

10. **Данилова Т. В.** Обоснование целесообразности реконструкции жилых зданий на прединвестиционной стадии управления проектами : дисс. ... канд. техн. наук : 05.13.22 / Данилова Татьяна Валентиновна. – Д., 2001. – 190 с.
11. **Дюк В.** Обработка данных на ПК в примерах / В. Дюк. – СПб. : Питер, 1997. – 240 с.
12. **Елисеева И. И.** Общая теория статистики: учебник / И. И. Елисеева, М. М. Юзбашев. – М. : Финансы и статистика, 1996. – 368 с.
13. **Ефимова М. Р.** Общая теория статистики: учебник / М. Р. Ефимова, Е. В. Петрова, В. Н. Румянцев – М. : ИНФРА-М, 1998. – 416 с.
14. **Залуниин В. Ф.** Проблемы управления строительством в условиях рынка / В. Ф. Залуниин, Р. Б. Тян. – Д. : Наука і освіта, 1990. – 96 с.
15. **Кирнос В. М.** Научно-методологические основы организационно-технологического регулирования продолжительности и стоимости реконструкции промышленных предприятий : дисс. ... доктора техн. наук : 05.23.08 / Кирнос Владимир Михайлович. – Харьков, 1994. – 351 с.
16. **Кирнос О. И.** Организационно-технологические аспекты обоснования цены на строительную продукцию : дисс. ... канд. техн. наук : 05.23.08 / Кирнос Олеся Ивановна. – Д., 1993. – 145 с.
17. **Кравчуновська Т. С.** Розвиток наукових основ організаційно-технологічного проектування комплексної реконструкції житлової забудови : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 05.23.08 «Технологія та організація промислового та цивільного будівництва» / Т. С. Кравчуновська. – Д., 2011. – 33 с.
18. **Лантух Е. В.** Обоснование продолжительности реконструкции с учетом особенностей ее проведения на промышленных объектах : дисс. ... кандидата техн. наук : 05.23.08 / Лантух Елена Владимировна. – Д., 1992. – 217 с.
19. **Савйовський В. В.** Методологічні принципи організаційно-технологічного проектування реконструкції цивільних будівель : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 05.23.08 «Технологія та організація промислового та цивільного будівництва» / В. В. Савйовський – Харків, 2010. – 44 с.
20. **Хататбе А. А.** Обоснование продолжительности строительства жилищно-гражданских объектов : дисс. ... канд. техн. наук : 05.23.08 / Хататбе Ахмед Али. – Д., 1993. – 167 с.

УДК 624.012.45.04

### НОВЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОПРОТИВЛЕНИЯ РАСТЯНУТОГО БЕТОНА МЕЖДУ ТРЕЩИНАМИ СОСТАВНЫХ ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*И. А. Яковенко\*, к. т. н., Г. К. Биджосян\*\**

*\*Национальный авиационный университет,*

*\*\*Донбасский государственный технический университет*

**Ключевые слова:** бетон, сопротивление, сжатые железобетонные конструкции

При внецентренном сжатии, как и при изгибе составного железобетонного элемента, его растянутая зона разделяется трещинами на участки длиной  $l_{crс}$ , и в сечениях с трещинами, как только они появились, растягивающие усилия воспринимаются продольной арматурой. В середине по длине составного железобетонного стержня трещины располагаются на приблизительно равных расстояниях.

В стадии II деформации сжатой и растянутой зон сечения и высота сжатой зоны по длине элемента переменны, а нейтральная ось волнообразная.

Для средних сечений, расположенных на участках между трещинами и испытывающих симметричные воздействия слева и справа, может быть принята гипотеза плоских сечений только в пределах одного из стержней, образующих составной стержень [1]. При этом в составном стержне в местах швов необходимо учитывать условные сосредоточенные сдвиги.

