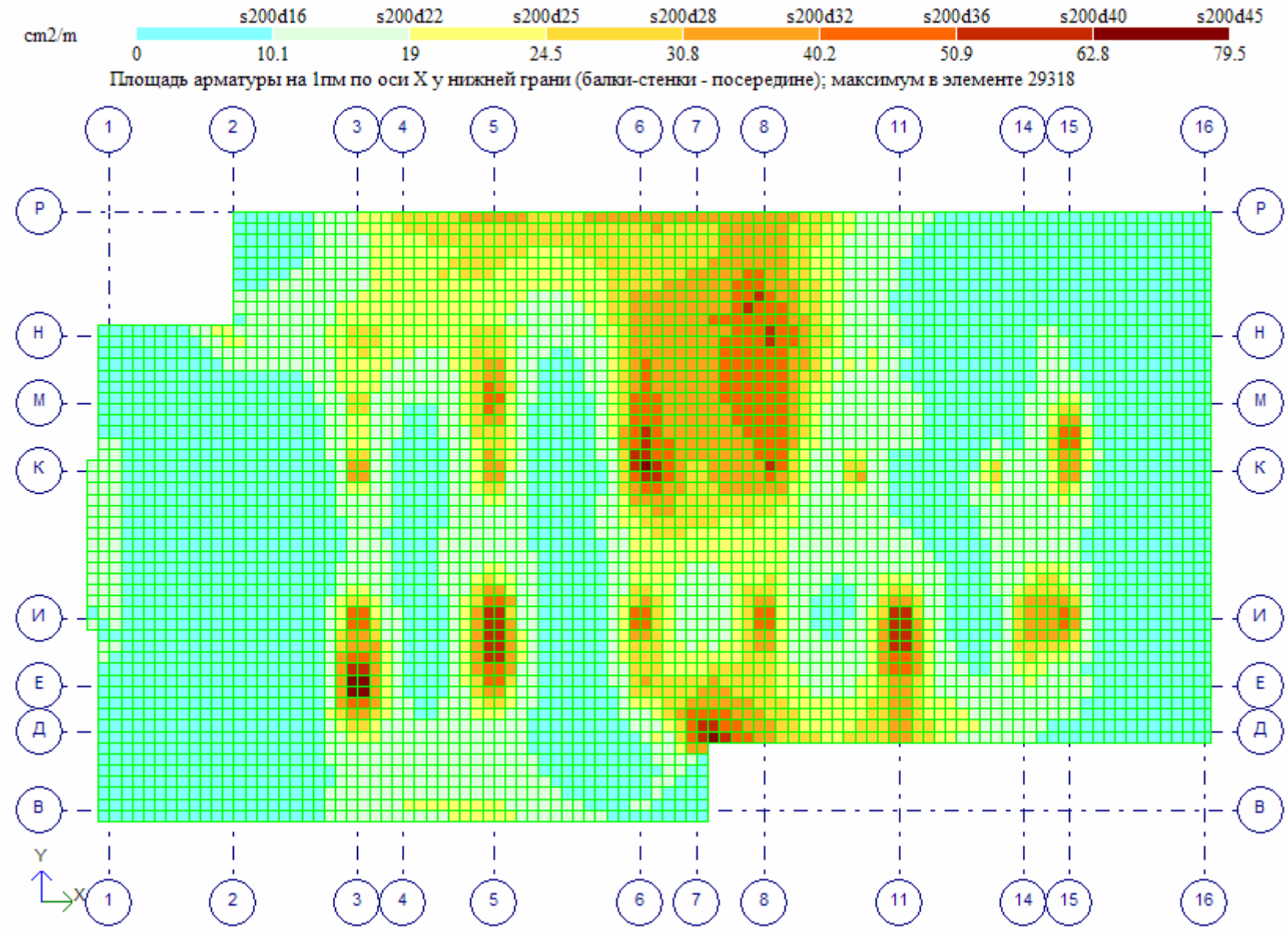

Рис. 3.5. Армирование фундаментной плиты

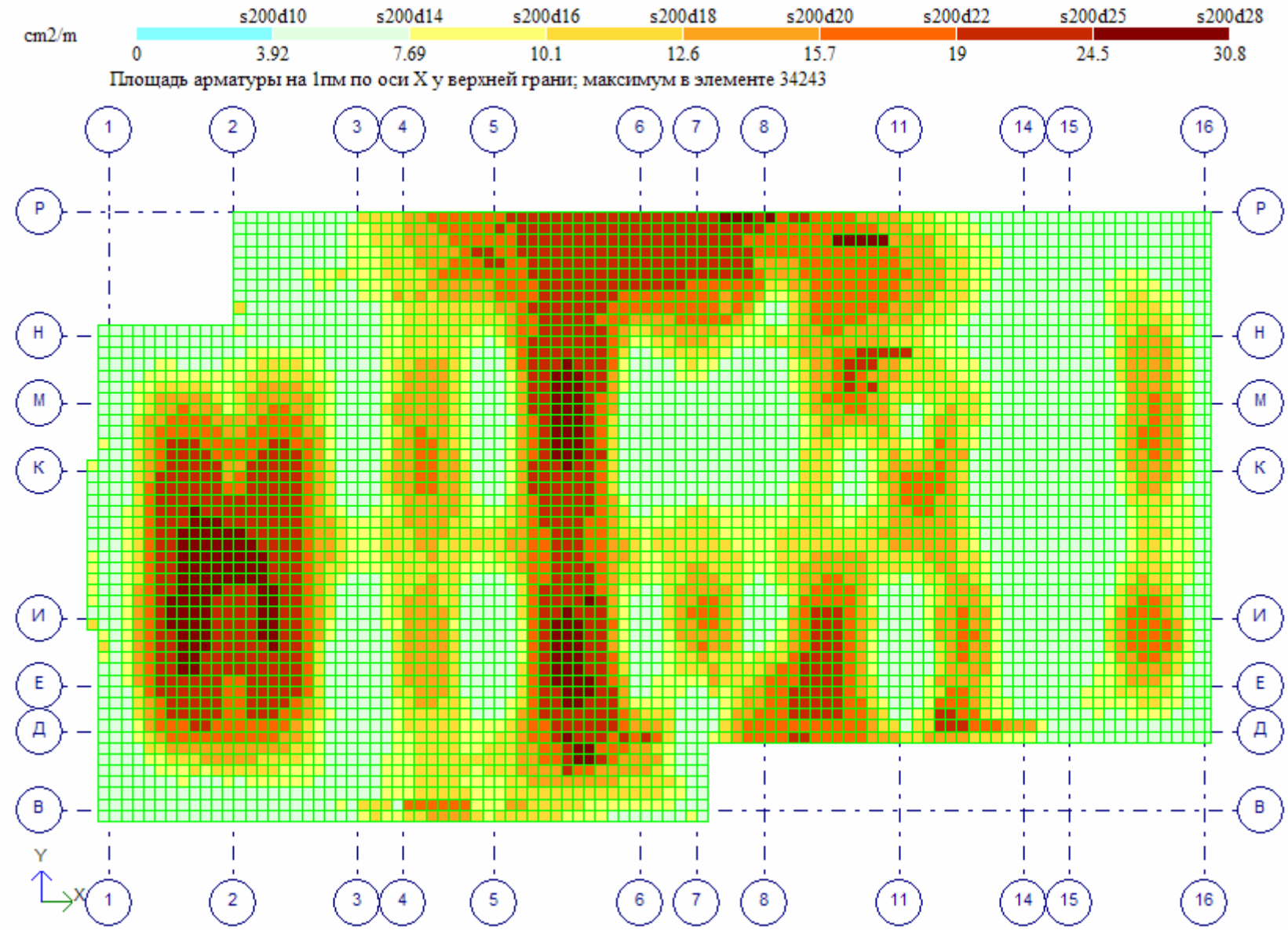

Рис. 3.6. Армирование фундаментной плиты

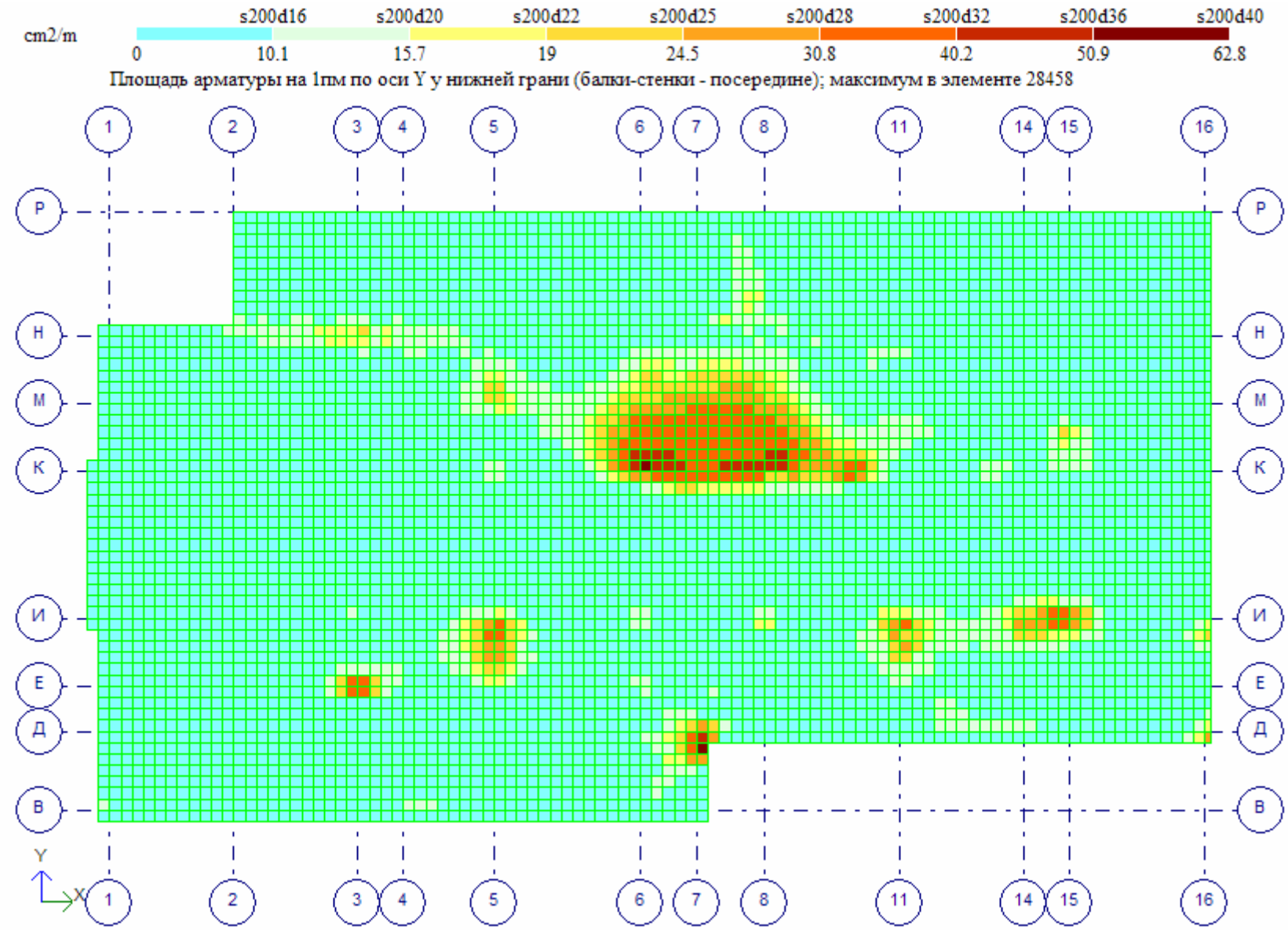

Рис. 3.7. Армирование фундаментной плиты

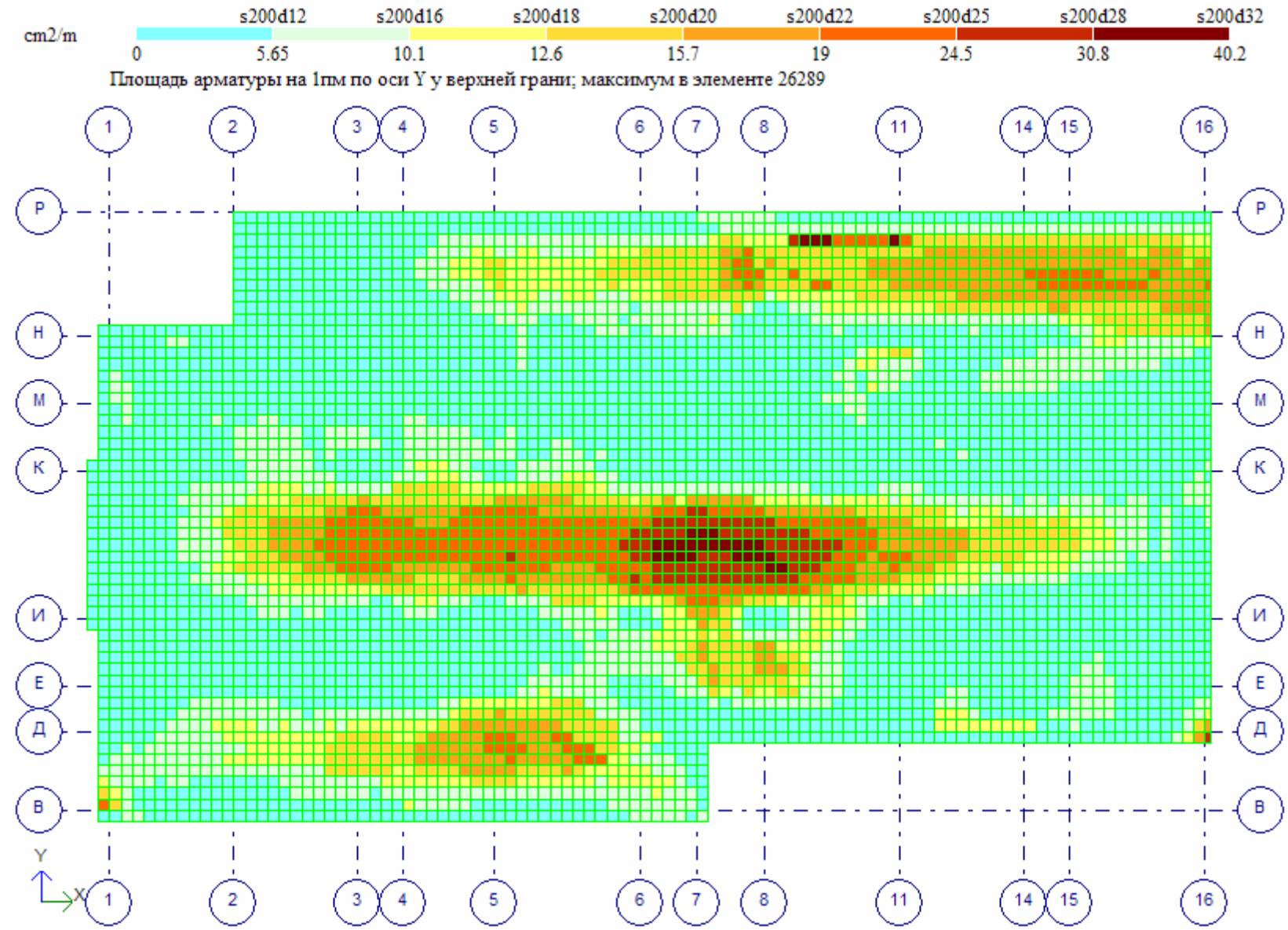

Рис. 3.8. Армирование фундаментной плиты

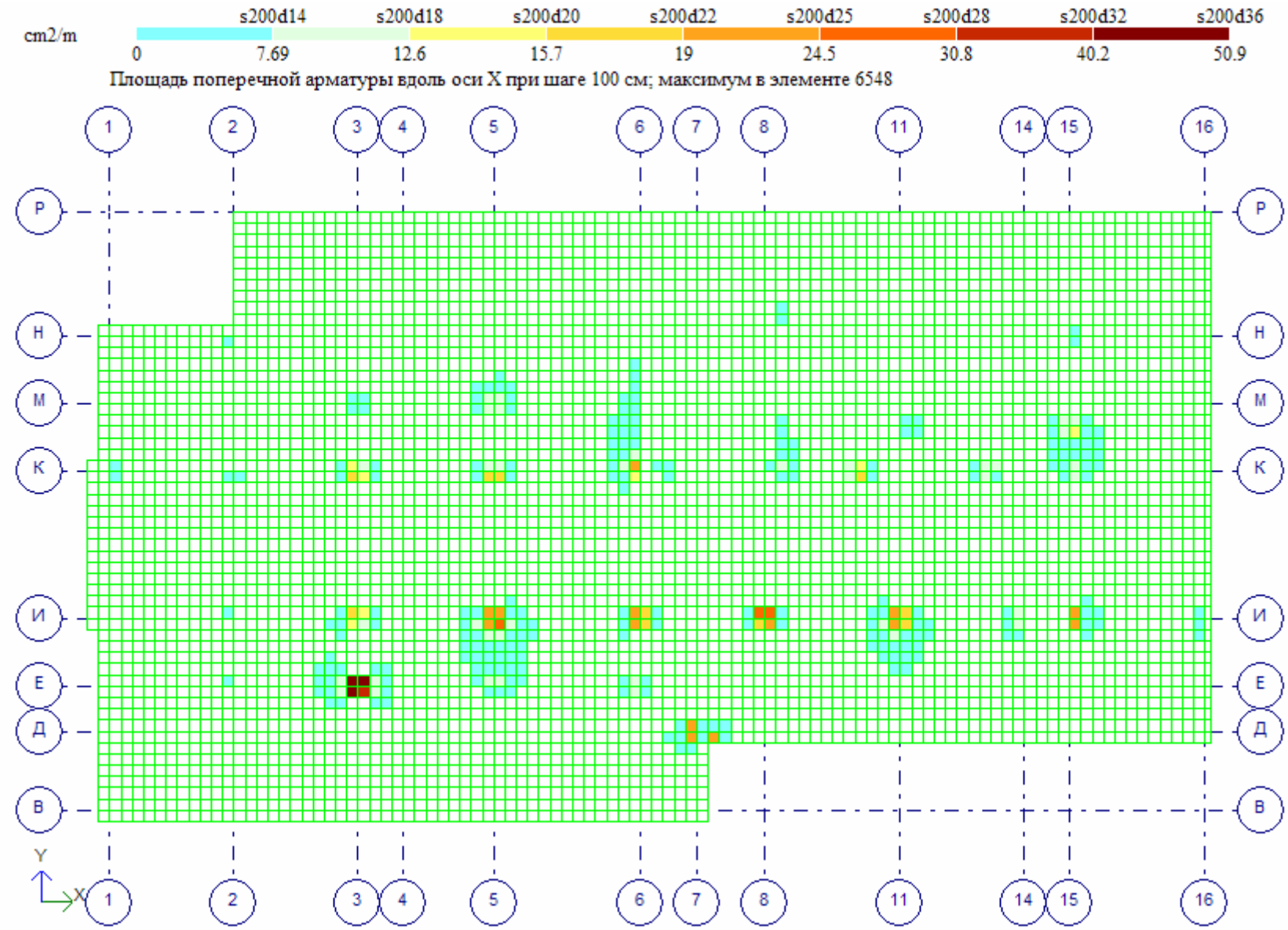

Рис. 3.9. Армирование фундаментной плиты

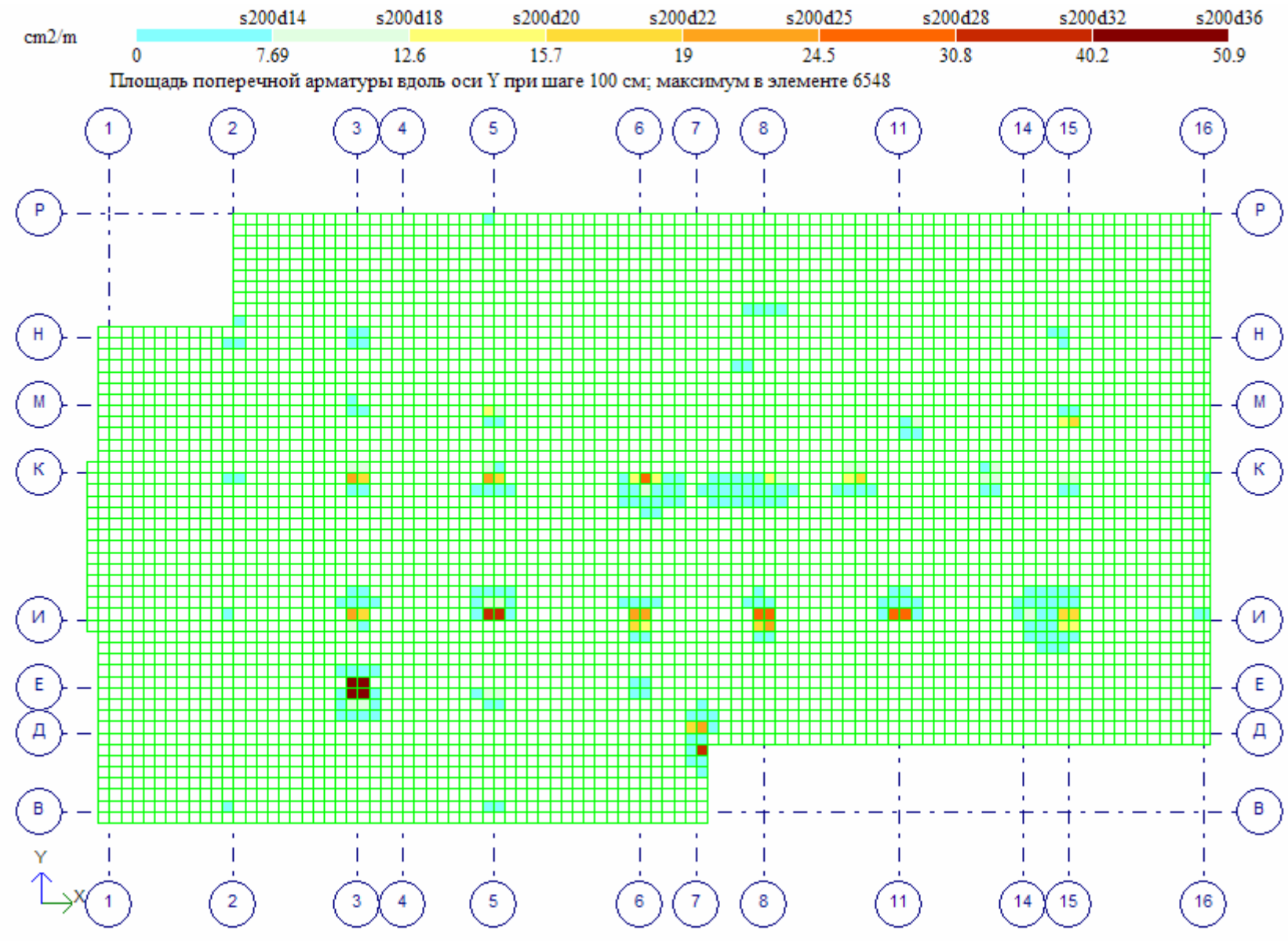

Рис. 3.10. Армирование фундаментной плиты

3.4. Второй этап расчета: описание модели

Модель U1.lir описывает подземную часть 17-этажного отсека дома 015/1-2002-3 от 2 яруса автостоянки и ниже (рис. 3.11—3.12). Модель построена отсечением конечных элементов (КЭ) полной модели каркаса 015-17эт.lir выше отметки –3,250 и последующей модификацией части модели — фундаментной плиты. Модель содержит 5 загружений, описание которых дается выше в разд. 1 для модели 015-17эт.lir. Загружения модели 015-17эт.lir начиная с шестого в модель U1.lir не включены. Каждое загружение модели U1.lir от отметки –3,250 вниз повторяет одноименное загружение модели 015-17эт.lir, а воздействие вышележащих конструкций, не учтенных в модели U1.lir, задается нагрузками в узлах, по которым выполнено отсечение верхней части. Эти нагрузки получены расчетом «нагрузок на фрагмент», где фрагмент представляет нижнюю часть сооружения, а нагрузки действуют со стороны верхней части. Для этого расчета использован процессор «Фрагмент» системы ЛИРА 9.2. Нагрузки иллюстрируются рис. 3.13.

Расчетная схема ФП, входящей в состав модели U1.lir, представлена на схемах рис. 3.14—3.17. Шаг сети конечных элементов ФП выбран 0,25 м. Жесткости ФП показаны на схеме рис. 3.16 цветными зонами, в левом верхнем углу каждой зоны указан номер жесткости, либо номер жесткости указан на выносной линии. Список жесткостей с указанием расстановки арматуры сведен в табл. 3.1. В таблице обозначено: z — координата арматурной сетки относительно срединной поверхности плиты; $A_{x(y)}$ — площадь рабочей арматуры данного направления в глобальной СК.

Таблица 3.1

Номер жесткости	Арматура, [z] = см, [A] = см^2/м	Комментарий в списке типов жесткостей модели
13	Нижняя (z = –60): $A_x = A_y$ = 24,5; промежут. (z = 30): $A_x = A_y$ = 12,6; верхняя (z = 60): $A_x = A_y$ = 24,5	фунд.плита осн.
14	Нижняя (z = –60): A_x = 24,5 + 24,5; A_y =24,5; промежут. (z = 30): $A_x = A_y$ = 12,6; верхняя (z = 60): $A_x = A_y$ = 24,5	доп. Х низ 25
15	Нижняя (z = –60): A_x = 24,5 + 7,7; A_y = 24,5; промежут. (z = 30): $A_x = A_y$ = 12,6; верхняя (z = 60): $A_x = A_y$ = 24,5	доп Х низ 14
