ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ УСИЛИЙ В СВОДЧАТОЙ МОНОЛИТНОЙ ТОННЕЛЬНОЙ ОБДЕЛКИ ПО ИЗМЕРЕННЫМ ДЕФОРМАЦИЯМ

Москва 1978

gost.e-ecolog.ru

УДК 624.193.001.42+624.193.001.5

© Всесоюзный научно-исследовательский институт транспортного строительства, 1978

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящие Методические рекомендации предназначены для определения усилий в стержневых железобетонных тоннельных конструкциях по известным из опыта деформациям.

Методические рекомендации разработаны Ленинградской лабораторией отделения тоннелей и метрополитенов Всесоюзного научно-исследовательского института транспортного строительства (ЦНИИС) при участии Ленгипротрансмоста и ЛИСИ.

Авторы: канд.техн.наук Сильвестров С.Н.(ЦНИИС), инж.Созинов В.В.(Ленгипротрансмост), канд.техн.наук Хардаб В.Д. (ЛИСИ), кандидаты техн.наук Щербаков Б.Н., Мандриков С.Г., инженеры Любарец И.И., Бевродный К.П.(ЦНИИС).

Замечания и предложения следует направлять по адресу: 129329, Москва, Игарский проезд, 2, Всесоюзный научно-исследовательский институт транспортного строительства(ЦНИИС).

Заместитель директора ЦНИИС

Г.Д.Хасхачих

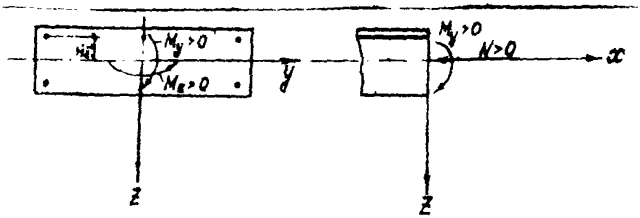
Руководитель отделения
тоннелей и метрополитенов

В.П.Самойлов

1. Исходные предпосылки

Задача решается при нижеследующих допущениях:

1. Учитываются только деформации от внешней нагрузки на конструкцию, поэтому из измеренных (общих деформаций) необходимо вычесть температурные деформации и деформации усадки бетона, либо убедиться, что они невелики.
2. Деформации и напряжения в арматуре связаны законом Гука; арматура деформируется совместно с бетоном.
3. Бетон представляет собой линейно-деформируемый упруго-ползучий материал.
4. В пределах рассматриваемого поперечного сечения бетон является однородным по составу и возрасту.
5. Рассматриваемое сечение симметрично относительно оси $\hat{z}$ (см.рисунок); в качестве осей координат выбраны главные центральные оси бетонного сечения.
6. Принимается гипотеза плоских сечений; предполагается отсутствие трещин в бетоне.
7. Не учитывается кривизна оси стержня.



2. ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ

2.I. Рассматривается некоторое поперечное сечение железобетонного стержня, находящегося под нагрузкой с момента времени t_0. Предполагается, что в трех точках j с различными координатами y_j, z_j в любой момент времени t известны относительные удлинения волокон стержня $\varepsilon_j(t)$.

Геометрические характеристики сечения и деформационные характеристики материала также предполагаются известными. Целью расчета является определение продольной силы $N(t)$ и изгибающих моментов $M_y(t), M_z(t)$ в рассматриваемом сечении.

2.2. Согласно допущениям 3 и 4 напряжения и деформации в бетоне связаны между собой соотношениями:

$$\sigma_{6j}(t) = E(t)\varepsilon_j(t) + \int_{t_0}^{t} K(t,\tau)\sigma_{6j}(\tau)d\tau \quad (j=1,2,3); \qquad (1)$$

$$K(t,\tau) = E(t)\frac{\partial}{\partial\tau}\left[\frac{1}{E(\tau)} + C(t,\tau)\right], \qquad (2)$$

где E, C -модуль упругости и мера ползучести бетона [I,2].

При известных деформациях $\varepsilon_j(t)$ напряжения $\sigma_{6j}(t)$ определяются путем решения интегральных уравнений (I).

2.3. Так как материал в пределах сечения однородный, связь между напряжениями и деформациями линейная и координатные оси являются главными центральными осями бетонной части сечения, то

$$\sigma_{6j}(t) = \frac{N_6(t)}{F_6} + \frac{M_{6y}(t)}{J_{6y}} + \frac{M_{6z}(t)}{J_{6z}} \quad (j=1,2,3), \qquad (3)$$

где N_6, M_{6y}, M_{6z} - усилия в бетоне;
F_6, J_{6y}, J_{6z} - соответственно площадь и моменты инерции бетона в сечении.

При известных напряжениях $\sigma_{6j}(t)$ (определены выше) усилия $N_6(t)$, $M_{6y}(t)$, $M_{6z}(t)$ находятся из системы линейных алгебраических уравнений (3).

2.4. По гипотезе плоских сечений

$$\varepsilon_j(t) = \varepsilon_0(t) + \omega_y(t)\, z_j + \omega_z(t)\, y_j \quad (j = 1,2,3), \qquad (4)$$

где ε_0 -удлинение волокна, проходящего через начало координат;

ω_y -угол поворота сечения относительно оси y ;

ω_z -угол поворота сечения относительно оси z .

Это соотношение одинаково относится как к бетонной части сечения, так и к арматуре.

Из системы уравнений (4) находятся функции $\varepsilon_0(t)$, $\omega_y(t)$, $\omega_z(t)$.

Напряжение в стержне i арматуры

$$\sigma_{ai}(t) = E_a \left[\varepsilon_0(t) + \omega_y(t) z_{ai} + \omega_z(t) y_{ai} \right]. \qquad (5)$$

Усилия в арматуре

$$N_a(t) = \sum_{(i)} F_{ai}\, \sigma_{ai}(t); \qquad (6)$$

$$M_{ay}(t) = \sum_{(i)} F_{ai}\, \sigma_{ai}(t)\, z_{ai}; \qquad (7)$$

$$M_{az}(t) = \sum_{(i)} F_{ai}\, \sigma_{ai}(t)\, y_{ai}. \qquad (8)$$

Если армирование симметрично относительно осей y и z (центр тяжести арматуры совпадает с центром тяжести бетонного сечения), то

$$N_a(t) = E_a F_a \varepsilon_0(t); \qquad (9)$$

$$M_{ay}(t) = E_a J_{ay} \omega_y(t); \qquad (10)$$

$$M_{az}(t) = E_a J_{az} \omega_z(t). \qquad (11)$$

Полные усилия в сечении равны сумме усилий в бетоне и арматуре.

3. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ ДЕФОРМАЦИЙ МЕТОДОМ НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ

Для фиксированной точки j сечения стержня экспериментально найдены значения деформации ε_j в моменты времени t_0, t_1, ..., образующие монотонно возрастающую последовательность. Задача состоит в получении аналитической зависимости $\varepsilon_j = f_j(t)$ по методу наименьших квадратов (ниже индекс j опущен).

Предлагается аппроксимировать кривые деформаций функцией

$$\varepsilon(t) = \varepsilon(t_0)\left(1 + \delta\,\frac{t - t_0}{\nu + t - t_0}\right). \qquad (12)$$

Неизвестные параметры функции (12) $\varepsilon(t)$, δ и ν находятся методом наименьших квадратов, т.е. из условий минимизации отклонения

$$S = \sum_{(i)} \left[\varepsilon(t_i) - \varepsilon(t_0)\left(1 + \delta\,\frac{t_i'}{\nu + t_i'}\right)\right]^2, \qquad (13)$$

где $t_i' = t_i - t_0$.

