ТЕХНИКА ИЛИМДЕРИ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

TECHNICAL SCIENCE

Зулпуев А.М., Насиров М.Т.

КӨП КАБАТТУУ ИМАРАТТАРДЫН ЖҮК КӨТӨРҮМДҮҮЛҮК СИСТЕМАСЫНЫН ЭСЕПТӨӨ МОДЕЛИ

Зулпуев А.М., Насиров М.Т.

РАСЧЕТНЫЕ МОДЕЛИ НЕСУЩИХ СИСТЕМ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ

A.M. Zulpuev, M.T. Nasirov

THE ESTIMATED MODEL BEARING SYSTEMS OF MULTI-STOREY BUILDINGS

УДК: 624.012.45

Бул статьяда дискреттик эсептөө моделинин жана анын негизинде эсептөө-техникасы үчүн, бетон жана арматуралардын «напряжения-деформация» катышынын негизинде убактылуу жана узак убакыттагы жүк берүүсүнүн бир мезгилдеги таасирин эске алуу менен программа иштелип чыккан.

В данной статье описывается разработка дискретных расчетных моделей и на их основе создание программы для электронно-вычислительной техники с учетом соотношения «напряжение-деформация» для бетона и арматуры при однократном загружении кратковременной и длительной нагрузкой.

This article aims to work out discrete calculating mjdels and on their basis to make up an electronic calculating program taking into consideratio the correlation «tension-deformation» for concrete and reinforcement at single loading by short-time and long-time loads.

В настоящее время установилась следующая классификация расчетных моделей для несущих систем многоэтажных зданий: континуальная, дискретно-континуальная и дискретная.

Континуальные модели, в которых здание представляется сплошной многоконтурной (многосвязной) призматической оболочкой, не получили широкого распространения из-за специфики моделируемых несущих систем многоэтажных зданий. Многоэтажные здания представляют совокупность дискретно расположенных элементов, объединенных податливыми связями и изрезанных оконными и дверными проемами. В этой модели приходится делать двойной переход, вначале континуализируя дискретные признаки несущей системы, а затем вновь дискретизируя полученные результаты.

Развитие локальных неупругих деформаций в сечениях или возникновение сосредоточенных смещений в связях между элементами приводят к значительным осложнениям в использовании континуальных моделей. Континуальные модели в расчетах современных многоэтажных зданий применяются все реже, уступая место дискретно-континуальной и дискретной моделям.

Для расчета несущих систем многоэтажных зданий широко распространена дискретно-континуальная модель, детально разработанная в трудах [2], которыми положено научное направление, развиваемое далее в различных работах, в результате чего удалось охватить практически все расчетные задачи, выдвигаемые практикой проектирования.

Согласно [2], дискретно-континуальная расчетная модель предполагает континуализацию по вертикали, что характерно, прежде всего для зданий большой этажности с компактным планом, эту модель составляют дискретные вертикальные элементы – столбы (глухие стены, простенки, диафрагмы и ядра жесткости и т.д.) и податливые непрерывно распределенные по высоте продольные связи (перемычки, закладные детали, участки перекрытий, ригели и т.д.); поперечные связи (перекрытия) принимаются чаще всего недеформируемыми в своей плоскости, однако это допущение по мере развития теории и накопления данных заменяется другим, учитывающим податливость перекрытий в своей плоскости. Важнейшим элементом в этой теории являются продольные связи с различным конструктивным оформлением, характеристики жесткости (податливости) этих связей в упругой или упругопластической стадии работы определяются аналитически или на основе экспериментальных данных в виде аналитических или табличных зависимостей.

Дискретное представление столбов, в том числе и для замкнутых в плане участков, например ядер жесткости, позволяет выявить депланацию горизонтальных сечений несущей системы и стесненное кручение, вызывающее бимоментное напряженно-деформированное состояние.

