

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ТОНКОСТЕННЫХ
ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ
ДЕФЕКТОВ И ПОВРЕЖДЕНИЙ**

Дорофеев В.С., д.т.н., проф., Коломийчук Г.П., к.т.н., доц.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

В оценке технического состояния эксплуатируемых железобетонных конструкций применяются визуально-инструментальные обследования [1 - 4].

Как показали наблюдения, в процессе эксплуатации конструкций происходит циклическое изменение их технического состояния, что связано с изменчивостью величин нагрузок, воздействий и уменьшением несущей способности вследствие различных повреждений. В связи с этим возникает необходимость разработки методики оценки тонкостенных пространственных железобетонных конструкций по внешним признакам повреждений для определения их физического износа и разработки мероприятий их дальнейшего использования.

В настоящее время может считаться общепризнанным тот факт, что различные случайные несовершенства (дефекты) играют существенную роль в проблеме разрушения реальных оболочек (рис. 1). Под дефектом подразумевается каждое отдельное несоответствие при изготовлении (возведении) тонкостенной пространственной железобетонной конструкции требованиям, установленным нормативно-технической документацией.

В процессе эксплуатации под действием внешней нагрузки и окружающей среды возникают повреждения в тонкостенных пространственных железобетонных конструкциях. Под повреждением подразумевается событие, заключающееся в нарушении исправности части тонкостенной пространственной железобетонной конструкции, вследствие влияния внешних воздействий, превышающих уровень, установленный в нормативно-технической документации. Степень поврежденности тонкостенной пространственной конструкции зависит от времени ее эксплуатации, а также от мероприятий проводимых по восстановлению ее эксплуатационной пригодности.

