

**ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ УСЛОВИЙ В СЛУЧАЕХ НЕЛЕВСОБИТНОЙ
ТОННЕЛЬНОЙ ОБЪЕДИНЕНИЯ ПО ИЗМЕРЕННЫМ ДЕФОРМАЦИЯМ**

Москва 1978

УДК 624.193.001.42+624.193.001.5

**© Всесоюзный научно-исследовательский институт
транспортого 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. Сокинов В.В. (Ленгипротрансмост), канд. техн. наук Харлаб 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

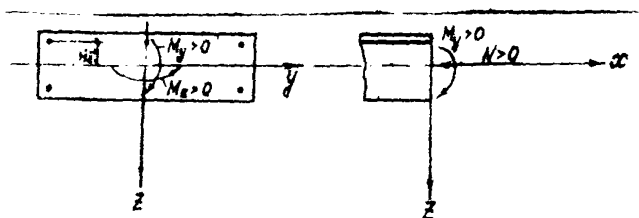
Руководитель отделения
тоннелей и метрополитенов

В.П. Самойлов

1. ИСХОДНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ

Общая постановка при следующих допущениях:

1. Учитываются только деформации от внешней нагрузки на конструкции, 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-пластичный материал.
4. В пределах рассматриваемого поперечного сечения бетон является однородным по составу и возрасту.
5. Рассматриваемое сечение симметрично относительно оси 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

2.1. 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 $\epsilon_j(t)$.

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:

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

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

где E, C - модуль упругости и мера ползучести бетона [1,2].

При известных деформациях $\epsilon_j(t)$ напряжения $\sigma_{y_j}(t)$ определяются путем решения интегральных уравнений (1).

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

$$\sigma_{y_j}(t) = \frac{N_s(t)}{F_s} + \frac{M_{sy}(t)}{J_{sy}} + \frac{M_{sz}(t)}{J_{sz}} \quad (j=1,2,3), \quad (3)$$

где N_s, M_{sy}, M_{sz} - усилия в бетоне;
 F_s, J_{sy}, J_{sz} - соответственно площадь и моменты инерции бетона в сечении.

При известных напряжениях $\sigma_{y_j}(t)$ (определены выше) усилия $N_s(t), M_{sy}(t), M_{sz}(t)$ находятся из системы линейных алгебраических уравнений (3).

2.4. По гипотезе плоских сечений

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

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

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

Усилия в арматуре

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

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

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

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

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

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

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

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

3. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ ДЕФОРМАЦИИ МЕТОДОМ НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ

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

Предлагается аппроксимировать кривые деформации функцией

$$\epsilon(t) = \epsilon(t_0) \left(1 + \delta \frac{t - t_0}{\sqrt{t - t_0}}\right). \quad (12)$$

Неизвестные параметры функции (12) $\epsilon(t_0)$, δ и ν находятся методом наименьших квадратов, т.е. из условий минимизации отклонения

$$S = \sum_{i=1}^n \left[\epsilon(t_i) - \epsilon(t_0) \left(1 + \delta \frac{t_i - t_0}{\sqrt{t_i - t_0}}\right) \right]^2, \quad (13)$$

где $t_i' = t_i - t_0$.

Упомянутые условия имеют вид:

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

Эти уравнения нелинейны.

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

$$y = \delta_0 t' + \delta_1, \quad (15)$$

где $y = \frac{t'}{\epsilon(t) - \epsilon(t_0)}$, $\delta_0 = \frac{1}{\delta \epsilon_0}$; $\delta_1 = \frac{\nu}{\delta \epsilon_0}$. (16)

Система нелинейных уравнений (14) преобразуется в линейную систему

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial \delta_0} &= -2 \sum_{i=1}^n (y_i - \delta_0 t'_i - \delta_1) t'_i = 0; \\ \frac{\partial S}{\partial \delta_1} &= -2 \sum_{i=1}^n (y_i - \delta_0 t'_i - \delta_1) = 0. \end{aligned} \right\} (17)$$

Среднеквадратичная ошибка

$$e^2 = \frac{1}{T_{\text{наб}} - T_0} \int_{T_0}^{T_{\text{наб}}} (\varepsilon(t) - \varepsilon_i(t))^2 dt. \quad (18)$$

Выбирается интервал изменения ε , и находится минимум функции (18) при изменении ε в этом интервале. Затем по точке $(\varepsilon_0, \delta_0, \beta_0)$, соответствующей минимуму e , из формулы (16) находятся параметры θ и γ . Такой метод определения параметров аппроксимирующей функции (12) реализован в программе, составленной для ВЭМ "Наври-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.

1. Численное решение интегрального уравнения.

В уравнении

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

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

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

$$\int_{\frac{t_0+j\Delta t}{2}}^{\frac{t_0+(j+1)\Delta t}{2}} K(t, \tau) \sigma(\tau) d\tau \approx \sigma(t_j) \left[C^*(t, \frac{t_0+(j+1)\Delta t}{2}) - C^*(t, \frac{t_0+j\Delta t}{2}) \right],$$

где

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

Тогда

$$\sigma(t) = E(t) \epsilon(t); \quad (21)$$

$$\sigma(t_i) = \left\{ E(t_i) \cdot \sigma(t_i) \left[C^*(t_i, \frac{t_0+t_i}{2}) - C^*(t_i, t_0) \right] + \sum_{j=1}^{i-1} \sigma(t_j) \left[C^*(t_i, \frac{t_0+(j+1)\Delta t}{2}) - C^*(t_i, \frac{t_0+j\Delta t}{2}) \right] \right\} \frac{1}{[1 + C^*(t_i, t_i) + C^*(t_i, \frac{t_0+t_i}{2})]}, \quad (22)$$

$i = 1, 2, \dots$

Данный способ решения задачи не накладывает никаких специальных условий на вид функции $E(t)$ 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

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

где $R(t, \tau)$ - релаксанта, подчиняющаяся определению через ядро $k(t, \tau)$.