16	Нижняя (z = –60): A_x = 24,5 + 12,6; A_y = 24,5; промежут. (z = 30): $A_x = A_y$ = 12,6; верхняя (z = 60): $A_x = A_y$ = 24,5	доп Х низ 18
17	Нижняя (z = –60): A_x = 24,5; A_y = 24,5 + 24,5; промежут. (z = 30): $A_x = A_y$ = 12,6; верхняя (z = 60): $A_x = A_y$ = 24,5	доп У низ 25
18	Нижняя (z = –60): A_x = 24,5; A_y = 24,5 + 12,6; промежут. (z = 30): $A_x = A_y$ = 12,6; верхняя (z = 60): $A_x = A_y$ = 24,5	доп У низ 18
19	Нижняя (z = –60): A_x = 24,5 + 7,7; A_y = 24,5 + 12,6; промежут. (z = 30): $A_x = A_y$ = 12,6;	доп У низ 18 Х 14

	верхняя (z = 60): $A_x = A_y$ = 24,5	
20	Нижняя (z = –60): A_x = 24,5 + 7,7; A_y = 24,5 + 24,5; промежут. (z = 30): $A_x = A_y$ = 12,6; верхняя (z = 60): $A_x = A_y$ = 24,5	доп низ У 25 Х 14
21	Нижняя (z = –60): A_x = 24,5 + 12,6; A_y = 24,5 + 12,6; промежут. (z = 30): $A_x = A_y$ = 12,6; верхняя (z = 60): $A_x = A_y$ = 24,5	доп низ У18 Х 18
22	Нижняя (z = –60): A_x = 24,5 + 24,5; A_y = 24,5 + 24,5; промежут. (z = 30): $A_x = A_y$ = 12,6; верхняя (z = 60): $A_x = A_y$ = 24,5	доп старая низ У25 Х 25 верх У18
23	Нижняя (z = –60): $A_x = A_y$ = 24,5; промежут. (z = 30): $A_x = A_y$ = 12,6; верхняя (z = 60): A_x = 24,5 + 7,7; A_y = 24,5;	доп верх Х 14
24	Нижняя (z = –60): $A_x = A_y$ = 24,5; верхняя (z = 60): $A_x = A_y$ = 24,5	новая осн
25	Нижняя (z = –60): A_x = 24,5 + 24,5; A_y = 24,5; промежут. (z = 30): $A_x = A_y$ = 12,6; верхняя (z = 60): A_x = 24,5; A_y = 24,5 + 10,1;	доп верх У 16 низ Х14
27	Нижняя (z = –60): $A_x = A_y$ = 24,5; промежут. (z = 30): $A_x = A_y$ = 12,6; верхняя (z = 60): A_x = 24,5; A_y = 24,5 + 10,1;	доп верх У16
29	Нижняя (z = –60): A_x = 24,5 + 24,5; A_y = 24,5; верхняя (z = 60): $A_x = A_y$ = 24,5;	доп. Х низ 25
30	Нижняя (z = –60): A_x = 24,5 + 7,7; A_y = 24,5; верхняя (z = 60): $A_x = A_y$ = 24,5;	доп Х низ 14
32	Нижняя (z = –60): A_x = 24,5 + 24,5; A_y = 24,5 + 24,5; верхняя (z = 60): $A_x = A_y$ = 24,5	доп. низ Х25 У25
34	Нижняя (z = –60): A_x = 24,5 + 40,2; A_y = 24,5; верхняя (z = 60): $A_x = A_y$ = 24,5;	доп. низ Х32
35	Нижняя (z = –60): A_x = 24,5; A_y = 24,5 + 12,6; промежут. (z = 30): A_x = 12,6; A_y = 25,2; верхняя (z = 60): $A_x = A_y$ = 24,5;	доп стар У низ 18 верх У18
36	Нижняя (z = –60): A_x = 24,5; A_y = 24,5 + 24,5; промежут. (z = 30): A_x = 12,6; A_y = 25,2; верхняя (z = 60): $A_x = A_y$ = 24,5;	доп старая У низ 25 верх У18
37	Нижняя (z = –60): A_x = 24,5 + 24,5; A_y = 24,5 + 24,5; промежут. (z = 30): A_x = 12,6; A_y = 25,2; верхняя (z = 60): $A_x = A_y$ = 24,5;	доп старая низ У25 Х 25 верх У18
38	Нижняя (z = –60): $A_x = A_y$ = 24,5; промежут. (z = 30): A_x = 12,6; A_y = 25,2; верхняя (z = 60): $A_x = A_y$ = 24,5;	доп старая У верх 18