Математической формой в дискретно-континуальной расчетной модели [2] является система дифференциальных уравнений второго порядка относительно нормальных сил в столбах, являющихся следствием сопротивления продольных связей сдвига и которые можно трактовать как дополнительные или внутренние силы метода сил при удалении связей; число неизвестных нормальных сил равно числу рядов продольных связей, т.е. размер системы дифференциальных уравнений для реальных зданий составляет всего несколько десятков. Если в несущей системе имеются замкнутые в плане контуры, то возникают новые неизвестные – бимоменты, которым соответствуют свои дополнительные дифференциальные уравнения.

Дискретно-континуальная расчетная модель в форме [2] и ее вариантах широко распространена в исследовательских, проектных и исследовательских институтах. Упоминаемые работы появились за относительно короткий период, что свидетельствует об их независимости и отражает возникшую в эти годы потребность в создании расчетной модели, отвечающей объективным условиям. Заметный вклад в развитие дискретно-континуальной расчетной модели сделан в работе [6], в которой дана структура разрешающих уравнений, в наибольшей степени пригодная для их решения на ЭВМ. Система линейных дифференциальных уравнений содержит сдвигающие усилия в продольных связях сдвига (по их числу в несущей системе), а также поступательные перемещения и углы поворота здания в плане. В последнее время интенсивно развиваются нелинейные варианты дискретно-континуальной модели.

Таким образом, дискретно-континуальная расчетная модель оказалась достаточно жизнеспособной, плодотворной и перспективной; ее потенциальные возможности, видимо, будут развиваться и в будущем. Вместе с тем можно полагать, что дискретно-континуальные расчетные модели будут по мере развития вычислительной техники все чаще заменяться дискретными расчетными моделями вследствие большей общности, универсальности и хорошей математической обеспеченности последних.

Усилиями многих ученых разработаны основы для дискретных расчетных моделей и на их основе созданы несколько поколений программ для ЭВМ, с учетом соотношения «напряжения – деформации» для бетона и арматуры при однократном загружении кратковременной нагрузкой.

Соотношения «напряжения-деформации» для бетона и арматуры при одноосных и многоосных напряженных состояниях $\{\sigma\}_m - \{\varepsilon\}_m$ в условиях простых, сложных и длительных загружений являются первичными важнейшими компонентами расчетных моделей несущих систем многоэтажных зданий. В сборных и сборно-монолитных железобетонных несущих системах для стыков между разными элементами также необходимо знать характеристики этих стыков в форме «усилие-перемещение»; в некоторых случаях для стыков можно составить свои расчетные модели, в которых могут быть реализованы соотношения «напряжения-деформации». В отдельных случаях удобно целые конструкции несущей системы представить в виде соединительных элементов, принимая для них обобщенные зависимости «усилие-перемещение»; так, например, поступают с над проемными железобетонными перемычками в дискретно-континуально-расчетной модели.

В настоящее время наблюдается устойчивый, повышенный и всевозрастающий интерес к диаграммам «$\sigma_m - \varepsilon_m$» для бетона и арматуры, их экспериментальному получению, аналитическому описанию и использованию в расчетах [1]. Практическое получение полных диаграмм деформирования бетона и арматуры даже при одноосном сжатии и растяжении является технически трудной задачей, ее решение связано с созданием специального испытательного оборудования и средств контроля напряжений и деформаций. При кратковременном однократном загружении диаграммы «$\sigma_m - \varepsilon_m$» чаще всего получаются с контролем усилий (напряжений): задаются усилия и замеряются соответствующие деформации. Такой режим обычно дает только восходящие части ветвей диаграмм «$\sigma_m - \varepsilon_m$» (рис. 1а).

Полные диаграммы «$\sigma_m - \varepsilon_m$», включая нисходящие ветви, получаются в опытах с контролем перемещений (деформаций): задаются некоторые деформации и регистрируются соответствующие им напряжения (рис. 1б).

В первой схеме испытаний (рис. 1а) при постоянной скорости приложения напряжений ($\Delta\sigma_i / \Delta t_i = const$, где Δt_i – время приложения нагрузки на г i-ом этапе) соответствующие деформации растут опережающими темпами ($\Delta\varepsilon_i / \Delta t_i \neq const$). Это связано с неупругими деформациями (ползучестью). Первую схему загружения иногда называют «мягкой», вторую – «жесткой».