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

$$C(t, \tau) = \psi(\tau) \{1 - e^{-\alpha(t-\tau)}\}. \quad (24)$$

При такой мере ползучести [2]

$$R(t, \tau) = \frac{1}{E(t)} \left\{ \sigma(\tau) + E(t) \int_{\tau}^t \dot{\epsilon}(\xi) e^{-\alpha(t-\xi)} d\xi + E(t) \int_0^{\tau} \dot{\epsilon}(\xi) e^{-\alpha(t-\xi)} d\xi \right\}, \quad (25)$$

$$k(t, \tau) = \int_0^{\tau} [1 - e^{-\alpha(t-\xi)}] E(\xi) d\xi. \quad (26)$$

где t_0 - произвольно выбраный 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 $\dot{\epsilon}(t) = \dot{\epsilon} - \alpha \sigma t$, то, как показала проверка в рассматриваемом вопросе, применим простой приближенный метод [3]:

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

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

При использовании меры ползучести бетона, рекомендуемой в [4, 5],

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

$$\psi(\tau) = C_n \xi_1 \xi_2 \xi_3 \xi_4 = C_m (Q_6 + Q_65 e^{-\beta \tau}), \quad (30)$$

и с учетом (12)

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

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

В случае использования меры ползучести (24)

$$\dot{\sigma}(t_0) = \dot{\sigma}(t_0) \left(\frac{\delta}{\gamma} - EC_m \gamma (q_6 \cdot 0,65 e^{k_1 t_0}) \right), \quad (33)$$

$$\dot{\sigma}(t_0) = 2 \dot{\sigma}(t_0) \frac{\delta}{\gamma} + EC_m \gamma (q_6 \cdot 0,65 e^{k_1 t_0}) (\dot{\sigma}(t_0) - \dot{\sigma}(t_0)). \quad (34)$$

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Арутюнян Н.Х. Некоторые вопросы теории ползучести. М., Гостехтеориздат, 1952.
2. Александровский С.В. Расчет стальных 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. 3 кн: "Механика". Краткие содержания докладов к XXV научной конференции ЛИСИ. Л., 1972.
4. Щербakov В.И. О прогнозе величин деформаций ползучести и усадки тяжелого бетона в стадии проектирования конструкций. Труды ЦНИИС "Исследование деформаций, прочности и долговечности бетона транспортных сооружений", вып. 7. 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

№ строка	ЯЗП	Алгоритм
	$QП$	
	$i=2 \quad j=30$	
	$i=3 \quad \delta$	
	$i=50 \quad t \neq s$	
	$i=5 \quad H$	
1	$\delta \delta H_0$	
2	печ с 1 зн H_0	
3	доп $i=1 \quad n=0 \quad \delta i-1$	
4	$\delta \delta t_c$	
5	если $t_c \geq 0$ идти к 9	
6	выч $\Gamma = t_c$	
7	доп $\Gamma = 10$	
8	идти к 11	
9	выч $i=i+1 \quad n=n+1$	
10	идти к 4	
11	$\delta \delta H_1$	
12	печ с 1 зн H_1	
13	доп $u=0$	
14	доп $i=1$	
15	$\delta \delta z_c$	
16	выч $i=i+1$	
17	если $i-n \leq 0$ идти к 15	

№ опер.	НАП	Алгоритм
18	Вопрос 3	
19	Вопрос 1	
20	Если $Z_i < 0$ алгоритм к 25	
21	Вопрос $L = L + 1$	
22	Алгоритм к 20	
23	Вопрос $K = L$	
24	Вопрос $Z_0 = Z_K$	
25	Вопрос $L = K$ $J = 1$	
26	Вопрос $\delta_0 = 0$ $\delta_1 = 0$ $\delta_2 = 0$ $\delta_3 = 0$	
27	Если $Z_i < 0$ алгоритм к 31	
28	Если $Z_i - Z_0 = 0$ алгоритм к 31	
29	Вопрос $\delta_2 = \delta_1 \cdot t_i$ $\delta_1 = \delta_1 + L_i / (Z_i - Z_0)$ $\delta_2 = \delta_2 + L_i^2$ $\delta_3 = \delta_3 + L_i^2 / (Z_i - Z_0)$	
30	Вопрос $J = J + 1$	
31	Вопрос $i = i + 1$	
32	Если $i \neq 0$ алгоритм к 27	
33	Вопрос $a_{0,0} = \delta_0$ $a_{0,1} = J$ $a_{0,2} = \delta_1$ $a_{1,0} = \delta_2$ $a_{1,1} = \delta_0$ $a_{1,2} = \delta_3$	
34	Алгоритм к 35	
35	по 04 228	
36	алгоритм к 30	
38	Вопрос $\delta = \delta_0 / (Z_0 - Z_K)$	

№ опер.	ЯПЛ	Алгоритм
	$\beta_2 = 1/\beta_0 P_0 \quad \beta_3 = \beta_1/\beta_0$	$\beta = 1/\beta_0 \epsilon_0 \quad \gamma = \beta_1/\beta_0$
39	если $P-3 < 0$ идти к 83	
40	пока $\epsilon > 5 \text{ м}$ $Z_0 \beta_2 \beta_3 \epsilon$	печатать $\epsilon_0 \beta \gamma \epsilon$
41	идти к 48	
42	здесь $i=1$	
43	пока $\epsilon > 1 \text{ м}$ $Z_i \beta_i S_i$	
44	здесь $i = i+1$	
45	если $i-12 < 0$ идти к 43	
46	если $i-4 = 0$ идти к 48	
47	если i идти к 83	
48	здесь $m = m+1$	
49	если $m-1 < 0$ идти к 18	
50	интервал 2	
51	если $\epsilon_1 - 1 = 0$ идти к 1	
52	здесь $\epsilon_1 = \epsilon_1 + 1$	
53	идти к 1	
54	здесь $Z_0 = 0,5 Z_K \quad \beta = 0,1 Z_K$	
55	если $P=0 \quad U=0 \quad \Pi=0 \quad Z=0$	
56	$M = 999993$	
57	идти к 25	
58	если $M > 0 = 0$ идти к 64	
59	здесь $M = 0 \quad \epsilon = 0 \quad \Pi = 0$	