В теории железобетона, предложенной В. И. Мурашевым [2], а в дальнейшем и большинством исследователей, напряжения в сечении с трещиной, выраженные через деформации, принимают вид (рис. 1):

$$\sigma_s = \varepsilon_s E_s = \frac{\varepsilon_{sm} E_s}{\psi_s} = \varepsilon_{sm} E_{sm}, \quad (1)$$

$$\sigma_b = \varepsilon_{bm} \frac{E'_b}{\psi_b} = \varepsilon_{bm} \frac{\nu E_b}{\psi_b} = \frac{x_m \varepsilon_{sm} \nu E_b}{(h_0 - x_m) \psi_b} = \frac{\psi_s x_m \nu \sigma_s}{\alpha \psi_b (h_0 - x_m)}, \quad (2)$$

$$\sigma'_s = \frac{x_m - a'}{h_0 - x_m} \psi_s \sigma_s, \quad (3)$$

где  $\sigma_s$ ,  $\sigma'_s$  – напряжения в растянутой и сжатой арматуре, соответственно, а  $\sigma_b$  – напряжения в бетоне у сжатой грани;  $\psi_s$  – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения деформаций растянутой арматуры между смежными трещинами, равный отношению средних деформаций арматуры к деформациям в сечении с трещиной;  $\psi_b$  – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения деформаций бетона сжатой зоны на участке между трещинами, равный отношению средних деформаций бетона к деформациям в сечении с трещиной.

Исследования, проведенные в последние годы, показали, что значение этого коэффициента близко к 0,9 – 1. Если же рассматривать сопротивление некоторого представительного объема бетона, соизмеримого с расстоянием между трещинами, то анализ механизмов деформирования и разрушения позволяет принять значение этого коэффициента равным единице.

При любой симметричной форме сечения высота сжатой зоны над трещиной находится из условия равновесия (равенства растягивающих и сжимающих усилий):

$$\sigma_s A_s = \sigma'_s A'_s + \omega \sigma_b A_b, \quad (4)$$

где  $\omega$  – коэффициент полноты объема криволинейной эпюры напряжений бетона сжатой зоны (для прямоугольного сечения  $\omega$  изменяется от 0,5 при треугольной эпюре до 1 при прямоугольной); с развитием пластических деформаций бетона сжатой зоны величина  $\omega$  стремится к единице.

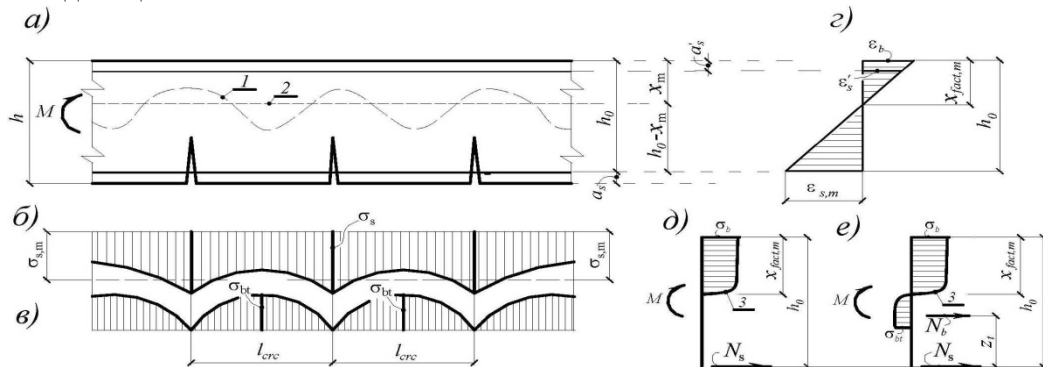


Рис. 1. Типичные картины деформирования бетона и арматуры в железобетонном элементе с трещинами по теории В. И. Мурашева и Я. М. Немировского: а – схема образования трещин; б, в – эпюры напряжений в растянутой арматуре и растянутом бетоне; г – гипотеза плоских сечений; д – внутренние усилия в сечении с трещиной по теории В. И. Мурашева; е – внутренние усилия в сечении с трещиной по теории Я. М. Немировского с учетом работы растянутого бетона над трещиной