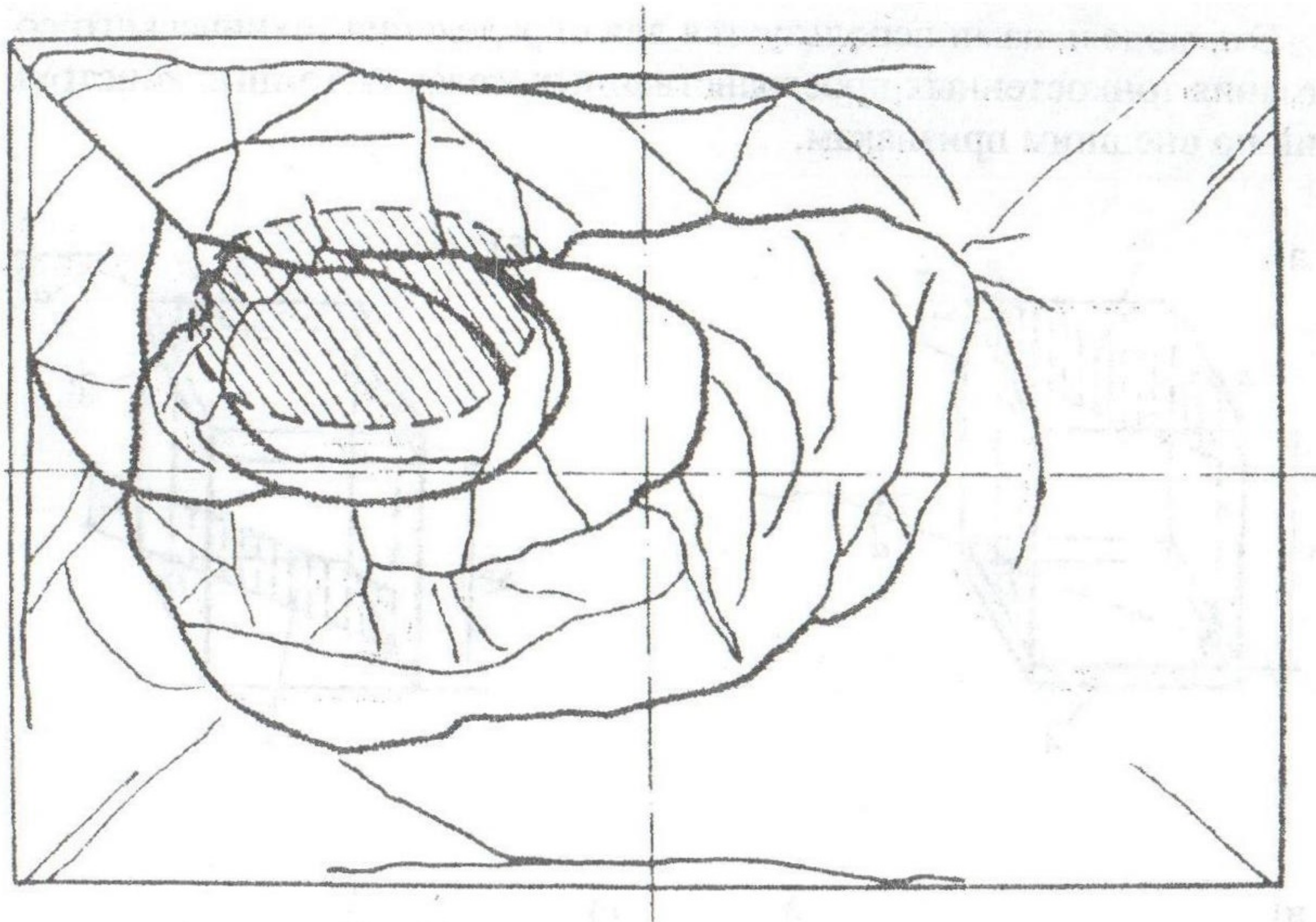


Рис. 1. Разрушение модели железобетонной оболочки двойкой кривизны в зоне дефекта изготовления (начальной локальной вмятины)

Поведение железобетонных оболочек при нагружении характеризуется стадиями работы конструкции [5 - 7]. В первых двух стадиях до появления трещин (что соответствует интервалу примерно от четверти до трети эксплуатационных нагрузок) конструкция железобетонной оболочки работает как упругая с появлением пластических деформаций в растянутом бетоне. Третья стадия характеризуется образованием в растянутых зонах трещин и пластических деформаций в сжатом бетоне. Вследствие этого происходит перераспределение внутренних усилий и увеличение прогиба. Трещинообразование в растянутых зонах, значительная пластичность в сжатых слоях и наличие арматуры обеспечивают физически нелинейную модель оболочки.

Систематизация типов трещин, возникающих при нагружении в конструкциях железобетонных плит и оболочек выполнена в работе [7] и частично приведена на рис. 2. Исходя из полученных типов трещин, разработана нелинейная физическая модель [7], которая позволяет определять податливости, а по ним жесткости по всему полю железобетонной оболочки.

Эта модель нами используется для определения технического состояния тонкостенных пространственных железобетонных конструкций по внешним признакам.