№ опер.	НАИ	Алгоритм
61	Если $Z_0 = Z_0 + \Delta$ $U = U + 1$	
62	если $U - 10 \leq 0$ идти к 25	
63	Если $Z_0 = 0,5 Z_k + (11-1)\Delta$ $x = 0,04 Z_k$	
64	Если $\rho = 0$ $U = 0$ $C = 0$ $M = 9999,19$	
65	идти к 25	
66	если $M - e < 0$ идти к 68	
67	Если $M = e$ $U = 1$	
68	Если $Z_0 = Z_0 + x$ $U = U + 1$	
69	если $U - 10 = 0$ идти к 25	
70	Если $Z_0 = 4,5 Z_k + (2-1)\Delta$	
71	Если $\rho = 2$ $U = 0$ $C = 0$ $p = 9999,99$	
72	идти к 25	
73	если $p - e < 0$ идти к 75	
74	Если $p = e$ $C = 1$	
75	Если $Z_0 = Z_0 + x$ $U = U + 1$	
76	если $U - 10 \leq 0$ идти к 25	
77	если $M - p = 0$ идти к 80	
78	Если $Z_0 = 0,5 Z_k + (11-1)\Delta + 0,4x$	
79	идти к 81	
80	Если $Z_0 = 0,5 Z_k + (2-1)\Delta + 0,4x$	
81	Если $\rho = 4$	

№ опер.	ЯАП	Алгоритм
32	идти к 25	
33	если $\ell - 2 = 0$ идти к 73	
34	если $\ell - 1 = 0$ идти к 66	
35	если $\ell = 0$ идти к 59	
36	идти к 56	
90	доп $i = 1$ $\delta_0 = 0$	
91	доп $H_5 = 0$	
92	выч $S_i = t_i / (\beta_0 t_i + \beta_1) + Z_0$	
93	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	выч: $i = i + 1$	
96	если $i - n > 0$ идти к 38	
97	если $H_5 = 0$ идти к 92	
98	выч $S_i = t_i / (\beta_0 t_i + \beta_1) + Z_0$	
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	доп $j = i$	
102	идти к 91	
103	выч: $i = i + 1$	

Контрольный пример

Исходные данные:

Блок № 265, $t_0 = 52$

t_i'	ϵ_i		
	Номер точки		
	2	3	4
4	25,4	33,9	17,3
6	30,6	39,1	19,8
8	34,7	41,7	21,1
12	39,9	43	21,8
15	42,5	44,8	22,3
25	44,5	44,8	23,3
34	45,7	46,1	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
113	49,2	52,8	30,8
141	50,4	53,6	32,5
169	50,7	54,3	33,1
-3			

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА
(нажата клавиша "Вернуть")

0000

исполним }

$H = 265,0$

$H = 2,0$

$Z = 25,39999$

$\delta_2 = 1,04685$

$\delta_3 = 12,55768$

$\theta =$

$Z = 10,15999$

$\delta_2 = 4,04681$

$\delta_3 = 5,47310$

$\theta =$

$-1,14387$

$H = 3,0$

$Z = 33,89999$

$\delta_2 = 0,64844$

$\delta_3 = 18,86957$

$\theta =$

$1,39394$

$Z = 32,54399$

$\delta_2 = 0,75460$

$\delta_3 = 24,02293$

$\theta =$

$1,25375$

$H = 4,0$

$Z = 17,29999$

$\delta_2 = 1,03576$

$\delta_3 = 38,64117$

$\theta =$

$1,16520$

$Z = 19,37599$

$\delta_2 = 1,02283$

$\delta_3 = 88,66461$

$\theta =$

$0,77004$

Составление исходных данных и чтение результатов
расчета

Исходные данные вносятся в следующем порядке:

$N^{\#}$ - номер блока обделки;

$t_i' (i=1, 2, \dots, m)$ - моменты времени наблюдения, где m - число точек наблюдения; $t_i' - t_i - t_0$ (t_0 - момент времени загрузки); 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);

$N^{\#}$ - 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 δ и γ аппроксимирующей функции. При нажатой клавише "Вариант" производится оптимальный подбор ε_0 .

В результате расчета печатаются номер блока, номер точки, параметры ε_0 , δ , γ аппроксимирующей функции и e - квадратичное отклонение аппроксимирующей кривой от ломаной, проведенной через натурные точки. При нажатой клавише "Вариант" печатаются оптимальные параметры ε_0 , δ , γ , e . Если оператор 41 "Идти к 46" заменить на оператор 41 "Идти к 42", то кроме ε_0 , δ , 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 УСЛОВИЙ В СЕЧЕНИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО СТЕРЖНЯ

Численное решение интегрального уравнения
Тема программы

№ опер.	ЯВН	Алгоритм
	a_l	
	$i = 21 a$	
	$j = 2 i = 2 b$	
	$j = 2 \text{ } \alpha \text{ } \beta \text{ } \gamma \text{ } \delta \text{ } \epsilon \text{ } \zeta \text{ } \eta \text{ } \theta \text{ } \iota \text{ } \kappa \text{ } \lambda \text{ } \mu \text{ } \nu \text{ } \xi \text{ } \omicron \text{ } \pi \text{ } \rho \text{ } \sigma \text{ } \tau \text{ } \upsilon \text{ } \phi \text{ } \chi \text{ } \psi \text{ } \omega$	
	$j = 3 i = 4 \omega$	
	$i = 17 t$	
	$j = 2 \kappa = 17 g$	
1	доп $j = 0$	
2	доп $i = 0$	
3	доп $\beta_{j,i} = 0$	
4	вст $i = i + 1$	
5	если $i - 2 \neq 0$ идти к 3	
6	вст $j = j + 1$	
7	если $j - 2 \neq 0$ идти к 2	
8	вв m	Ввод m -крат. во. точек в сечении.
9	вв $Q_a \beta_{a,a}$	Ввод $F_s F_a$
10	если $m - 1 = 0$ идти к 14.	
11	вв $a_1 \beta_{a,1} \beta_{1,1}$	Ввод $J_{a1} J_{a2} J_{a3}$
12	если $m - 2 = 0$ идти к 14	
13	вв $a_2 \beta_{a,2}$	Ввод $J_{a2} J_{a2}$
14	вв $a_3 a_4$	Ввод $E_a \rho$ 21

