

УДК 67.03.03

## УТОЧНЕНИЯ К РАСЧЕТУ ДЕФОРМАЦИЙ ЗАЖАТИЯ И РАЗМЫКАНИЯ ТРЕЩИН

*А. М. Кокарев, С. А. Кокарев*

*Астраханский инженерно-строительный институт (Россия)*

В статье предложен вариант аналитического описания участков зажатия и размыкания трещин стержневых железобетонных элементов, построенный на основе анализа экспериментальных исследований на знакопеременное деформирование железобетонных призм при малоцикловых нагружениях. При зажатии и размыкании трещин бетон в сечении с трещиной обладает большой деформативностью, которую можно оценить введя коэффициент зажатия при сжатии стержня, при растяжении коэффициент размыкания трещин. В статье исследованы изменения этих коэффициентов и предложен вариант аппроксимации их изменений на участках диаграммы знакопеременного малоциклового деформирования стержневых элементов при зажатии и размыкании трещин. С использованием аппроксимированных значений коэффициентов вычислены средние деформации железобетонных элементов, которые показали хорошую сходимость результатов с экспериментальными.

**Ключевые слова:** деформация, малоцикловое нагружение, зажатие, размыкание трещин, железобетонные стержневые элементы, усилие, бетон, арматура, растяжение, сжатие.

The article proposes an analytical description of the sections of the clamping and opening of cracks core concrete elements constructed on the basis of analysis of experimental studies on the alternating deformation of concrete prisms for low-cycle loading. When clamping and opening of cracks in the concrete in the section where the crack has a high deformability, which can be estimated by entering the ratio clamping compression of the rod, at a stretching

ratio of open cracks. The article examines changes in these factors and suggested approximation of their changes on the parts diagram low-cycle alternating deformation of the beam elements in the clamping and opening of cracks. Using the approximated values of the coefficients calculated average deformation of reinforced concrete elements, which showed a good convergence of the results with experimental data.

**Key words:** *deformation, low-cycle loading, clamping, opening cracks, reinforced concrete beam elements, force, concrete, rebar, tension, compression.*

В процессе зажатия и размыкания трещин железобетонные стержневые элементы обладают большой деформативностью, то есть относительно большие деформации происходят при малых значениях усилий. В сечении с трещиной продольная сила воспринимается арматурой при действии растягивающих усилий. После разгрузки растяжения, в силу частичного освобождения арматуры от влияния усадочных деформаций, разрыхления бетона и некоторого сдвига берегов трещин, остаточная деформация составляет порядка 15 % деформации растяжения до уровня 70 % усилия, соответствующего пределу прочности арматуры.

Полагая, что в сечении с трещиной перед зажатием трещин напряжение в бетоне и арматуре равно нулю, а средняя остаточная деформация положительная, то с появлением сжимающей силы, в начале сжатия, ее будет воспринимать арматура с постепенным включением в работу на сжатие бетона. В дальнейшем до полного зажатия трещин бетон будет включаться в восприятие сжимающей силы.

Таким образом, можно считать, что сила в сечении с трещиной равна  $N = N_s + N_z$  или  $N = \varepsilon_s E_s A_s + \varepsilon_b E_b v_z A_b$ . Принимаем, что деформации у арматуры и бетона в трещине равны  $\varepsilon_b = \varepsilon_s = \varepsilon_{bs}$ . Отсюда коэффициент  $v_z$ , характеризующий деформирование бетона в сечении трещины при ее зажатии можно выразить:

$$v_z = (N - \varepsilon_{bs} E_s A_s) / (\varepsilon_{bs} E_b A_b).$$

Коэффициент  $v_z$  учитывается на участке зажатия трещин от нуля до полного зажатия, величину которого можно определить и выражения (6) [1].

Тогда, используя опытные данные знакопеременного деформирования железобетонных призм из [2] при зажатии трещин (график на рис. 1), можно проследить характер изменения коэффициента  $v_z$  в зависимости от уровня усилия зажатия (рис. 2). Усилие зажатия  $N_j$  можно определить по зависимости из [1].

Из графика рис. 2 видно, что коэффициент  $v_z$  на участке зажатия изменяется не существенно, то есть модуль бетона зажатия на участке зажатия трещин существенно не изменяется а участок зажатия можно аппроксимировать ломаной линейной зависимостью. Вычисленные значения деформаций по зависимости  $\varepsilon = N / (E_b v_z A_b + E_s A_s)$  показали хорошую сходимость опытных и расчетных результатов (рис. 1).