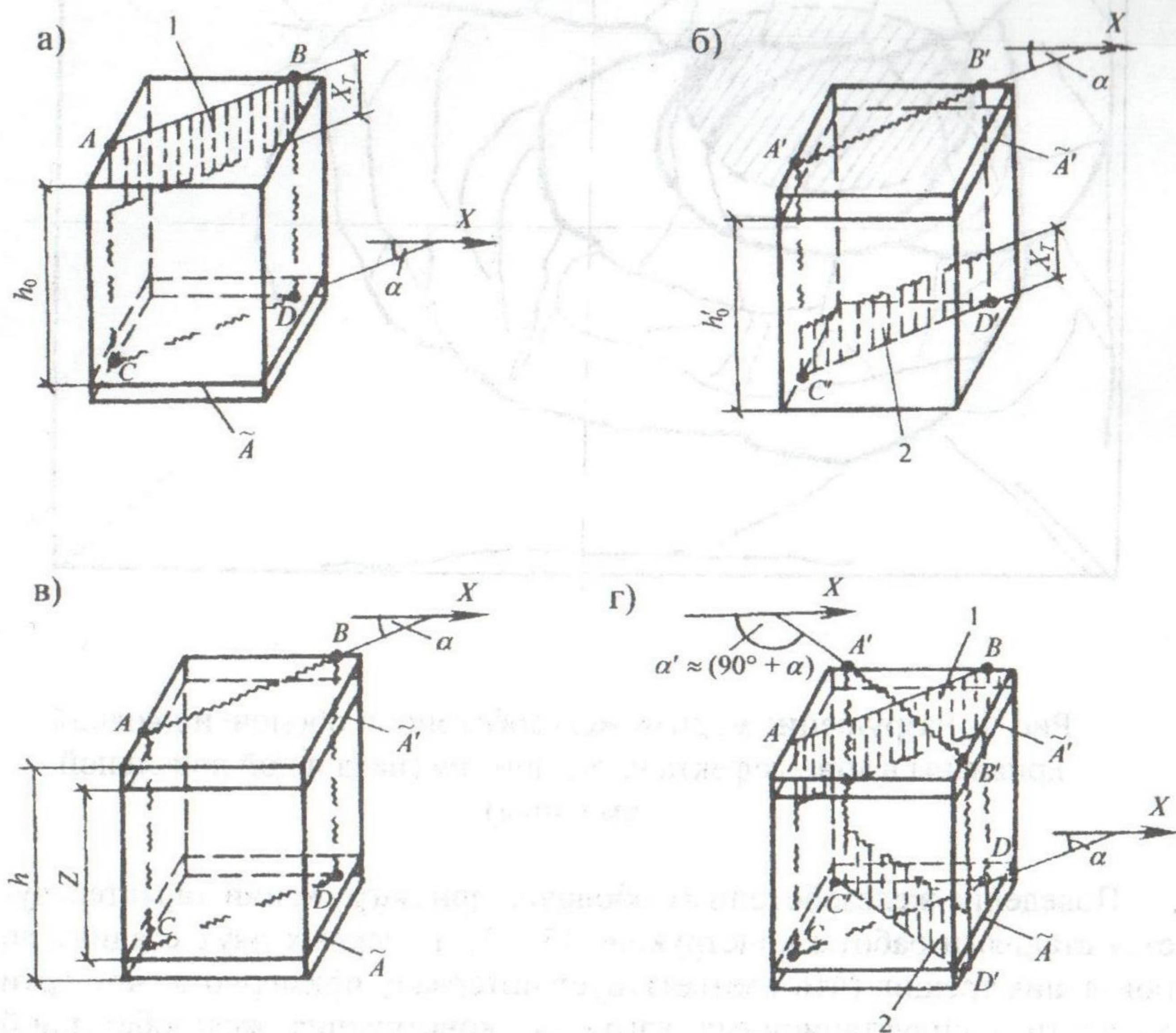


Рис. 2. Схемы непересекающихся трещин

а, б – фрагменты поверхностей оболочки с 1-й схемой трещин;
 в – то же, со 2-й схемой; г – то же, с 3-й схемой трещин, где:
 1 – сжатая зона над трещинами; 2 – сжатая зона под трещинами;
 \tilde{A} , \tilde{A}' – обобщенные слои армирования.

Определению габаритов трещин на железобетонных конструкциях, а также их учет в математических моделях посвящено множество работ [7 - 10].

Получив картину трещин при обследовании железобетонной оболочки, определив их габариты и ориентацию, можно подготовить исходные данные для применения информации в математической модели

(1) по определению податливостей (жесткостей), напряжений и деформаций [11].

На план железобетонной оболочки наносится конечно – разностная сетка. Количество конечно – разностных узлов определяется необходимой точностью в каждом конкретном случае. В математической модели предусмотрено несимметричное и локальное загрузеение.

