

- Kardumian G. High corrosion resistance of self-stressing concrete. – 13 Internationale Baustofftagung, Weimar, Deutschland, 1997. – Band 2, s. 297–305.
- Модификатор бетона МБ-01. Технические условия ТУ 5743-073-46584090-98. – М.: НИИЖБ, 1998. – 27 с.
- Каприелов С.С. Общие закономерности формирования структуры цементного камня и бетона с добавкой ультрадисперсных материалов. – Бетон и железобетон. – 4 (1995). – С. 16–20.
- Каприелов С.С., Шейнфельд А.В. Микрокремнезем в бетоне: – Обзорная информация. – М.: ВНИИСТ, 1993. – 55 с.
- Цемент напрягающий. Технические условия ТУ РБ 02071613.183-99. – Брест, БПИ, 1999. – С. 14.
- Красильников К.Г., Никитина Л.В., Скоблинская Н.Н. Физико-химия собственных деформаций цементного камня. – М.: Стройиздат, 1980. – 255 с.
- Kardumian G., Krol M., Tur V. Technological and Structural Properties of Self-Stressed Concrete. – "75 Jahre Quellzement", Int. Symp., Weimar, Deutschland, 1995. – HAB Universität, s. 129–137

УДК 624.012

Прокопня О.Н.

ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛНОВЕСНЫХ ДИАГРАММ ДЕФОРМИРОВАНИЯ БЕТОНА

В настоящее время при расчете железобетонных конструкций используют плновесные диаграммы деформирования бетона, которые отличаются наличием ниспадающей ветви, соответствующей стадии разрушения образца. Данная стадия характеризуется снижением напряжений и соответственно, силы нагружения по мере увеличения деформации. Для получения указанных диаграмм требуется соответствующее оборудование, которое в Республике Беларусь практически отсутствует. Поэтому работы, направленные на его создание, представляют практический интерес.

Деформирование образца осуществляется в результате его взаимодействия с испытательной машиной. Расчетная схема данной системы приведена на рис. 1а. Она представляет собой замкнутый контур, содержащий упругие элементы, которыми представлена машина и образец, а также выходное звено механизма нагружения в виде гидроцилиндра.

Как следует из приведенной схемы, перемещение поршня гидроцилиндра

$$S_{ГЦ} = \Delta l_M + \Delta l_0, \quad (1)$$

где Δl_M и Δl_0 - деформация машины и образца.

Диаграмму деформирования машины с достаточной степенью точности можно считать линейной. Тогда

$$\Delta l_M = P_{ГЦ} / c_M, \quad (2)$$

где $P_{ГЦ}$ - сила, создаваемая гидроцилиндром; c_M - жесткость машины.

Для простоты, восходящую и ниспадающую ветви диаграммы деформирования образца также будем считать линейными. Тогда для восходящей ветви диаграммы

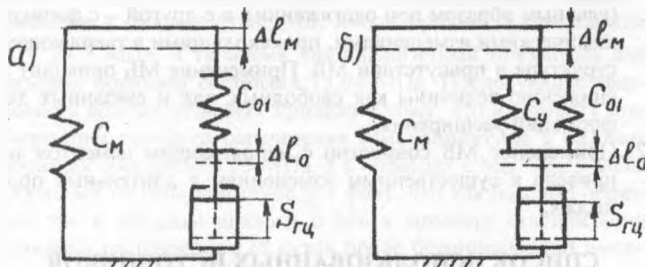


Рисунок 1. Расчетная схема системы «машина-образец» а) – исходная; б) – с упругими элементами

$$\Delta l_0 = P / c_{01}, \quad (3)$$

где P - сила, действующая на образец; c_{01} - жесткость образца на восходящей ветви.

Учитывая, что для данной схемы $P = P_{ГЦ}$, из (1) с учетом (2), (3) получаем

$$P_{ГЦ} = S_{ГЦ} / (1/c_M + 1/c_{01}) \quad (4)$$

Графическая иллюстрация процесса взаимодействия в системе согласно (1), (4) приведена на рис. 2. Точка D, лежащая на пересечении диаграмм машины и образца, определяет состояние равновесия при заданном положении поршня гидроцилиндра. Оно является устойчивым, так как случайное отклонение Δl_0 в сторону увеличения приводит к тому, что сила сопротивления со стороны образца становится больше силы, создаваемой гидроцилиндром, и дальнейший рост Δl_0 невозможен.

Следовательно, процесс деформирования образца на восходящей ветви диаграммы (отрезок АВ) полностью контролируем, то есть сила нагружения однозначно определяется перемещением поршня гидроцилиндра в соответствии с (4).