После подстановки в уравнение (4) напряжений по формулам (2) и (3), сокращения на  $\sigma_s$  и алгебраических преобразований получим уравнение:

$$A_s - \psi_s A'_s \frac{x_m - a'}{h_0 - x_m} - \omega \psi_b \frac{\psi_s \nu x_m}{\alpha \psi_b (h_0 - x_m)} = 0. \quad (5)$$

В стадии II изгибающий момент в сечении с трещиной может быть выражен как момент внутренних усилий относительно центра тяжести сечения растянутой арматуры:

$$M = \omega \sigma_b A_b z_b + \frac{x_m - a'}{x_m} \cdot \frac{\alpha}{\nu} \sigma_b A'_s (h_0 - a') =$$

$$= \sigma_b \left[ \omega A_b z_b + \frac{x_m - a'}{x_m} \cdot \frac{\alpha}{\nu} A_s (h_0 - a') \right] = \sigma_b W_m, \quad (6)$$

или как момент внутренних усилий относительно центра тяжести эпюры сжатия в бетоне:

$$M = \sigma_s A_s z_b + \frac{x_m - a'}{h_0 - x_m} \cdot \psi_s \sigma_s A_s z_b = \sigma_s \left[ A_s z_b + \frac{x_m - a'}{h_0 - x_m} \cdot \psi_s A_s z_b \right] = \sigma_s W_s, \quad (7)$$

где  $W_s$ ,  $W_m$  – упруго-пластические моменты сопротивления железобетонного сечения в стадии II соответственно по растянутой и сжатой зонам.

Моменты сопротивления железобетонных сечений не являются только геометрическими понятиями (как в сопротивлении упругих материалов), они находятся в зависимости и от упруго-пластических характеристик составляющих материалов, но их размерность ( $M^3$ ) и в этом случае чисто геометрическая.

Как следует из вышеприведенных формул, напряжения и внутренние усилия в железобетоне в значительной степени зависят от параметра  $\psi_s$ .

Таким образом, железобетон относится к материалам, в которых при сопротивлении силовым и деформационным воздействиям образуются макротрещины. В инженерных расчётах наиболее удачно наличие трещин и сопротивление растянутого бетона между ними учитывается с помощью параметра  $\psi_s$ , введённого в теорию железобетона В. И. Мурашёвым [2]. Тем не менее в усреднённом напряжённо-деформативном состоянии не учитываются эффекты, связанные с *нарушением сплошности материала*.

Анализ экспериментов позволил Я. М. Немировскому [3] выявить заметное расхождение внешних и внутренних усилий в поперечном сечении стержневого железобетонного элемента, рассчитываемого по теории В. И. Мурашёва. Причиной этого Я. М. Немировский считал *неучёт работы растянутого бетона над трещиной* (рис. 1, д).

Однако, как показали дальнейшие исследования, в ряде случаев отмеченное расхождение усилий было настолько существенным, что уравновесить их учётом работы растянутого бетона над трещиной не представлялось возможным. Поэтому вполне естественным было обратить внимание на *деформационный эффект, который проявляется в железобетонном элементе при нарушении сплошности бетона* [4]. Даже качественный характер профиля трещины в железобетонном элементе (с уменьшением раскрытия на уровне оси арматуры) подтверждает наличие такого эффекта. Характер эпюр  $\varepsilon_{bt}(z)$ , полученных в опытах с разнообразными тензорезисторами [4], показывает, что в зонах, прилегающих к трещине, деформации удлинения бетона переходят к деформации укорочения, касательные напряжения сцепления тоже изменяют знак. Лавинообразное раскрытие трещин (которое после нарушения сплошности материала можно рассматривать как концентрированное деформационное воздействие) по треугольному профилю, характерному для бетонного элемента, в железобетоне сдерживается арматурой. В результате в системе, состоящей из бетонных блоков и арматуры, в окрестности трещин возникают реакции по контакту бетона и арматуры, вызванные указанным воздействием – *деформационный эффект*, названный при дальнейшем изложении *эффектом нарушения сплошности бетона*.

Анализ опытных данных позволяет выявить характерные опытные эпюры деформаций (напряжений) арматуры и бетона на участке между трещинами (рис. 2), включающие влияние этого эффекта.