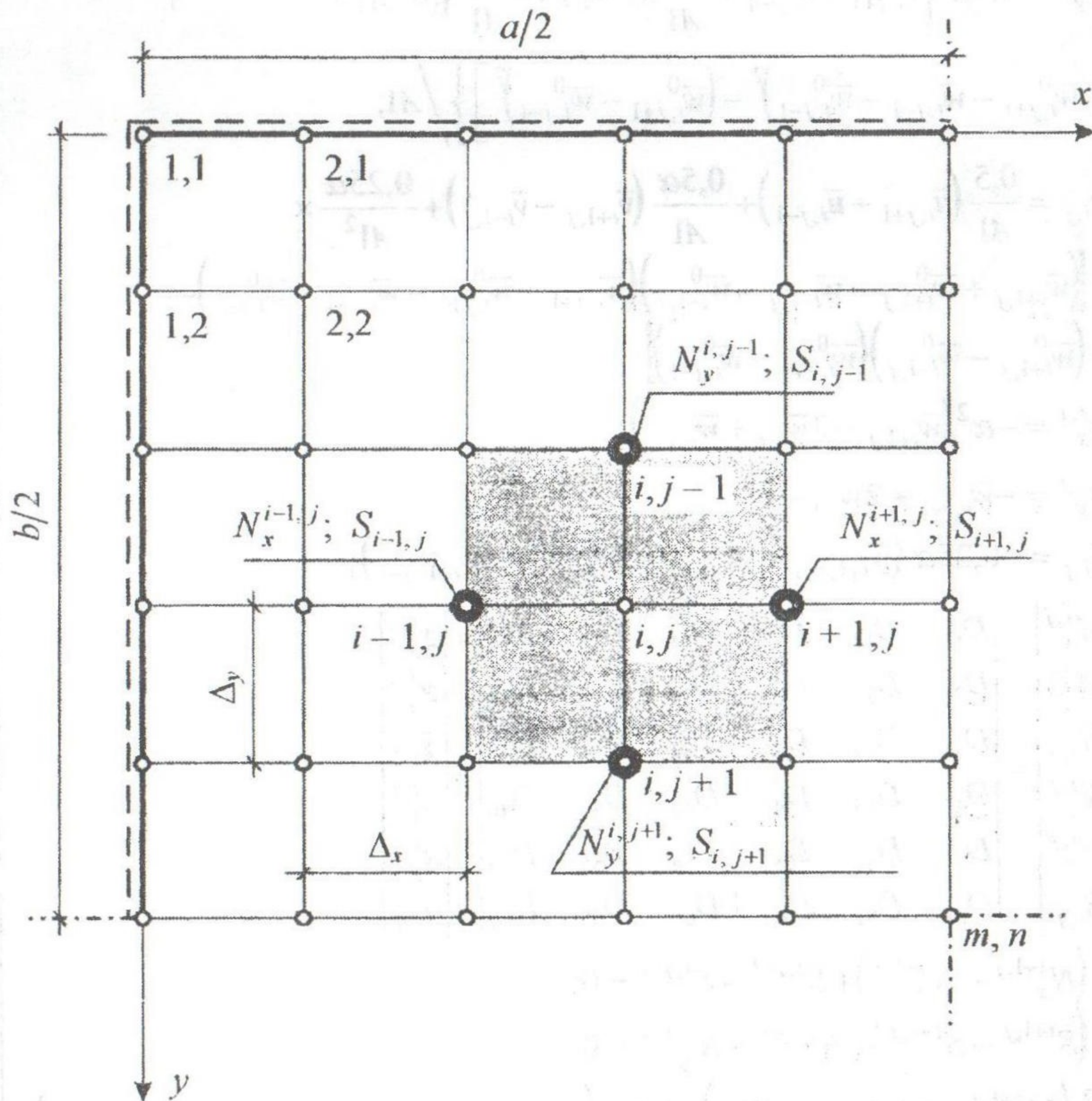


Рис. 3. Фрагмент плана железобетонной оболочки с нанесенной конечно-разностной сеткой

$$\varepsilon_x^{i,j} = 0,5\alpha \left\{ \bar{u}_{i+1,j} - \bar{u}_{i-1,j} + \frac{0,5\alpha}{Al} \bar{k}_x^* \bar{w}_{i,j} + \frac{0,25\alpha}{Al} \left[(\bar{w}_{i+1,j} + \bar{w}_{i+1,j}^0 - \bar{w}_{i-1,j} - \bar{w}_{i-1,j}^0)^2 - (\bar{w}_{i+1,j}^0 - \bar{w}_{i-1,j}^0)^2 \right] \right\} / Al;$$

$$\varepsilon_y^{i,j} = 0,5\alpha \left\{ \bar{v}_{i,j+1} - \bar{v}_{i,j-1} + \frac{0,5}{Al} \bar{k}_y^* \bar{w}_{i,j} + \frac{0,25}{Al} \left[(\bar{w}_{i,j+1} + \bar{w}_{i,j+1}^0 - \bar{w}_{i,j-1} - \bar{w}_{i,j-1}^0)^2 - (\bar{w}_{i,j+1}^0 - \bar{w}_{i,j-1}^0)^2 \right] \right\} / Al;$$