Упомянутые условия имеют вид:

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{\partial S}{\partial \varepsilon(t_0)} = -2\sum_{(i)}\left[\varepsilon(t_i) - \varepsilon(t_0)\left(1 + \delta\,\frac{t_i'}{\nu + t_i'}\right)\right]\left(1 + \delta\,\frac{t_i'}{\nu + t_i'}\right) = 0;\\
&\frac{\partial S}{\partial \delta} = -2\sum_{(i)}\left[\varepsilon(t_i) - \varepsilon(t_0)\left(1 + \delta\,\frac{t_i'}{\nu + t_i'}\right)\right]\frac{t_i'}{\nu + t_i'} = 0;\\
&\frac{\partial S}{\partial \nu} = -2\sum_{(i)}\left[\varepsilon(t_i) - \varepsilon(t_0)\left(1 + \delta\,\frac{t_i'}{\nu + t_i'}\right)\right]\frac{\varepsilon(t_0)\,\delta\,t_i'}{(\nu + t_i')^2} = 0.
\end{aligned}\right\} \qquad (14)$$

Эти уравнения нелинейны.

При заданном $\varepsilon(t_0)$ нелинейная функция (12) тождественным преобразованием приводится к другой, линейной, функции

$$y = \beta_0 t' + \beta_1, \qquad (15)$$

где

$$y = \frac{t'}{\varepsilon(t) - \varepsilon(t_0)}, \quad \beta_0 = \frac{1}{\delta\varepsilon_0}; \quad \beta_1 = \frac{\nu}{\delta\varepsilon_0}. \qquad (16)$$

Система нелинейных уравнений (14) преобразуется в линейную систему

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{\partial S}{\partial \beta_0} = -2\sum_{(i)}(y_i - \beta_0 t_i' - \beta_1)\,t_i' = 0;\\
&\frac{\partial S}{\partial \beta_1} = -2\sum_{(i)}(y_i - \beta_0 t_i' - \beta_1) = 0.
\end{aligned}\right\} \qquad (17)$$

Среднеквадратичная ошибка

$$e^2 = \frac{1}{t_{кон} - t_0} \int_{t_0}^{t_{кон}} (\varepsilon(t) - \varepsilon_i(t))^2 dt \,. \qquad (18)$$

Выбирается интервал изменения ε_0 и находится минимум функции (18) при изменении ε_0 в этом интервале. Затем по точке $(\varepsilon_0, \beta_0, \beta_1)$, соответствующей минимуму e, из формулы (16) находятся параметры δ и γ. Такой метод определения параметров аппроксимирующей функции (12) реализован в программе, составленной для ЭВМ "Наири-2" (приложение 1).

4. ВЫЧИСЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В БЕТОНЕ

Основной (наиболее трудной) частью расчета является определение напряжений в бетоне путем решения интегрального уравнения (I). Ниже описываются три рекомендуемых способа выполнения этой операции.

I. Численное решение интегрального уравнения.

В уравнении

$$\sigma(t)=\varepsilon(t)E(t)+\int_{t_0}^{t}K(t,\tau)\sigma(\tau)d\tau \qquad (19)$$

промежуток интегрирования разбивается на i частей, в пределах каждой из которых напряжение можно принять постоянным:

$$\int_{t_0}^{t}K(t,\tau)\sigma(\tau)d\tau=\int_{t_0}^{\frac{t_0+t_1}{2}}K(t,\tau)\sigma(\tau)d\tau+\sum_{j=1}^{i-1}\int_{\frac{t_{j-1}+t_j}{2}}^{\frac{t_j+t_{j+1}}{2}}K(t,\tau)\sigma(\tau)d\tau+\int_{\frac{t_{i-1}+t_i}{2}}^{t}K(t,\tau)\sigma(\tau)d\tau,$$

$$\int_{\frac{t_{j-1}+t_j}{2}}^{\frac{t_j+t_{j+1}}{2}}K(t,\tau)\sigma(\tau)d\tau\approx\sigma(t_j)\left[C^*\left(t,\frac{t_j+t_{j+1}}{2}\right)-C^*\left(t,\frac{t_{j-1}+t_j}{2}\right)\right],$$

где
$$C^*(t,\tau)=E(\tau)\left[\frac{1}{E(\tau)}+C(t,\tau)\right]. \qquad (20)$$

Тогда

$$\sigma(t_0)=E(t_0)\varepsilon(t_0); \qquad (21)$$

$$\sigma(t_i)=\left\{E(t_i)\varepsilon(t_i)+\sigma(t_0)\left[C^*\left(t_i,\frac{t_0+t_1}{2}\right)-C^*(t_i,t_0)\right]+\right.$$
$$\left.+\sum_{j=1}^{i-1}\sigma(t_j)\left[C^*\left(t_i,\frac{t_j+t_{j+1}}{2}\right)-C^*\left(t_i,\frac{t_{j-1}+t_j}{2}\right)\right]\right\}\frac{1}{1+C^*\left(t_i,t_i\right)-C^*\left(t_i,\frac{t_{i-1}+t_i}{2}\right)} \qquad (22)$$

$i=1,2,\ldots$.

Данный способ решения задачи не накладывает никаких специальных условий на вид функций $E(t)$ и $C(t,\tau)$. В частности, эти функции могут быть заданы дискретно. В приложении 2 приводится программа расчета по данному алгоритму на ЭВМ "Наири-2" при $E(t)=const$.

2. Решение интегрального уравнения через резольвенту. Это решение имеет вид

$$\sigma(t)=\varepsilon(t)E(t)+\int_{t_0}^{t}R(t,\tau)\varepsilon(\tau)E(\tau)d\tau \quad , \qquad (23)$$

где $R(t,\tau)$ - резольвента, подлежащая определению через ядро $K(t,\tau)$.

Для меры ползучести бетона широко используется аналитическое выражение, предложенное Н.Х.Арутюняном [1]:

$$C(t,\tau) = \varphi(\tau)\left[1 - e^{-\gamma(t-\tau)}\right]. \qquad (24)$$

При такой мере ползучести [2]

$$R(t,\tau) = \frac{1}{E(\tau)}\left\{\chi\left[\varphi(\tau)E(\tau)e^{\gamma(\tau)}\right]' \int_{\tau}^{t} E(\xi)e^{\gamma(\xi)}\,d\xi\,\dot{E}(\tau)\chi\varphi(\tau)E(\tau)\right\}, \qquad (25)$$

$$\chi = \chi\left[1 + \varphi(\xi)E(\xi)\right]d\xi \qquad (26)$$

где t_0 - произвольно выбранный момент времени; точкой отмечено дифференцирование по времени.

Таким образом, если для меры ползучести принимается выражение (24), то напряжения в бетоне могут быть найдены по формулам (23),(25) путем численного интегрирования.

3. Приближенное аналитическое решение интегрального уравнения.