№ опер.	НАП	Алгоритм
15	ВВ $a_{20} a_{21}$	Ввод № кольца, № блока
16	ВВ $a_3 a_6 a_8 a_9$	Ввод $a_0 t_0 E E_{\text{м}}$
17	опт $j=0 \quad n=m$	
18	ВВ $b_j \delta_j \Gamma_j$	Ввод $E_{ij} \delta_j \Gamma_j$
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 Y_j	Ввод Y_j
23	если $j=j+1$	
24	если $j-n < 0$ идти к 18	
25	идти к 26	
26	опт $A=9 \quad F=1$	
27	если $t_0 = a_6 \quad t_1 = t_0 + 10$ $t_2 = t_0 + 20 \quad t_3 = t_0 + 30$	
28	если $t_4 = t_0 + 60 \quad t_5 = t_0 + 120$ $t_6 = t_0 + 180$	
29	если $t_7 = t_0 + 360 \quad t_8 = t_0 + 720$	
30	идти к 36	
31	опт $A=17 \quad F=2$	
32	если $t_1 = t_0 + 5 \quad t_2 = t_0 + 10$ $t_3 = t_0 + 15 \quad t_4 = t_0 + 20$ $t_5 = t_0 + 25 \quad t_6 = t_0 + 30$	

№ опед.	ЯАП	Алгоритм
33	Вб/ч $t_7 = t_0 + 45$ $t_8 = t_0 + 60$	
	$t_9 = t_0 + 90$ $t_{10} = t_0 + 120$	
34	Вб/ч $t_{11} = t_0 + 150$ $t_{12} = t_0 + 180$	
	$t_{13} = t_0 + 270$	
35	Вб/ч $t_{14} = t_0 + 360$ $t_{15} = t_0 + 540$	
	$t_{16} = t_0 + 720$	
36	печ с 13Н Q_{20} Q_{21}	
37	дон $K=0$	
38	печ с 13Н t_K J	
39	удтм к 41	
40	спросим	
41	дон $j=0$ $\sigma=0$.	
42	вб/ч $z_j = e_j (1 + \delta_j (t_K - a_e) / (t_j + t_K - a_e))$	$e_j(t) = e_j (1 + \delta_j \frac{t - t_0}{t_j + t - t_0})$
43	встм $j=j+1$ $\sigma=\sigma+1$	
44	если $\sigma - m < 0$ удтм к 42	
45	дон $w_{0,0} = 1$ $w_{1,0} = 1$ $w_{2,0} = 1$	
46	вб/ч $z_0 = z_0$	
47	если $m-1=0$ удтм к 57	
48	вб/ч $w_{0,1} = z_0$ $w_{1,1} = z_1$	
49	если $m-2 \neq 0$ удтм к 54	
50	вб/ч $Q_{13} = z_1 - z_0$ $Q_{17} = z_1 - z_0$	Δ, Δ_w

№ опер.	НАП	Алгоритм
51	выч $Q_{16} = z_0 z_1 - z_1 z_0$	$\Delta \epsilon$
52	выч $z_0' = Q_{16}/Q_{15}$ $z_1' = Q_{17}/Q_{15}$	$\epsilon_0(t) = \frac{\Delta t}{A}$ $\omega_y(t) = \frac{A\omega}{A}$
53	идти к 57	
54	выч $\omega_{a2} = y_0$ $\omega_{12} = y_1$ $\omega_{2,2} = y_2$ $\omega_{2,1} = z_2$	
55	выч $\omega_{a3} = z_0$ $\omega_{13} = z_1$ $\omega_{2,3} = z_2$	
56	пр сб $\omega 3 \infty$	
57	доп $j=0$ $H_0=0$ $H_1=0$ $H_2=0$	
58	доп $i=0$	
59	выч $H_j = H_j + a_3 y_j z_j$	
60	вст $i = i+1$	
61	если $i-2 \neq 0$ идти к 59	
62	вст $j = j+1$	
63	если $j-2 \neq 0$ 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	печатать H
67	идти к 72	
68	если $m-2 \neq 0$ идти к 71	
69	печ с 1 зн $H_0 H_1$	

№ опер.	ЯП	Алгоритм
70	идти к 72	
71	печ с 1 эл H_0, H_1, H_2	
72	опт $U = K$	
73	остт $U = U - 1$	
74	выч $Q_7 = F$ $F = 0$	
75	опт $d = 0$ $\sigma = 0$	
76	выч $g_{j,k} = a_{j,k} z_j$	$E E_j(t_k)$
77	опт $l = 0$	
78	выч $a_{l,k} = g_{j,i}$	$\sigma_{j,0}$
79	если $F = 0$ идти к 101	
80	опт $l = U$	
81	выч $a_{13} = (t_0 + t_1) / 2$	$\frac{t_0 + t_1}{2}$
	$a_{14} = (t_k + t_{k-1}) / 2$	$\frac{t_k + t_{k-1}}{2}$
84	если $k-1 < 0$ идти к 101	
85	выч $g_{j,k} = g_{j,k} + z_{13} C$	$\sigma_{j,k} = E E_j(t_k) + \sigma_{j,0} (C(t_k, \frac{t_0+t_1}{2}) - C(t_k, t_0))$
86	если $k-2 < 0$ идти к 100	
87	опт $i = 1$	
88	опт $l = i$	
89	остт $i = i - 1$	
90	выч $a_{19} = t_i$	t_{i-1}
91	остт $i = i + 2$	
92	выч $a_{10} = t_i$	t_{i+1}