$$\gamma_{i,j} = \frac{0,5}{Al} (\bar{u}_{i,j+1} - \bar{u}_{i,j-1}) + \frac{0,5\alpha}{Al} (\bar{v}_{i+1,j} - \bar{v}_{i-1,j}) + \frac{0,25\alpha}{Al^2} \times \\ \times \left[(\bar{w}_{i+1,j} + \bar{w}_{i+1,j}^0 - \bar{w}_{i-1,j} - \bar{w}_{i-1,j}^0) (\bar{w}_{i,j+1} + \bar{w}_{i,j+1}^0 - \bar{w}_{i,j-1} - \bar{w}_{i,j-1}^0) - \right. \\ \left. - (\bar{w}_{i+1,j}^0 - \bar{w}_{i-1,j}^0) (\bar{w}_{i,j+1}^0 - \bar{w}_{i,j-1}^0) \right];$$

$$\chi_x^{i,j} = -\alpha^2 (\bar{w}_{i+1,j} - 2\bar{w}_{i,j} + \bar{w}_{i-1,j});$$

$$\chi_y^{i,j} = -\bar{w}_{i,j+1} + 2\bar{w}_{i,j} - \bar{w}_{i,j-1};$$

$$\bar{\chi}_{i,j} = -0,25\alpha (\bar{w}_{i+1,j+1} + \bar{w}_{i-1,j-1} - \bar{w}_{i-1,j+1} - \bar{w}_{i+1,j-1});$$

$$\begin{pmatrix} M_x^{i,j} \\ M_y^{i,j} \\ H_{i,j} \\ N_x^{i,j} \\ N_y^{i,j} \\ S_{i,j} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} & D_{14} & D_{15} & D_{16} \\ D_{21} & D_{22} & D_{23} & D_{24} & D_{25} & D_{26} \\ D_{31} & D_{32} & D_{33} & D_{34} & D_{35} & D_{36} \\ D_{41} & D_{42} & D_{43} & D_{44} & D_{45} & D_{46} \\ D_{51} & D_{52} & D_{53} & D_{54} & D_{55} & D_{56} \\ D_{61} & D_{62} & D_{63} & D_{64} & D_{65} & D_{66} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \chi_x^{i,j} \\ \chi_y^{i,j} \\ \bar{\chi}_{i,j} \\ \varepsilon_x^{i,j} \\ \varepsilon_y^{i,j} \\ \gamma_{i,j} \end{pmatrix}$$

$$\alpha (N_x^{i+1,j} - N_x^{i-1,j}) + S^{i,j+1} - S^{i,j-1} = 0;$$

$$\alpha (S^{i+1,j} - S^{i-1,j}) + N_y^{i,j+1} - N_y^{i,j-1} = 0;$$

$$\alpha^2 (M_x^{i+1,j} - 2M_x^{i,j} + M_x^{i-1,j}) + 0,5\alpha (H_{i+1,j+1} + H_{i-1,j-1} - H_{i-1,j+1} - H_{i+1,j-1}) + \\ + M_y^{i,j+1} - 2M_y^{i,j} + M_y^{i,j-1} - 12Al [N_x^{i,j} \alpha^2 (\bar{w}_{i+1,j} + \bar{w}_{i+1,j}^0 - 2\bar{w}_{i,j} - 2\bar{w}_{i,j}^0 + \\ + \bar{w}_{i-1,j} + \bar{w}_{i-1,j}^0) + N_y^{i,j} (\bar{w}_{i,j+1} + \bar{w}_{i,j+1}^0 - 2\bar{w}_{i,j} - 2\bar{w}_{i,j}^0 + \bar{w}_{i,j-1} + \bar{w}_{i,j-1}^0) + \\ + S_{i,j} \alpha (\bar{w}_{i+1,j+1} + \bar{w}_{i+1,j+1}^0 + \bar{w}_{i-1,j-1} + \bar{w}_{i-1,j-1}^0 - \bar{w}_{i-1,j+1} - \bar{w}_{i-1,j+1}^0 - \\ - \bar{w}_{i+1,j-1} - \bar{w}_{i+1,j-1}^0) / 2] = \bar{q}_{i,j}^*$$