Если $E(t) = E = \text{const}$, то, как показала проверка в рассматриваемом вопросе, применим простой приближенный метод [3]:

$$\sigma(t) = \sigma(t_0) + \frac{\dot{\sigma}(t_0)}{\alpha}\left(1 - e^{-\alpha(t-t_0)}\right), \qquad (27)$$

где

$$\alpha = \frac{\ddot{\sigma}(t_0)}{\dot{\sigma}(t_0)} > 0. \qquad (28)$$

При использовании меры ползучести бетона, рекомендуемой в [4-6],

$$C(t,\tau) = \varphi(\tau)\,\frac{t-\tau}{a_0 + t - \tau}\,; \qquad (29)$$

$$\varphi(\tau) = C_u\xi_1\xi_2\xi_3\xi_4 = C_m\left(0{,}6 + 0{,}65\,e^{-\beta\tau}\right), \qquad (30)$$

и с учетом (12)

$$\dot{\sigma}(t_0) = \sigma(t_0)\left[\frac{\delta}{\gamma} - \frac{E}{a_0}\varphi(t_0)\right]; \qquad (31)$$

$$\ddot{\sigma}(t_0) = -2\sigma(t_0)\frac{\delta}{\gamma^2} + \frac{E}{a_0}\varphi(t_0)\left(\frac{2}{a_0}\sigma(t_0) - \dot{\sigma}(t_0)\right) \qquad (32)$$

В случае использования меры ползучести (24)

$$\dot{\sigma}(t_0)=\sigma(t_0)\left(-\frac{\delta}{\gamma}-EC_m\gamma(1{,}6+0{,}65e^{-\beta t_0})\right), \qquad (33)$$

$$\ddot{\sigma}(t_0)=-2\dot{\sigma}(t_0)\frac{\delta}{\gamma t}+EC_m\gamma(1{,}6+0{,}65e^{-\beta t_0})(\sigma(t_0)\gamma-\dot{\sigma}(t_0)). \qquad (34)$$

В приложении 2 приведена программа численной реализации данного метода на ЭВМ "Наири-2".

ЛИТЕРАТУРА

1. Арутюнян Н.Х. Некоторые вопросы теории ползучести. М., Гостехтеоризда т, 1952.

2. Александровский С.В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на температурные и влажностные воздействия (с учетом ползучести). М., Стройиздат, 1966.

3. Харлаб В.Д. Приближенный метод расчета железобетонных конструкций с учетом ползучести бетона. В кн: "Механика". Краткие содержания докладов к XXX научной конференции ЛИСИ. Л., 1972.

4. Щербаков Е.Н. О прогнозе величин деформаций ползучести и усадки тяжелого бетона в стадии проектирования конструкций. Труды ЦНИИС "Исследование деформаций, прочности и долговечности бетона транспортных сооружений", вып. 3. М., 1969.

5. Методические указания по расчету потерь предварительного напряжения, вызванных ползучестью и усадкой бетона, в железобетонных конструкциях транспортных сооружений. М., изд. ЦНИИС , 1972.

ПРОГРАММА ОБРАБОТКИ ИЗМЕРЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

Текст программы

№ опер.	ЯАП		Алгоритм
	ап		
	$i=2$ $j=3$ а		
	$i=3$ в б		
	$i=50$ $t \geq 5$		
	$i=5$ н		
1	вв H_0		
2	печ с 1 зн H_0		
3	доп $i=1$ $n=0$ $u_1=1$		
4	вв t_i		
5	если $t_i \geq 0$ идти к 9		
6	вын $\Gamma=t_i$		
7	доп $\Gamma=\Pi$		
8	идти к 11		
9	доп $i=i+1$ $n=n+1$		
10	идти к 4		
11	вв H_1		
12	печ с 1 зн H_1		
13	доп $u_1=0$		
14	доп $i=1$		
15	вв Z_i		
16	доп $i=i+1$		
17	если $i-n \leq 0$ идти к 15		

№ опер.	НАП		Алгоритм
18	дан l 3		
19	дан i 1		
20	если $Z_i < 0$ идти к 23		
21	вып $i = i + 1$		
22	идти к 20		
23	дан $k = i$		
24	вып $Z_0 = Z_k$		
25	дан $i = k$ $\pi = 1$		
26	дан $\delta_0 = 0$ $\delta_1 = 0$ $\delta_2 = 0$ $\delta_3 = 0$		
27	если $Z_i < 0$ идти к 31		
28	если $Z_i - Z_0 = 0$ идти к 31		
29	вып $\delta_0 = \delta_0 + t_i$ $\delta_1 = \delta_1 + t_i / (Z_i - Z_0)$		
	$\delta_2 = \delta_2 + t_i^2$ $\delta_3 = \delta_3 + t_i^2 / (Z_i - Z_0)$		
30	вып $\pi = \pi + 1$		
31	вып $i = i + 1$		
32	если i $n \leq 0$ идти к 27		
33	вып $a_{0,0} = \delta_0$ $a_{0,1} = \pi$ $a_{0,2} = \delta_1$		
	$a_{1,0} = \delta_2$ $a_{1,1} = \delta_0$ $a_{1,2} = \delta_3$		
34	идти к 35		
35	пр СУ а 2 б		
36	идти к 90		
38	вып $c = \sqrt{\delta_0 / (t_0 - t_k)}$		

№ опер.	ЯАП		Алгоритм
	$B_2 = 1/B_0 Z_0$ $B_3 = B_1/B_0$		$Б = 1/B_0 \varepsilon_0$ $\nu = B_1/B_0$
39	если $P-3<0$ идти к 83		
40	печ с 5 зн Z_0 B_2 B_3 e		печать ε_0 $Б$ ν e
41	идти к 46		
42	доп $i=1$		
43	печ с 1 зн τ_i Z_i S_i		
44	вст $i=i+1$		
45	если $i-12<0$ идти к 43		
46	если $P-4=0$ идти к 48		
47	если 1 идти к 83		
[illegible]	вст $\omega=\omega+1$		
[illegible]	если $\omega-1<0$ идти к 14		
	интервал 2		
[illegible]	если $61-1=0$ идти к 1		
[illegible]	вст $61=61+1$		
[illegible]	идти к 1		
[illegible]	[illegible] $Z_0 = 0{,}5 Z_K$ $Л = 0{,}1 Z_K$		
[illegible]	доп $P=0$ $u=0$ $m=0$ $Z=0$		
	$M = 999993$		
[illegible]	идти к 25		
[illegible]	если $M-2=0$ идти к 61		
[illegible]	[illegible]		

№ опер.	НАП		Алгоритм
61	вып $Z_0 = Z_0 + Л$ $u = u + 1$		
62	если $u - 10 \le 0$ идти к 25		
63	вып $Z_0 = 0{,}5\, Z_к + (m-1) Л$		
	$x = 0{,}02\, Z_к$		
64	доп ℓ 1 $u=0$ $o=0$ $M=999999$		
65	идти к 25		
66	если $M - e < 0$ идти к 68		
67	доп $M = e$ $o = u$		
68	вып $Z_0 = Z_0 + x$ $u = u + 1$		
69	если $u - 10 \le 0$ идти к 25		
70	вып $Z_0 = 0{,}5\, Z_к + (r-1) Л$		
71	доп ℓ-2 $u=0$ $c=0$ $p=999999$		
72	идти к 25		
73	если $p - e < 0$ идти к 75		
74	доп $p = e$ $c = u$		
75	вып $Z_0 = Z_0 + x$ $u = u + 1$		
76	если $u - 10 \le 0$ идти к 25		
77	если M $p > 0$ идти к 80		
78	вып $Z_0 = 0{,}5\, Z_к + (m-1) Л + o x$		
79	идти к 81		
80	вып $Z_0 = 0{,}5\, Z_к + (r-1) Л + c x$		
81	доп ℓ-4		

№ опер.	ЯАП		Алгоритм
92	идти к 25		
93	если $\ell - 2 = 0$ идти к 73		
94	если $\ell - 1 = 0$ идти к 66		
95	если $\ell = 0$ идти к 59		
96	идти к 56		
98	дол $i = 1$ $\delta_0 = 0$		
97	дол $H_5 = 0$		
98	выч $S_i = t_i / (B_0 t_i + B_1) + Z_0$		
99	если $Z_i < 0$ идти к 95		
94	выч $H_2 = S_i$ $H_3 = Z_i$ $H_4 = t_i$		
	$H_5 = 1$		
95	вып: $i = i + 1$		
96	если $i - n > 0$ идти к 38		
97	если $H_5 = 0$ идти к 98		
98	выч $S_i = t_i / (B_0 t_i + B_1) + Z_0$		
99	если $Z_i < 0$ идти к 103		
100	выч $\delta_0 = \delta_0 + ((S_i - Z_i)^2 +$		
	$+ (H_2 - H_3)^2)(t_i - H_4)/2$		
101	дол $L = i$		
102	идти к 91		
103	выч $i = i + 1$		