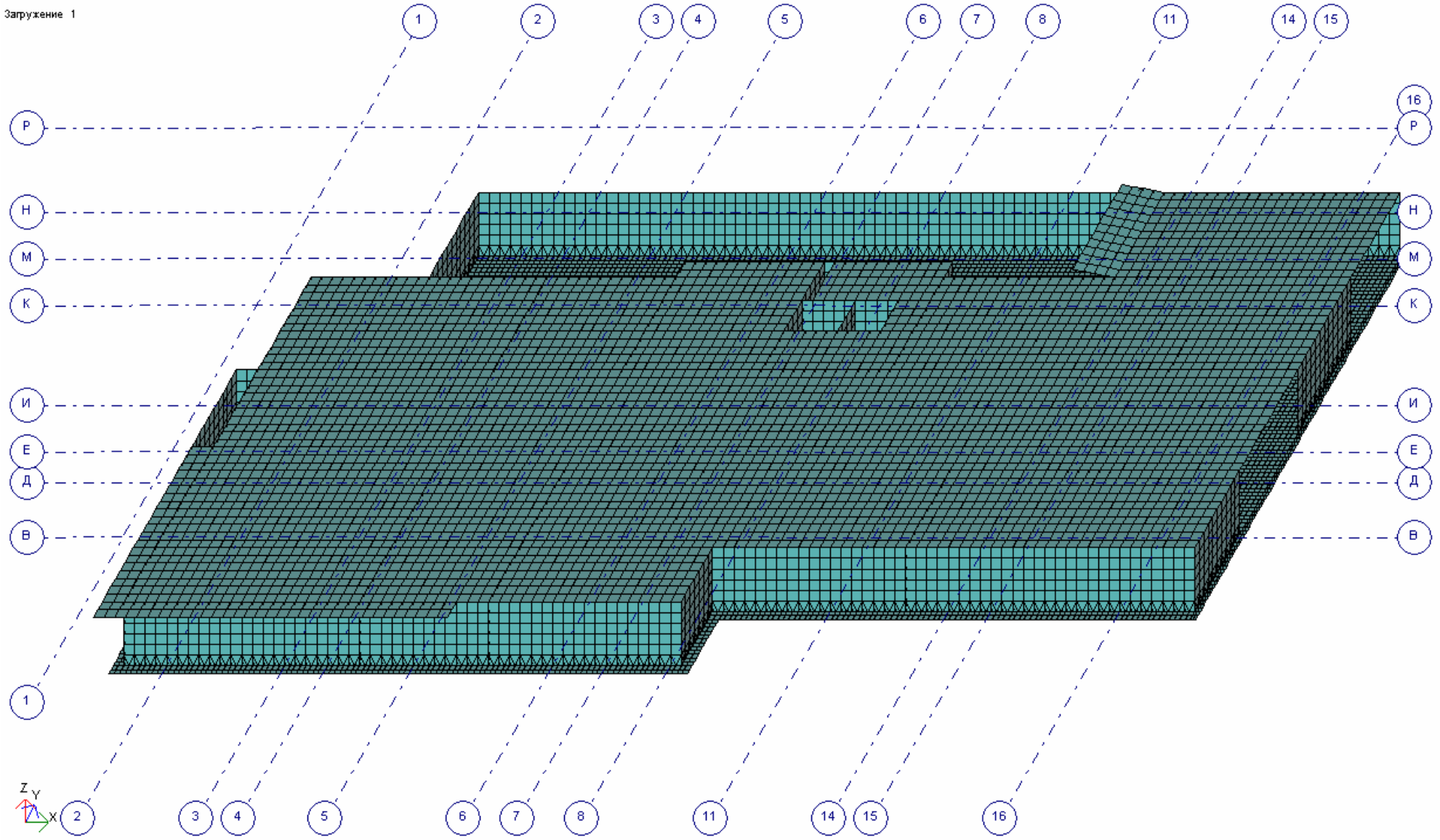

Рис. 3.11. Подземная часть сооружения согласно модели U1.lir

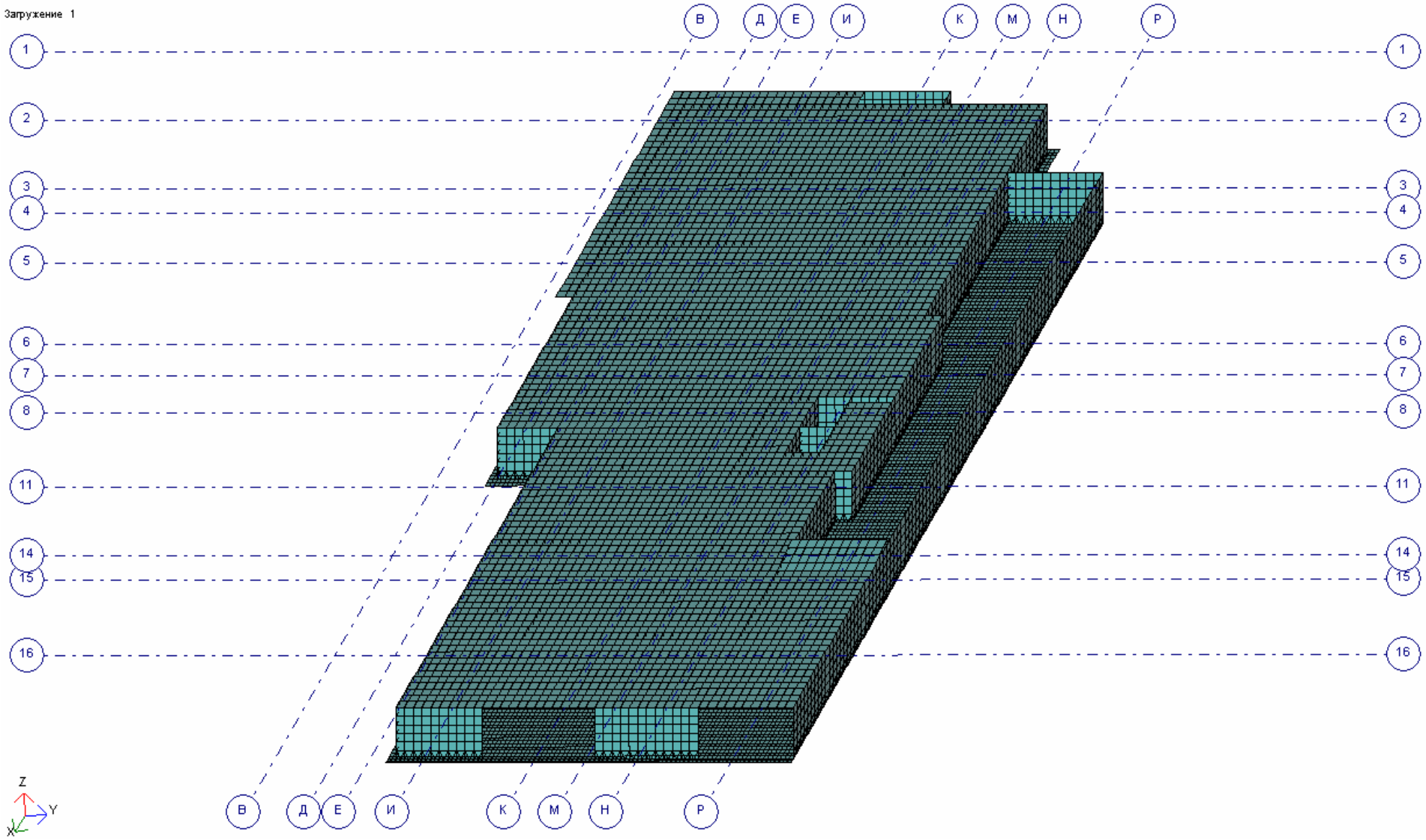

Рис. 3.12. Подземная часть сооружения согласно модели U1.lir

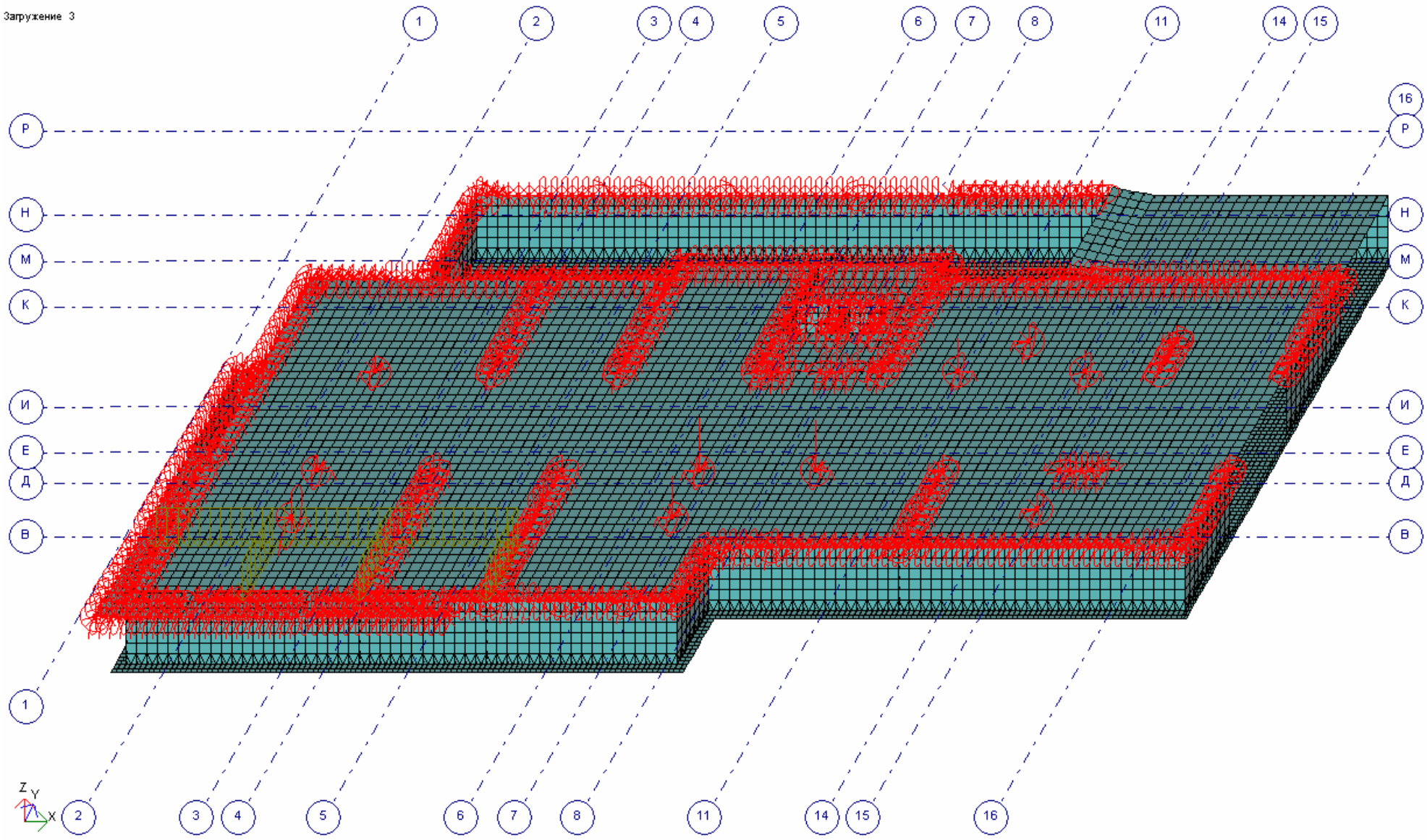

Рис. 3.13. Нагрузки загружения 3, приложенные со стороны отсеченной части сооружения