№ шаг.	НАП	Алгоритм
93	Зан $i = 0$	
94	Вой $a_{i,1} = (t_i + a_{i,0}) / R$	$\frac{t_i + t_{i+1}}{R}$
	$a_{i,2} = t_i + a_{i,0} / R$	$\frac{t_i + t_{i+1}}{R}$
95	Зан $g_{i,k} = g_{i,k} + g_{i,i} \cdot t$	
97	Е.м. $i = i + 1$	
99	Зан $i = i$	
99	Если $61 \cdot 0 \leq 0$ идти к 88	
100	Вой $g_{i,k} = g_{i,k} / (1 + R)$	
101	Е.м. $j = j + 1$ $\sigma = \sigma + 1$	
102	Если $\sigma \cdot m < 0$ идти к 76	
103	Зан $j = 0$	
104	Вой $z_{i,k} = g_{i,k}$	
105	Зан $j = j + 1$	
106	Если $j - 2 \leq 0$ идти к 104	
107	Вой $\omega_{a,0} = 1 / \alpha_0$ $M_0 = x_0 \cdot \alpha_0$	
108	Если $m - 1 = 0$ идти к 119	
109	Вой $\omega_{a,1} = z_0 / \alpha_1$ $\omega_{i,0} = 1 / \alpha_0$	
	$\omega_{i,1} = z_1 / \alpha_1$	
110	Если $m - 2 \neq 0$ идти к 115	
111	Вой $a_{i,5} = (z_1, z_0) / \alpha_0 \alpha_1$	Δ
	$z_{i,7} = (x_1 - x_0) / \alpha_1$	$\Delta \cdot M_{01}$
112	Вой $a_{i,6} = (x_0, z_1, -x_1, z_0) / \alpha_1$	$\Delta \cdot N_{01}$

№ опер.	ЯИИ	Алгоритм
113	Выч $M_0 = a_{16}/a_{15}$ $M_1 = a_{17}/a_{15}$	$N_5(t) = \frac{\Delta_{16}}{\Delta}$, $M_{5y}(t) = \frac{\Delta_{17}}{\Delta}$
114	идти к 119	
115	Выч $W_{0,2} = y_0/a_{22}$ $W_{1,2} = y_1/a_{22}$ $W_{2,2} = y_2/a_{22}$	
116	Выч $W_{2,1} = z_2/a_{21}$ $W_{2,0} = 1/a_{20}$	
117	Выч $W_{0,3} = x_0$ $W_{1,3} = x_1$ $W_{2,3} = x_2$	
118	пр сч $W_{3,1}$	
119	Выч $M_0 = M_0/10000$ $M_1 = M_1/100000$ $M_2 = M_2/100000$	$N_6(t)$ $M_{6y}(t)$ $M_{6z}(t)$
120	Выч $S_0 = H_0 + M_0$ $S_1 = H_1 + M_1$ $S_2 = H_2 + M_2$	$N(t)$ $M_y(t)$ $M_z(t)$
121	если $m-1 \neq 0$ идти к 125	
122	печ с 1 зн M_0	печать $N_6(t)$
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 $N_6(t)$ $M_{6y}(t)$
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 $N_6(t)$ $M_{6y}(t)$ $M_{6z}(t)$
130	печ с 1 зн S_0 S_1 S_2	печать $N(t)$ $M_y(t)$ $M_z(t)$

№ опера.	РАП	АЛГОРИТМ
131	$УЗНУ \times 132$	
132	ЕСЛИ $J \neq 0$ $УЗНУ \times 135$	
133	БОЛ $J = 2$	
134	$УЗНУ \times 75$	
135	БОЛ $K = K + 1$	
136	БОЛ $Q = K$	
137	ЕСЛИ $Q - R < 0$ $УЗНУ \times 38$	
138	УЧТЕРЬВА R	
139	ЕСЛИ $J - 2 \neq 0$ $УЗНУ \times 141$	
140	$УЗНУ \times 15$	
141	ЕСЛИ 1 $УЗНУ \times 31$	
142	$УЗНУ \times 15$	
	УС 1	

№ опэр.	ЯАП	Алгоритм
	$EC(t, \tau) = EC_m (0,6 + 0,65 e^{-\alpha_4 \tau}) (1 - e^{-\alpha_5 (t - \tau)})$	
82	$B_{n14} p = a_9 (0,6 + 0,65 \exp(-a_4 a_{14})) \exp a_5 (a_{14} - t_k)$	$EC(t_k, \frac{t_k + t_{k-1}}{2})$
83	$B_{n14} C = a_9 ((0,6 + 0,65 \exp(-a_4 a_{13})) (1 - \exp a_5 (a_{13} - t_k)) - (0,6 + 0,65 \exp(-a_4 t_0)) (1 - \exp a_5 (t_0 - t_k)))$	$EC(t_k, \frac{t_0 + t_1}{2}) - EC(t_k, t_0)$
95	$B_{n14} p = a_9 ((0,6 + 0,65 \exp(-a_4 a_{11})) (1 - \exp a_5 (a_{11} - t_k)) - (0,6 + 0,65 \exp(-a_4 a_{12})) (1 - \exp a_5 (a_{12} - t_k)))$	

№ опер.	ЯАП	Алгоритм
	$EC(t, \tau) = EC_m (0,6 + 0,65 e^{-a_4 t}) \frac{t - \tau}{a_5 + t - \tau}$	
82	$\text{ВЫЧ } p = a_9 (0,6 + 0,65 \exp(-a_4 a_{14}))$ $(t_k - a_{14}) / (a_5 + t_k - a_{14})$	
83	$\text{ВЫЧ } c = a_9 ((0,6 + 0,65 \exp$ $(-a_4 a_{13})) (t_k - a_{13}) / (a_5 + t_k - a_{13})$ $- (0,6 + 0,65 \exp(-a_4 t_0)) (t_k - t_0) /$ $(a_5 + t_k - t_0))$	
85	$\text{ВЫЧ } l = a_9 ((0,6 + 0,65 \exp$ $(-a_4 a_{11})) (t_k - a_{11}) / (a_5 + t_k - a_{11})$ $- (0,6 + 0,65 \exp(-a_4 a_{12})) (t_k -$ $a_{12}) / (a_5 + t_k - a_{12}))$	

контрольный пример

Исходные данные:

Общие для всех рассчитываемых блоков

Количество точек в сечении блока $m \times 3$	Площадь		Относительно оси y		Относительно оси z		Модуль упругости арматуры $E_a \times 10^4$ $\frac{кг}{см^2}$	Характеристика скорости старения бетона β , $\frac{1}{сутки}$	
	бетона $F_{б,2}$ $см^2$	арматуры $F_{a,2}$ $см^2$	Момент инерции площади бетона $J_{б,4}$ $см^4$	Статический момент площади бетона $S_{б,3}$ $см^3$	Момент инерции площади арматуры $J_{a,4}$ $см^4$	Момент инерции площади бетона $J_{б,4}$ $см^4$			Момент инерции площади арматуры $J_{a,4}$ $см^4$
3	3391	109	1356069	109	73094	696594	32572	21	0,0167