№ опер.	ЯАП		Алгоритм
104	если $i-n>0$ идти к 38		
105	идти к 98		
	ис 1		

Контрольный пример

Исходные данные:

Блок № 265, $t_0 = 52$

t_i'	ε_i		
	Номер точки		
	2	3	4
4	25,4	33,9	I7,3
6	30,6	39,I	I9,8
8	34,7	4I,7	2I,I
I2	39,9	43	2I,8
I5	42,5	44,8	22,3
25	44,5	44,8	23,3
34	45,7	46,I	24,8
47	45,7	47	24,9
59	46,3	49,5	27,3
78	46,6	49,6	27,7
98	48,2	53,8	29
II3	49,2	52,8	30,8
I4I	50,4	53,6	32,5
I69	50,7	54,3	33,I
-3			

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА
(нажата клавиша "Вариант")

Исполним 1

H_0= 265,0
H = 2,0

Z_0= 25,39999	δ_2= 1,04685	δ_3= 12,55768	e= 1,23281
Z_0= 10,15999	δ_2= 4,04681	δ_3= 5,47310	e= 1,14387

H = 3,0

Z_0= 33,89999	δ_2= 0,64844	δ_3= 18,86957	e= 1,39394
Z_0= 32,54399	δ_2= 0,75460	δ_3= 24,02253	e= 1,25375

H = 4,0

Z_0= 17,29999	δ_2= 1,03576	δ_3= 38,64117	e= 1,16520
Z_0= 19,37599	δ_2= 1,02283	δ_3= 88,66461	e= 0,77004

Составление исходных данных и чтение результатов расчета

Исходные данные заносятся в следующем порядке:

N^2 - номер блока обделки;

t_i' $(i=1,2,\ldots,m)$ - моменты времени наблюдения, где m -число точек наблюдения; $t_i'=t_i-t_0$ (t_0 -момент времени загружения); начало времени отсчета совпадает с окончанием термовлажного хранения блока;

$-n$ - количество точек в сечении блока, в которых производились измерения; знак минус служит границей ввода массива t (одновременно и массива ε);

N^2 - номер точки в сечении блока обделки;

$\varepsilon_i(t_i')$ - массив относительных деформаций (увеличенный в 10^5 раз) одной точки сечения, далее $\varepsilon_i(t_i')$ другой точки сечения - по всем точкам сечения, в которых измеряется деформация; в массиве деформаций в местах прочерков при вводе набивается минус единица (для машины это означает, что такую деформацию при обработке точек надо пропускать).

После ввода исходных данных производится расчет при $\varepsilon_0=\varepsilon(t_{max})$ параметров β и γ аппроксимирующей функции. При нажатой клавише "Вариант" производится оптимальный подбор ε_0 .

В результате расчета печатаются номер блока, номер точки, параметры ε_0 , β , γ аппроксимирующей функции и e -квадратичное отклонение аппроксимирующей кривой от ломаной, проведенной через натурные точки. При нажатой клавише "Вариант" печатаются оптимальные параметры ε_0 , β , γ , e . Если оператор 41 "Идти к 46" заменить на оператор 41 "Идти к 42",то кроме ε_0 , β , γ , e будут печататься t_i' и соответствующие ординаты кривых $\varepsilon_i(t_i')$ и $\varepsilon(t_i')$ ($\varepsilon(t_i')$ - точки аппроксимирующей функции).

ПРОГРАММЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСИЛИЙ В СЕЧЕНИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО СТЕРЖНЯ

Численное решение интегрального уравнения

Текст программы

№ опер.	ЯАП	Алгоритм
	ar	
	i=21 a	
	j=2 i=2 b	
	j=2 геб г z y ∝ HMS	
	j=3 i=4 ω	
	i=17 t	
	j=2 к=17 g	
1	доп j=0	
2	доп i=0	
3	доп $B_{ji}=0$	
4	вст i=i+1	
5	если i-2≤0 идти к 3	
6	вст j=j+1	
7	если j-2≤0 идти к 2	
8	ВВ m	Ввод m-кол-во точек в сечен.
9	ВВ a_0 $B_{a,a}$	Ввод $F_б$ F_a
10	если m-1=0 идти к 14	
11	ВВ a_1 $B_{a,1}$ $B_{1,1}$	Ввод $J_{бy}$ $S_{бy}$ J_{ay}
12	если m-2=0 идти к 14	
13	ВВ a_2 $B_{2,2}$	Ввод $J_{бz}$ J_{az}
14	ВВ a_3 a_4	Ввод E_a β

№ опер.	ЯАП	Алгоритм
15	ВВ a_{20} a_{21}	Ввод № кольца, № брака
16	ВВ a_5 a_6 a_8 a_9	Ввод a_0 t_0 E EC_m
17	доп $j=0$ $n=m$	
18	ВВ β_j δ_j Γ_j	Ввод ε_{2j} ξ γ_j
19	если $m-1=0$ идти к 25	
20	ВВ Z_j	Ввод Z_j
21	если $m-2=0$ идти к 23	
22	ВВ γ_j	Ввод γ_j
23	вст $j=j+1$	
24	если $j-n<0$ идти к 18	
25	идти к 26	
26	доп $\Lambda=9$ $\Im=1$	
27	выч $t_0=a_6$ $t_1=t_0+10$	
	$t_2=t_0+20$ $t_3=t_0+30$	
28	выч $t_4=t_0+60$ $t_5=t_0+180$	
	$t_6=t_0+180$	
29	выч $t_7=t_0+360$ $t_8=t_0+720$	
30	идти к 36	
31	доп $\Lambda=17$ $\Im=2$	
32	выч $t_1=t_0+5$ $t_2=t_0+10$	
	$t_3=t_0+15$ $t_4=t_0+20$	
	$t_5=t_0+25$ $t_6=t_0+30$	

№ опер.	ЯАП		Алгоритм
33	вв/ч $t_7 = t_0 + 45$ $t_8 = t_0 + 60$		
	$t_9 = t_0 + 90$ $t_{10} = t_0 + 120$		
34	вв/ч $t_{11} = t_0 + 150$ $t_{12} = t_0 + 180$		
	$t_{13} = t_0 + 270$		
35	вв/ч $t_{14} = t_0 + 360$ $t_{15} = t_0 + 540$		
	$t_{16} = t_0 + 720$		
36	печ с 1 зн a_{20} a_{21}		
37	доп $K = 0$		
38	печ с 1 зн t_K ↓		
38	идти к 41		
40	спросим		
41	доп $j = 0$ $\sigma = 0$		
42	вв/ч $\tau_j = \varepsilon_j (1 + \delta_j (t_K - a_8)/$		$\varepsilon_j(t) = \varepsilon_{0j}\left(1 + \delta_j \frac{t - t_0}{\tau_j + t_K - t_0}\right)$
	$(\tau_j + t_K - a_8))$		
43	вст $j = j + 1$ $\sigma = \sigma + 1$		
44	если $\sigma - m < 0$ идти к 42		
45	доп $W_{0,0} = 1$ $W_{1,0} = 1$ $W_{2,0} = 1$		
46	вв/ч $x_8 = \tau_0$		
47	если $m - 1 = 0$ идти к 57		
48	вв/ч $W_{0,1} = Z_0$ $W_{1,1} = Z_1$		
49	если $m - 2 \neq 0$ идти к 54		
50	вв/ч $a_{18} = Z_1 - Z_0$ $a_{19} = \tau_1 - \tau_0$		Δ, Δ_ω

