

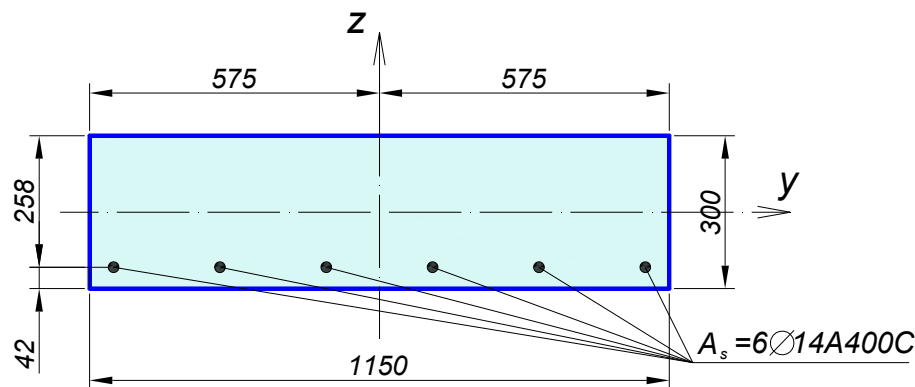
# **Расчет ширины раскрытия нормальных трещин по СП 63.13330.2012**

**М.Перельмутер, К. Попок, Л. Скорук**  
*SCAD Soft*

**СНиП 52-01-2003 и его актуализированная редакция СП 63.13330.2012 требуют производить расчет прочности нормальных сечений и расчет по образованию нормальных трещин на основании нелинейной деформационной модели (п. 5.2.1, 5.3.1). Для простых типов конструкций СНиП допускает производить расчет по упрощенной методике (по предельным усилиям).**

**Обычно, допущение производить расчеты по упрощенным методикам, организовано таким образом, что получаемые результаты обеспечивают запас надежности. Наша цель — показать, что в случае анализа ширины раскрытия нормальных трещин, это не так.**

Рассмотрим, пример 43 из пособия — железобетонная плита фундамента с размерами поперечного сечения  $h = 300$  мм,  $b = 1150$  мм;  $a = 42$  мм; бетон класса В15; рабочая арматура класса А400 с площадью сечения  $A_s = 923$  мм<sup>2</sup> (6Ø14); момент в расчетном сечении от постоянных и длительных нагрузок  $M_1 = 50$  кНм, от кратковременных нагрузок  $M_s = 10$  кНм; фундамент эксплуатируется в неагрессивных условиях (выше верхнего уровня грунтовых вод). Требуется произвести расчет ширины продолжительного раскрытия нормальных трещин  $a_{crc}$ .



Авторы Пособия получили  $a_{crc} = 0,2$  мм. Эту величину мы будем считать референтным значением.

**Приступим к анализу положений СНиП. Расчет ширины раскрытия нормальных трещин  $a_{crc}$  производится по формуле (8.128)**

$$a_{crc} = \varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3 \cdot \psi_s \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot l_s .$$

**В этой формуле для нас будут представлять интерес только два сомножителя ( $\psi_s$  и  $\sigma_s$ ), которые зависят от усилий. Здесь  $\sigma_s$  — напряжение в продольной растянутой арматуре в нормальном сечении с трещиной от соответствующей внешней нагрузки;  $\psi_s$  — коэффициент, учитывающий неравномерное распределение относительных деформаций растянутой арматуры между трещинами.**

## Расчет по предельным усилиям

Согласно СНИП у нас есть следующие варианты расчета:

- коэффициент  $\psi_s = 1 - 0,8 \cdot \frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s}$  **или**  $\psi_s = 1 - 0,8 \cdot \frac{M_{crc}}{M}$  ;
- момент трещинообразования  $M_{crc} = 1,3R_{bt,ser} W_{red}$  , где  $W_{red}$  определяется с учетом **или** без учета арматуры;
- напряжение  $\sigma_s = \frac{M(h_0 - y_c)}{I_{red}} \cdot \alpha_{s1}$  **или**  $\sigma_s = \frac{M}{z_s \cdot A_s}$  ;
- расстояние от центра тяжести растянутой арматуры до точки приложения равнодействующей усилий в сжатой зоне элемента  $z_s = h_0 - \frac{x}{3}$  **или**  $z_s = 0,8h_0$  .

Аналогично определяется  $\sigma_{s,crc}$  — напряжение в продольной растянутой арматуре в сечении с трещиной сразу после образования нормальных трещин.

Перечисленные выше "или" приводят к тому, что мы можем получить **24** возможных **варианта** вычисления ширины раскрытия трещин. Приведем здесь только экстремальные значения: **0,2 мм** и **0,222 мм**.