На ниспадающей ветви диаграммы состояние равновесия определяется положением точки D'. Оно является устойчивым, если диаграмма деформирования машины (1 на рис. 2) имеет больший наклон, чем диаграмма деформирования образца (отрезок ВС).

Для ниспадающей ветви диаграммы

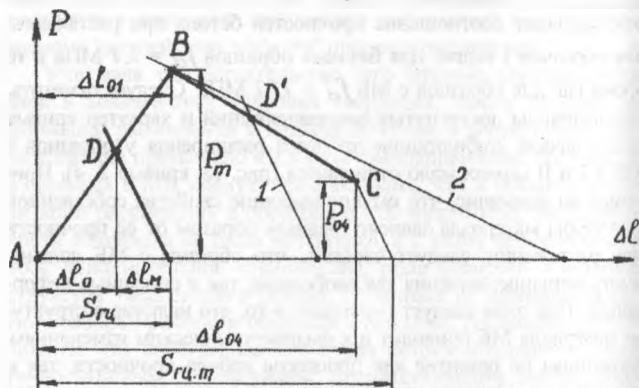


Рисунок 2. Взаимодействие в системе «образец-машина»

Прокопня Олег Николаевич. К.т.н., доцент каф. автоматизации технологических процессов и производства Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская 267.

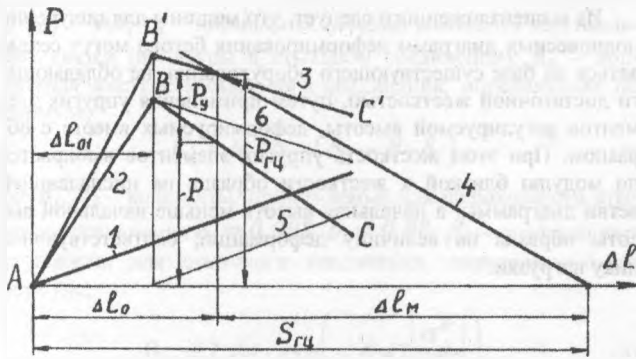


Рисунок 3. Взаимодействие в системе «образец-машина» при наличии упругих элементов

$$\Delta l_0 = \Delta l_{01} + (P - P_m) / c_{14}, \quad (5)$$

где Δl_{01} – деформация образца, соответствующая пику нагрузки; P_m – максимальная сила, воспринимаемая образцом; c_{14} – жесткость образца на ниспадающей ветви диаграммы (имеет отрицательное значение и определяется как отношение приращения силы к приращению деформации).

Учитывая, что $P = P_{ГЦ}$, из (1) с учетом (2) и (5) получаем

$$P_{ГЦ} = \frac{S_{ГЦ} - \Delta l_{01} + P_m / c_{14}}{1 / c_M + 1 / c_{14}} \quad (6)$$

Следовательно, при указанном условии процесс деформирования образца на ниспадающей ветви диаграммы также является контролируемым, то есть значение нагрузки однозначно определяется величиной $S_{ГЦ}$ в соответствии с (6).

Если диаграмма машины (2 на рис. 2) имеет меньший наклон чем ниспадающая ветвь диаграммы образца (участок BC), то после достижения пика нагрузки (точка B) происходит неконтролируемое разрушение образца за счет высвобождения потенциальной энергии деформации машины. Данный процесс является необратимым, так как сила, создаваемая машиной, превышает силу сопротивления со стороны образца во всех точках ниспадающей ветви диаграммы.

Поскольку наклон диаграмм определяется значениями жесткости машины и образца, то условие контролируемости процесса деформирования можно записать в виде

$$c_{14} > -c_M \text{ или } |c_{14}| < c_M \quad (7)$$

Таким образом, машина для получения полновесных диаграмм деформирования бетона должна иметь жесткость, превышающую по модулю жесткость образца во всех точках ниспадающей ветви диаграммы.

Максимальное перемещение поршня гидроцилиндра

$$S_{ГЦ.м} = P_{04} / c_M + \Delta l_{04}, \quad (8)$$

где P_{04} и Δl_{04} – сила и деформация, соответствующие моменту разрушения образца.

Выражение (8) позволяет оценить требуемый ход механизма нагружения по известным параметрам разрушения образца. На практике он не превышает 1..2 мм.

Перемещение, требуемое для получения ниспадающей ветви диаграммы

$$S_{ГЦ.14} = (P_{04} - P_m) (1 / c_M + 1 / c_{14}) \quad (9)$$

Согласно (9), если c_M близко к $|c_{14}|$, то значение $S_{ГЦ.14}$ очень мало и величину деформации образца трудно контролировать с требуемой точностью.