Для каждого блока

Номер блока	Характеристика скорости ползучести бетона на $Q_{с,}$ сутки	Время установки блока под нагрузку $t_{с,}$ сутки	Модуль упругости бетона $E_b \times 10^5$ $кг/см^2$	Конечная характеристика ползучести $C_{с} = E_b$
265	185	52	3,32	0,7

Для каждой точки блока

Начальная упругая относительная деформация	Параметры кривых деформаций			
	δ	γ	$z,$ $см$	$y,$ $см$
25	I	I2	-28,5	-20
34	0,6	I8	-28,5	20
I7	I	36	30,5	-20

Приближенное аналитическое решение интегрального уравнения

Текст программы

№	НАП	Алгоритм
	ал	
	$i = 0$	
	$j = 0$	
	$j = 2$ $i = 2$ δ	
	$j = 2$ $i = 0$ δ γ ω HMS g	
	$j = 3$ $i = 4$ ω	
	$i = 0$	
1	доп $j = 0$	
2	доп $i = 0$	
3	доп $\delta_{j,i} = 0$	
4	вст $i = i + 1$	
5	если $i - 2 \neq 0$ идти к 5	
6	вст $j = j + 1$	
7	если $j - 2 \neq 0$ идти к 2	
8	вв m	
9	вв a_0 $b_{0,0}$	ввод F_0 F_a
10	если $m - 1 = 0$ идти к 14	
11	вв a_1 $b_{0,1}$ $\delta_{0,1}$	ввод $J_{0,1}$ $J_{0,2}$ $J_{0,3}$
12	если $m - 2 = 0$ идти к 14	
13	вв a_2 $b_{2,2}$	ввод $J_{2,2}$ $J_{2,3}$
14	вв a_3 a_4	ввод E_a β
15	вв a_{20} a_{21}	ввод № калыца, № калыца в калыце

№ опер.	РАП	Алгоритм
16	ВВ $a_5 a_6 a_7 a_8$	ВВОД $a_0 t_0 E t_m$
17	доп $j=0$ $n=m$	
18	ВВ $e_j \delta_j r_j$	ВВОД $e_j \delta_j r_j$
19	если $m-1=0$ уйти к 25	
20	ВВ z_j	
21	если $m-2=0$ уйти к 23	
22	ВВ y_j	
23	вст $j=j+1$	
24	если $j-n < 0$ уйти 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 № камня, № блока
28	доп $k=0$	
29	печ с 1 зн t_k	
30	доп $j=0$ $\sigma=1$	
31	ВЫЧ $z_j = e_j (1 + \delta_j (t_k - a_6)) / ((r_j + t_k - a_6))$	$E(t) = E_0 (1 + \delta_j \frac{t - t_0}{j + t - t_0})$
32	если $m - \sigma = 0$ уйти к 35	
33	вст $j=j+1$ $\sigma = \sigma + 1$	

№ опер.	ЯЯИ	Алгоритм
34	сдти к 31	
35	вот $\omega_{1,0} = 1$ $\omega_{1,1} = 1$ $\omega_{2,0} = 1$	
36	вот $z_0 = z_0$	
37	если $m-1=0$ сдти к 45	
38	вот $\omega_{0,1} = z_0$ $\omega_{1,1} = z_1$	
39	если $m-2 \neq 0$ сдти к 43	
40	вот $z_{1,5} = z_1 - z_0$	Δ
	$z_{1,6} = z_0 z_1 - z_1 z_0$	Δ_z
	$z_{1,7} = z_1 - z_0$	Δ_w
	$z_0 = z_{1,6} / \omega_{1,5}$ $z_1 = z_{1,7} / \omega_{1,5}$	$E_0(t) = \frac{\Delta_z}{\Delta}$ $\omega_y(t) = \frac{\Delta_w}{\Delta}$
41	сдти к 40	
42	вот $\omega_{2,2} = y_0$ $\omega_{2,0} = y_1$	
	$\omega_{2,2} = y_0$ $\omega_{2,1} = z_2$	
43	вот $\omega_{3,3} = z_0$ $\omega_{3,3} = z_1$ $\omega_{2,3} = z_2$	
44	пр сч $\omega 3 x$	$E_0(t)$ $\omega_y(t)$ $\omega_z(t)$
45	вот $j=0$ $H_0=0$ $H_1=0$ $H_2=0$	
46	вот $i=0$	
47	вот $H_i = H_i + a_3 b_{j,0} x_i$	$M_0(t)$ $M_{0,1}(t)$ $M_{0,2}(t)$
48	с.т. $i=i+1$	
49	если $i-2 \leq 0$ сдти к 47	
50	вот $j=j+1$	
51	если $j-2 = 0$ сдти к 46	

№ опер.	ЯАП	Алгоритмы
52	выч $H_0 = H_0 / 1000$ $H_1 = H_1 / 100000$	
	$H_2 = H_2 / 100000$	
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 $j = 0$ $\sigma = 0$	
62	если $\mathcal{J} \neq 0$ идти к 65	
63	выч $g_j = a_8 z_j$	
64	идти к 70	
65	выч $a_{14} = a_8 \varepsilon_j$	$\dot{b}_{\mathcal{J}}(t_0) = E_8 \varepsilon_j(t_0)$
66	выч $a_{17} = -a_{16} / a_{15}$	$\alpha_j = -\ddot{b}_{\mathcal{J}}(t_0) / \dot{b}_{\mathcal{J}}(t_0)$
69	выч $g_j = a_{14} + a_{15} (1 - \exp a_{17} (t_0 - t_x)) / a_{17}$	
70	выст $j = j + 1$ $\sigma = \sigma + 1$	
71	если $\sigma - m < 0$ идти к 62	
72	выч $W_{a_0} = 1/a_0$ $M_0 = g_0 a_0$	
73	если $m-1 = 0$ идти к 83	