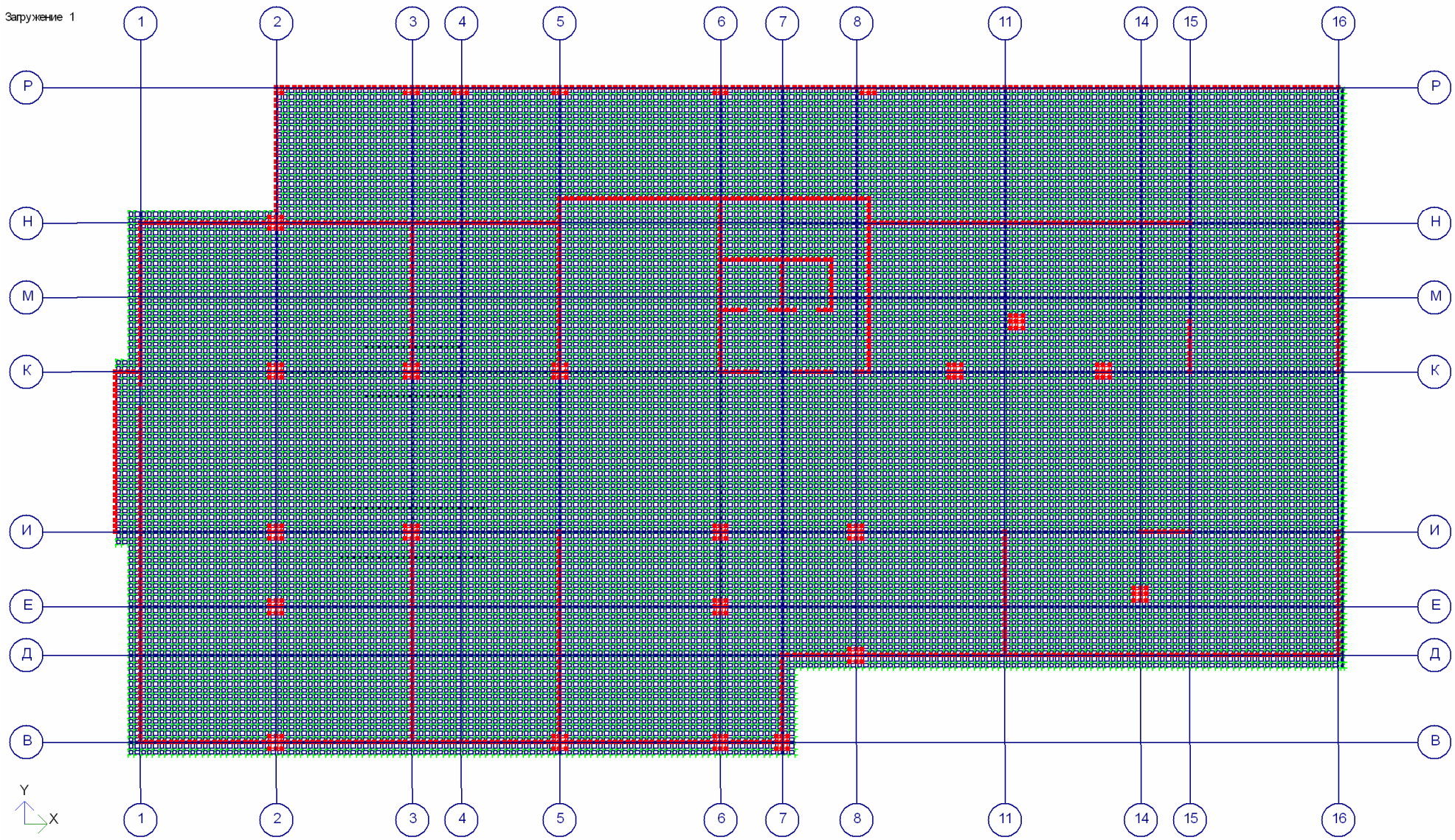

Рис. 3.14. Узлы примыкания монолитных стен и сечений колонн на ФП

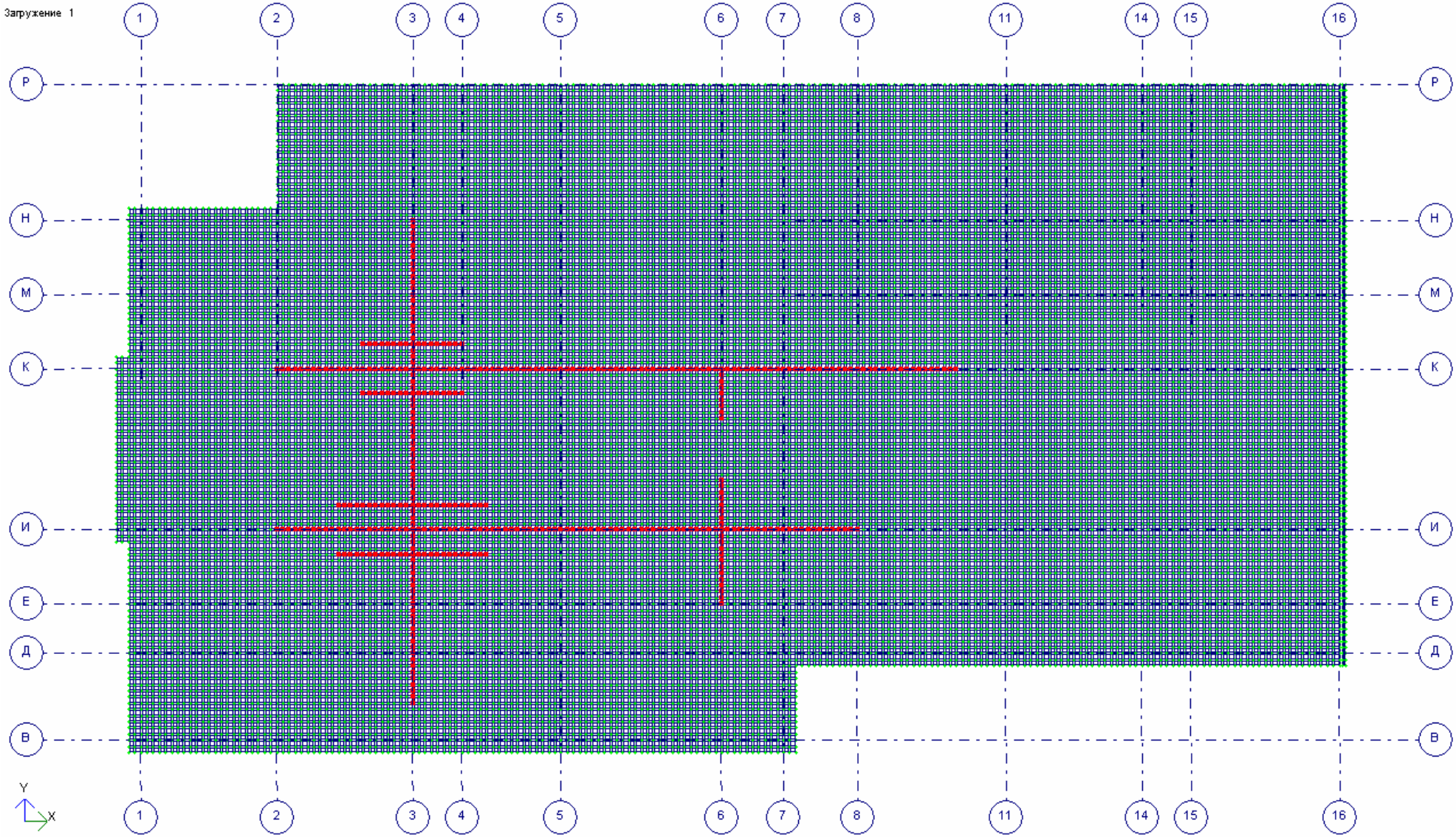

Рис. 3.15. Расположение подкрепляющих балок на ФП

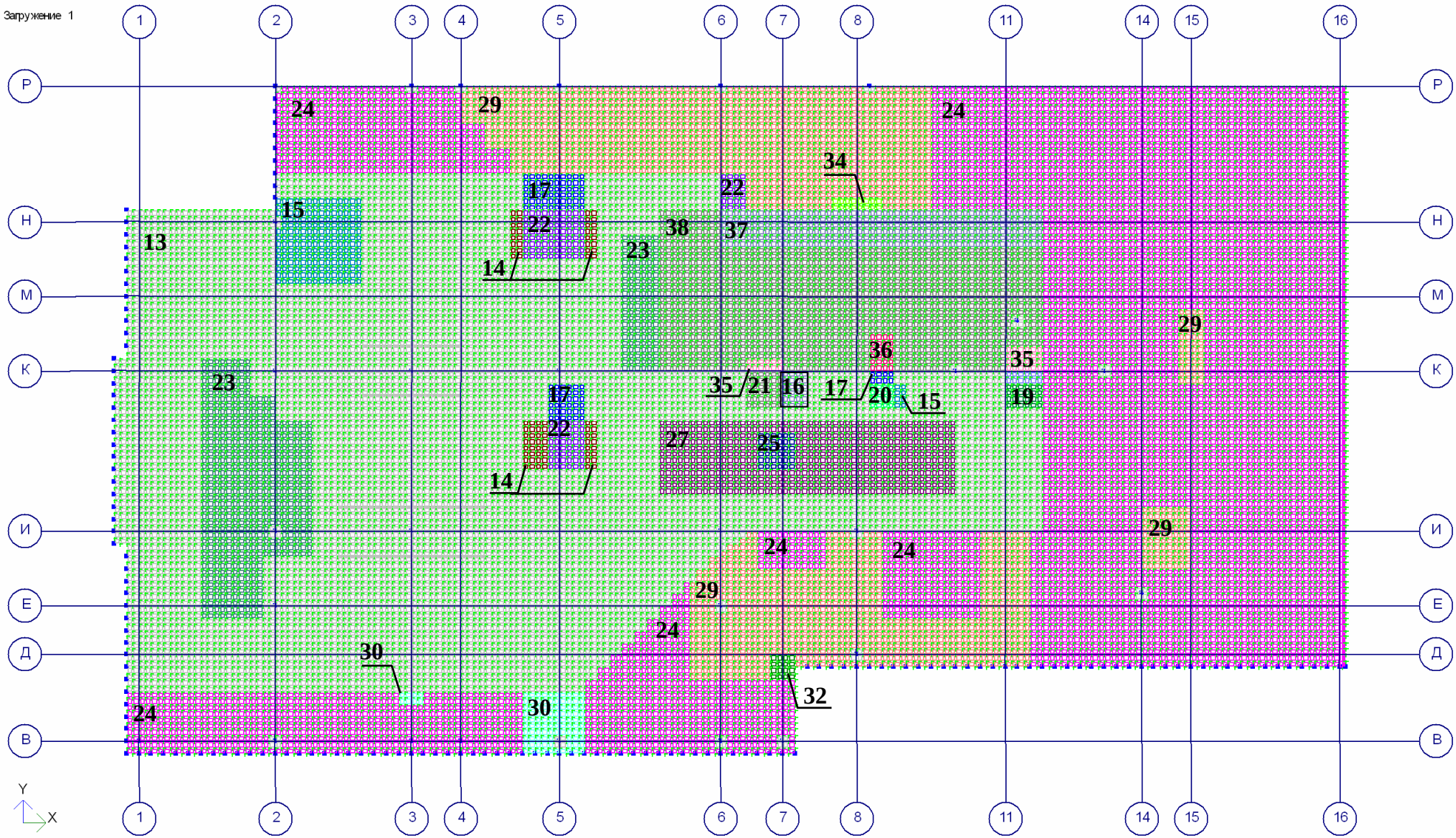

Рис. 3.16. Жесткости пластинчатых элементов ФП

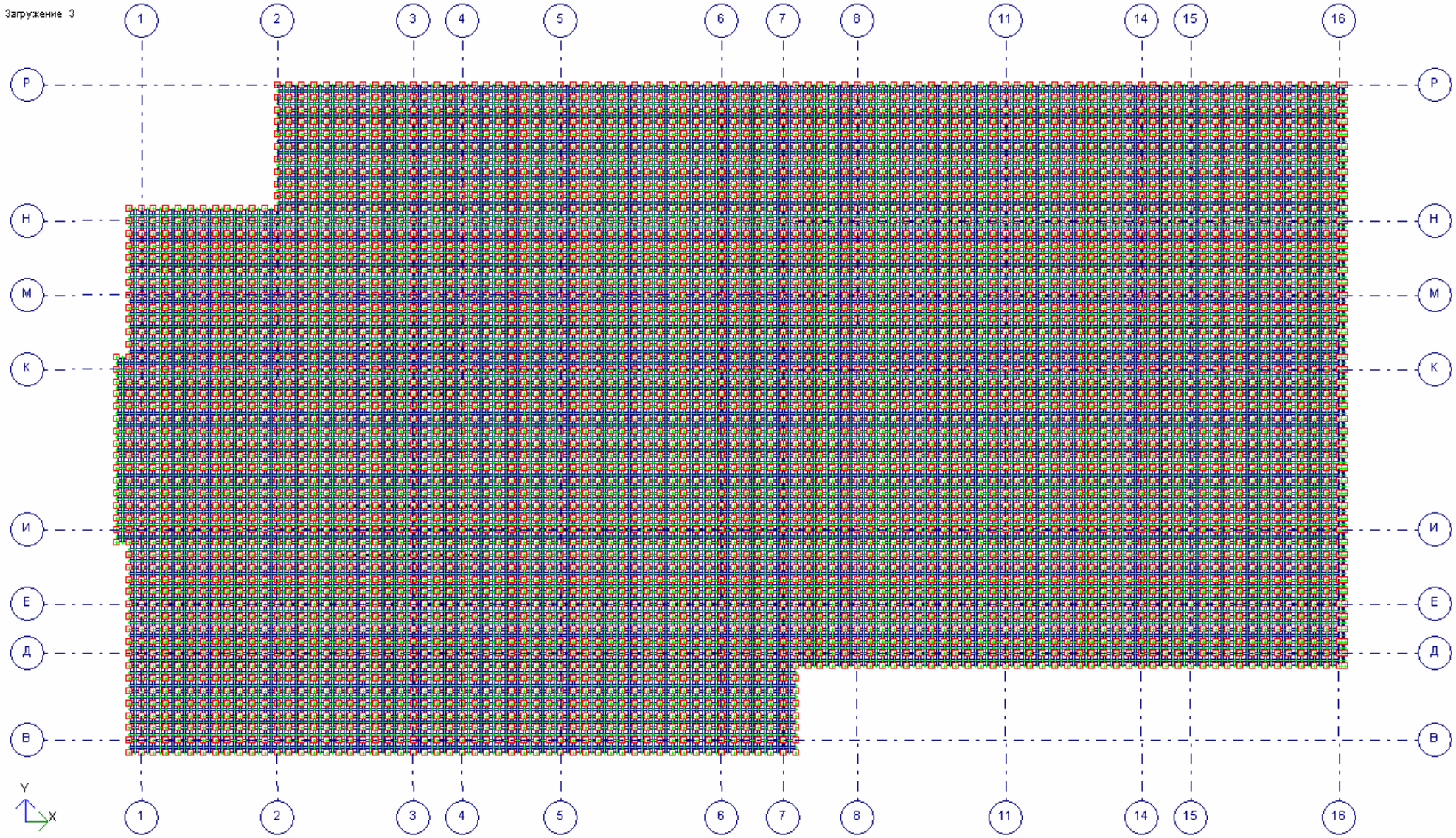

Рис. 3.17. Расположение КЭ 51 на ФП

Принятые характеристики материалов: диаграмма растяжения-сжатия бетона трехлинейная при продолжительном действии нагрузки по СП 52-101-2003, п. 5.1.23, класс бетона В25. Горизонтальный участок диаграммы заменен наклонным путем корректировки (обозначения по СП 52-101-2003): σ_{b0} = 0,95R_b, σ_{bt0} = 0,95R_{bt}. Фрагмент окна ввода диаграммы показан на рис. 3.18. Диаграмма растяжения-сжатия арматуры принимается экспоненциальная, с предельным напряже-

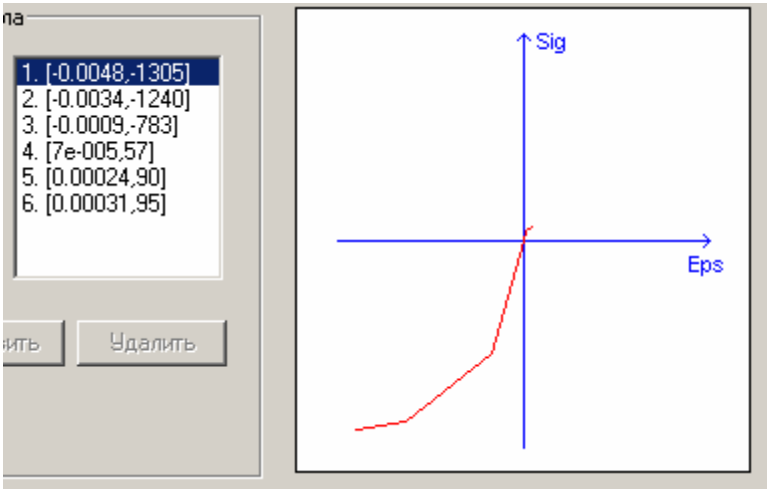

Рис. 3.18

нием, равным расчетному сопротивлению R_s. Последняя величина принята для арматуры А-III по СНиП 2.03.01-84*. Фрагмент окна ввода диаграммы показан на рис. 3.19. Точно такая же диаграмма состояния задана для основного материала

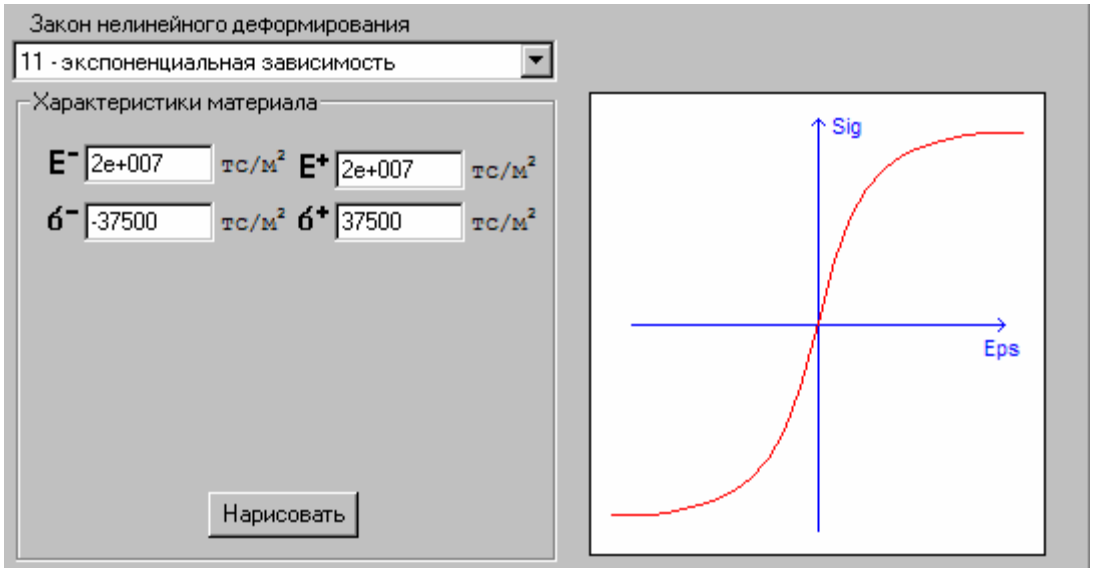

Рис. 3.19

балки, подкрепляющей ФП, армирующий материал для балки не назначался. Геометрические характеристики балки, введенные в модель, показаны на рис. 3.20.