Выявленный эффект безусловно оказывает влияние на основной параметр железобетона  $\psi_s$ . Сразу после появления трещин в результате эффекта нарушения сплошности бетона максимум растягивающих напряжений в арматуре несколько смещается от сечения  $i$  с трещиной к сечению  $j$  (см. рис. 2). В результате отношение средних напряжений в арматуре ( $\sigma_{sm}$ ) к напряжениям арматуры в трещине ( $\sigma_s$ ), т. е. параметр  $\psi_s$  становится близким к единице, что и подтверждается опытами Я. М. Немировского [3]. По теории В. И. Мурашёва [2],  $\psi_s$  после образования трещин минимальный, значение его достигает порядка 0,3. Здесь также сказывается и учет условного сосредоточенного сдвига между арматурой и бетоном. Таким образом, расхождение между значениями  $\psi_s$ , определенного по теории В. И. Мурашёва, и опытными значениями, в ряде случаев может достигать двух и более раз.

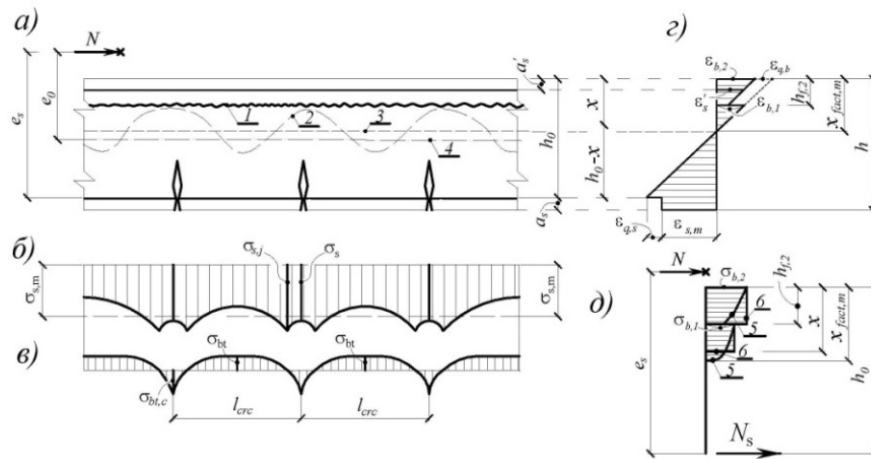


Рис. 2. Типичные картины деформирования бетона и арматуры в железобетонном внецентренно сжатом элементе с трещинами при учете эффекта, связанного с нарушением сплошности бетона и условного сосредоточенного сдвига между бетонами и между арматурой и бетоном: а – схема образования трещин; б, в – эпюры напряжений в растянутой арматуре и растянутом бетоне; г – гипотеза средних деформаций в поперечном сечении составного железобетонного элемента; д – внутренние усилия в сечении с трещиной; 1 – шов между бетонами; 2, 3 и 4 – физическая, средняя и геометрическая нейтральные оси, соответственно; 5 – действительные эпюры напряжений сжатия в первом и втором бетоне составного стержня; б – то же, принятые для расчета

Теперь, располагая новыми эпюрами распределения деформаций и напряжений в поперечном сечении и в растянутой арматуре (рис. 2) и бетоне, попытаемся внести исправления в расчетные формулы.

Неизвестные  $x$ ;  $\sigma_{b2}$ ;  $\sigma_{b1}$ ;  $\sigma_s$ ;  $\sigma'_s$  определяются из следующих уравнений.

Высота сжатой зоны бетона  $x$  определяется из уравнений равновесия суммы проекций всех сил на ось  $X$  ( $\sum X = 0$ ):

$$\begin{aligned} \sigma_{b2} \cdot b \cdot h_{f,2} + \sigma_{b1} \cdot b \cdot (x - h_{f,2}) + \sigma'_s \cdot A'_s - \sigma_s A_s - N &= 0; \\ x &= \frac{N + \sigma_s \cdot A_s - \sigma'_s \cdot A'_s - b \cdot h_{f,2} \cdot (\sigma_{b2} - \sigma_{b1})}{\sigma_{b1} \cdot b}. \end{aligned} \quad (8)$$