№ опер.	ЯАП	Алгоритм
74	Если $\omega_{0,1} = Z_0/a_1$, $\omega_{1,0} = 1/a_0$	
	$\omega_{1,1} = Z_1/a_1$	
75	если $\pi_1 - 2 \neq 0$ идти к 79	
76	Если $a_{1,5} = (Z_1 - Z_0)/a_0 a_1$	
	$a_{1,6} = (Z_0 Z_1 - Z_1 Z_0)/a_1$	
	$a_{1,7} = (Z_1 - Z_0)/a_0$	
77	Если $M_0 = a_{1,6}/a_{1,5}$, $M_1 = a_{1,7}/a_{1,5}$	
78	идти к 83	
79	Если $\omega_{0,2} = Y_0/a_0$, $\omega_{1,2} = Y_1/a_0$	
	$\omega_{2,2} = Y_2/a_2$	
80	Если $\omega_{0,1} = Z_0/a_1$, $\omega_{2,0} = 1/a_0$	
81	Если $\omega_{0,3} = Z_0$, $\omega_{2,2} = Z_1$	
	$\omega_{2,3} = Z_2$	
82	по СЧ ШЗМ	
83	Если $M_0 = M_2/1000$, $M_1 = M_2/100000$	
	$M_2 = M_2/100000$	
84	Если $S_0 = H_0 + M_0$, $S_1 = H_1 + M_1$, $S_2 = H_2 + M_2$	
85	если $\pi_1 - 1 \neq 0$ идти к 89	
86	печ с 1 зн M_0	
87	печ с 1 зн S_0	
88	идти к 95	
89	если $\pi_1 - 2 \neq 0$ идти к 93	

№ опер.	НАП	Алгоритм	40
90	печ с 1 эл M_0, M_1		
91	печ с 1 эл S_0, S_1		
92	идти к 95		
93	печ с 1 эл M_0, M_1, M_2		
94	печ с 1 эл S_0, S_1, S_2		
95	если $F \neq 0$ идти к 98		
96	доп $F = 1$		
97	идти к 61		
98	воп $K = K + 1$		
99	если $K - 8 \neq 0$ идти к 29		
100	интервал R		
101	идти к 15		
	исл.		

№ опер.	ЯАП	Алгоритм
	$EC(t, \tau) = EC_m (a_6 + 0,65 e^{-\beta \tau}) (1 - e^{-\beta(t-\tau)})$	
66	Вот $a_{13} = a_{14} (\delta_1 / \beta_1 - a_3 a_5 (a_6 + 0,65 \exp(-a_4 t_0)))$	$\dot{\sigma}_{\beta_j}(t_0) = \sigma_{\beta_j}(t_0) \left(\frac{\delta_j}{\beta_j} - EC_m \beta (a_6 + 0,65 e^{-\beta t_0}) \right)$
67	Вот $a_{15} = -2 a_{14} \delta_1 / \beta_1^2 + a_3 a_5 (a_6 + 0,65 \exp(-a_4 t_0)) (2 a_{14} a_5 - a_{15})$	$\ddot{\sigma}_{\beta_j}(t_0) = -2 \sigma_{\beta_j}(t_0) \frac{\delta_j}{\beta_j} + EC_m \beta (a_6 + 0,65 e^{-\beta t_0}) (\sigma_{\beta_j} \beta - \dot{\sigma}_{\beta_j}(t_0))$
	$EC(t, \tau) = EC_m (a_6 + 0,65 e^{-\beta \tau}) \frac{t - \tau}{a_4 + t - \tau}$	
66	Вот $a_{13} = a_{14} (\delta_1 / \beta_1 - a_3 (a_6 + 0,65 \exp(-a_4 t_0)) / a_5)$	$\dot{\sigma}_{\beta_j}(t_0) = \sigma_{\beta_j}(t_0) \left(\frac{\delta_j}{\beta_j} - EC_m (a_6 + 0,65 e^{-\beta t_0}) / a_5 \right)$
67	Вот $a_{15} = -2 a_{14} \delta_1 / \beta_1^2 + a_3 ((a_6 + 0,65 \exp(-a_4 t_0)) / a_5) (2 a_{14} / a_5 - a_{15})$	$\ddot{\sigma}_{\beta_j}(t_0) = -2 \sigma_{\beta_j}(t_0) \frac{\delta_j}{\beta_j} + EC_m (a_6 + 0,65 e^{-\beta t_0}) / a_5 (2 \frac{\sigma_{\beta_j}(t_0)}{a_5} - \dot{\sigma}_{\beta_j}(t_0))$

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_b - площадь бетонного сечения, см^2 ;

F_a - площадь арматуры, см^2 ;

J_{by} - 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_{bz} - момент инерции площади бетона относительно оси z , см^4 ;

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

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

J_{bz} , J_{az} - задаются только при $m=3$;

E_a - 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^k - номер кольца;

N^b - номер блока в кольце;

α_0 - характеристика скорости ползучести, сутки;

t_0 - возраст бетона в момент загрузки;

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

$C = E_b$ - конечная характеристика ползучести.

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

$E_0(t_0)_i$ - 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 $m=3$):

$N_a(t), M_{ay}(t), M_{ax}(t)$ - усилия в арматуре;

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

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

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

$N(t), M_y(t), M_x(t)$ - 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.