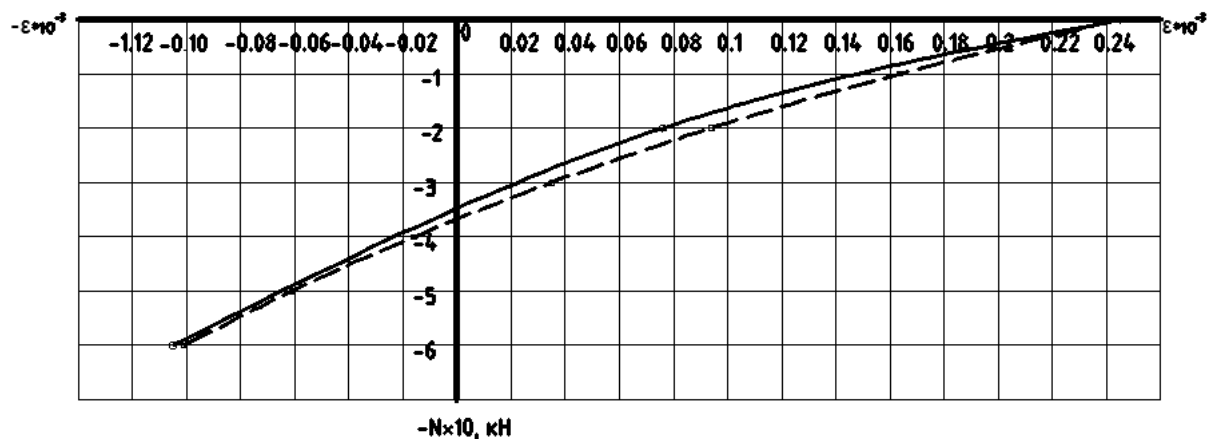


Рис. 1. График зажатия трещин железобетонных стержневых элементов при знакопеременном деформировании в первом цикле. Сплошная линия – экспериментальная, пунктирная – расчетная

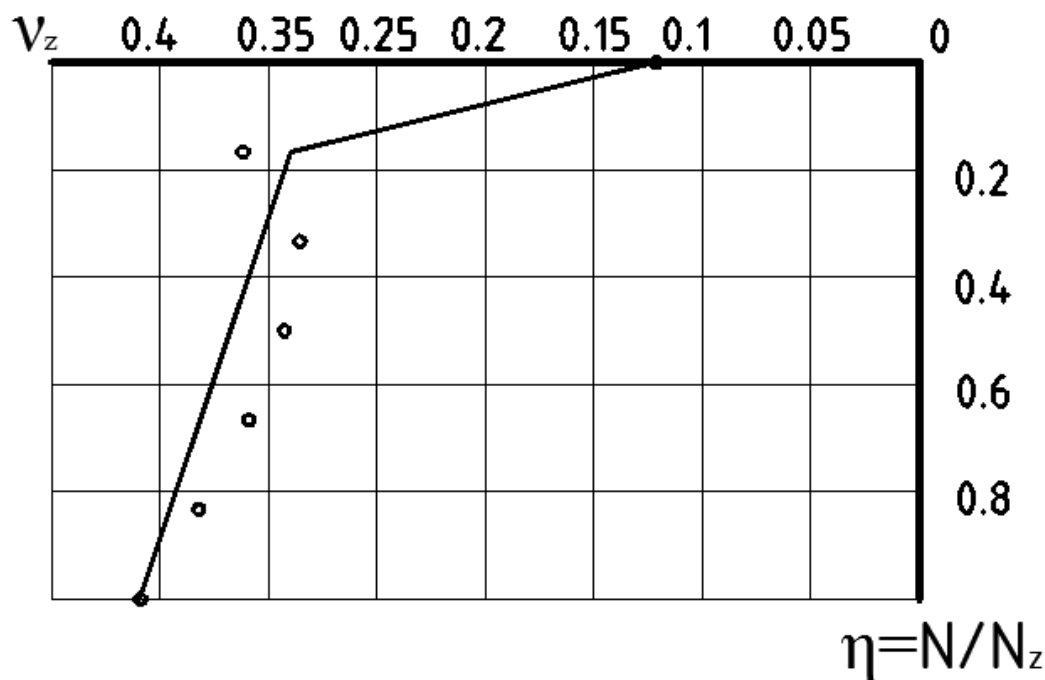


Рис. 2. График изменения коэффициента  $\nu_z$  в зависимости от уровня усилия зажатия трещин

При размыкании трещин, принимая аналогичным зажатую трещин зависимость между напряжениями и деформациями, полагая, что в сечении с трещиной деформации у арматуры и бетона размыкания трещин одинаковы, можно выразить коэффициент размыкания трещин

$$\nu_r = (N - \varepsilon_{bs} E_s A_s) / (\varepsilon_{bs} E_b A_b).$$

Определив усилие размыкания по [3] и используя экспериментальные данные знакопеременного деформирования железобетонных призм при размыкании трещин (график на рис. 3), можно проследить характер

изменения коэффициента  $\nu_r$  размыкания трещин (рис. 4). Из графика (рис. 4) видно, что коэффициент размыкания трещин существенно не изменяется и деформирование бетона при размыкании трещин характеризуется модулем составляющем величину порядка 12 % начального. Таким образом, при размыкании трещин деформирование бетона можно описывать линейной зависимостью, так же как и при зажатии трещин.