Напряжение в бетоне сжатой зоны определяется из моментного уравнения равновесия моментов всех сил, действующих в поперечном сечении (рис. 3) относительно точки О ( $\sum M_O = 0$ ): при этом действительная эпюра напряжений в сжатом бетоне заменяется прямоугольной с учетом упрощений, принятых в нормах [5],

$$\begin{aligned} \sigma_{b,2} \cdot b \cdot h_{f,2} \cdot (h_0 - 0,5 \cdot h_{f,2}) + \sigma'_s \cdot A'_s \cdot (h_0 - a'_s) - N \cdot e + \\ + \sigma_{b,1} \cdot b \cdot (x - h_{f,2}) \cdot [h_0 - h_{f,2} - 0,5 \cdot (x - h_{f,2})] &= 0; \\ \sigma_{b,2} &= \frac{N \cdot e - \sigma'_s \cdot A'_s \cdot (h_0 - a'_s) - \sigma_{b,1} \cdot b \cdot (x - h_{f,2}) [h_0 - h_{f,2} - 0,5 \cdot (x - h_{f,2})]}{b \cdot h_{f,2} \cdot (h_0 - 0,5 \cdot h_{f,2})}. \end{aligned} \quad (9)$$

Из гипотезы плоских сечений, принятой для средних деформаций в пределах каждого стержня, входящего в составной стержень (рабочая арматура рассматривается как отдельный стержень, – рис. 3) отыскиваются напряжения в старом бетоне  $\sigma_{b,1}$ , растянутой арматуре  $\sigma_s$  и сжатой арматуре  $\sigma'_s$ :

$$\frac{\varepsilon_{b,2} + \varepsilon_{q,b}}{\varepsilon_{b,1}} = \frac{x_{fact,m}}{x_{fact,m} - h_{f,2}}; \quad (10)$$

$$\frac{\varepsilon_{b,2} + \varepsilon_{q,b}}{\varepsilon_{s,m} + \varepsilon_{q,sm}} = \frac{x_{fact,m}}{h_0 - x_{fact,m}}; \quad (11)$$

$$\frac{\varepsilon_{b,2} + \varepsilon_{q,b}}{\varepsilon'_s + \varepsilon_{q,b}} = \frac{x_{fact,m}}{x_{fact,m} - a'_s} \quad (12)$$

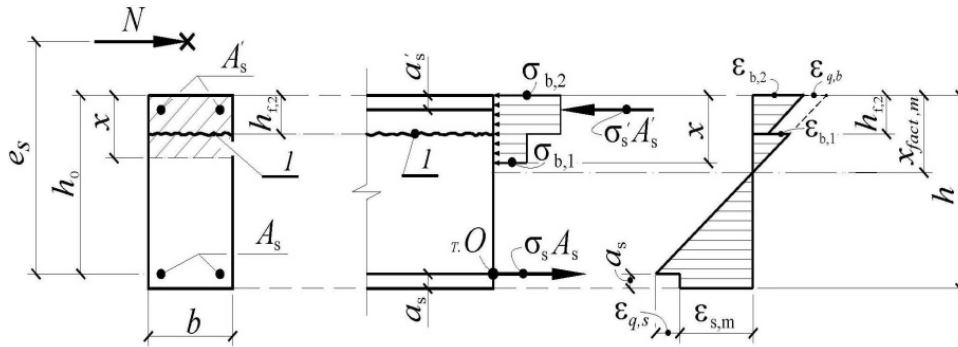


Рис. 3. К определению  $x$ ,  $\sigma_s$ ,  $\sigma_b$  в составных внецентренно сжатых железобетонных конструкциях

Здесь

$$\nu_{b,1} = \nu_{b,2} = 0,45; \quad \alpha_b = \frac{E_{b,1}}{E_{b,2}}; \quad \alpha_{s2} = \frac{E_s}{E_{b,2}}.$$