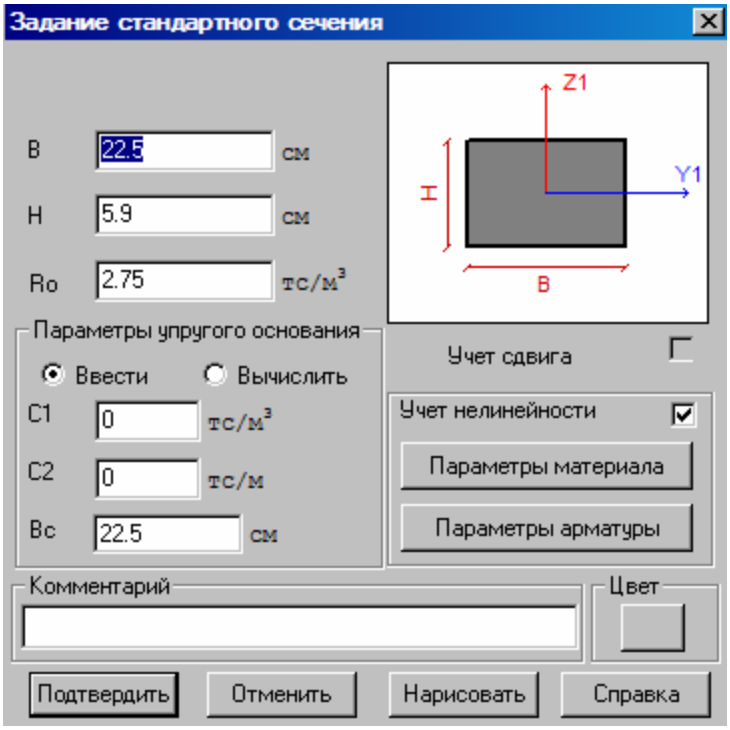

Рис. 3.20

Список жесткостей, взятый из файла данных U1_02.U1, имеет вид:

```
 ( 3/
1 3.060E+006  0.167    0.3 /
2 3.060E+006  0.167    0.2 /
3 3.060E+006  0.167   0.25 /
4 S0 3.060E+006     40     40/
5 S0 3.060E+006     50     50/
6 S0 3.060E+006      1      1/
7 S0 3.060E+006     60     60/
8 S0 3.060E+006     12     18/
9 3.060E+006  0.167    0.3 /
10 3.060E+006  0.167    0.2 /
11 GENE14/
0 -0.0048  -1305 -0.0034  -1240/
0 -0.0009   -783 7e-005     57/
0 0.00024     90 0.00031     95/
0 NA11 /0 2e+007 -37500 2e+007  37500/
0 SA2 /0  0.245  0.245    -60 /0  0.245  0.245     60 /
0 DEL=   1.3 /
0 NU= 0.167 /
12 GENE14/
0 -0.0048  -1305 -0.0034  -1240/
0 -0.0009   -783 7e-005     57/
0 0.00024     90 0.00031     95/
0 NA11 /0 2e+007 -37500 2e+007  37500/
0 SA2 /0  0.245  0.245    -60 /0  0.245  0.245     60 /0      0  0.245    -60 /
0 DEL=   1.3 /
0 NU= 0.167 /
13 GENE14/
0 -0.0048  -1305 -0.0034  -1240/
0 -0.0009   -783 7e-005     57/
0 0.00024     90 0.00031     95/
0 NA11 /0 2e+007 -37500 2e+007  37500/
0 SA2 /0  0.245  0.245    -60 /0  0.245  0.245     60 /0      0  0.077    -60 /
0 DEL=   1.3 /
```

```
0 NU= 0.167 /
14 GENE14/
0 -0.0048  -1305 -0.0034  -1240/
0 -0.0009   -783 7e-005     57/
0 0.00024     90 0.00031     95/
0 NA11 /0 2e+007 -37500 2e+007  37500/
0 SA2 /0  0.245  0.245    -60 /0  0.245  0.245     60 /0      0  0.126    -60 /
0 DEL=   1.3 /
0 NU= 0.167 /
15 GENE14/
0 -0.0048  -1305 -0.0034  -1240/
0 -0.0009   -783 7e-005     57/
0 0.00024     90 0.00031     95/
0 NA11 /0 2e+007 -37500 2e+007  37500/
0 SA2 /0  0.245  0.245    -60 /0  0.245  0.245     60 /0  0.245      0    -60 /
0 DEL=   1.3 /
0 NU= 0.167 /
16 GENE14/
0 -0.0048  -1305 -0.0034  -1240/
0 -0.0009   -783 7e-005     57/
0 0.00024     90 0.00031     95/
0 NA11 /0 2e+007 -37500 2e+007  37500/
0 SA2 /0  0.245  0.245    -60 /0  0.245  0.245     60 /0  0.126      0    -60 /
0 DEL=   1.3 /
0 NU= 0.167 /
17 GENE14/
0 -0.0048  -1305 -0.0034  -1240/
0 -0.0009   -783 7e-005     57/
0 0.00024     90 0.00031     95/
0 NA11 /0 2e+007 -37500 2e+007  37500/
0 SA2 /0  0.245  0.245    -60 /0  0.245  0.245     60 /0  0.126  0.077    -60 /
0 DEL=   1.3 /
0 NU= 0.167 /
18 GENE14/
0 -0.0048  -1305 -0.0034  -1240/
0 -0.0009   -783 7e-005     57/
0 0.00024     90 0.00031     95/
0 NA11 /0 2e+007 -37500 2e+007  37500/
0 SA2 /0  0.245  0.245    -60 /0  0.245  0.245     60 /0  0.245  0.077    -60 /
0 DEL=   1.3 /
0 NU= 0.167 /
19 GENE14/
0 -0.0048  -1305 -0.0034  -1240/
0 -0.0009   -783 7e-005     57/
0 0.00024     90 0.00031     95/
0 NA11 /0 2e+007 -37500 2e+007  37500/
0 SA2 /0  0.245  0.245    -60 /0  0.245  0.245     60 /0  0.126  0.126    -60 /
0 DEL=   1.3 /
0 NU= 0.167 /
20 GENE14/
0 -0.0048  -1305 -0.0034  -1240/
0 -0.0009   -783 7e-005     57/
0 0.00024     90 0.00031     95/
0 NA11 /0 2e+007 -37500 2e+007  37500/
0 SA2 /0  0.245  0.245    -60 /0  0.245  0.245     60 /0  0.245  0.245    -60 /
0 DEL=   1.3 /
0 NU= 0.167 /
21 GENE14/
0 -0.0048  -1305 -0.0034  -1240/
0 -0.0009   -783 7e-005     57/
0 0.00024     90 0.00031     95/
0 NA11 /0 2e+007 -37500 2e+007  37500/
0 SA2 /0  0.245  0.245    -60 /0  0.245  0.245     60 /0      0  0.077     60 /
0 DEL=   1.3 /
```

```
0 NU= 0.167 /
22 GENE14/
0 -0.0048  -1305 -0.0034  -1240/
0 -0.0009   -783 7e-005     57/
0 0.00024     90 0.00031     95/
0 NA11 /0 2e+007 -37500 2e+007  37500/
0 SA2 /0  0.245  0.245    -60 /0  0.245  0.245     60 /
0 DEL=   1.3 /
0 NU= 0.167 /
23 GENE14/
0 -0.0048  -1305 -0.0034  -1240/
0 -0.0009   -783 7e-005     57/
0 0.00024     90 0.00031     95/
0 NA11 /0 2e+007 -37500 2e+007  37500/
0 SA2 /0  0.245  0.245    -60 /0  0.245  0.245     60 /0       0  0.245    -60 /0
0.101      0     60 /
0 DEL=   1.3 /
0 NU= 0.167 /
24 3 2.000E+002 /
25 GENE14/
0 -0.0048  -1305 -0.0034  -1240/
0 -0.0009   -783 7e-005     57/
0 0.00024     90 0.00031     95/
0 NA11 /0 2e+007 -37500 2e+007  37500/
0 SA2 /0  0.245  0.245    -60 /0  0.245  0.245     60 /0  0.101      0     60 /
0 DEL=   1.3 /
0 NU= 0.167 /
26 2.000E+008  0.167   0.21 /
27 GENE14/
0 -0.0048  -1305 -0.0034  -1240/
0 -0.0009   -783 7e-005     57/
0 0.00024     90 0.00031     95/
0 NA11 /0 2e+007 -37500 2e+007  37500/
0 SA2 /0  0.245  0.245    -60 /0  0.245  0.245     60 /0      0  0.245    -60 /
0 DEL=   1.3 /
0 NU= 0.167 /
28 GENE14/
0 -0.0048  -1305 -0.0034  -1240/
0 -0.0009   -783 7e-005     57/
0 0.00024     90 0.00031     95/
0 NA11 /0 2e+007 -37500 2e+007  37500/
0 SA2 /0  0.245  0.245    -60 /0  0.245  0.245     60 /0      0  0.077    -60 /
0 DEL=   1.3 /
0 NU= 0.167 /
29 GENE14/
0 -0.0048  -1305 -0.0034  -1240/
0 -0.0009   -783 7e-005     57/
0 0.00024     90 0.00031     95/
0 NA11 /0 2e+007 -37500 2e+007  37500/
0 SA2 /0  0.245  0.245    -60 /0  0.245  0.245     60 /0  0.245  0.245    -60 /
0 DEL=   1.3 /
0 NU= 0.167 /
30 GENE14/
0 -0.0048  -1305 -0.0034  -1240/
0 -0.0009   -783 7e-005     57/
0 0.00024     90 0.00031     95/
0 NA11 /0 2e+007 -37500 2e+007  37500/
0 SA2 /0  0.245  0.245    -60 /0  0.245  0.245     60 /0      0  0.402    -60 /
0 DEL=   1.3 /
0 NU= 0.167 /
31 GENE14/
0 -0.0048  -1305 -0.0034  -1240/
0 -0.0009   -783 7e-005     57/
0 0.00024     90 0.00031     95/
```

```
0 NA11 /0 2e+007 -37500 2e+007  37500/
0 SA2 /0  0.245  0.245    -60 /0  0.245  0.245     60 /0  0.126      0    -60 /
0 DEL=   1.3 /
0 NU= 0.167 /
32 GENE14/
0 -0.0048  -1305 -0.0034  -1240/
0 -0.0009   -783 7e-005     57/
0 0.00024     90 0.00031     95/
0 NA11 /0 2e+007 -37500 2e+007  37500/
0 SA2 /0  0.245  0.245    -60 /0  0.245  0.245     60 /0  0.245      0    -60 /
0 DEL=   1.3 /
0 NU= 0.167 /
33 GENE14/
0 -0.0048  -1305 -0.0034  -1240/
0 -0.0009   -783 7e-005     57/
0 0.00024     90 0.00031     95/
0 NA11 /0 2e+007 -37500 2e+007  37500/
0 SA2 /0  0.245  0.245    -60 /0  0.245  0.245     60 /0  0.245  0.245    -60 /
0 DEL=   1.3 /
0 NU= 0.167 /
34 GENE14/
0 -0.0048  -1305 -0.0034  -1240/
0 -0.0009   -783 7e-005     57/
0 0.00024     90 0.00031     95/
0 NA11 /0 2e+007 -37500 2e+007  37500/
0 SA2 /0  0.245  0.245    -60 /0  0.245  0.245     60 /
0 DEL=   1.3 /
0 NU= 0.167 /
36 S100   22.5    5.9/
0 NB11/0 2e+007 -37500 2e+007  37500/
0 DS2 5 5 /
0 AX      0      0 AY      0      0 AZ  -0.37  -0.37 /
0 TW 0/

 )
```

Для организации пошагового нелинейного расчета в модели U1.lir загружения 1—5 прикладываются последовательно с учетом предыстории нарастания нагрузки. Каждое загружение реализуется в 32 равномерных шага приращения нагрузки, причем для загружений 1, 2, 3 принят коэффициент сочетания 1, для загружений 4 и 5 — коэффициент 0,35. Таблица нелинейных загружений из файла данных U1_02.U1, имеет вид:

```
16D      1L  ( 16/
  16D        1L   1 1 32 0 30 0   0.03125 0.03125 0.03125 0.03125 0.03125 0.03125
0.03125 0.03125 0.03125
  16D       1L    0.03125 0.03125 0.03125 0.03125 0.03125 0.03125 0.03125 0.03125
0.03125 0.03125
  16D       1L    0.03125 0.03125 0.03125 0.03125 0.03125 0.03125 0.03125 0.03125
0.03125 0.03125
  16D      1L   0.03125 0.03125 0.03125/
  16D        2L   2 1 32 0 30 1   0.03125 0.03125 0.03125 0.03125 0.03125 0.03125
0.03125 0.03125 0.03125
  16D       2L    0.03125 0.03125 0.03125 0.03125 0.03125 0.03125 0.03125 0.03125
0.03125 0.03125
  16D       2L    0.03125 0.03125 0.03125 0.03125 0.03125 0.03125 0.03125 0.03125
0.03125 0.03125
  16D      2L   0.03125 0.03125 0.03125/
  16D        3L   3 1 32 0 30 1   0.03125 0.03125 0.03125 0.03125 0.03125 0.03125
0.03125 0.03125 0.03125
```

```
  16D       3L    0.03125 0.03125 0.03125 0.03125 0.03125 0.03125 0.03125 0.03125
0.03125 0.03125
  16D       3L    0.03125 0.03125 0.03125 0.03125 0.03125 0.03125 0.03125 0.03125
0.03125 0.03125
  16D      3L   0.03125 0.03125 0.03125/
  16D       4L   4 1 32 0 30 1  0.0109375 0.0109375 0.0109375 0.0109375 0.0109375
0.0109375 0.0109375 0.0109375 0.0109375
  16D         4L     0.0109375  0.0109375  0.0109375  0.0109375  0.0109375  0.0109375
0.0109375 0.0109375 0.0109375 0.0109375
  16D         4L     0.0109375  0.0109375  0.0109375  0.0109375  0.0109375  0.0109375
0.0109375 0.0109375 0.0109375 0.0109375
  16D      4L   0.0109375 0.0109375 0.0109375/
  16D       5L   5 1 32 0 30 1  0.0109375 0.0109375 0.0109375 0.0109375 0.0109375
0.0109375 0.0109375 0.0109375 0.0109375
  16D         5L     0.0109375  0.0109375  0.0109375  0.0109375  0.0109375  0.0109375
0.0109375 0.0109375 0.0109375 0.0109375
  16D         5L     0.0109375  0.0109375  0.0109375  0.0109375  0.0109375  0.0109375
0.0109375 0.0109375 0.0109375 0.0109375
  16D      5L   0.0109375 0.0109375 0.0109375/
   0D          )
```

Для проверки адекватности модели U1.lir — в первую очередь, правильности представления внутренних усилий со стороны отсеченной части сооружения внешними нагрузками — были построены изополя усилий в фундаментной плите для РСН, образованного загружениями 1—5 с единичными коэффициентами. Эти схемы строились как по расчетам модели 015-17эт.lir, так и по модели U1.lir, причем в последней жесткость фундаментной плиты задавалась такой же, что и в модели 015-17эт.lir (только в этом расчете!). Изополя одноименных усилий при правильном задании нагрузок и представлении отпора грунта элементами типа 51 должны совпадать. Такое совпадение имеет место, что иллюстрируется схемами изгибающих моментов на рис. 3.21—3.24.