Из вышеизложенного следует, что при проектировании нового оборудования необходимо стремиться к обеспечению условия (7) с возможно большим запасом, то есть жесткость машины должна быть по возможности большей.

На основании данного требования можно сделать следующие рекомендации по выбору конструктивных параметров проектируемых машин:

- 1) габариты машины и ход исполнительного гидроцилиндра должны быть минимально возможными;
- 2) гидроцилиндр должен иметь по возможности больший диаметр и использоваться только для деформирования образца;
- 3) силовые элементы машины, воспринимающие нагрузку, должны иметь по возможности меньшую длину и большее поперечное сечение.

Существующее оборудование, например прессы ПСУ-10..500, как правило, проектировалось без соблюдения приведенных рекомендаций, и поэтому, не обладает требуемой жесткостью. Однако, его использование для получения полновесных диаграмм деформирования бетона принципиально возможно.

При недостаточной жесткости машины условие контролируемости процесса деформирования может быть обеспечено за счет использования упругих элементов, которые деформируются вместе с образцом и воспринимают часть нагрузки, создаваемой гидроцилиндром. Расчетная схема такой системы приведена на рис. 16.

В соответствии с данной схемой

$$P_{ГЦ} = P + P_y, \quad (10)$$

где P_y – сила, воспринимаемая упругими элементами.

Таким образом, все рассуждения, приведенные выше для исходной схемы, справедливы и для данной схемы, если вместо диаграммы образца использовать суммарную диаграмму образца и упругих элементов.

Графическая иллюстрация процесса взаимодействия в системе «образец-машина» при наличии упругих элементов представлена на рис. 3. Диаграмма 3 построена путем суммирования ординат диаграмм упругих элементов 1 и образца 2.

Состояние системы определяется положением точки

D на участке $B'C'$ суммарной диаграммы. Так как участок $B'C'$ имеет меньший наклон чем диаграмма машины 4, то процесс является контролируемым. В то же время участок BC диаграммы образца имеет больший наклон чем диаграмма машины, что соответствует неконтролируемому процессу.

Таким образом, наглядно подтверждается возможность обеспечения контролируемости процесса деформирования за счет использования упругих элементов.

По аналогии с (7) условие контролируемости можно записать в виде

$$c_y > -c_M - c_{14} \text{ или } c_y > |c_{14}| - c_M \quad (11)$$

где c_y – жесткость упругих элементов.

Диаграмма 1 на рис. 3 соответствует одинаковой начальной высоте упругих элементов и образца. В этом случае, в соответствии с (10), возрастает максимальная сила гидроцилиндра, воспринимаемая машиной.

Избежать этого можно, применив упругие элементы с регулируемой высотой. Если принять разность начальных высот образца и упругих элементов равной Δl_{01} , то деформирование последних будет осуществляться в соответствии с диаграммой 5 (см. рис. 3). При этом максимальная сила гидроцилиндра не увеличивается, а контролируемость процесса будет обеспечена за счет изменения наклона ниспадающей ветви суммарной диаграммы 6.

Для того чтобы максимальная сила гидроцилиндра не превышала максимальную силу деформации образца при $\Delta l_0 > \Delta l_{01}$, необходимо выполнение условия

$$c_y \leq -c_{14} \text{ или } c_y \leq |c_{14}| \quad (12)$$

Таким образом, жесткость упругих элементов можно выбирать в соответствии с (11), (12). Наиболее рациональным следует считать значение $c_y = |c_{14}|$, так как оно требует наибольшего перемещения поршня гидроцилиндра при получении ниспадающей ветви диаграммы, что обеспечивает более высокую точность контроля деформации образца.

УДК 624.012.35.-033.32

Тур В.В., Шалобыта Т.П.

ПРИМЕНЕНИЕ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ РАСЧЕТА ИЗГИБАЕМЫХ СБОРНО-МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ НЕЛИНЕЙНОЙ РАБОТЫ СВЯЗЕЙ СДВИГА