где: $\bar{w} = w/h$; $\bar{u} = u/h$; $\bar{v} = v/h$; $A1 = \Delta_y/h$; $\alpha = \Delta_y/\Delta_x$; $\bar{k}_x^* = \bar{k}_x/(m-1)^2$;
 $\bar{k}_y^* = \bar{k}_y/(n-1)^2$;

$$\bar{q}_{i,j}^* = 0,75\bar{q}_{i,j} \frac{(1-\nu^2)\alpha^2}{[(m-1)(n-1)]^2}; \bar{k}_x = \frac{a^2}{R_x h}; \bar{k}_y = \frac{b^2}{R_y h}; \bar{q}_{i,j} = q_{i,j} \frac{a^2 b^2}{Eh^4};$$

Δ_x/Δ_y – шаг конечно-разностной сетки (рис. 3); m, n – индексы средней конечно-разностной точки; a, b – длина и ширина оболочки; h – толщина оболочки; R_x, R_y – радиусы кривизны; E – модуль упругости материала; ν – коэффициент Пуассона.

Для накопления данных по эксплуатации износ тонкостенных пространственных железобетонных конструкций можно определять по предложенной методике и по результатам кратковременных экспериментальных испытаний [11].

Экспериментальными результатами установлено, что начало трещинообразования в бетоне оболочек начинается при нагрузках: $0.3q_p$ для цилиндрических оболочек рис. 4; $0.4q_p$ для оболочек положительной кривизны; $0.5q_p$ для оболочек отрицательной кривизны (q_p – разрушающая нагрузка).