Рисунки исключены

Рис. 3.21. Изгибающие моменты M_x в ФП согласно модели 015-17эт.lir

Рис. 3.22. Изгибающие моменты M_x в ФП согласно модели U1.lir

Рис. 3.23. Изгибающие моменты M_y в ФП согласно модели 015-17эт.lir

Рис. 3.24. Изгибающие моменты M_y в ФП согласно модели U1.lir

3.4. Результаты моделирования: фаза 1 этапа 2 расчета

Протокол расчета:

```
                ПРОТОКОЛ  РАСЧЕТА  от  02/08/2011

                Version: 9.2, Processor date: 20/03/2006
                Computer: GenuineIntel 3GHz, RAM: 1046464 KB
                System: Microsoft Windows XP (Workstation), Version 5.1

17:56   65_     Фиксированная память - 256 МБ, виртуальная память - 876 МБ.
17:56  173_     Исходные данные.
    Файл D:\FALCHIKOVA\Мои документы\Модели Лиры\LDATA\U1.TXT
17:56  168_     Ввод исходных данных основной схемы.
17:57   10_     Формирование форматов данных.
17:57  466_     Контроль исходных данных _1. Суперэлемент типа 2000.
17:57   12_     Контроль исходных данных _2. Суперэлемент типа 2000.
17:57   98_     Из системы уравнений исключено 24966 неизвестных.
    X-0. Y-0. Z-0. UX-983. UY-1442. UZ-22541.
17:57    1_     Данные записаны в файл расчета
    D:\FALCHIKOVA\Мои документы\Модели Лиры\LWORK\U1#00.U1
17:57  523_     Упорядочение матрицы жесткости основной схемы.
                   Построение графа матрицы.
17:57  562_     Перенумерация в схеме
17:57  101_     Оптимизация времени  расчета суперэлемента 2000.
17:57  520_       Информация о расчетной схеме суперэлемента типа 2000.
         - порядок системы уравнений  161628
         - ширина ленты               134868
         - количество элементов       33509
         - количество узлов           26969
         - количество загружений      5
         - плотность матрицы          1%
         - количество суперузлов      0
         - размер виртуальной памяти  23488 Kb
         - дисковая память :          285.477 M
17:57  522_     Ресурсы необходимые для выполнения расчета
    1. Размер виртуальной памяти                    17 - 18  M
    2. Дисковая память :                            361.899 M
         форматы  данных                            65.000 M
         матрица жесткости основной схемы           285.477 M
         матрицы жесткости суперэлементов           0.000 M
         динамика (f04)                             0.000 M
         перемещения (f07)                          6.166 M
         усилия (f08)                               5.257 M
         реакции (f09)                              0.000 M
         расчетные сочетания (f10)                  0.000 M
    3. Ориентировочное время расчета 2.48 мин.
         Гаусс                       2.38 мин.
         динамика                    0.00 мин.
         расчетные сочетания         0.00 мин.
17:57   65_     Фиксированная память - 366 МБ, виртуальная память - 876 МБ.
17:57  359_     Загружение 1,Локальное загружение 1, шаг 1.
17:57  575_     Формирование матрицы жесткости основной схемы.
17:58  578_     Разложение матрицы жесткости основной схемы.
                  Ориентировочное время работы 3 мин.
18:00  502_     Накопление нагрузок основной схемы.
18:00   37_     Суммарные узловые нагрузки на основную схему
             X         Y         Z         UX        UY        UZ
   1-     2.700     2.618     6.515+2   9.331-2   8.036-1   2.110-2
18:00  586_     Вычисление усилий в основной схеме.
18:00  359_     Загружение 1,Локальное загружение 1, шаг 2.
18:00  575_     Формирование матрицы жесткости основной схемы.
```

```
18:01  578_    Разложение матрицы жесткости основной схемы.
                 Ориентировочное время работы 3 мин.
18:03  502_    Накопление нагрузок основной схемы.
18:03   37_    Суммарные узловые нагрузки на основную схему
            X         Y         Z         UX        UY        UZ
   1-     2.700     2.618     6.515+2   9.331-2   8.036-1   2.110-2
18:03  586_    Вычисление усилий в основной схеме.

. . .

19:27  359_    Загружение 1,Локальное загружение 1, шаг 31.
19:27  575_    Формирование матрицы жесткости основной схемы.
19:27  578_    Разложение матрицы жесткости основной схемы.
                 Ориентировочное время работы 3 мин.
19:30  502_    Накопление нагрузок основной схемы.
19:30   37_    Суммарные узловые нагрузки на основную схему
            X         Y         Z         UX        UY        UZ
   1-     2.700     2.618     6.515+2   9.331-2   8.036-1   2.110-2
19:30  586_    Вычисление усилий в основной схеме.
19:30  366_       Вывод сведений о состоянии материала.
19:30  359_    Загружение 1,Локальное загружение 1, шаг 32.
19:30  575_    Формирование матрицы жесткости основной схемы.
19:30  578_    Разложение матрицы жесткости основной схемы.
                 Ориентировочное время работы 3 мин.
19:32  502_    Накопление нагрузок основной схемы.
19:33   37_    Суммарные узловые нагрузки на основную схему
            X         Y         Z         UX        UY        UZ
   1-     2.700     2.618     6.515+2   9.331-2   8.036-1   2.110-2
19:33  586_    Вычисление усилий в основной схеме.
19:33  366_       Вывод сведений о состоянии материала.
19:33   62_    Суммарный коэффициент к нагрузке 1.0000.
19:33  359_    Загружение 1,Локальное загружение 2, шаг 1.
19:33  575_    Формирование матрицы жесткости основной схемы.
19:33  578_    Разложение матрицы жесткости основной схемы.
                 Ориентировочное время работы 3 мин.
19:35  502_    Накопление нагрузок основной схемы.
19:36   37_    Суммарные узловые нагрузки на основную схему
            X         Y         Z         UX        UY        UZ
   2-    -1.863+1  -2.753     1.346+2   3.809    -4.713-1  -6.093-2
19:36  586_    Вычисление усилий в основной схеме.
19:36  366_       Вывод сведений о состоянии материала.
19:36  359_    Загружение 1,Локальное загружение 2, шаг 2.
19:36  575_    Формирование матрицы жесткости основной схемы.
19:36  578_    Разложение матрицы жесткости основной схемы.
                 Ориентировочное время работы 3 мин.
19:38  502_    Накопление нагрузок основной схемы.
19:39   37_    Суммарные узловые нагрузки на основную схему
            X         Y         Z         UX        UY        UZ
   2-    -1.863+1  -2.753     1.346+2   3.809    -4.713-1  -6.093-2
19:39  586_    Вычисление усилий в основной схеме.
19:39  366_       Вывод сведений о состоянии материала.

. . .

21:02  359_    Загружение 1,Локальное загружение 2, шаг 31.
21:02  575_    Формирование матрицы жесткости основной схемы.
21:03  578_    Разложение матрицы жесткости основной схемы.
                 Ориентировочное время работы 3 мин.
21:05  502_    Накопление нагрузок основной схемы.
21:05   37_    Суммарные узловые нагрузки на основную схему
            X         Y         Z         UX        UY        UZ
   2-    -1.863+1  -2.753     1.346+2   3.809    -4.713-1  -6.093-2
21:05  586_    Вычисление усилий в основной схеме.
21:05  366_       Вывод сведений о состоянии материала.
```

```
21:05  359_    Загружение 1,Локальное загружение 2, шаг 32.
21:05  575_    Формирование матрицы жесткости основной схемы.
21:06  578_    Разложение матрицы жесткости основной схемы.
                 Ориентировочное время работы 3 мин.
21:08  502_    Накопление нагрузок основной схемы.
21:08   37_    Суммарные узловые нагрузки на основную схему
            X         Y         Z         UX        UY        UZ
   2-    -1.863+1  -2.753     1.346+2   3.809    -4.713-1  -6.093-2
21:08  586_    Вычисление усилий в основной схеме.
21:08  366_       Вывод сведений о состоянии материала.
21:08   62_    Суммарный коэффициент к нагрузке 1.0000.
21:08  359_    Загружение 1,Локальное загружение 3, шаг 1.
21:08  575_    Формирование матрицы жесткости основной схемы.
21:09  578_    Разложение матрицы жесткости основной схемы.
                 Ориентировочное время работы 3 мин.
21:11  502_    Накопление нагрузок основной схемы.
21:11   37_    Суммарные узловые нагрузки на основную схему
            X         Y         Z         UX        UY        UZ
   3-     1.558-1   1.006-1   2.503+1  -2.859-2   9.444-2  -1.094-4
21:11  586_    Вычисление усилий в основной схеме.
21:11  366_       Вывод сведений о состоянии материала.
21:11  359_    Загружение 1,Локальное загружение 3, шаг 2.
21:11  575_    Формирование матрицы жесткости основной схемы.
21:12  578_    Разложение матрицы жесткости основной схемы.
                 Ориентировочное время работы 3 мин.
21:14  502_    Накопление нагрузок основной схемы.
21:14   37_    Суммарные узловые нагрузки на основную схему
            X         Y         Z         UX        UY        UZ
   3-     1.558-1   1.006-1   2.503+1  -2.859-2   9.444-2  -1.094-4
21:14  586_    Вычисление усилий в основной схеме.
21:14  366_       Вывод сведений о состоянии материала.

. . .

22:38  359_    Загружение 1,Локальное загружение 3, шаг 31.
22:38  575_    Формирование матрицы жесткости основной схемы.
22:38  578_    Разложение матрицы жесткости основной схемы.
                 Ориентировочное время работы 3 мин.
22:40  502_    Накопление нагрузок основной схемы.
22:40   37_    Суммарные узловые нагрузки на основную схему
            X         Y         Z         UX        UY        UZ
   3-     1.558-1   1.006-1   2.503+1  -2.859-2   9.444-2  -1.094-4
22:41  586_    Вычисление усилий в основной схеме.
22:41  366_       Вывод сведений о состоянии материала.
22:41  359_    Загружение 1,Локальное загружение 3, шаг 32.
22:41  575_    Формирование матрицы жесткости основной схемы.
22:41  578_    Разложение матрицы жесткости основной схемы.
                 Ориентировочное время работы 3 мин.
22:43  502_    Накопление нагрузок основной схемы.
22:43   37_    Суммарные узловые нагрузки на основную схему
            X         Y         Z         UX        UY        UZ
   3-     1.558-1   1.006-1   2.503+1  -2.859-2   9.444-2  -1.094-4
22:44  586_    Вычисление усилий в основной схеме.
22:44  366_       Вывод сведений о состоянии материала.
22:44   62_    Суммарный коэффициент к нагрузке 1.0000.
22:44  359_    Загружение 1,Локальное загружение 4, шаг 1.
22:44  575_    Формирование матрицы жесткости основной схемы.
22:44  578_    Разложение матрицы жесткости основной схемы.
                 Ориентировочное время работы 3 мин.
22:46  502_    Накопление нагрузок основной схемы.
22:46   37_    Суммарные узловые нагрузки на основную схему
            X         Y         Z         UX        UY        UZ
   4-     1.147-1   1.677-1   3.847+1  -2.543-2   2.675-2  -5.777-5
22:47  586_    Вычисление усилий в основной схеме.
```

```
22:47  366_       Вывод сведений о состоянии материала.
22:47  359_    Загружение 1,Локальное загружение 4, шаг 2.
22:47  575_    Формирование матрицы жесткости основной схемы.
22:47  578_    Разложение матрицы жесткости основной схемы.
                 Ориентировочное время работы 3 мин.
22:49  502_    Накопление нагрузок основной схемы.
22:49   37_    Суммарные узловые нагрузки на основную схему
            X         Y         Z         UX        UY        UZ
   4-     1.147-1   1.677-1   3.847+1  -2.543-2   2.675-2  -5.777-5
22:50  586_    Вычисление усилий в основной схеме.
22:50  366_       Вывод сведений о состоянии материала.

. . .

00:13  359_    Загружение 1,Локальное загружение 4, шаг 31.
00:13  575_    Формирование матрицы жесткости основной схемы.
00:14  578_    Разложение матрицы жесткости основной схемы.
                 Ориентировочное время работы 3 мин.
00:16  502_    Накопление нагрузок основной схемы.
00:16   37_    Суммарные узловые нагрузки на основную схему
            X         Y         Z         UX        UY        UZ
   4-     1.147-1   1.677-1   3.847+1  -2.543-2   2.675-2  -5.777-5
00:16  586_    Вычисление усилий в основной схеме.
00:16  366_       Вывод сведений о состоянии материала.
00:16  359_    Загружение 1,Локальное загружение 4, шаг 32.
00:16  575_    Формирование матрицы жесткости основной схемы.
00:16  578_    Разложение матрицы жесткости основной схемы.
                 Ориентировочное время работы 3 мин.
00:19  502_    Накопление нагрузок основной схемы.
00:19   37_    Суммарные узловые нагрузки на основную схему
            X         Y         Z         UX        UY        UZ
   4-     1.147-1   1.677-1   3.847+1  -2.543-2   2.675-2  -5.777-5
00:19  586_    Вычисление усилий в основной схеме.
00:19  366_       Вывод сведений о состоянии материала.
00:19   62_    Суммарный коэффициент к нагрузке 0.3500.
00:19  359_    Загружение 1,Локальное загружение 5, шаг 1.
00:19  575_    Формирование матрицы жесткости основной схемы.
00:19  578_    Разложение матрицы жесткости основной схемы.
                 Ориентировочное время работы 3 мин.
00:22  502_    Накопление нагрузок основной схемы.
00:22   37_    Суммарные узловые нагрузки на основную схему
            X         Y         Z         UX        UY        UZ
   5-     1.234-2   5.527-2   6.630    -4.443-3  -2.373-3   4.484-4
00:22  586_    Вычисление усилий в основной схеме.
00:22  366_       Вывод сведений о состоянии материала.
00:22  359_    Загружение 1,Локальное загружение 5, шаг 2.
00:22  575_    Формирование матрицы жесткости основной схемы.
00:22  578_    Разложение матрицы жесткости основной схемы.
                 Ориентировочное время работы 3 мин.
00:25  502_    Накопление нагрузок основной схемы.
00:25   37_    Суммарные узловые нагрузки на основную схему
            X         Y         Z         UX        UY        UZ
   5-     1.234-2   5.527-2   6.630    -4.443-3  -2.373-3   4.484-4
00:25  586_    Вычисление усилий в основной схеме.
00:25  366_       Вывод сведений о состоянии материала.

. . .

01:48  359_    Загружение 1,Локальное загружение 5, шаг 31.
01:48  575_    Формирование матрицы жесткости основной схемы.
01:49  578_    Разложение матрицы жесткости основной схемы.
                 Ориентировочное время работы 3 мин.
01:51  502_    Накопление нагрузок основной схемы.
01:51   37_    Суммарные узловые нагрузки на основную схему
```

```
            X         Y         Z         UX        UY        UZ
   5-     1.234-2   5.527-2   6.630    -4.443-3  -2.373-3   4.484-4
01:51  586_    Вычисление усилий в основной схеме.
01:51  366_       Вывод сведений о состоянии материала.
01:51  359_    Загружение 1,Локальное загружение 5, шаг 32.
01:51  575_    Формирование матрицы жесткости основной схемы.
01:52  578_    Разложение матрицы жесткости основной схемы.
                 Ориентировочное время работы 3 мин.
01:54  502_    Накопление нагрузок основной схемы.
01:54   37_    Суммарные узловые нагрузки на основную схему
            X         Y         Z         UX        UY        UZ
   5-     1.234-2   5.527-2   6.630    -4.443-3  -2.373-3   4.484-4
01:54  586_    Вычисление усилий в основной схеме.
01:54  366_       Вывод сведений о состоянии материала.
01:54   62_    Суммарный коэффициент к нагрузке 0.3500.
01:54   48_    Вывод перемещений.
01:54   73_    Вывод усилий.
01:54    7_    ЗАДАНИЕ  ВЫПОЛНЕНО.   Время расчета 478.25 мин.
```

Схемы разрушений представлены на рис. 3.25—3.26. Результаты расчета показывают отсутствие пластических шарниров в ФП за исключением зоны между осями 7—8 и М—Н. Однако согласно проекту эта часть существующей фундаментной плиты будет удалена и заново замоноличена. Поэтому армирование данной зоны следует выполнять по результатам линейного расчета, и наличие разрушений в ней не связано с работоспособностью реконструированного фундамента.