Вид диаграммы после достижения ее вершины обычно при таких испытаниях улавливается плохо, так как регулирование снижающихся напряжений затруднительно.

При загружении с контролем деформаций или вынужденными деформациями (рис. 1б) с постоянной скоростью роста ($\Delta\varepsilon_i / \Delta t_i = const$) соответствующие им напряжения растут с постепенным замедлением ($\Delta\sigma_i / \Delta t_i \neq const$), при этом появляется эффект релаксации напряжений; вторая схема в практической реализации сложнее, но при этом можно получать полные диаграммы «$\sigma_m - \varepsilon_m$», включая нисходящие ветви.

Описанные схемы загружения являются идеализированными. В первой схеме нагрузка может быть «висячей», т.е. только увеличивающейся, и к испытательной установке не предъявляется требований в отношении ее внутренней жесткости. Во второй схеме испытательное устройство должно иметь абсолютную внутреннюю жесткость.

В действительности приходится мириться с неизбежными отклонениями от указанных требований, следствием чего являются различия в диаграммах «$\sigma_m - \varepsilon_m$» в опытах авторов, пользующихся различными опытными устройствами. Особенно это сказывается на характере нисходящих участков диаграмм «$\sigma_m - \varepsilon_m$».

Поэтому следует считать актуальной задачу составления регламентирующего документа, определяющего требования к параметрам испытательных устройств и методике испытаний.

Следующим этапом в получении диаграмм «$\sigma_m - \varepsilon_m$» является их оформление (представление). Диаграммы «$\sigma_m - \varepsilon_m$» при одноосных напряжениях могут быть оформлены тремя способами:

- табличным,
- графическим,
- аналитическим.

Табличные формы для «$\sigma_m - \varepsilon_m$» являются обычно первичным испытательным документом; с развитием автоматизированных средств измерения, записи и обработки результатов табличные формы «$\sigma_m - \varepsilon_m$» могут стать основными в исследовательских работах. Однако они лишены общности и универсальности и содержат большой объем информации, неудобной для хранения и передачи.

Графическое представление одноосных диаграмм «$\sigma_m - \varepsilon_m$» выполняет иллюстрированные задачи, точность автоматических графопостроителей обычно невысока.

Наибольшее распространение получили аналитические формы «$\sigma_m - \varepsilon_m$». Они весьма многообразны, и вместе с тем на сегодня к ним предъявляются некоторые общие требования:

- они должны быть простыми по форме и универсальными, т.е. иметь несложную математическую запись при минимальном числе опытных параметров с ясным физическим смыслом и быть пригодными для описания поведения наибольшего набора разных материалов (бетона, арматуры и т.д.);
- параметры диаграммы «$\sigma_m - \varepsilon_m$» должны иметь соответствующее обоснование с позиций теории вероятности и математической статистики;
- диаграммы «$\sigma_m - \varepsilon_m$» должны быть пригодными для решения задач расчета конструкций по предельным состояниям, оценки результатов испытаний и т.д.;
- в диаграммах должны отражаться факторы времени и повторного нагружения;
- диаграммы «$\sigma_m - \varepsilon_m$» должны легко увязываться с современными вычислительными подходами с использованием ЭВМ, т.е. служить для построения матриц жесткости сечений, элементов и систем, а также реализации различных итерационных процессов, характерных для расчетов железобетонных конструкций.