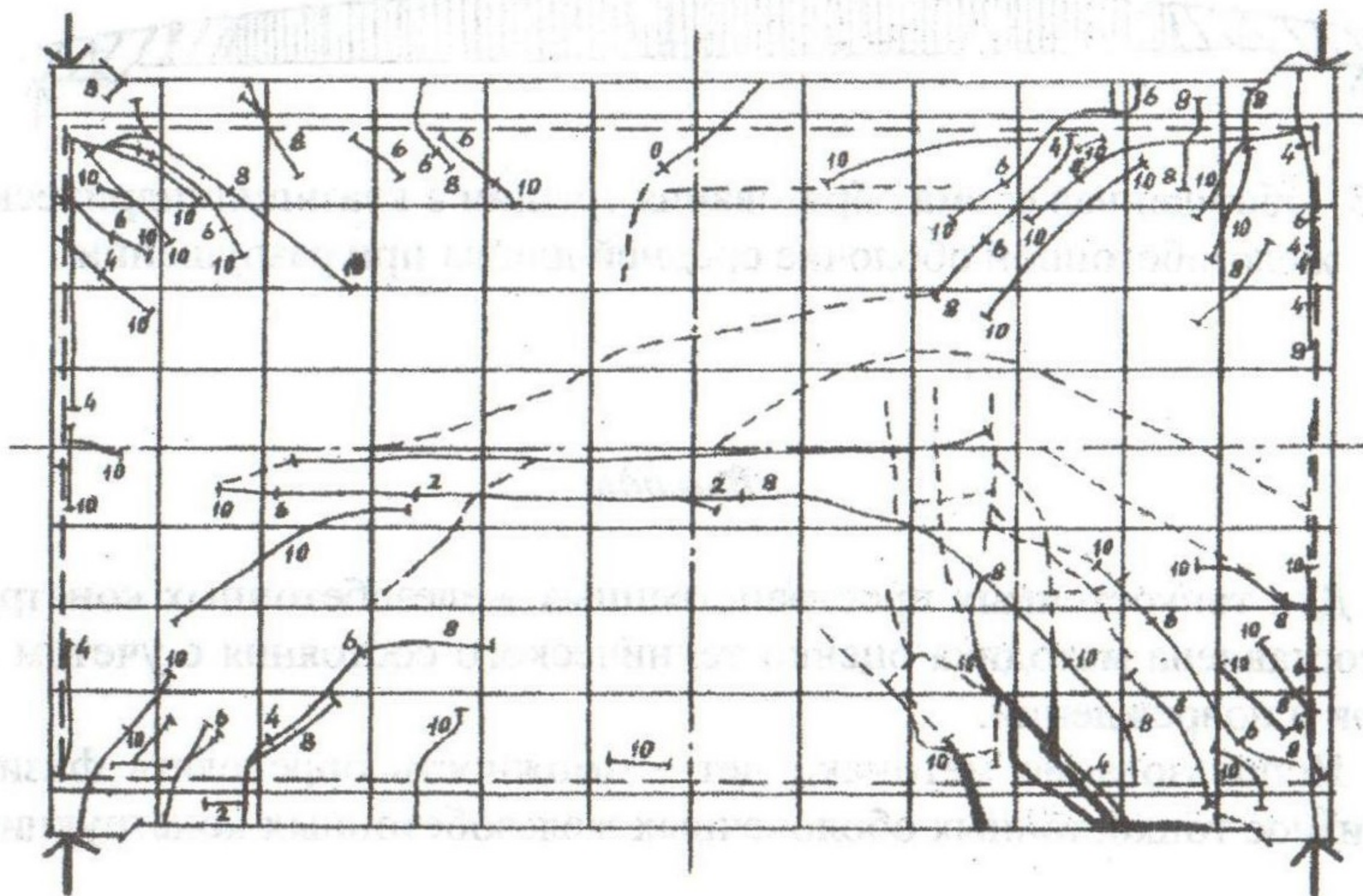


Рис.4. Характер образования трещин в модели цилиндрической оболочки средней длины под действием равномерно распределенной нагрузки по плите оболочки ($q_2, \text{Н/м}^2$) и по продольным бортовым элементам ($q_0, \text{Н/м}$), а именно по ступеням загрузки: №1 (500; 62), №2 (1000; 123), №3 (1500; 185), №4 (2000; 247), №5 (2500; 308), №6 (3000; 369), №7 (3500; 431), №8 (4000; 492), №9 (4500; 554), №10 (5000; 615), где первая цифра в скобках q_2 , вторая – q_0

Накопленный опыт поведения тонкостенных железобетонных пространственных конструкций при нагружении дает возможность построить обобщенные схемы трещин для разных уровней нагружения. Имея картину трещин и предельную экспериментальную разрушающую нагрузку (рис.5) [13], а также картину трещин для разных уровней нагружения можно определить физический износ с использованием математической модели.