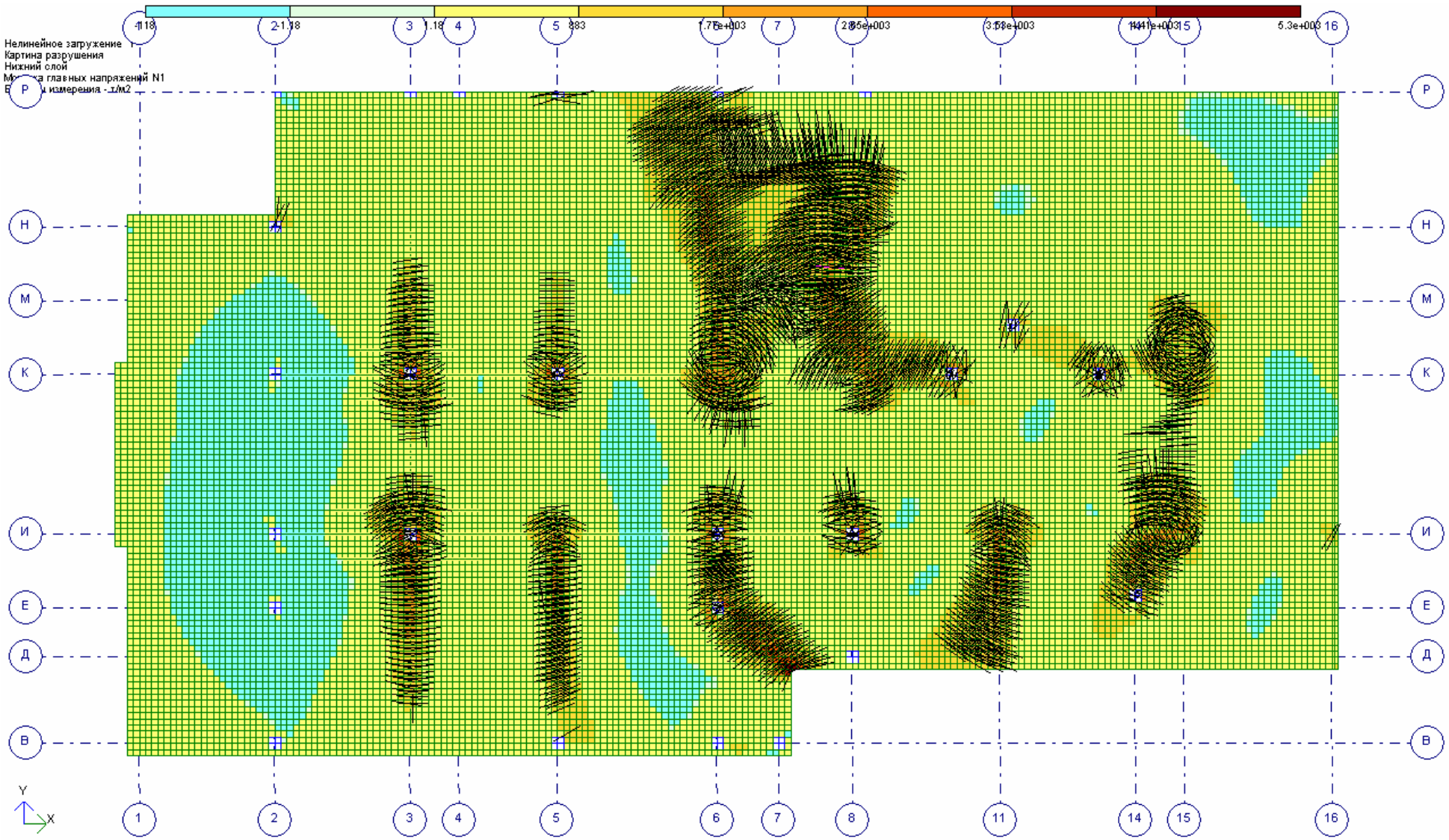

Рис. 3.25. Трещины и разрушения в нижнем слое ФП

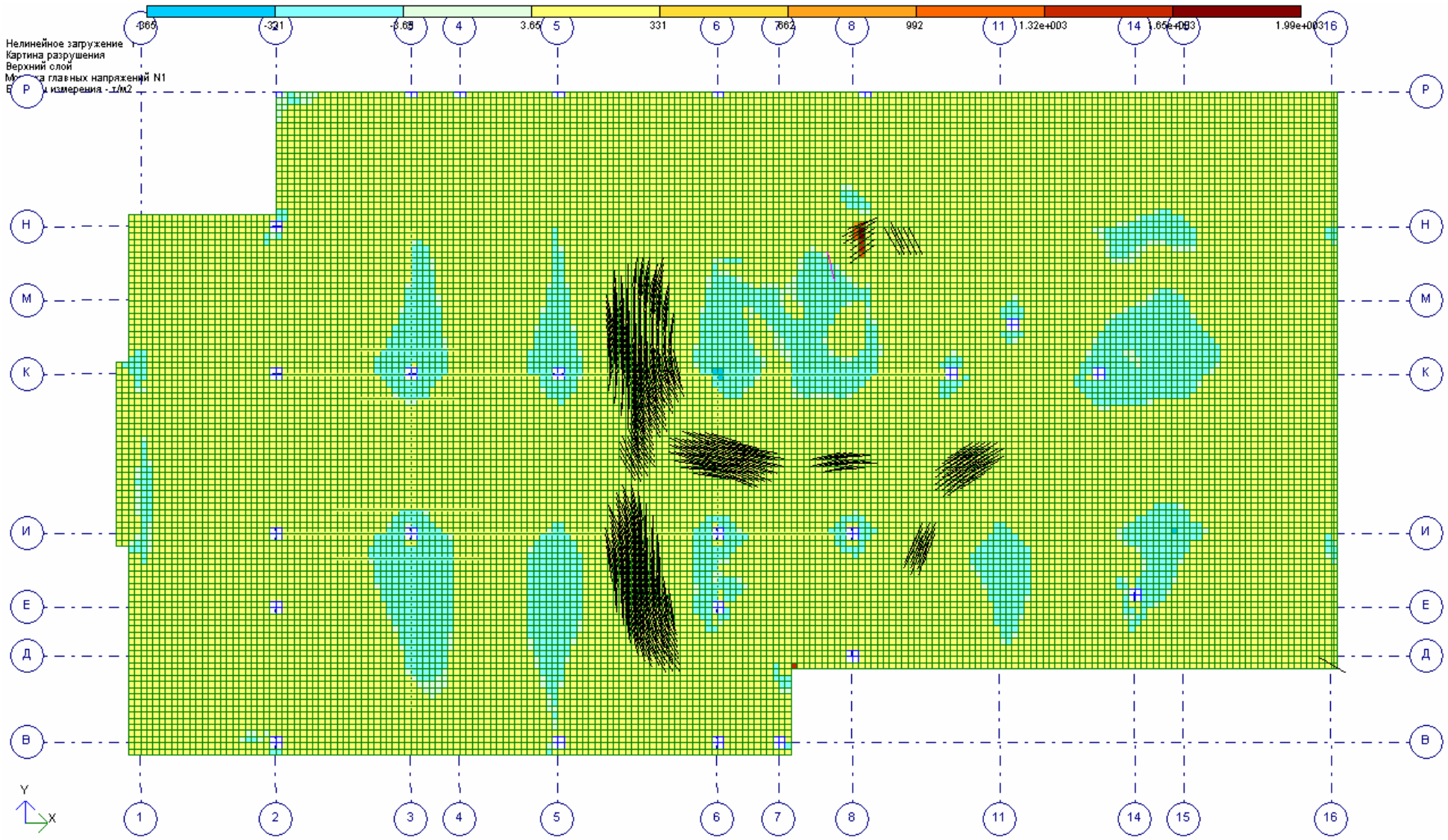

Рис. 3.26. Трещины и разрушения в верхнем слое ФП

3.5. Результаты моделирования: фаза 2 этапа 2 расчета

3.5.1. Основные результаты и цветовые схемы армирования

На рис. 3.27—3.30 показаны схемы армирования ФП по усилиям, установленным в нелинейном расчете. Контуром указана часть ФП, подлежащая усилению. Из рис. 3.27—3.28 можно видеть, что в направлении *Y* нижняя арматура, заложенная в существующую ФП, достаточна с учетом требований по трещиностойкости. В направлении *X* имеется некоторый дефицит армирования в элементах ФП, примыкающих к источникам нагрузки — вертикальным элементам. Оценка дефицита арматуры направления *X* проведена в подсистеме «Локальный ЛИР-АРМ». Элементы, экспортируемые в подсистему локального армирования, выделены на рис. 3.31. Расчет армирования этих элементов приводится ниже. Установлено, что нижняя арматура направления *X*, требуемая по расчету, не превышает по площади арматуры, заложенной в существующую ФП, более чем на 5%. Таким образом, существующая нижняя арматурная сетка с учетом подкреплений ФП обеспечивает работоспособность фундамента проектируемого дома.

Армирование вновь изготовленной части ФП, полученное по усилиям из нелинейного расчета, везде соответствует заложенной в модель арматуре.

Вывод: предложенная расстановка арматуры в новой части ФП совместно с балкой усиления в существующей ее части обеспечивает работоспособность фундамента по предельным состояниям 1 и 2 групп.

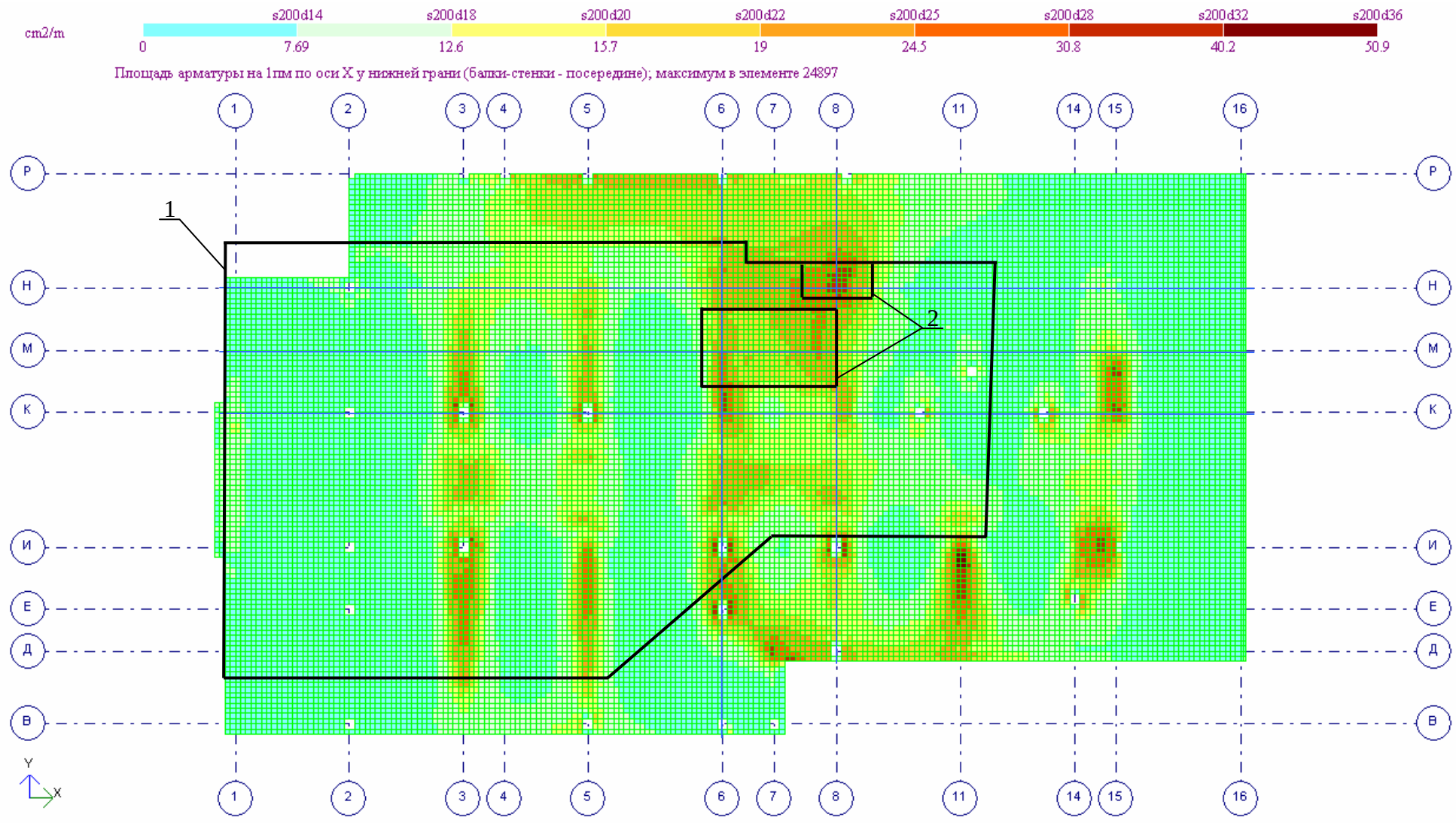

Рис. 3.27. Схема армирования по усилиям нелинейного расчета:
1 — контур существующей плиты;
2 — удаляемые участки плиты