**То есть в рамках подхода, основанного на предельных усилиях разброс допустимых значений составляет 11%.**

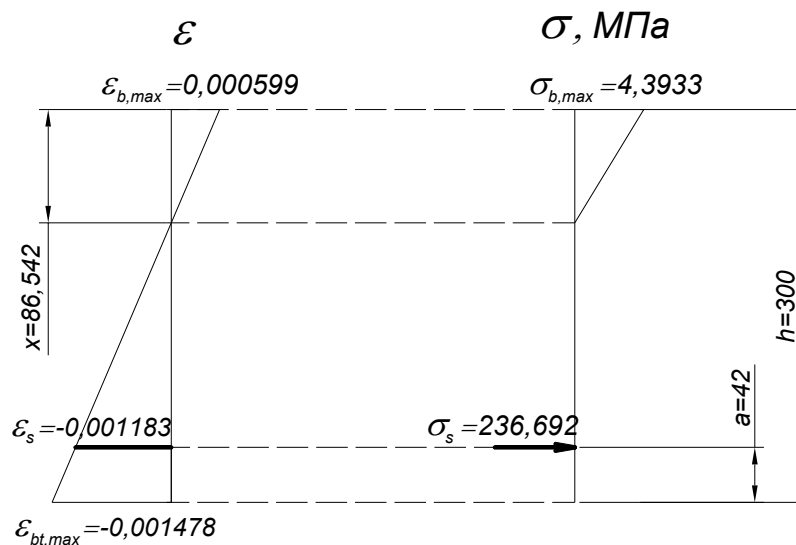
## Расчеты по деформационной модели.

Широко распространенным является мнение о том, что для использования нелинейной деформационной модели необходимы специализированные программы. Однако, в простых случаях (к которым относится рассматриваемый пример), расчет можно произвести с помощью "подручных" средств — например, программы Excel.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Eps_t	Eps_b	H, mm	N, kN	M, kN*m	SigCRC	N <sup>2</sup> +(M-50) <sup>2</sup>					
2	-0,001478	0,0005991	300	-0,000856612	-49,98644876	-236,691721	0,000184					
3												
4	№сл	b_i, mm	h_i, mm	Z_i, mm	A_i, mm <sup>2</sup>	Eps_i	E_i	Sigma_i_1, Mpa	Rs_i, Mpa	Sigma_i, Mpa	F_i, N	M_i, N*mm
261	239	1150	1	238,5	1150	-0,00105193	7333,333	-7,714E+00	11	0	0	0,000681006
262	240	1150	1	239,5	1150	-0,00105885	7333,333	-7,765E+00	11	0	0	0,000683862
263	241	1150	1	240,5	1150	-0,00106578	7333,333	-7,816E+00	11	0	0	0,000686717
264	242	1150	1	241,5	1150	-0,0010727	7333,333	-7,866E+00	11	0	0	0,000689573
265	243	1150	1	242,5	1150	-0,00107962	7333,333	-7,917E+00	11	0	0	0,000692428
266	244	1150	1	243,5	1150	-0,00108654	7333,333	-7,968E+00	11	0	0	0,000695283
267	245	1150	1	244,5	1150	-0,00109347	7333,333	-8,019E+00	11	0	0	0,000698139
268	246	1150	1	245,5	1150	-0,00110039	7333,333	-8,070E+00	11	0	0	0,000700994
269	247	1150	1	246,5	1150	-0,00110731	7333,333	-8,120E+00	11	0	0	0,000703849
270	248	1150	1	247,5	1150	-0,00111423	7333,333	-8,171E+00	11	0	0	0,000706705
271	249	1150	1	248,5	1150	-0,00112116	7333,333	-8,222E+00	11	0	0	0,00070956
272	250	1150	1	249,5	1150	-0,00112808	7333,333	-8,273E+00	11	0	0	0,000712416
273	251	1150	1	250,5	1150	-0,001135	7333,333	-8,323E+00	11	0	0	0,000715271
274	252	1150	1	251,5	1150	-0,00114192	7333,333	-8,374E+00	11	0	0	0,000718126
275	253	1150	1	252,5	1150	-0,00114885	7333,333	-8,425E+00	11	0	0	0,000720982
276	254	1150	1	253,5	1150	-0,00115577	7333,333	-8,476E+00	11	0	0	0,000723837
277	255	1150	1	254,5	1150	-0,00116269	7333,333	-8,526E+00	11	0	0	0,000726692
278	256	1150	1	255,5	1150	-0,00116961	7333,333	-8,577E+00	11	0	0	0,000729548
279	257	1150	1	256,5	1725	-0,00117654	7333,333	-8,628E+00	11	0	0	0,000732403
280	258	1150	1	257,5	923,62	-0,00118346	200000	-2,367E+02	400	-236,691721	-218613,2073	-56292900,89
281	259	1150	1	258,5	1725	-0,00119038	7333,333	-8,729E+00	11	0	0	0,000738114
282	260	1150	1	259,5	1150	-0,0011973	7333,333	-8,780E+00	11	0	0	0,000740969
283	261	1150	1	260,5	1150	-0,00120423	7333,333	-8,831E+00	11	0	0	0,000743825