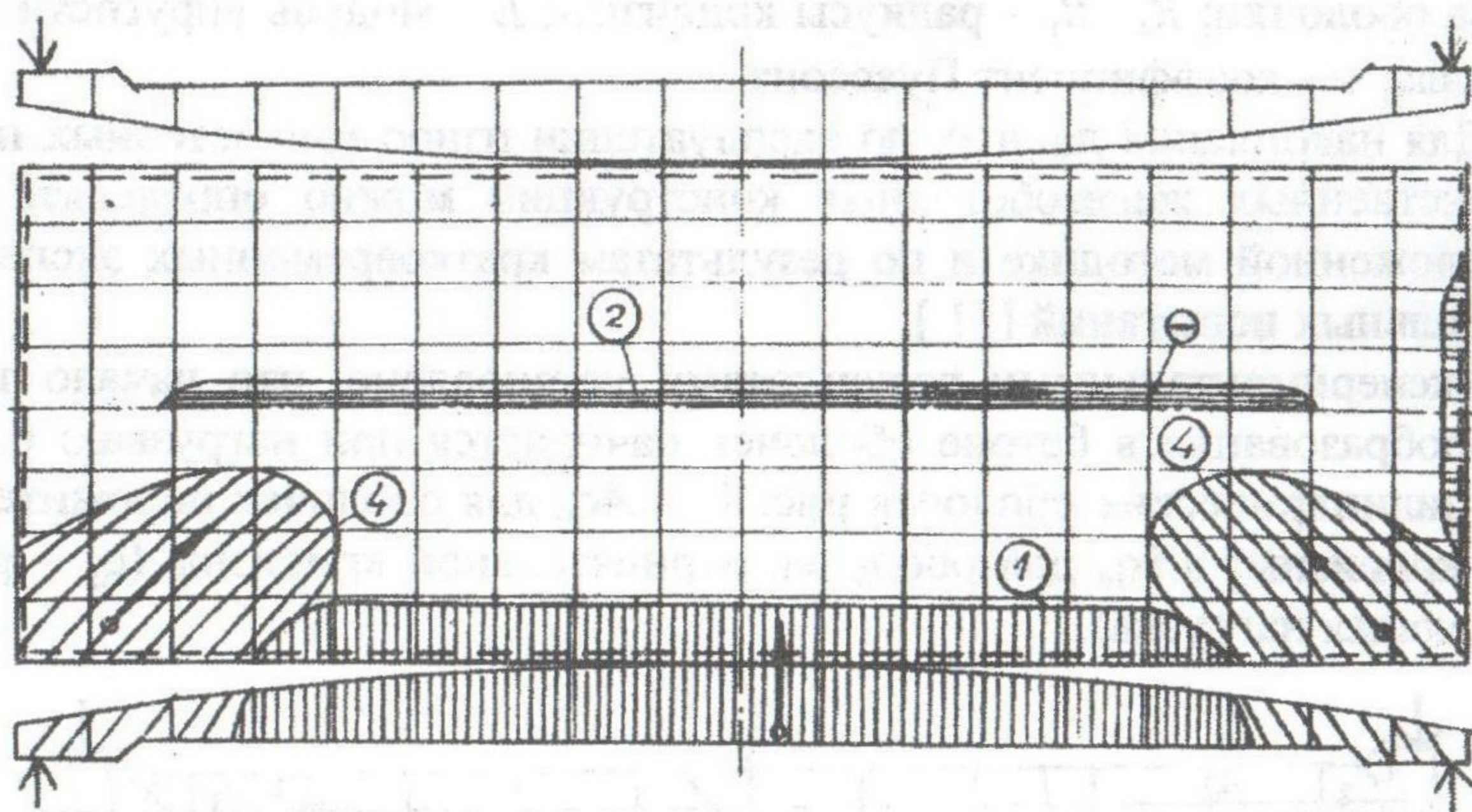


Рис. 5. Обобщенная схема образования трещин в квазицилиндрической железобетонной оболочке средней длины при разрушении

Выводы

1. Для тонкостенных пространственных железобетонных конструкций составлена методика оценки технического состояния с учетом дефектов и повреждений.
2. Использование методики дает возможность определять физический износ тонкостенных оболочечных железобетонных конструкций.

Summary

The method of evaluation of the technical state of thin-walled spatial concrete structures, as at these manufacturing defects and damage accumulation in service is represented.

Литература

1. Мизернюк Б.Н. Виды трещин и оценка их значения//Методика обследования железобетонных конструкций, вып. 21. М.: Стройиздат, 1975.
2. Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций по внешним признакам. – М.: ЦНИИПромзданий, 1989.
3. Рекомендации по натурным обследованиям железобетонных конструкций. – М.: НИИЖБ, 1972.
4. Рекомендации по оценке состояния и усилению строительных конструкций промышленных зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1989.
5. Дорофеев В.С., Коломийчук Г.П. Учет влияния специфических свойств железобетона при расчете пологих оболочек// Вісник ОДАБА, вип. 17. – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2005. – С. 70 - 76.
6. Дорофеев В.С., Коломийчук Г.П. Трещинообразование в пологих железобетонных оболочках//Вісник ОДАБА, вип. 23. – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2006. – С. 77 - 81.
7. Карпенко Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами. – М.: - Стройиздат, 1976. – 208 с.
8. Коломийчук Г.П. Определение габаритных параметров трещин на поверхности пологих железобетонных оболочек и их систематизация для учета в деформационных математических моделях//Вісник ОДАБА, вип. 24. – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2006. – С. 133 – 138.
9. Смоляго Г.А., Гольшев А.Б. К расчету ширины раскрытия трещин в тонкостенных пространственных железобетонных конструкциях// Известия вузов. Строительство и архитектура, 1989. - №11. – С. 1 – 5.
10. Байков В.Н., Додонов М.П., Кириллин Б.И., Набатников А.М. Вероятностная оценка ширины раскрытия видимых трещин на поверхности железобетонных конструкций// Бетон и железобетон, 1973. - №10. – С. 31 – 32.
11. Дорофеев В.С., Коломийчук Г.П. Расчет пологих железобетонных оболочек в нелинейной постановке//«Теоретичні основи будівництва». Польсько – українсько – литовський збірник праць № 18. – Варшава. 2010. – С. 87 – 94.
12. Шугаев В.В. Инженерные методы в нелинейной теории предельного равновесия оболочек. -М.: Готика, 2001. -368с.
13. Тярно Ю.А. – Обобщенные – схемы образования трещин в железобетонных оболочках средней длины// Труды ТПИ, 1979. - Вып. 467. - С. 25 - 35.