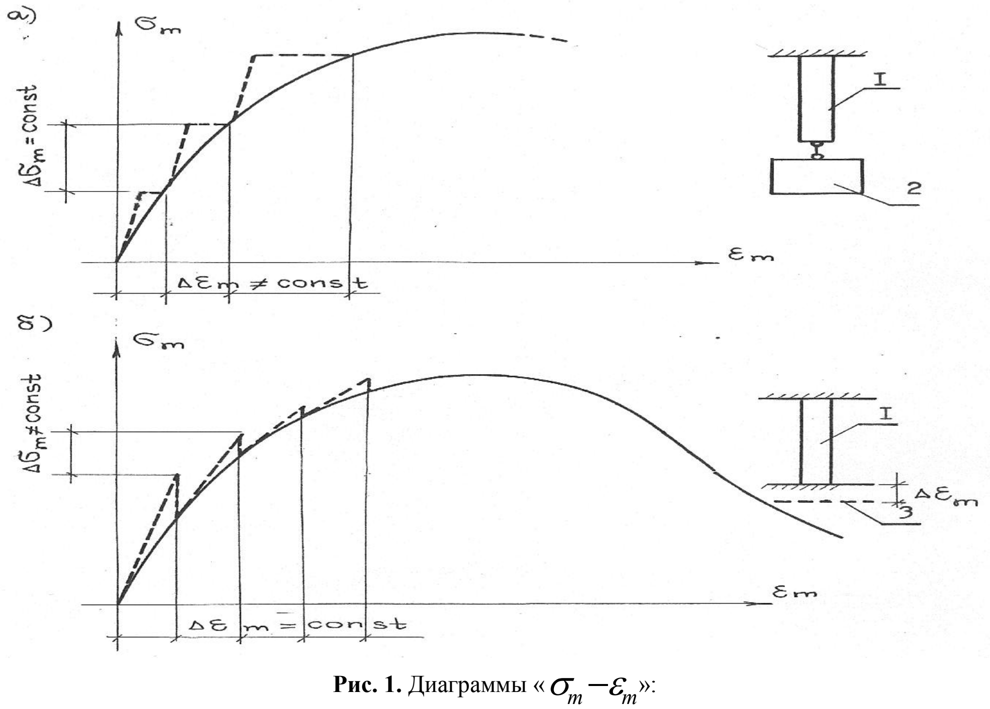

Рис. 1. Диаграммы «$\sigma_m - \varepsilon_m$»:

а) – мягкая схема (при действии «висячего» груза), б) - жесткая схема (при задаваемых деформациях),
1 – опытный образец, 2 – «висячий» груз, 3 – силовое «жнсткое» устройство.

Наибольшее распространение из всех аналитических форм «$\sigma_m - \varepsilon_m$» получили степенные.

Степенные зависимости часто используются для связи между другими физическими величинами. Например, диссертантом [5] использована зависимость

$$q_x \approx \sum_n a_n \sigma_x^n \qquad (1)$$

для описания связи между перемещениями q_x арматурного стержня в сечениях с координатой Х, подвергнутого выдергиванию (втягиванию) из железобетонного элемента, где a_n – опытные параметры, число которых соответствует требуемой точности описания зависимости «$q_x - \sigma_x$», где σ_x – нормальное напряжение в арматуре в сечении с координатой Х.

Основой для отыскания параметров a_n служила опытная зависимость «$q_o - \sigma_o$» между смещениями q_o и напряжениями σ_o на свободном конце арматурного стрежня. Параметры a_n отыскиваются из решения системы алгебраических уравнений вида

$$\{q_o\} = \left[\sigma_o^n\right]\{a_n\}, \text{ где } \{q_o\} = \{q_{01}, q_{02}, \ldots, q_{0n}\}^T \qquad (2)$$

вектор опытных значений для перемещений арматурного стержня на свободном конце; $\left[\sigma_o^n\right]$ – матрица, элементами которой служат нормальные напряжения (в степенях n) на свободном конце;

$\{a_o\} = \{a_{01}, a_{02}, \ldots, a_{0n}\}^T$ – искомые параметры.

Ход решения задачи по отысканию параметров a_n в данном конкретном случае является общим в математическом отношении для подобных нелинейных задач.

Применительно к диаграмме «$\sigma - \varepsilon$» формула (2) выглядит так:

$$\sigma = \sum_n в_n \varepsilon^n \qquad (3)$$

где: n – целые (или дробные) степени.

Зависимости «$\sigma - \varepsilon$» типа (3) имеют тот недостаток, что они трудно обращаются, т.е. обратная запись в форме «$\varepsilon - \sigma$» требует решения нелинейных алгебраических уравнений высокого порядка. Кроме того, в формуле (3) трудно учесть влияние длительности нагрузки и повторности нагружений.