После алгебраических преобразований, получим:

$$\sigma_s = \frac{(\sigma_{b,2} + \varepsilon_{q,b} \cdot E_{b,2} \cdot \nu_{b,2}) \cdot (h_0 - x_{fact,m}) \cdot \alpha_{s2}}{\nu_{b,2} \cdot x_{fact,m} \cdot \Psi_s} - \frac{\varepsilon_{q,s} \cdot \Psi_q \cdot E_s \cdot \nu_{b,2} \cdot x_{fact,m}}{\nu_{b,2} \cdot x_{fact,m} \cdot \Psi_s} + \sigma_0 \Psi_s \leq R_s; \quad (13)$$

$$\sigma_{b,1} = (\sigma_{b,2} + \varepsilon_{q,b} \cdot E_{b,2} \cdot \nu_{b,2}) \cdot \alpha_b \cdot \frac{\nu_{b,1}}{\nu_{b,2}} \cdot \left( \frac{x_{fact,m} - h_{f,2}}{x_{fact,m}} \right); \quad (14)$$

$$\sigma'_s = \frac{(\sigma_{b,2} + \varepsilon_{q,b} \cdot E_{b,2} \cdot \nu_{b,2}) \cdot \alpha'_{s,2} \cdot (x_{fact,m} - a'_s)}{\nu_{b,2} \cdot x_{fact,m}} - \frac{\varepsilon_{q,b} \cdot E'_s \cdot x_{fact,m} \cdot \nu_{b,2}}{\nu_{b,2} \cdot x_{fact,m}} \leq R_{sc}. \quad (15)$$

Подставляя полученные выражения (13) – (15) в выражение (9), получим:

$$\sigma_{b,2} = \frac{k_4 \cdot x_{fact} + k_5 \cdot (k_6 \cdot x_{fact} + k_7) - k_8 \cdot k_9}{\left[ k_1 \cdot x_{fact} + k_2 \cdot (x_{fact} - a'_s) + k_3 \cdot k_9 \right]}. \quad (16)$$

Здесь,

$$k_1 = \nu_{b,2} \cdot b \cdot h_{f,2} \cdot (h_0 - 0,5 \cdot h_{f,2}); \quad k_2 = A'_s \alpha'_{s,2} (h_0 - a'_s); \quad k_3 = \alpha_b \cdot \nu_{b,1} \cdot b; \quad k_4 = N \cdot e \cdot \nu_{b,2};$$

$$k_5 = A'_s \cdot \varepsilon_{q,b} \cdot \nu_{b,2} \cdot (h_0 - a'_s); \quad k_6 = E'_s - \alpha'_{s,2} \cdot E_{b,2}; \quad k_7 = \alpha'_{s,2} a'_s \cdot E_{b,2}; \quad k_8 = \alpha_b \cdot \nu_{b,1} \cdot b \cdot \varepsilon_{q,b} \cdot E_{b,2} \cdot \nu_{b,2}$$

$$; \quad k_9 = (x_{fact} - h_{f,2}) (x - h_{f,2}) (h_0 - 0,5 h_{f,2} - 0,5 x).$$

**Алгоритм расчета** сводится к следующему: на первом шаге принимаем  $x_{fact,m} = 0,5h_0$  и по формуле (16) находим  $\sigma_{b,2}$ ; затем по формуле (13) определяется  $\sigma_s$  с учетом соответствующего ограничения; после этого по формуле (14) находим  $\sigma_{b,1}$ , а по формуле (15), –  $\sigma'_s$  с учетом соответствующего ограничения; в результате располагаем всеми параметрами для определения высоты сжатой зоны  $x$  по формуле (8); в итоге представляется возможным сравнить заданное и вычисленное значение  $x$  и с учетом этих сравнений перейти к следующему шагу итераций; таким образом, итерационный процесс продолжается до требуемой точности вычислений.