№ опер.	ЯАП		Алгоритм
51	Выч $a_{16} = r_0 z_1 - r_1 z_0$		Δ_ε
52	Выч $x_0 = a_{16}/a_{15}$ $x_1 = a_{17}/a_{15}$		$\varepsilon_0(t) = \frac{\Delta_\varepsilon}{\Delta}$ $\omega_y(t) = \frac{\Delta_\omega}{\Delta}$
53	идти к 57		
54	Выч $w_{0,2} = y_0$ $w_{1,2} = y_1$		
	$w_{2,2} = y_2$ $w_{2,1} = z_2$		
55	Выч $w_{0,3} = r_0$ $w_{1,3} = r_1$		
	$w_{2,3} = r_2$		
56	пр Сч w з x		
57	доп $j = 0$ $H_0 = 0$ $H_1 = 0$ $H_2 = 0$		
58	доп $i = 0$		
59	Выч $H_j = H_j + a_3 \beta_{ij} x_i$		
60	Вст $i = i + 1$		
61	если $i - 2 \le 0$ идти к 59		
62	Вст $j = j + 1$		
63	если $j - 2 \le 0$ идти к 58		
64	Выч $H_0 = H_0/1000$ $H_1 = H_1/100000$		
	$H_2 = H_2/100000$		
65	если $m - 1 \neq 0$ идти к 68		
66	печ с 1 зн H_0		печать N
67	идти к 72		
68	если $m - 2 \neq 0$ идти к 71		
69	печ с 1 зн H_0 H_1		

№ опер.	НАП	Алгоритм
70	идти к 72	
71	печ с 1 зн $H_0 H_1 H_2$	
72	доп $U = K$	
73	вст $U = U - 1$	
74	выч $Q_7 = \mathcal{T}$ $\mathcal{T} = 0$	
75	доп $d = 0$ $\sigma = 0$	
76	выч $Q_{jK} = a_8 \gamma_j$	$E\varepsilon_j(t_K)$
77	доп $i = 0$	
78	выч $a_{18} = Q_{ji}$	$\sigma_{j,0}$
79	если $\mathcal{T} = 0$ идти к 101	
80	доп $i = U$	
81	выч $a_{13} = (t_0 + t_i)/2$	$\frac{t_0 + t_i}{2}$
	$a_{14} = (t_K + t_i)/2$	$\frac{t_K + t_{K-1}}{2}$
84	если $K-1 < 0$ идти к 101	
85	выч $Q_{jK} = Q_{jK} + \gamma_{18} C$	$\sigma_{jK} = E\varepsilon_j(t_K) + \sigma_{j,0}(C^*(t_K, \frac{t_K + t_{K-1}}{2}) - C^*(t_{K-1}, \frac{t_K + t_{K-1}}{2}))$
86	если $K-2 < 0$ идти к 100	
87	доп $i = 1$	
88	доп $61 = i$	
89	вст $i = i - 1$	
90	выч $a_{19} = t_i$	t_{i-1}
91	вст $i = i + 2$	
92	выч $a_{19} = t_i$	t_{i+1}

№ опер.	НАП		Алгоритм
93	доп $i = ы$		
94	вын $a_{11} = (t_i + a_{10})/2$		$\frac{t_i + t_{i+1}}{2}$
	$a_{12} = (t_i + a_{19})/2$		$\frac{t_i + t_{i-1}}{2}$
96	вын $g_{jk} = g_{jk} + g_{ji}\, t$		
97	вст $i = i + 1$		
98	доп $ы = i$		
99	если $ы - 0 \le 0$ идти к 88		
100	вын $g_{jk} = g_{jk} / (1 + p)$		
101	вст $j = j + 1$ $\sigma = \sigma + 1$		
102	если $\sigma - m < 0$ идти к 76		
103	доп $j = 0$		
104	вын $x_j = g_{jk}$		
105	вст $j = j + 1$		
106	если $j - 2 \le 0$ идти к 104		
107	вын $w_{0,0} = 1/a_0$ $M_0 = x_0\, a_0$		
108	если $m - 1 = 0$ идти к 119		
109	вын $w_{0,1} = z_0/a_1$ $w_{1,0} = 1/a_0$		
	$w_{1,1} = z_1/a_1$		
110	если $m - 2 \ne 0$ идти к 115		
111	вын $a_{15} = (z_1\, z_0)/a_0\, a_1$		Δ
	$a_{17} = (x_1 - x_0)/a_1$		$\Delta_{мбу}$
112	вын $a_{16} = (x_0 z_1 - x_1 z_0)/a_1$		$\Delta_{N_б}$

№ опер.	ЯАП	Алгоритм
113	выч $M_0 = a_{16}/a_{15}$ $M_1 = a_{17}/a_{15}$	$N_б(t) = \frac{\Delta_{N6}}{\Delta}$, $M_{бy}(t) = \frac{\Delta_{My6}}{\Delta}$
114	идти к 119	
115	выч $w_{0,2} = y_0/a_2$ $w_{1,2} = y_1/a_2$	
	$w_{2,2} = y_2/a_2$	
116	выч $w_{2,1} = z_2/a_1$ $w_{2,0} = 1/a_0$	
117	выч $w_{0,3} = x_0$ $w_{1,3} = x_1$	
	$w_{2,3} = x_2$	
118	пр СУ ш 3 м	
119	выч $M_0 = M_0/1000$ $M_1 = M_1/100000$	$N_б(t)$ $M_{бy}(t)$ $M_{бz}(t)$
	$M_2 = M_2/100000$	
120	выч $S_0 = H_0 + M_0$ $S_1 = H_1 + M_1$	$N(t)$ $M_y(t)$ $M_z(t)$
	$S_2 = H_2 + M_2$	
121	если $m-1 \neq 0$ идти к 125	
122	печ с 1 зн M_0	печать $N_б(t)$
123	печ с 1 зн S_0	печать $N(t)$
124	идти к 131	
125	если $m-2 \neq 0$ идти к 129	
126	печ с 1 зн M_0 M_1	печать $N_б(t)$ $M_{бy}(t)$
127	печ с 1 зн S_0 S_1	печать $N(t)$ $M_y(t)$
128	идти к 131	
129	печ с 1 зн M_0 M_1 M_2	печать $N_б(t)$ $M_{бy}(t)$ $M_{бz}(t)$
130	печ с 1 зн S_0 S_1 S_2	печать $N(t)$ $M_y(t)$ $M_z(t)$

№ опер.	ЯАП		Алгоритм
131	идти к 132		
132	если $\Delta \neq 0$ идти к 135		
133	бит $\Delta = 2_1$		
134	идти к 75		
135	бит $\kappa = \kappa + 1$		
136	зап $0 = \kappa$		
137	если $0 - \Delta < 0$ идти к 38		
138	интервал 2		
139	если $\Delta - 2 \neq 0$ идти к 141		
140	идти к 15		
141	если 1 идти к 31		
142	идти к 15		
	ос 1		

№ опер.	ЯАП	Алгоритм
	$EC(t,\tau) = EC_m (0{,}6 + 0{,}65 e^{-\beta\tau})(1 - e^{-\alpha(t-\tau)})$	
82	$B_{n/4}\ p = a_9 (0{,}6 + 0{,}65 \exp(-a_4 a_{11}))^{1/4}$	$EC(t_k, \frac{t_k + t_{k-1}}{2})$
	$\exp a_5 (a_{14} - t_k))$	
83	$B_{n/4}\ C = a_9 ((0{,}6 + 0{,}65 \exp(-a_4$	$EC(t_k, \frac{t_0 + t_1}{2}) - EC(t_k, t_0)$
	$a_{13}))(1 - \exp a_5 (a_{13} - t_k)) - (0{,}6 +$	
	$0{,}65 \exp(-a_4 t_0))(1 - \exp a_5 (t_0 - t_k))$	
95	$B_{0/4}\ l = a_8 ((0{,}6 + 0{,}65 \exp(-a_4$	
	$a_{11}))(1 - \exp a_5 (a_{11} - t_k)) - (0{,}6 +$	
	$0{,}65 \exp(-a_4 a_{12}))(1 - \exp a_5 (a_{12} -$	
	$- t_k)))$	