Расчет железобетонных конструкций в соответствии с положениями деформационной модели [1], внесенной в качестве основной расчетной модели в проект норм [2], позволяет отказаться от целого ряда условностей и производить расчет сборно-монолитных конструкций на всех этапах их работы при любой компоновке составного сечения и произвольной системе действующих сил. Вместе с тем, принятая в [2] гипотеза о сплошности стыкового соединения и оценка прочности контакта как отдельно взятого элемента, а не в составе сборно-монолитной конструкции в целом, не позволяет повысить точность производимых расчетов [3–5]. Определение напряженно-деформированного состояния как стыкового соединения, так и в целом сборно-монолитного сечения, может быть в простейшей постановке выполнено при модификации теории составных стержней с учетом нелинейного поведения как составляющих элементов (деформационная расчетная модель для сечения), так и связей сдвига (деформационная модель для контакта). В общем случае при расчете сборно-монолитных изгибаемых конструкций на базе положений деформационной модели согласно [2], с учетом нелинейного поведения связей сдвига следует использовать систему разрабатываемых уравнений вида:

$$\frac{d\varphi}{dx} = \frac{V_{sd,x} - \tau_{Rd,j} \cdot b_j \cdot \left(\frac{B_{1,2(m)} - B_{1,2(s)}}{B_{1,1(m)} - B_{1,1(s)}} \right)}{B_{2,2(m)} + B_{2,2(s)} - \left(\frac{B_{1,2(m)}^2}{B_{1,1(m)}} + \frac{B_{1,2(s)}^2}{B_{1,1(s)}} \right)} \quad (1)$$

$$\frac{d\varepsilon_1}{dx} = \frac{\tau_{Rd,j} \cdot b_j}{B_{1,1(m)}} \cdot \frac{B_{1,2(m)}}{B_{1,1(m)}} \cdot \frac{d\varphi}{dx}$$

$$\frac{d\varepsilon_2}{dx} = \frac{\tau_{Rd,j} \cdot b_j}{B_{1,1(s)}} \cdot \frac{B_{1,2(s)}}{B_{1,1(s)}} \cdot \frac{d\varphi}{dx}$$

$$\frac{d\tau_{Rd,j} \cdot b_j}{dx} = (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) \cdot k'_i$$

Из вышеизложенного следует, что машины для получения полновесных диаграмм деформирования бетона могут создаваться на базе существующего оборудования, не обладающего достаточной жесткостью, путем применения упругих элементов регулируемой высоты, деформируемых вместе с образцом. При этом жесткость упругих элементов выбирается по модулю близкой к жесткости образца на ниспадающей ветви диаграммы, а начальная высота меньше начальной высоты образца на величину деформации, соответствующей пику нагрузки.

где: $\tau_{Rd,j}$ – текущие значения касательных напряжений в стыковом соединении; b_j – расчетная ширина стыкового соединения в рассматриваемом сечении x по длине балки; $B_{1,1(m)}$, $B_{1,2(m)}$, $B_{2,2(m)}$ – элементы матрицы мгновенных жесткостей согласно [6] для монолитной части сечения, определяемые относительно оси, проходящей в плоскости контакта; $B_{1,1(s)}$, $B_{1,2(s)}$, $B_{2,2(s)}$ – элементы матрицы мгновенных жесткостей для сборной части сечения, определяемые относительно той же оси; ε_1 , ε_2 – относительные продольные деформации соответственно монолитной и сборной частей сечения на уровне продольной оси, располагаемой в плоскости контакта; φ – кривизна сборно-монолитного сечения; $V_{sd,x}$ – расчетная поперечная сила в сечении x по длине контакта, соответствующая рассматриваемому уровню нагружения; $k'_i = d\tau_{Rd,j}/d\delta_i$ – текущее значение коэффициента сдвиговой жесткости для стыкового соединения, определяемое в зависимости от уровня нагружения и конструкции стыкового соединения.

В зависимости от конструкции стыка текущее значение коэффициента сдвиговой жесткости k'_i следует определять: – для армированных стыков с деформируемыми вертикальными связями ($0 < r_n < \infty$):

$$k'_i = \frac{\xi + \xi \frac{r_n}{k_n}}{1 + \xi \frac{r_n}{k_n}} k'_{i0} \quad (2)$$

– для неармированных стыков ($r_n = 0$, $\sigma'_n = const$):

$$k'_i = \xi \cdot k'_{i0} \quad (3)$$

– для стыков с абсолютно жесткими вертикальными связями ($r_n = \infty$, $\sigma'_n = const$):

$$k'_i = k'_{i0} \quad (4)$$

В формулах (2) – (4):

k'_{i0} – текущее значение сдвиговой жесткости, определяемое для соответствующего уровня нагружения по диаграмме

Тур Виктор Владимирович. Д.т.н., зав. каф. технологии бетона и строительных материалов Брестского государственного технического университета.

Шалобыта Татьяна Петровна. Кандидат технических наук, ст. преподаватель кафедры технологии бетона и строительных материалов Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская 267.