В настоящем исследовании использованы «$\sigma_m - \varepsilon_m$» в форме [4], эти диаграммы включены в расчетные формулы для элементов матриц жесткости сечений, элементов и несущих систем, они введены в программы для ЭВМ, на их основе выполнены численные примеры и даны сопоставления результатов расчетов и опытов.

Согласно [4], диаграммы «$\sigma_m - \varepsilon_m$» для бетона и арматуры при одноосном сжатии и растяжении принимаются в единообразной форме:

$$\sigma_m = E_m \nu_m \varepsilon_m = E_m \varepsilon_m, \qquad (4)$$

где: ν_m – коэффициенты упругих деформаций материала (бетона арматуры).

Для линейных участков диаграмм $\nu_m = 1$, для восходящего и нисходящего участков:

$$\nu_m = \hat{\nu}_m \pm (\nu_o - \hat{\nu}_m)(1 - e_{1m}\eta_m - e_{2m}\eta_m^2)^{0,5}, \qquad (5)$$

где: $\hat{\nu}_m$ – значение ν_m для вершины диаграммы;

$$\eta_m = (\sigma_m - \sigma_{m,1}) / (\hat{\sigma}_m - \sigma_{m,1});$$

$\hat{\sigma}_m$ – напряжение для вершины диаграммы;

$\sigma_{m,1}$ – напряжение, отвечающее линейной части диаграммы;

$e_{1,m}$ – коэффициент, характеризующий вид материала;

$$e_{2,m} = 1 - e_{1,m}.$$

Конкретные значения параметров бетона и арматуры приводятся в [4], на рис. 2 приведен характерный вид диаграммы «$\sigma_в - \varepsilon_в$» для бетона при сжатии и растяжении.

В исследованиях по железобетону для диаграммы арматуры «$\sigma_s - \varepsilon_s$» пока не считается нужным заниматься нисходящими ветвями, ибо обрыв арматуры даже с площадкой текучести носит мгновенный характер, и современные испытательные средства не в состоянии задержать процесс обрыва арматуры.

В большинстве задач по железобетону обрыв арматурного стержня означает исчерпание прочности в сечении, после чего конструкция не поддается описанию.

Однако в ряде случаев с обрывом некоторых арматурных стержней конструкция может оставаться жизнеспособной (статически неопределимые стержневые системы, сечения с распределенным расположением арматуры по высоте, плосконапряженные конструкции и т.д.).

В этих случаях целесообразно для арматурных сталей в диаграммах «$\sigma_m - \varepsilon_m$» удерживать нисходящие ветви. До получения соответствующих экспериментальных данных можно нисходящую ветвь задавать круто падающей прямой с переходом на нисходящий участок с малым уровнем напряжений.

Такое очертание нисходящей ветви практически не приведет к искажению действительного поведения арматуры, однако позволит в расчетных итерационных процессах избежать математических затруднений.

Особенности расчета железобетонных плит с учетом нелинейной работы элементов, в отличие от упругой постановки задачи, заключаются в формировании матрицы жесткости, где появляются дополнительные побочные элементы [3]. Эти элементы отражают взаимное влияние продольных сил, изгибающих и крутящих моментов, действующих по плоскостям сосредоточенных деформаций. В то же время следует сказать, что элементы матрицы нелинейные, что объясняется неупругими деформациями бетона и арматуры.