Не будем описывать здесь подробности Excel-реализации, а приведем лишь результаты решения.

При определении напряжения  $\sigma_s$  мы получили следующие эпюры распределения деформаций  $\varepsilon$  и напряжений  $\sigma$  в бетоне.



Нетрудно проверить, что этим эпюрам соответствуют следующие значения внутренней продольной силы  $N$  и изгибающего момента  $M$

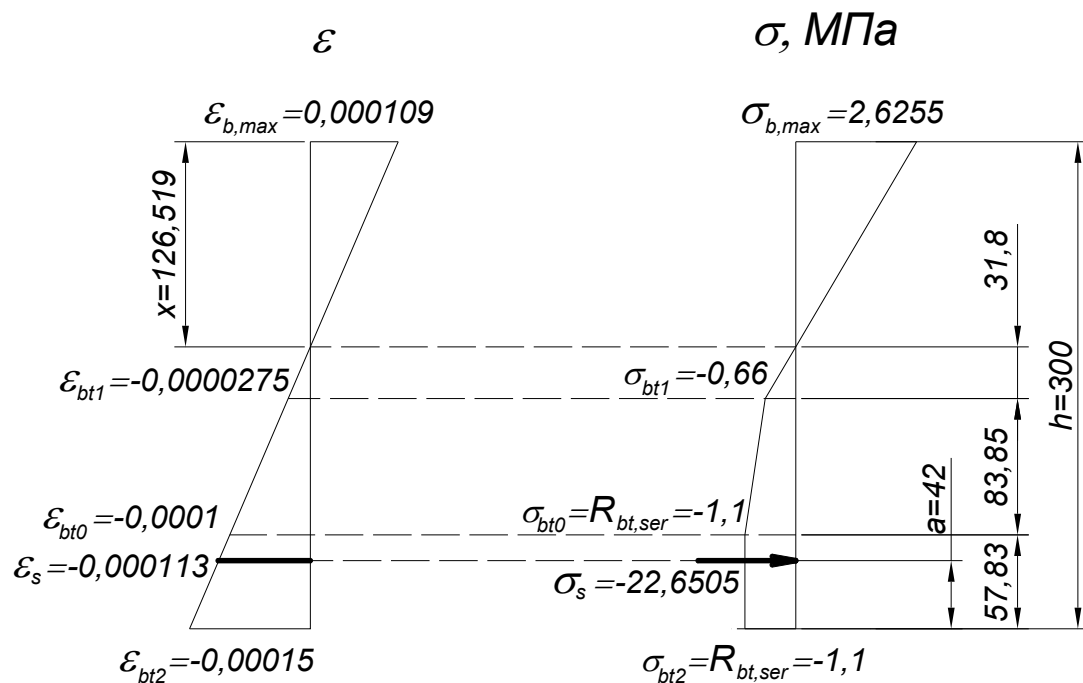
$$N = 0,00439 \text{ кН} \approx 0$$

$$M = 50,096 \approx 50 \text{ кНм}$$

То есть, имеет место равновесие между внутренними и внешними усилиями и нами найдено с достаточно высокой точностью правильное решение. При этом решении  $\sigma_s = 236,692$  МПа.



Аналогично, решая задачу об определении момента трещинообразования, мы получим следующие эпюры, которые удовлетворяют (опять таки с высокой точностью) требованиям п. 8.2.14 СП 63.13330.2012.



В соответствии с этими эпюрами  $M_{crc} = 36,244$  кН·м,  $\sigma_{s,crc} = 22,651$  МПа.

На основании формулы для ширины раскрытия трещин получаем  $a_{crc} = 0,306$  мм.

**Таким образом, оставаясь в рамках одного и того же нормативного документа мы имеем разброс допустимых значений  $a_{crc}$ , который превышает 50%.**

**Если рассмотреть задачи с арматурой в сжатой зоне и более прочным бетоном, то расхождения между деформационным и силовым подходом могут возрасти до 200-300%.**