Из рисунка. 4 следует, что

$$\psi_S = \frac{1}{\sigma_S l_{crc}} \cdot \left[ (\sigma_{S,j} (1 - \omega_1) + \omega_1 (\sigma_S - \sigma_{S2})) \cdot (l_{crc} - 2t_*) + (\sigma_{S,j} + \sigma_S) t_* \right]. \quad (17)$$

Здесь  $\sigma_{S,j}$  – определяются из зависимостей механики разрушения, полученных применительно к железобетону [4];  $t_*$  – в первом приближении (принимая во внимание принцип Сен-Венана) принимаются равными  $1,5d$ , где  $d$  – диаметр рабочей растянутой арматуры. При этом, если  $d < 10\text{мм}$ , то для тяжелого бетона из щебня фракции 5 – 10мм параметр  $t_*$  принимается равным  $1,5 \cdot 10 = 15\text{мм}$ . Для бетона из щебня фракции 10 – 20мм при  $d < 20\text{мм}$ , параметр  $t_*$  принимается равным  $1,5 \cdot 20 = 30\text{мм}$ .

Расстояние  $l_1$  находится из условия, в соответствии с которым изменение напряжений в растянутой арматуре между точками 2 – 4 наиболее удачно описывается гиперболической зависимостью:  $y = A \cdot e^{-\lambda \cdot x} - B$ , (18)

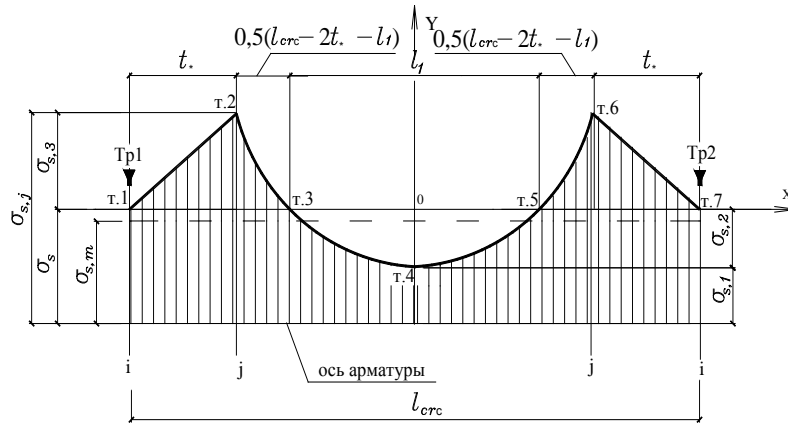


Рис. 4. Характерные опытные эпюры напряжений арматуры между поперечными трещинами на уровне расположения оси растянутой арматуры, полученные с помощью отдельно установленных тензорезисторов и с помощью непрерывных цепочек тензорезисторов (в том числе малобазных 10 – 20 мм [4]);  $\nabla$  – условное обозначение места расположения трещины

где

$$A = \frac{\sigma_{S,j} - \sigma_S + \sigma_{S,2}}{\left( e^{0,5 \cdot \lambda (l_{crc} - 2t)} - 1 \right)}, \quad (19)$$

$$B = A + \sigma_{S,2}. \quad (20)$$

Тогда, в соответствии с рисунком 4, получим:

$$l_1 = \frac{2}{\lambda} \ln \frac{B}{A}. \quad (21)$$

Приравнявая растягивающие усилия в сечении с трещиной и в середине расстояния между трещинами, получим:

$$\sigma_S A_S = \sigma_{S1} A_S + \sigma_{bt} A_{bt}. \quad (22)$$

Отсюда

$$\sigma_{S2} = \sigma_{bt} \cdot \frac{A_{bt}}{A_S} = \frac{\chi R_{bt}}{\mu} \left( 1 - \frac{A_b}{A} \right). \quad (23)$$

После подстановки (23) в (17) и выполнения алгебраических преобразований получим:

$$\psi_S = \frac{1}{3\sigma_S l_{crc}} \cdot \left[ \left( \sigma_{S,j} + 2\sigma_S - \frac{2\chi R_{bt}}{\mu} \left( 1 - \frac{A_b}{A} \right) \right) (l_{crc} - 2t_*) + 3(\sigma_{S,j} + \sigma_S) t_* \right]. \quad (24)$$

Здесь  $\omega_1$  для практических расчетов принято равным  $\frac{2}{3}$

**Вывод.** Таким образом, в результате проведенного анализа выявлена истинная причина расхождения внешних и внутренних усилий в поперечном сечении железобетонного элемента,

рассчитываемого по теории В. И. Мурашева, и существенно уточнена формула для определения основного параметра  $\psi_S$ , учитывающего сопротивление бетона между трещинами.

### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. **Колчунов В. И.** Об использовании гипотезы плоских сечений в железобетоне / В. И. Колчунов, И. А. Яковенко // Строительство и реконструкция. – Орел : Орел ГТУ, 2011. – № 6. – С. 21 – 27.
2. **Мурашев В. И.** Трещиностойкость, жесткость и прочность железобетона / Василий Иванович Мурашев. – М. : Машстройиздат, 1950. – 286 с.
3. **Немировский Я. М., Кочетков О. И.** Влияние работы растянутой и сжатой зон бетона на деформации обычных изгибаемых железобетонных элементов после возникновения в них трещин // Особенности деформации бетона и железобетона и использование ЭВМ для оценки их влияния на поведение конструкций / Под ред. А. А. Гвоздева, С. М. Крылова. – М. : Стройиздат, 1969. – С. 106 – 156.
4. **Бондаренко В. М.** Расчетные модели силового сопротивления железобетона : монография / В. М. Бондаренко, В. И. Колчунов. – М. : АСВ, 2004. – 472 с.
5. Бетонные и железобетонные конструкции : СНиП 2.03.01–84 – [Введены в действие с 1986-01-01]. – М. : ЦТИП Госстроя СССР, 1989. – 88 с. – (Строительные нормы и правила).

УДК 69.057:658.513.4

### ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РАБОТ В СОСТАВЕ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНА

*В. Р. Млодецкий, д. т. н., проф., А. А. Мартыш, асп.*

**Ключевые слова:** сетевой график, планирование, организационно-технологическая надежность, нормальное распределение

**Введение.** Статья посвящена организационно-технологической надежности в строительстве на стадии планирования. Основой для статьи являются наработки по учету вероятностных факторов, которые влияют на окончательное время выполнения какой-либо строительно-монтажной работы. Статья базируется на подходе, согласно которому время завершения некоторого объема работ является не детерминированным значением, а диапазоном (промежутком) возможных значений, которые можно описать с помощью  $\alpha$ -распределения.

**Цель статьи.** Задача заключается в анализе вероятностных факторов, влияющих на взаимоувязку отдельных работ как частных потоков в объектный поток. Показано, как изменяется построение типичного календарного плана при учете вероятностного характера частных потоков.

**Изложение материала.** Как и при известных методах табличных расчетов (в общем случае неритмичных потоков), в которых временные параметры принимаются как величины детерминированные, узловым моментом есть взаимоувязка по срокам окончания предшествующей работы и начала последующей на том этапе, где отмечается их критическое сближение. В данном случае имеет место простое условие  $T_{(i-1)}^O = T_i^H$ , которое является универсальным для взаимоувязки смежных работ независимо от того, на первом или каком-либо последующем этапе это критическое сближение произошло.

Несколько сложнее обстоит ситуация в случае учета вероятностной природы факторов, влияющих на режим работы. Ранее отмечено, что при «веерном» характере развития процесса время выполнения работы на отдельном этапе определяется не двумя параметрами, как в детерминированном варианте ( $T_i^H; T_i^O = T_i^H + T_i$ ), а четырьмя – два по ранним срокам ( $T_i^{PH}; T_i^{PO}$ ) и два по поздним срокам ( $T_i^{PH}; T_i^{PO}$ ) (рис.1)

Рассмотрим вначале ситуацию, когда критическое сближение имеет место по окончанию работ на первом этапе. В любом случае, когда рассматривается вероятностный процесс, то всегда устанавливается вероятность свершения определенного события, в нашем случае это вероятность  $N$  завершения этапа работ к определенному сроку  $T_N$ . Обратим внимание, что в данном случае объем работ по отдельному этапу  $V_i$  рассматривается как неслучайная величина. Всегда, когда имеет место вероятность своевременного завершения работ  $N$ , присутствует и вероятность, что этот срок будет превышен  $P(T > T_N) = 1 - N$ . Следовательно, эти