

О ПРИЛОЖИМОСТИ РЕШЕНИЙ ИДЕАЛЬНОГО УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЛА К РАСЧЕТУ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РОСТВЕРКОВ ПОРТОВЫХ ПРИЧАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Мазуренко Л.В. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры)

Даны принципы для установления перехода от расчетов идеального упруго-пластического тела к железобетону. Сформулированы условия решения задач строительной механики железобетона без использования теории идеального упруго-пластического тела.

Сейчас научные работы по расчетам сооружений за пределами упругости почти целиком посвящены идеальному упруго-пластическому телу, подчиняющемуся диаграмме Прандтля [в осях σ_1 , ε_1 (обобщенное напряжение и обобщенная деформация)].

Работ, учитывающих упрочнение после упругой стадии, значительно меньше и это объясняется как существенным усложнением расчетов, так и практической неопределенностью данного направления, вызванной некомпенсацией ряда факторов, снижающих несущую способность и увеличивающих деформации.

В связи с этим приложимость результатов расчетов идеального упруго-пластического тела к железобетону ростверков портовых гидротехнических сооружений вызывает большой практический интерес.

Изучение физики деформирования сечений железобетонных элементов показывает значительные отличия от тела Прандтля. Однако, тут важные интегральные количественные и качественные результаты, такие, как: перераспределение усилий, роль перearмирования и недоармирования, пластика арматуры и сжатой зоны бетона, несущая способность статически неопределимых балок и рам, установление соответствия между фазами состояния железобетона и идеального упруго-пластического тела. Наиболее полный и достоверный ответ на все эти вопросы может быть получен из экспериментов.

Рассмотрим физику работы железобетона при перераспределении усилий. Пластические шарниры в действительности не образуются, но можно обнаружить заметное изменение наклона упругой линии на

малой длине элемента в том месте, где предполагалось образование пластического шарнира.

Испытаниями установлено [1], что для полного перераспределения усилий пластические деформации сжатой зоны должны собираться с достаточно значительного участка по длине балки.

Опыты [2] показали возможность полного перераспределения лишь за счет повышенной деформативности бетона сжатой зоны. «При этом образуется своеобразный пластический шарнир, допускающий значительные деформации при практически постоянной величине изгибающего момента» [2].

В сжато-изогнутых элементах рам наблюдается существенное повышение предельной сжимаемости бетона (в 3,5 раза больше, чем было известно ранее). Подобие пластического шарнира возникает и при течении арматуры, поэтому при значительном переармировании растянутой зоны (если достаточно работы сжатой зоны и сжатой арматуры) предельный момент повышается. Если же работы сжатой зоны и сжатой арматуры не хватает, то пластический момент определяется более слабой частью сечения.

Недоармирование сечения в растянутой зоне, как правило, приводит к понижению пластического момента и способствует выравниванию усилий в системе.

Появление трещин наблюдается одновременно с течением арматуры. Рассмотрим перераспределение усилий в обычном и предварительно напряженном железобетоне. Исследования неразрезных балок и рам, армированных горячекатаной арматурой периодического профиля, показали, что если сопоставить опытную разрушающую нагрузку с предельной нагрузкой для конструкции, имеющей такие же пластические моменты, как и у железобетонных сечений, в которых образуются пластический шарнир, то результаты полностью идентичны [2]. При этом в горячекатаной арматуре развиваются существенные пластические деформации.

При армировании неразрезных балок гладкой арматурой перераспределение усилий также реализуется, но не за счет пластических деформаций ее (арматура имеет напряжения на пределе пропорциональности), а за счет нарушения сцепления арматуры с бетоном.

Значительный обзор экспериментальных работ, выполненный С.М. Крыловым [2], позволяет утверждать, что в обычном железобетоне теоретическая схема разрушения подтверждается, а образование пластических шарниров сопровождается малыми деформациями (т.е.

величинами более высокого порядка малости по сравнению с размерениями расчетной схемы).

Очень важен при объяснении опытных результатов учет самоупрочнения арматуры, существенно повышающей несущую способность сечения.

Арматура железобетонных конструкций в большинстве случаев обладает самоупрочнением, которое может быть учтено расчетами. Это позволяет объяснить увеличение действительной разрушающей нагрузки по сравнению с теоретической, определяемой по предельным моментам.

Если испытаний конструкций из обычного железобетона мало, то для предварительно напряженного железобетона их еще меньше.

Тем не менее, проведенными экспериментами [2] установлено, что:

1) в предварительно напряженных неразрезных балках, армированных горячекатаной арматурой периодического профиля, перед разрушением происходит полное перераспределение усилий;

2) в балках с пучковой арматурой из высокопрочной проволоки полное перераспределение усилий происходит только в случае достаточного предварительного натяжения арматуры и качественного заполнения каналов раствором;

3) до появления трещин распределение усилий достаточно точно оценивается расчетом упругой системы;

4) обычно рекомендуемые в нормативных документах величины предварительного напряжения арматуры являются достаточными для реализации полного перераспределения усилий.

Можно считать установленным соответствие между расчетами по первому предварительному состоянию тела Прандтля и железобетона.

Обычно при этом по разрушающему моменту железобетонного сечения, определяемого методами теории железобетона, используя известную геометрию сечения, подбирают напряжения текучести, дающие пластический момент, равный разрушающему для железобетона.

Если идти дальше в обобщениях, то можно, отталкиваясь от известных характеристик материала, определить несущую способность конструкции с учетом сложного напряженного состояния.