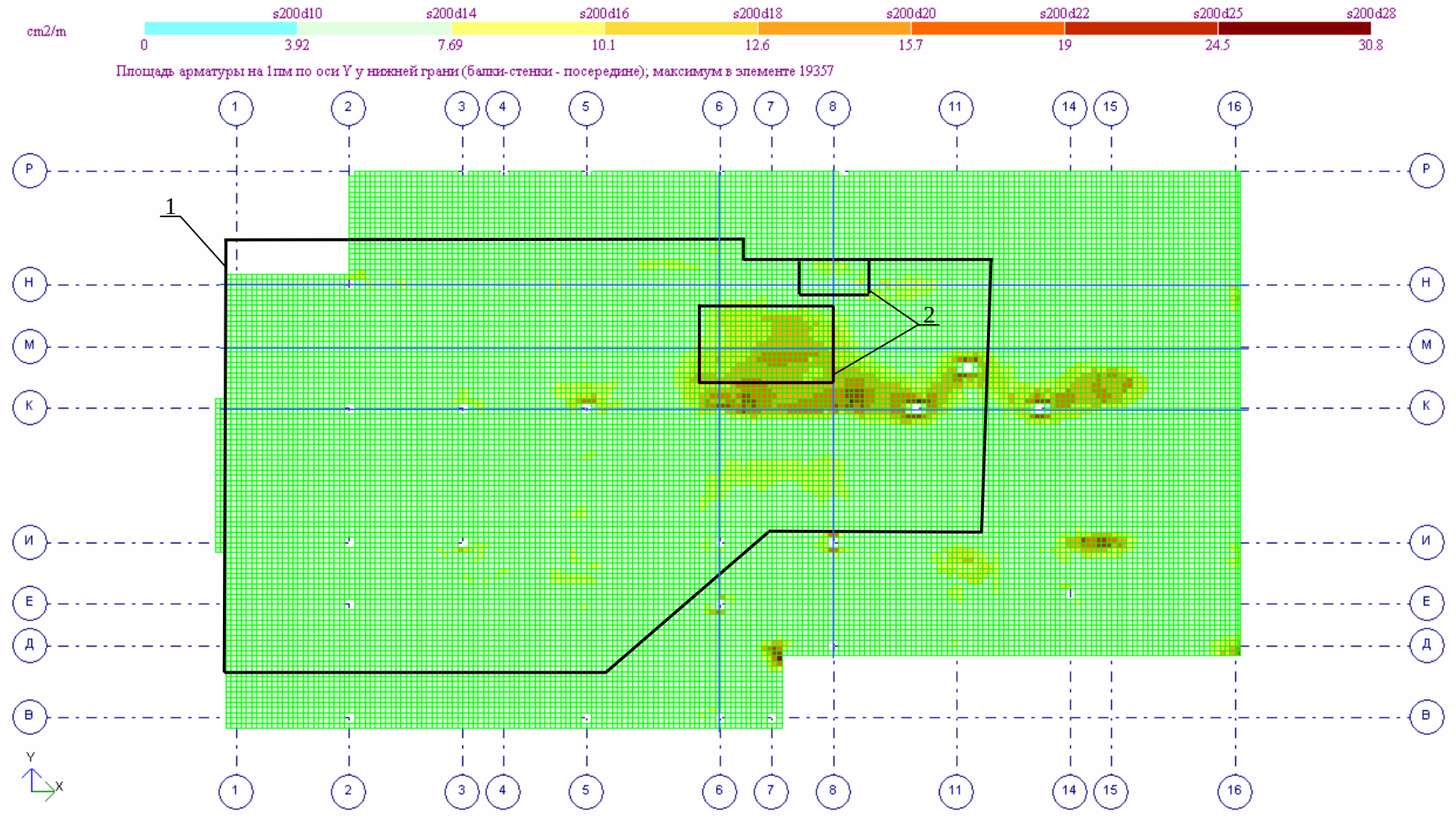

Рис. 3.28. Схема армирования по усилиям нелинейного расчета:
1 — контур существующей плиты;
2 — удаляемые участки плиты

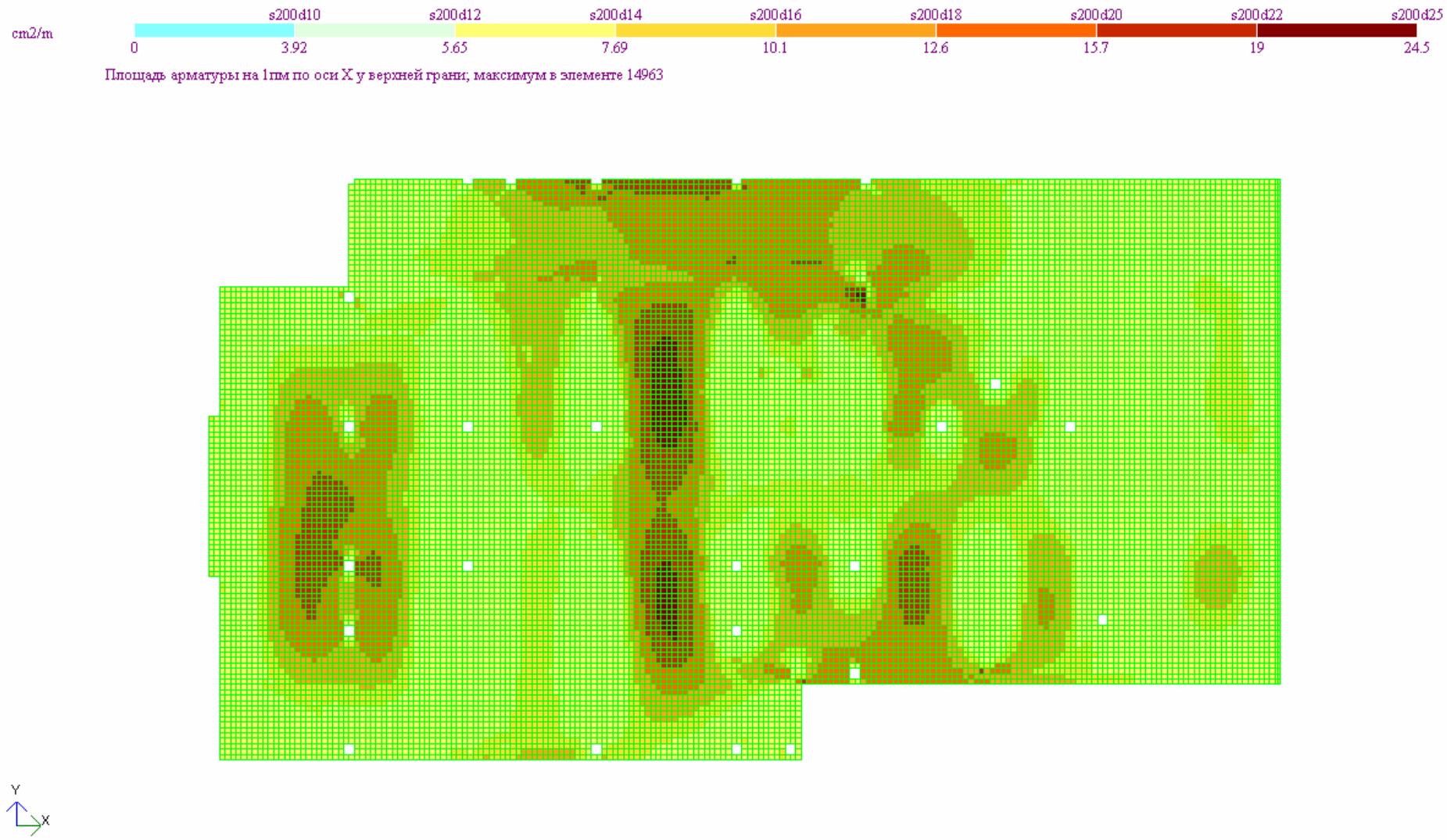

Рис. 3.29. Схема армирования по усилиям нелинейного расчета

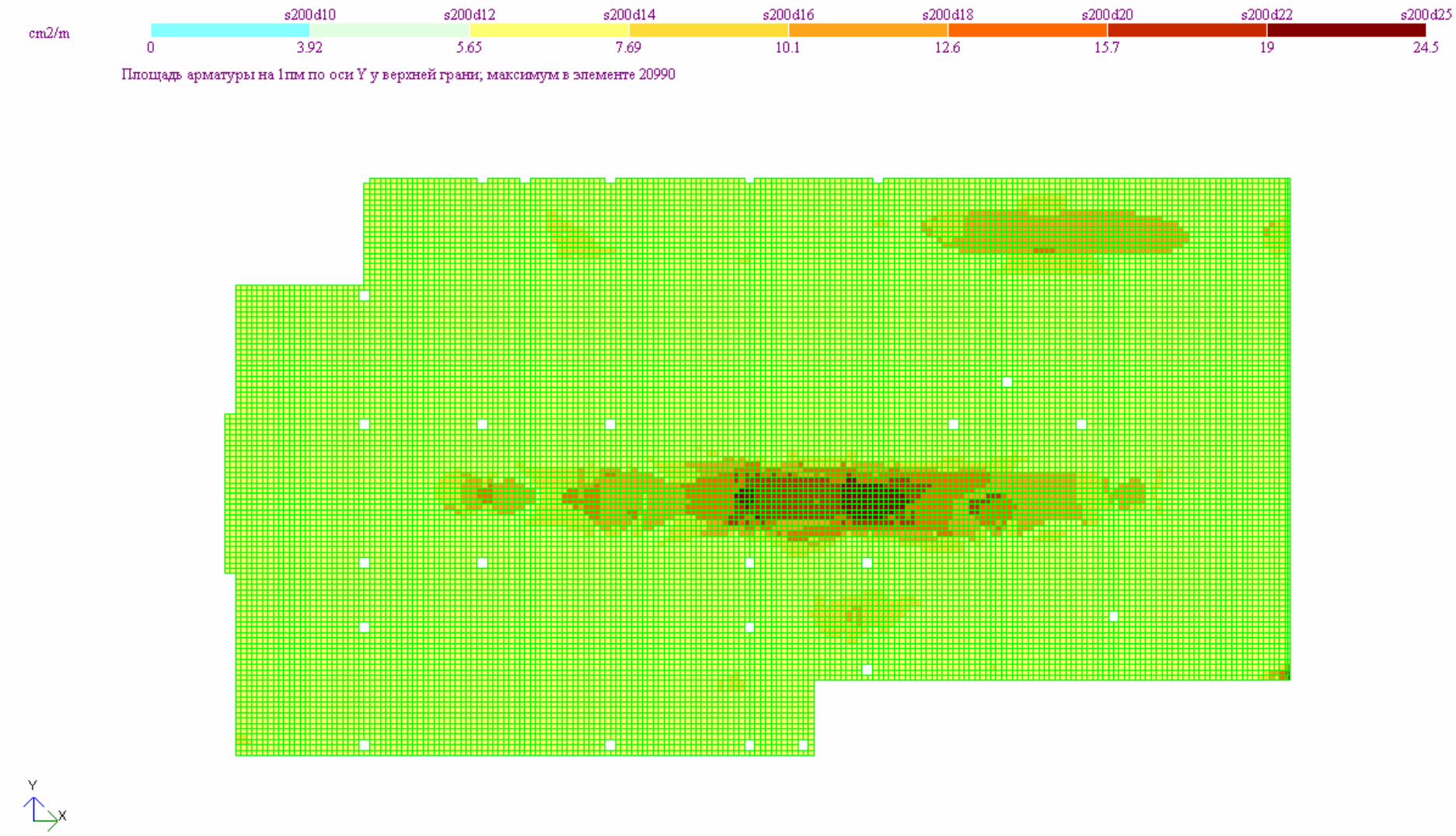

Рис. 3.30. Схема армирования по усилиям нелинейного расчета

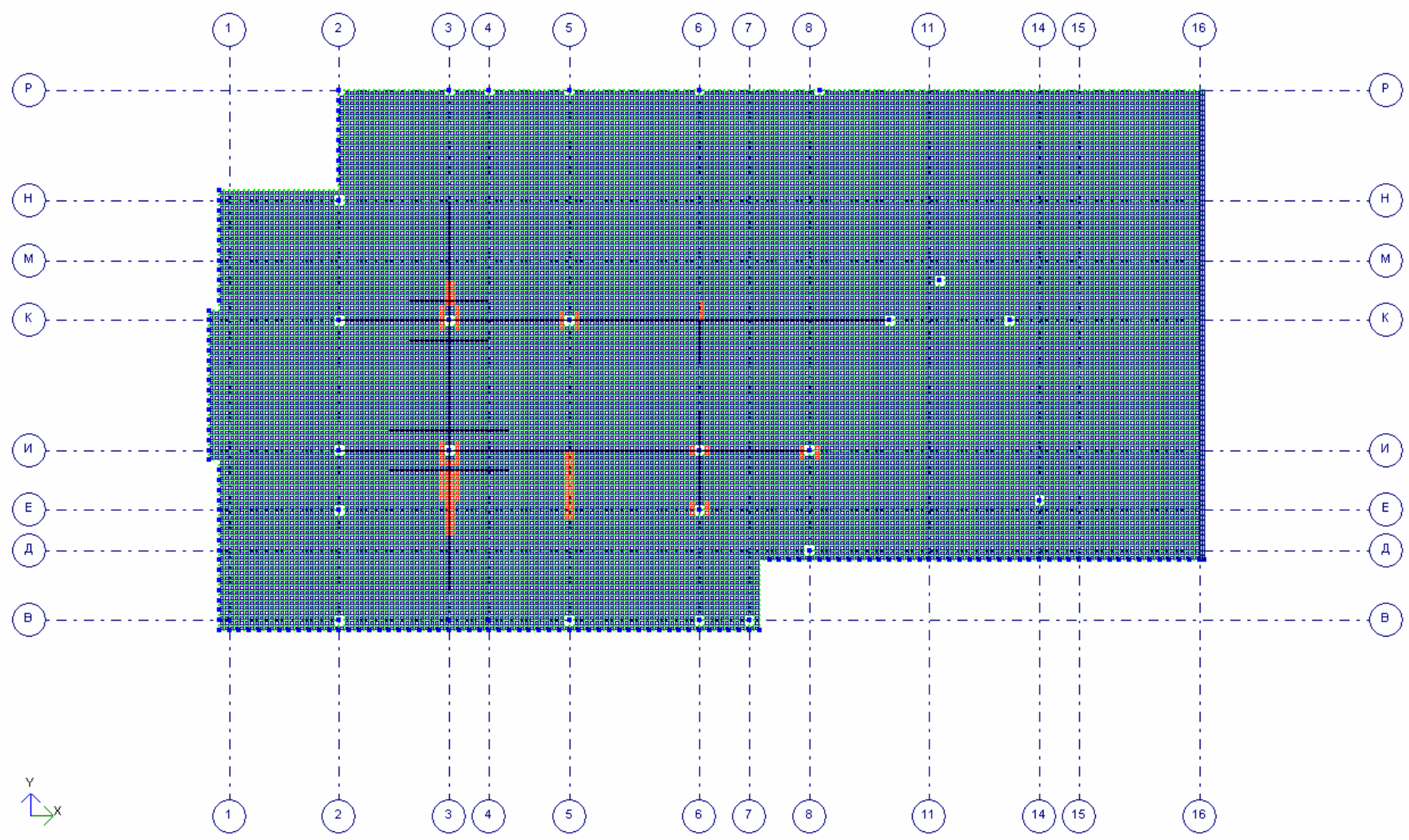

Рис. 3.31. Элементы ФП для экспорта в локальную подсистему армирования

3.5.2. Расчеты арматуры ФП для выбранных элементов

Пункт исключен