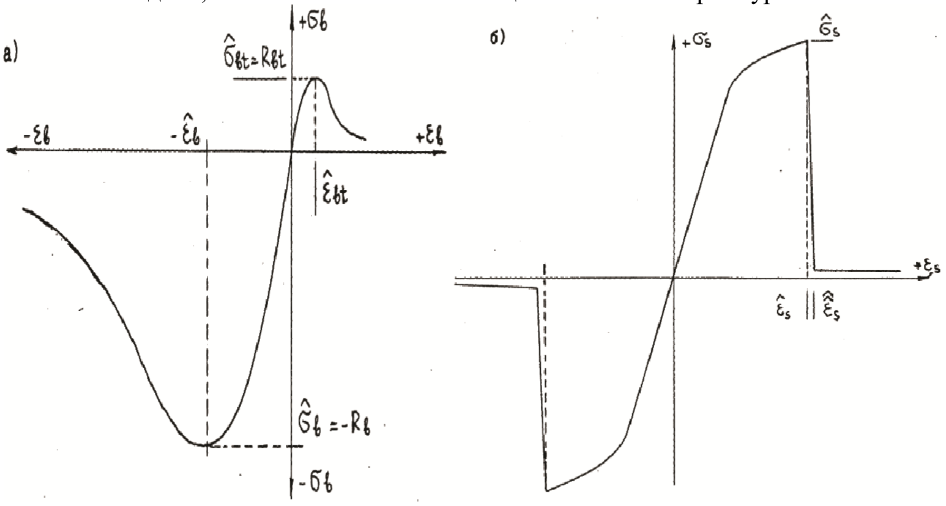

Рис. 2. Диаграммы «напряжения – деформация» при одноосном кратковременном загружении, а) – бетона, б) – арматуры.

Для арматуры зависимость "$\sigma_s - \varepsilon_s$" принимается одноосной, без учета объемного напряженно-деформированного состояния являются переменными в пределах длины и зависят от соотношения и уровня деформаций.

$$\sigma_в = E'_в * \varepsilon_в \qquad (6)$$

где: $E'_в = \nu * E_в$; $\nu = e^{m\cdot(\varepsilon/\hat{\varepsilon})^{-m^{-1}}}$; $m = \ln(R_в / E_в \cdot \hat{\varepsilon})$.

Наряду с этим может быть решена задача поиска вектора сил, который воспринимается сечением перед наступлением предельного состояния. Для решения этой задачи должны быть известными и заданы: геометрические параметры нормального сечения и физико-механические характеристики материалов (бетон и арматуры) соответствующими "$\sigma - \varepsilon$".

В изложенном методе расчета не является обязательным вычисление внутренних сил, либо несущая способность и предельные деформации оцениваются по перемещениям, являющимися функциями диаграмм бетона и арматуры. Однако, при желании, внутренние силы можно получить как попутный результат, не прибегая при этом к какой-либо перестройке расчетного алгоритма.

Выводы

Дискретно-континуальная расчетная модель оказалась достаточно жизнеспособной, плодотворной и перспективной; ее потенциальные возможности, видимо, будут развиваться и в будущем. Вместе с тем можно полагать, что дискретно-континуальные расчетные модели будут по мере развития вычислительной техники все чаще заменяться дискретными расчетными моделями вследствие большей общности, универсальности и хорошей математической обеспеченности. На основе созданы несколько поколений программ для ЭВМ, с учетом соотношения «напряжения – деформации» для бетона и арматуры при однократном загружении кратковременной и длительной нагрузкой.

Список использованной литературы

1. Байков В.Н., Горбатов С.В., Димитров З.А. Построение зависимости между напряжениями и деформациями сжатого бетона по системе нормируемых показателей. - Изв. вузов. Строит-во и архитектура. – 1977. - № 6.- С. 15-18.
2. Дроздов П.Ф. Конструирование и расчет несущих систем многоэтажных зданий и их элементов. - М.: Стройиздат. – 1977. - 223 с.
3. Зулпуев А.М. Построение аппроксимирующей зависимости «напряжения-деформация» для бетона. //Научно-технический и производственный журнал «Бетон и железобетон». № 2, 2006. - Москва. - 2006. - С. 9-11.
4. Карпенко Н.И., Мухамедиев Т.А., Петров А.Н. Исходные и трансформированные диаграммы деформирования бетона и арматуры. - В кн.: напряженно-деформированное состояние бетонных и железобетонных конструкций. - М.: НИИЖБ. - 1986. – С. 7-25.
5. Смирнов О.Г. Расчет железобетонных конструкций каркасно-панельных зданий на устойчивость и по деформированной схеме. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. - М., МИСИ им. В.В. Куйбышева. – 1973. – 15 с.
6. Паньшин Л.Л. Предельные состояния каркасно-связевых несущих систем. Автореф. докт. дисс. - М. МИСИ им. В.В. Куйбышева. – 1984. – 36 с.

Рецензент: д.т.н., профессор Абдыкалыков А.