Для этого вначале испытаниями простейших балочных элементов устанавливается соответствие между телом Прандтля и железобетоном. Затем из подобных элементов собирается статически неопределимая система (со значительными гибкостями стержней), в которой учет сложного напряженного состояния дает ощутимый эффект. Далее экспериментально устанавливается несущая

способность такой системы и проверяется расчетами идеального тела в сложном напряженном состоянии.

Указанная выше аналогия по несущей способности между стержнями из железобетона и идеального тела будет значительно более тесной и полной, если геометрические размеры идеального стержня принимать, исходя из условия равенства их пластических моментов, равенства нормальных сил при потере стержнями устойчивости и равенства предельных усилий при испытании их на чистый срез. Указанные 3 условия позволяют однозначно определить ширину и высоту сечения, а также σ_T . Следует отметить, что разрушающий момент и перерезывающая сила определяются теорией железобетона достаточно точно, чего нельзя сказать о расчетах на устойчивость. Подбор размеров сечения и предела текучести на основании указанных трех условий означает, по сути, задание, как геометрии железобетонных элементов, так и их продольного и поперечного армирования.

Работа конструкций в стадии эксплуатации без раскрытия трещин, но с перераспределением усилий (из-за пластики сжатой зоны) вплотную сближает результаты теории идеального тела с железобетоном; армирование при этом вводится как внешняя сила, зависящая от деформаций; растянутая зона бетона работает в упругой стадии, в сжатой зоне возможна пластическая работа. Таким образом, тут железобетон, по сути, моделируется идеальным телом, что и порождает близость теоретических и фактических результатов (без ползучести).

В то же время надо отметить, что в стадии трещинообразования такого соответствия уже не будет. Хотя попытки подогнать деформации стержня из идеального тела под деформации железобетонного стержня в стадии раскрытия и развития трещин и заслуживают внимания, но с принципиальных позиций это не решение задачи. Кроме того, никаких экспериментальных сопоставлений по деформациям не делалось.

Влияние ползучести железобетона является тем фактором, который замкнет проблемы расчетов по второму и третьему предельным состояниям и сделает осуществимым близость теоретических и фактических параметров.

В то же время не следует переоценивать роль ползучести, связанной для наших сооружений лишь с крановыми и равномерно распределенными нагрузками на ростверк. В этом плане нужно иметь схему фактической загрузки реально эксплуатируемого ростверка хотя бы на протяжении года в функции от времени. Нам представляется,

что из всех нагрузок наибольшая роль в образовании ползучести принадлежит наиболее постоянной крановой нагрузке. В связи с этим можно предложить следующую расчетную схему:

- крановая нагрузка принимается постоянной, ползучесть учитывается только от нее;
- остальные нагрузки – повторно-переменные;
- рассматривается установившийся процесс, когда деформация ползучести уже стабилизировалась;
- на эти стабилизировавшиеся деформации и напряжения накладываются повторно-переменные деформации и напряжения.

Однако, сам по себе процесс расчета с учетом ползучести очень сложен. Ввиду отмеченной моделируемости железобетона идеальным телом очень уместна модель упруго-пластически - вязкого тела с той же мерой ползучести, что и у сжатого бетона.

Очевидно, что всякая модель рабочего тела справедлива до определенных пределов и не всегда соответствие является достаточно полным. Ясно, что если идеальное тело и можно использовать в каких-то расчетных стадиях, то с его помощью никогда не удастся решить всей статики железобетона. Железобетон как материал сложнее идеального тела. В этом смысле модель тела Прандтля не удовлетворяет уже инженера-конструктора железобетонных сооружений. Какие же физические свойства железобетона следует положить в основу его модели? Как отмечает О.Я. Берг [3], необходимо учесть:

- а) значительное превышение величин сопротивления бетона срезу над величиной сопротивления отрыва.
- б) наличие в бетоне при его нагружении границы области образования микротрещин, как при изгибе, так и при сжатии.
- в) наступление разрушения бетона при сжатии от поперечного разрыва при прогрессирующем нарушении прочности материала.
- г) влияние развитой системы микротрещин на сопротивление бетона воздействию многократно повторяющейся нагрузки и длительно действующей нагрузки большой интенсивности.
- д) влияние развития микротрещин на деформации железобетонных конструкций и развития видимых трещин в растянутой зоне бетона.

Вообще весь комплекс свойств укладывается в рамки следующих основных положений (физическая анизотропия):

- различная прочность и деформативность бетона на сжатие и растяжение;
- разные величины продольных деформаций сжатия и растяжения;
- различные механические характеристики бетона и арматуры;

- зависимость этих характеристик от времени.

По-видимому, модель железобетона должна основываться на:

1. анализе испытаний бетонных образцов на сжатие и растяжение, и построение «упруго-пластической» аппроксимации диаграмм испытаний [$\sigma = f(\epsilon, t)$].
2. использовании вплоть до разрушения гипотезы плоских сечений.
3. рассмотрении железобетона как комплексного упруго-пластического материала с учетом обрыва диаграммы σ - ϵ при разрушении волокон.

С помощью этих предложений может быть, по-видимому, построено основное деформативно-силовое уравнение для железобетона в условиях сложного напряженного состояния (для плоских рам) без использования теории идеального упруго-пластического тела.

Литература

1. Черноморниипроект. Отчет по теме НИР «Совершенствование конструкций портовых гидротехнических сооружений и методов их расчета». Одесса, 1966.
2. Крылов С.М. Перераспределение усилий в статически-неопределимых железобетонных конструкциях. Издательство литературы по строительству Москва. 1964.
3. Берг О.Я. Некоторые физические обоснования теории прочности бетона. Сборник. Теория расчета и конструирования железобетонных конструкций. Москва. 1958.