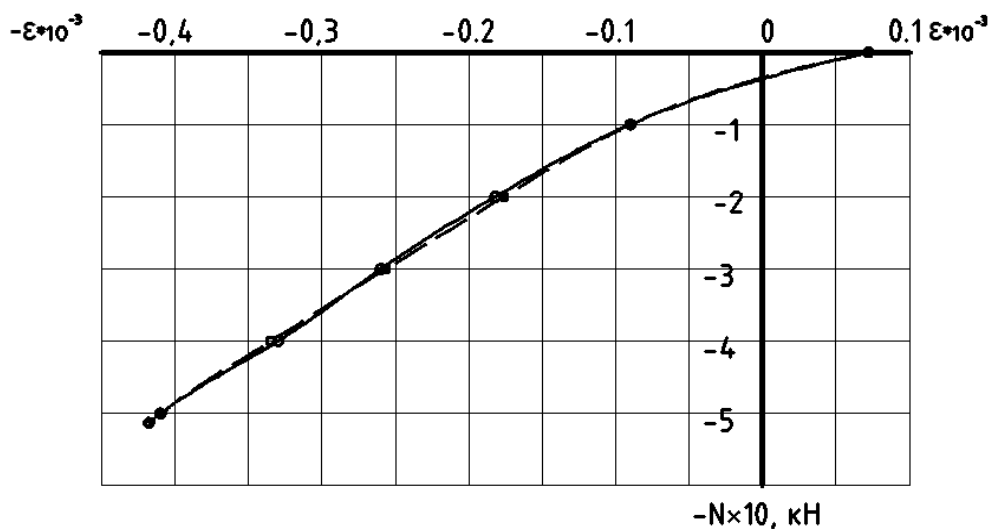


Рис. 3. График размыкания трещин железобетонных стержневых элементов при знакопеременном деформировании в первом цикле. Сплошная линия – экспериментальная, пунктирная – расчетная

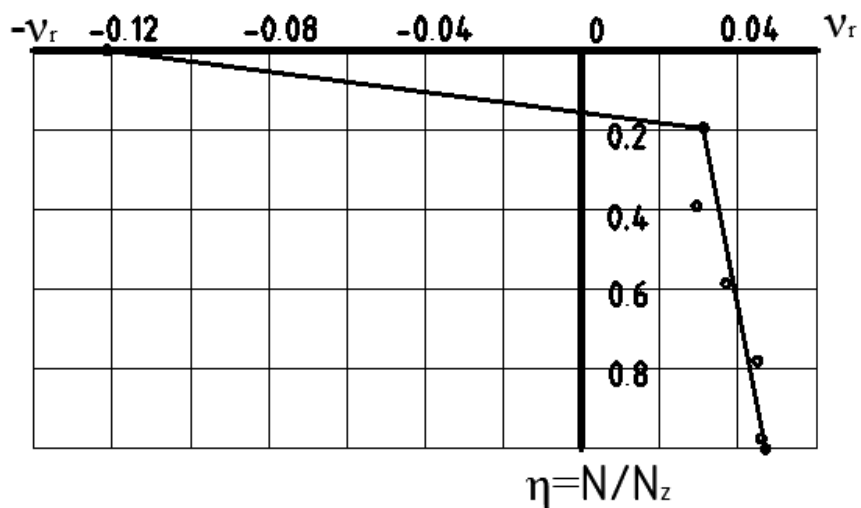


Рис. 4. График изменения коэффициента размыкания трещин  $\nu_r$  в зависимости от уровня усилия зажатия

На основе анализа полученных результатов знакопеременного деформирования стержневых железобетонных элементов на участках зажатия и размыкания трещин можно сделать следующий вывод: зажатие и размыкание трещин характеризуется модулем деформаций, составляющим порядка 12 % начального, причем величина модуля деформаций

при зажатии и размыкании существенно не изменяется. Изменение коэффициента, учитывающего снижение модуля деформаций на участках зажатия и размыкания трещин может, быть аппроксимировано ломаной линией, дающей хорошую сходимость экспериментальных и расчетных значений средних деформаций стержневых железобетонных элементов.

#### **Список литературы**

1. Шеин А. И., Завьялова О. Б. Расчет монолитных железобетонных каркасов с учетом последовательности возведения, физической нелинейности и ползучести бетона // ПГС. – 2012. – № 8. – С. 29–31.

2. Кокарев С. А., Кокарев А. М. К вопросу оценки деформаций зажатия трещин стержневых железобетонных элементов // ПГС. – 2012. – № 8. – С. 46–47.

3. Кокарев А. М. Деформации железобетонных элементов с трещинами при повторных и знакопеременных нагружениях и разгрузках : дис. ... канд. техн. наук. – М. : НИИЖБ Госстроя СССР, 1982. – 208 с.

4. Кокарев А. М., Кокарев С. А. Размыкание трещин стержневых железобетонных элементов после их зажатия // Перспективы развития строительного комплекса : материалы VII Международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов, г. Астрахань, 28–31 октября 2013 г. – Астрахань, 2013. – Т. 1. – С. 38–40.