№ опер.	ЯАП		Алгоритм
	$EC(t,\tau) = EC_{in}(0{,}6 + 0{,}65 e^{-\beta\tau}) \frac{t-\tau}{a_9 + t - \tau}$		
82	Вещ $\beta = a_9 (0{,}6 + 0{,}65 \exp(-a_4 a_{14}))$		
	$(t_к - a_{14}) / (a_5 + t_к - a_{14})$		
83	Вещ $C = a_9 ((0{,}6 + 0{,}65 \exp$		
	$(-a_4 a_{13})) (t_к - a_{13}) / (a_5 + t_к - a_{13})$		
	$-(0{,}6 + 0{,}65 \exp(-a_4 t_0)) (t_к - t_0) /$		
	$(a_5 + t_к - t_0))$		
85	Вещ $l = a_9 ((0{,}6 + 0{,}65 \exp$		
	$(-a_4 a_{11})) (t_к - a_{11}) / (a_5 + t_к - a_{11})$		
	$-(0{,}6 + 0{,}65 \exp(-a_4 a_{12})) (t_к -$		
	$a_{12}) / (a_5 + t_к - a_{12}))$		

Контрольный пример

Исходные данные:

Общие для всех рассчитываемых блоков

Количество точек в сечении блока $m \leq 3$	Площадь		Относительно оси y			Относительно оси z		Модуль упругости арматуры	Характеристика скорости старения бетона
	бетона $F_б$, $см^2$	арматуры $F_а$, $см^2$	Момент инерции площади бетонного сеч. $J_{бy}$, $см^4$	Статический момент площади сеч. арматуры S_{ay}, $см^3$	Момент инерции площади арматуры F_{ay}, $см^4$	Момент инерции площади бет. сечения $J_{бz}$, $см^4$	Момент инерции площади арматуры J_{az}, $см^4$	$E_а \times 10^{-5}$, $\frac{кг}{см^2}$	β, $\frac{1}{сутки}$
3	3391	109	1356069	109	73094	696594	32572	21	0,0167

Для каждого блока

Номер блока	Характеристика скорости ползучести бетона $Q_в$, сутки	Время установки блока под нагрузку $t_з$, сутки	Модуль упругости бетона $E_б \times 10^{-5}$, $кг/см^2$	Конечная характеристика ползучести $C_\infty E_б$
265	185	52	3,32	0,7

Для каждой точки блока

Параметры кривых деформаций			Координаты точек	
Начальная упругая относительная деформация	δ	ν	z, $см$	y, $см$
25	1	12	-28,5	-20
34	0,6	18	-28,5	20
17	1	36	30,5	-20

Приближенное аналитическое решение интегрального уравнения

Текст программы

№ опер.	НАП		Алгоритм
	ап		
	$i=21$ а		
	$j=2$ $i=2$ в		
	$j=2$ i е б г д ж $HMSg$		
	$j=3$ $i=4$ ш		
	$i=a$ t		
1	доп $j=0$		
2	доп $i=0$		
3	доп $b_{ji}=0$		
4	вст $i=i+1$		
5	если $i-2\leq 0$ идти к 3		
6	вст $j=j+1$		
7	если $j-2\leq 0$ идти к 2		
8	вв m		
9	вв a_0 $b_{0,0}$		ввод $F_б$ F_a
10	если $m-1=0$ идти к 14		
11	вв a_1 $b_{0,1}$ $b_{1,1}$		ввод $J_{бy}$ S_{ay} J_{ay}
12	если $m-2=0$ идти к 14		
13	вв a_2 $b_{2,2}$		ввод $J_{бz}$ J_{az}
14	вв a_3 a_4		ввод E_a 3
15	вв a_{20} a_{21}		ввод № кольца, № блока в кольце

№ опер.	ЯАП		Алгоритм
16	ВВ a_5 a_6 a_8 a_9		ввод a_0 t_0 E γ m
17	доп $j=0$ $n=m$		
18	ВВ e_j δ_j γ_j		ввод ε_j δ_j γ_j
19	если $m-1=0$ идти к 25		
20	ВВ z_j		
21	если $m-2=0$ идти к 23		
22	ВВ y_j		
23	вст $j=j+1$		
24	если $j-n<0$ идти к 18		
25	выч $t_0=a_6$ $t_1=t_0+10$		
	$t_2=t_0+20$ $t_3=t_0+30$		
26	выч $t_4=t_0+60$ $t_5=t_0+120$		
	$t_6=t_0+180$ $t_7=t_0+360$		
	$t_8=t_0+720$		
27	печ с 1 зн a_{20} a_{21}		печать №кольца, №блока
28	доп $k=0$		
29	печ с 1 зн t_k		
30	доп $j=0$ $\sigma=1$		
31	выч $\gamma_j=e_j(1+\delta_j(t_k-a_6))/(\gamma_j+$		$\varepsilon_j(t)=\varepsilon_{0j}(1+\delta_j\frac{t-t_0}{\gamma+t-t_0})$
	$t_k-a_6))$		
32	если $m-\sigma=0$ идти к 35		
33	вст $j=j+1$ $\sigma=\sigma+1$		

№ опер.	ЯАП		Алгоритм
34	идти к 31		
35	зап $W_{40}=1$ $W_{13}=1$ $W_{20}=1$		
36	вып $x_0=z_0$		
37	если $m-1=0$ идти к 45		
38	вып $W_{31}=z_0$ $W_{41}=z_1$		
39	если $m-2\neq 0$ идти к 43		
40	вып $a_{15}=z_1-z_0$		Δ
	$a_{16}=z_0z_1-z_1z_0$		Δ_ε
	$a_{17}=z_1-z_0$		Δ_ω
	$a_0=a_{16}/a_{15}$ $x_1=a_{17}/a_{15}$		$\varepsilon_0(t)=\frac{\Delta_\varepsilon}{\Delta}$ $\omega_y(t)=\frac{\Delta_\omega}{\Delta}$
41	идти к 70		
42	вып $W_{32}=y_0$ $W_{42}=y_1$		
	$W_{42}=y_2$ $W_{22}=z_2$		
43	вып $W_{43}=z_0$ $W_{43}=z_1$ $W_{23}=z_2$		
44	пр СУ W 3 x		$\varepsilon_0(t)$ $\omega_y(t)$ $\omega_z(t)$
45	зап $j=0$ $H_0=0$ $H_1=0$ $H_2=0$		
46	зап $i=0$		
47	вып $H_i=H_i+a_3b_{ij}x_i$		$N_a(t)$ $N_{ay}(t)$ $N_{az}(t)$
48	вып $i=i+1$		
49	если $i-2\leq 0$ идти к 47		
50	вып $j=j+1$		
51	если $j-2=0$ идти к 46		

№ опер.	ЯАП		Алгоритм
52	вс.ч $H_0 = H_0/1000$ $H_1 = H_1/100000$		
	$H_2 = H_2/100000$		
53	если $m-1 \neq 0$ идти к 56		
54	печ с 1 зн H_0		
55	идти к 60		
56	если $m-2 \neq 0$ идти к 59		
57	печ с 1 зн H_0 H_1		
58	идти к 60		
59	печ с 1 зн H_0 H_1 H_2		
60	доп $\mathcal{J} - 0$		
61	доп $j = 0$ $O = 0$		
62	если $\mathcal{J} \neq 0$ идти к 65		
63	выч $q_j = a_8 z_j$		
64	идти к 70		
65	выч $a_{14} = a_8 \varepsilon_j$		$\sigma_{\delta_j}(t_0) = E_\delta \varepsilon_j(t_0)$
66	выч $a_{17} = -a_{16}/a_{15}$		$\alpha_j = -\ddot{\sigma}_{\delta_j}(t_0)/\dot{\sigma}_{\delta_j}(t_0)$
69	выч $q_j = a_{14} + a_{15}(1 - \exp a_{17}(t_0 -$		
	$t_к))/a_{17}$		
70	вст $j = j+1$ $O = O+1$		
71	если $O - m < 0$ идти к 62		
72	выч $W_{q0} = 1/a_0$ $M_0 = q_0 a_0$		
73	если $m-1 = 0$ идти к 83		

№ опер.	ЯАП	Алгоритм
74	Выч $W_{01} = Z_0/a_1$ $W_{10} = 1/a_0$	
	$W_{21} = Z_1/a_1$	
75	если $n-2 \neq 0$ идти к 79	
76	Выч $a_{15} = (Z_1 - Z_0)/a_0 a_1$	
	$a_{16} = (Y_0 Z_1 - Y_1 Z_0)/a_1$	
	$a_{12} = (Y_1 - Y_0)/a_0$	
77	Выч $M_0 = a_{16}/a_{15}$ $M_1 = a_{12}/a_{15}$	
78	идти к 83	
79	Выч $W_{02} = Y_0/a_0$ $W_{12} = Y_1/a_0$	
	$W_{22} = Y_2/a_0$	
80	Выч $W_{01} = Z_0/a_1$ $W_{20} = 1/a_0$	
81	Выч $W_{03} = Y_0$ $W_{13} = Y_1$	
	$W_{23} = Y_2$	
82	по СУ ШЗМ	
83	Выч $M_0 = M_0/1000$ $M_1 = M_1/100000$	
	$M_2 = M_2/100000$	
84	Выч $S_0 = M_0 + M_0$ $S_1 = M_1 + M_1$ $S_2 = M_2 + M_2$	
85	если $m-1 \neq 0$ идти к 89	
86	печ с 1ЗН M_0	
87	печ с 1ЗН S_0	
88	идти к 95	
89	если $n-2 \neq 0$ идти к 93	

№ опер.	НАП		Алгоритм
90	печ с 1 зн M_0 M_1		
91	печ с 1 зн S_0 S_1		
92	идти к 95		
93	печ с 1 зн M_0 M_1 M_2		
94	печ с 1 зн S_0 S_1 S_2		
95	если $\mathcal{F} \neq 0$ идти к 98		
96	доп $\mathcal{F} = 1$		
97	идти к 61		
98	вст $K = K + 1$		
99	если $K - 8 \neq 0$ идти к 28		
100	интервал 2		
101	идти к 15		
	ис 1.		

№ опер.	ЯАП	Алгоритм
	$EC(t,\tau)=EC_m(0{,}6+0{,}65e^{-\beta\tau})(1-e^{-\gamma(t-\tau)})$	
66	вычт $a_{15}=a_{14}(\delta_j/\Gamma_j-a_9a_5(0{,}6+0{,}65\exp(-a_4t_0)))$	$\dot{\sigma}_{\delta_j}(t_0)=\sigma_{\delta_j}(t_0)(\frac{\delta_j}{\nu_j}-EC_m\gamma(0{,}6+0{,}65e^{-\beta t_0}))$
67	вычт $a_{16}=-2a_{14}\delta_j/\Gamma_j^2+a_9a_5(0{,}6+0{,}65\exp(-a_4t_0))(a_{14}a_5-a_{15})$	$\ddot{\sigma}_{\delta_j}(t_0)=-2\sigma_{\delta_j}(t_0)\frac{\delta_j}{\nu_j^2}+EC_m\gamma(0{,}6+0{,}65e^{-\beta t_0})(\sigma_{\delta_j}\gamma-\dot{\sigma}_{\delta_j}(t_0))$
	$EC(t,\tau)=EC_m(0{,}6+0{,}65e^{-\beta\tau})\frac{t-\tau}{a_0+t-\tau}$	
66	вычт $a_{15}=a_{14}(\delta_j/\Gamma_j-a_9(0{,}6+0{,}65\exp(-a_4t_0))/a_5)$	$\dot{\sigma}_{\delta_j}(t_0)=\sigma_{\delta_j}(t_0)(\frac{\delta_j}{\nu_j}-EC_m(0{,}6+0{,}65e^{-\beta t_0})/a_0)$
67	вычт $a_{16}=-2a_{14}\delta_j/\Gamma_j^2+a_9((0{,}6+0{,}65\exp(-a_4t_0))/a_5)(2a_{14}/a_5-a_{15})$	$\ddot{\sigma}_{\delta_j}(t_0)=-2\sigma_{\delta_j}(t_0)\frac{\delta_j}{\nu_j^2}+EC_m(0{,}6+0{,}65e^{-\beta t_0})/a_0(2\frac{\sigma_{\delta_j}(t_0)}{a_0}-\dot{\sigma}_{\delta_j}(t_0))$

Составление исходных данных и чтение результатов расчета

Исходные данные, общие для всех рассчитываемых блоков:

m – число точек в сечении блока ($m=1$, $m=2$ или $m=3$);

$F_б$ – площадь бетонного сечения, $см^2$;

$F_а$ – площадь арматуры, $см^2$;

$J_{бy}$ – момент инерции площади бетонного сечения относительно оси y, $см^4$;

S_{ay} – статический момент площади арматуры относительно оси y, $см^3$;

J_{ay} – момент инерции площади арматуры относительно оси y, $см^4$;

$J_{бz}$ – момент инерции площади бетона относительно оси z, $см^4$;

J_{az} – момент инерции площади арматуры относительно оси z, $см^4$;

$J_{бy}$, S_{ay}, J_{ay} – задаются только при $m=2$ и $m=3$;

$J_{бz}$, J_{az} – задаются только при $m=3$;

$E_а$ – модуль упругости арматуры, умноженный на 10^{-5}, $кг/см^2$;

β – характеристика скорости старения материала (обычно $\beta = 0{,}0167$ 1/сутки).

Исходные данные по каждому блоку:

N^g – номер кольца;

N^i – номер блока в кольце;

a_0 – характеристика скорости ползучести, сутки;

t_0 – возраст бетона в момент загружения;

$E_б$ – модуль упругости бетона, умноженный на 10^{-5}. Модуль упругости во времени не меняется;

$C_\infty E_б$ – конечная характеристика ползучести.

Исходные данные для каждой точки блока, в которой вычисляется деформация:

$\varepsilon_0(t_0)_i$ – величина упругой деформации, умноженная на 10^5;

δ_i, γ_i – параметры аппроксимирующей функции;

z_i – аппликата точки, задается только при $m=2$ и 3;

y_i – ордината точки, задается только при $m=3$, z_i и y_i, при $m=1$ не задается.

Результаты расчета печатаются в следующем порядке (число точек в сечении $m=3$):

$N_a(t)$, $M_{ay}(t)$, $M_{az}(t)$ – усилия в арматуре;

$N_b(t)$, $M_{by}(t)$, $M_{bz}(t)$ – усилия в бетоне без учета ползучести;

$N(t)$, $M_y(t)$, $M_z(t)$ – усилия в арматуре и бетоне без учета ползучести;

$N_b(t)$, $M_{by}(t)$, $M_{bz}(t)$ – усилия в бетоне с учетом ползучести;

$N(t)$, $M_y(t)$, $M_z(t)$ – усилия в арматуре и бетоне с учетом ползучести.

Если число точек в сечении $m=1$, то печатаются только продольные силы. При числе точек $m=2$ печатаются продольные силы и изгибающие моменты относительно оси y. Единицы измерения результатов расчета – тонны и метры.

па

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

ИСПОЛНИМ 1

S_{20}= 265,0	B_{21}= 1,0	
t_0= 52,0	π= 1,0	
H_0= 58,3	H_1= -2,0	H_2= 1,5
M_0= 25[illegible],06	M_1= -6,1	M_2= 5,2
S_0= 346,9	S_1= -8,1	S_2= 6,7
M_0= 288,6	M_1= -6,1	M_2= 5,2
S_0= 346,9	S_1= -8,1	S_2= 6,7
t_1= 62,0	π= 1,0	
H_0= 70,7	H_1= -40[illegible]	H_2= 0,8
M_0= 35[illegible],0	M_1= -12,0	M_2= 2,8
S_0= 42[illegible],06	S_1= -16,1	S_2= 3,6
M_0= 341,[illegible]	M_1= -11,7	M_2= 2,7
S_0= 411,[illegible]	S_1= -15,9	S_2= 3,5
t_2= 72,0	π= 1,0	
H_0= 77,[illegible]	H_1= -406	H_2= 0,7
M_0= 383,[illegible]	M_1= -13,5	M_2= 2,3
S_0= 461,2	S_1= -18,1	S_2= 3,0
M_0= 364,0	M_1= -12,9	M_2= 2,1
S_0= 441,3	S_1= -17,5	S_2= 2,8
t_3= 82,0	π= 1,00	
H_0= 81,5	H_1= -4,7	H_2= 0,6
M_0= 404,05	M_1= -14,00	M_2= 2,2
S_0= 486,1	S_1= -18,7	S_2= 2,9
M_0= 375,1	M_1= -13,0	M_2= 2,0
S_0= 45[illegible],6	S_1= -17,8	S_2= 2,6
t_4= 112,0	π= 1,0	
H_0= 88,2	H_1= -407	H_2= 0,6
M_0= 437,5	M_1= -14,00	M_2= 2,2
S_0= 525,7	S_1= -18,6	S_2= 2,8
M_0= 383,3	M_1= -12,2	M_2= 1,8
S_0= 471,5	S_1= -17,0	S_2= 2,5
t_5= 172,0	π= 1,0	
H_0= 93,4	H_1= -4,6	H_2= 0,6
M_0= 463,0	M_1= -1[illegible],5	M_2= 2,3
S_0= 556,4	S_1= -18,2	S_2= 3,0
M_0= 374,02	M_1= -10,7	M_2= 1,08
S_0= 467,7	S_1= -1[illegible],4	S_2= 2,4
t_6= 232,0	π= 1	
H_0= 95,6	H_1= -40[illegible]	H_2= 0,7
M_0= 473,8	M_1= -13,2	M_2= 2,3
S_0= 569,4	S_1= -17,8	S_2= 3,0
M_0= 363,0	M_1= -9,9	M_2= 1,7
S_0= 458,6	S_1= -14,04	S_2= 2,4
t_7= 412,0	π= 1,00	
H_0= 98,2	H_1= -403	H_2= 0,7
M_0= 486,2	M_1= -12,8	M_2= 2,4
S_0= 584,4	S_1= -17,2	S_2= 3,1
M_0= 342,[illegible]	M_1= -8,7	M_2= 1,6
S_0= 440,[illegible]	S_1= -13,0	S_2= 2,3
t_8= 772,0	π= 1,0	
H_0= 99,6	H_1= -4,2	H_2= 0,7
M_0= 493,[illegible]	M_1= -12,5	M_2= 2,4
S_0= 592,7	S_1= -16,8	S_2= 3,2
M_0= 326,[illegible]	M_1= -7,9	M_2= 1,05
S_0= 425,[illegible]	S_1= -12,2	S_2= 2,3

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА КОНТРОЛЬНОЙ

ПРИМЕРА

Q2c= 265.0	Q2= 1,5	
t0= 52.0		
H0= 58,3	H1= -2.3	H2= [illegible]
M0= 286,0	M1= -6,1	M2= [illegible]
S0= 346,9	S1= -8,0	S2= [illegible]
M0= 286,0	M1= -6,1	M2= [illegible]
S0= 346,9	S1= -8,1	S2= [illegible]
t1= 62,0		
H0= 70,7	H1= -4,1	H2= [illegible]
M0= 351,0	M1= -12,0	M2= [illegible]
S0= 421,6	S1= -16,1	S2= [illegible]
M0= 339,0	M1= -11,0	M2= [illegible]
S0= 409,7	S1= -15,1	S= [illegible]
t2= 72,0		
H0= 77,3	H1= -406	H2= 0,7
M0= 383,9	M1= -13,5	M2= 2,3
S0= 461,2	S1= -16,1	S2= 3,0
M0= 357,1	M1= -11,6	M2= 3,1
S0= 434,5	S1= -15,7	S2= 3,6
t3= 82,0		
H0= 81,05	H1= -4,7	H2= 0,6
M0= 404,5	M1= -14,0	M2= 2,1
S0= 486,1	S1= -18,7	S2= 2,9
M0= 364,5	M1= -10,6	M2= 3,1
S0= 446,0	S1= -15,4	S2= 3,9
t4= 112,0		
H0= 88,2	H1= -4,7	H2= 0,6
M0= 437,5	M1= -14,0	M2= 2,2
S0= 525,7	S1= -18,6	S2= 2,8
M0= 370,0	M1= -10,0	M2= 3,3
S0= 458,3	S1= -14,8	S2= 4,0
t5= 172,0		
H0= 93,4	H1= -406	H2= 0,6
M0= 463,0	M1= -13,5	M2= 2,3
S0= 556,4	S1= -18,2	S2= 3,0
M0= 370,9	M1= -9,9	M2= 3,3
S0= 464,3	S1= -14,5	S2= 4,0
t6= 232,0		
H0= 95,6	H1= -4,5	H2= 0,7
M0= 473,8	M1= -13,2	M2= 2,3
S0= 561,4	S1= -17,8	S2= 3,0
M0= 370,9	M1= -9,9	M2= 3,3
S0= 466,6	S1= -14,4	S2= 4,0
t7= 412,0		
H0= 98,2	H1= -4,5	H2= 0,7
M0= 486,2	M1= -12,8	M2= 2,4
S0= 584,4	S1= -17,2	S2= 3,1
M0= 370,9	M1= -9,9	M2= 3,3
S0= 469,1	S1= -14,3	S2= 4,0
t8= 772,0		
H0= 99,0	H1= -402	H2= 0,7
M0= 493,1	M1= -12,5	M2= 2,4
S0= 592,7	S1= -16,8	S2= 3,1
M0= 370,9	M1= -9,9	M2= 3,3
S0= 470,1	S1= -14,2	S2= 4,0

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ 3

I. Исходные предпосылки 4

2. Основные расчетные формулы 5

3. Обработка результатов измерения деформаций методом наименьших квадратов 7

4. Вычисление напряжений в бетоне 9

ЛИТЕРАТУРА II

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. Программа обработки измеренных деформаций I2

2. Программы определения усилий в сечении железобетонного стержня 2I

Редактор Н.И.Шкуренко
Корректор О.Д.Сухова

Подп.к печ. 31.07.78 г. Заказ № 339
Тираж I80 экз. Объем 2,6 п.л.
Ротапринт ЦНИИСа

gost.e-ecolog.ru