ИСПОЛНИМ 1

$S_{20} = 265,0$	$B_{21} = 1,0$	
$L_0 = 52,0$	$\pi = 1,0$	
$M_0 = 58,3$	$H_1 = -2,0$	$H_2 = 1,5$
$M_0 = 25,06$	$M_1 = -6,1$	$M_2 = 5,2$
$S_0 = 346,9$	$S_1 = -8,1$	$S_2 = 6,7$
$M_0 = 258,6$	$M_1 = -6,1$	$M_2 = 5,2$
$S_0 = 346,9$	$S_1 = -8,1$	$S_2 = 6,7$
$L_1 = 62,0$	$\pi = 1,0$	
$H_0 = 70,7$	$H_1 = -40,1$	$H_2 = 0,8$
$M_0 = 55,10$	$M_1 = -12,0$	$M_2 = 2,8$
$S_0 = 421,06$	$S_1 = -16,1$	$S_2 = 3,6$
$M_0 = 361,7$	$M_1 = -11,7$	$M_2 = 2,7$
$S_0 = 411,3$	$S_1 = -15,9$	$S_2 = 3,5$
$L_1 = 72,0$	$\pi = 1,0$	
$H_0 = 77,2$	$H_1 = -40,6$	$H_2 = 0,7$
$M_0 = 383,4$	$M_1 = -13,5$	$M_2 = 2,3$
$S_0 = 461,2$	$S_1 = -18,1$	$S_2 = 3,0$
$M_0 = 364,0$	$M_1 = -12,9$	$M_2 = 2,1$
$S_0 = 441,3$	$S_1 = -17,5$	$S_2 = 2,8$
$L_1 = 82,0$	$\pi = 1,00$	
$H_0 = 81,5$	$H_1 = -4,7$	$H_2 = 0,6$
$M_0 = 404,05$	$M_1 = -14,00$	$M_2 = 2,2$
$S_0 = 486,1$	$S_1 = -18,7$	$S_2 = 2,9$
$M_0 = 375,1$	$M_1 = -13,0$	$M_2 = 2,0$
$S_0 = 470,6$	$S_1 = -17,8$	$S_2 = 2,6$
$L_1 = 112,0$	$\pi = 1,0$	
$H_0 = 88,2$	$H_1 = -40,7$	$H_2 = 0,6$
$M_0 = 437,5$	$M_1 = -14,00$	$M_2 = 2,2$
$S_0 = 525,7$	$S_1 = -18,6$	$S_2 = 2,8$
$M_0 = 383,2$	$M_1 = -12,2$	$M_2 = 1,8$
$S_0 = 471,5$	$S_1 = -17,0$	$S_2 = 2,5$
$L_1 = 172,0$	$\pi = 1,0$	
$H_0 = 93,4$	$H_1 = -74,6$	$H_2 = 0,6$
$M_0 = 463,0$	$M_1 = -10,5$	$M_2 = 2,3$
$S_0 = 556,4$	$S_1 = -18,2$	$S_2 = 3,0$
$M_0 = 374,02$	$M_1 = -10,7$	$M_2 = 1,08$
$S_0 = 467,7$	$S_1 = -13,4$	$S_2 = 2,4$
$L_1 = 232,0$	$\pi = 1$	
$H_0 = 95,6$	$H_1 = -74,5$	$H_2 = 0,7$
$M_0 = 473,8$	$M_1 = -13,2$	$M_2 = 2,3$
$S_0 = 569,4$	$S_1 = -17,8$	$S_2 = 3,0$
$M_0 = 363,0$	$M_1 = -9,9$	$M_2 = 1,7$
$S_0 = 458,6$	$S_1 = -10,4$	$S_2 = 2,4$
$L_1 = 412,0$	$\pi = 1,00$	
$H_0 = 98,2$	$H_1 = -74,3$	$H_2 = 0,7$
$M_0 = 486,2$	$M_1 = -12,8$	$M_2 = 2,4$
$S_0 = 564,4$	$S_1 = -17,2$	$S_2 = 3,1$
$M_0 = 342,1$	$M_1 = -6,7$	$M_2 = 1,6$
$S_0 = 445,1$	$S_1 = -13,0$	$S_2 = 2,3$
$L_1 = 772,0$	$\pi = 1,0$	
$H_0 = 95,6$	$H_1 = -74,2$	$H_2 = 0,7$
$M_0 = 493,1$	$M_1 = -12,5$	$M_2 = 2,4$
$S_0 = 592,7$	$S_1 = -10,8$	$S_2 = 3,2$
$M_0 = 326,1$	$M_1 = -7,9$	$M_2 = 1,05$
$S_0 = 425,7$	$S_1 = -12,2$	$S_2 = 2,3$

РЕЗУЛЬТАТ РАБОТА КОНТРОЛЬЩИК

ПРИМЕР

$\sigma_{20} = 265.0$	$\sigma_{21} = 1.95$	
$\tau_0 = 52.0$		
$M_0 = 58.3$	$M_1 = 2.0$	$M_2 = 1.0$
$M_0 = 286.1$	$M_1 = 6.1$	$M_2 = 3.0$
$S_0 = 346.5$	$S_1 = -80$	$S_2 = 0.7$
$M_0 = 286.1$	$M_1 = 6.1$	$M_2 = 3.0$
$S_0 = 346.9$	$S_1 = -8.1$	$S_2 = 0.7$
$\tau_1 = 62.0$		
$M_0 = 70.7$	$M_1 = -4.1$	$M_2 = 0.7$
$M_0 = -551.0$	$M_1 = -12.0$	$M_2 = 1.0$
$S_0 = 421.0$	$S_1 = -16.1$	$S_2 = 1.1$
$M_0 = 336.0$	$M_1 = -11.0$	$M_2 = 2.0$
$S_0 = 4090.7$	$S_1 = -15.1$	$S_2 = 1.1$
$\tau_2 = 72.0$		
$M_0 = 77.3$	$M_1 = -40.6$	$M_2 = 0.7$
$M_0 = 383.9$	$M_1 = -13.5$	$M_2 = 2.1$
$S_0 = 461.0$	$S_1 = -18.1$	$S_2 = 3.0$
$M_0 = 337.1$	$M_1 = -11.0$	$M_2 = 3.1$
$S_0 = 434.5$	$S_1 = -15.7$	$S_2 = 3.6$
$\tau_3 = 82.0$		
$M_0 = 81.95$	$M_1 = -4.7$	$M_2 = 0.6$
$M_0 = 404.5$	$M_1 = -14.0$	$M_2 = 2.1$
$S_0 = 486.1$	$S_1 = -18.7$	$S_2 = 2.9$
$M_0 = 364.5$	$M_1 = -10.6$	$M_2 = 3.1$
$S_0 = 446.0$	$S_1 = -15.4$	$S_2 = 3.9$
$\tau_4 = 112.0$		
$M_0 = 88.2$	$M_1 = -4.7$	$M_2 = 0.6$
$M_0 = 437.5$	$M_1 = -14.0$	$M_2 = 2.2$
$S_0 = 525.7$	$S_1 = -18.8$	$S_2 = 2.8$
$M_0 = 370.0$	$M_1 = -10.0$	$M_2 = 3.3$
$S_0 = 458.3$	$S_1 = -14.8$	$S_2 = 4.0$
$\tau_5 = 172.0$		
$M_0 = 93.4$	$M_1 = -40.6$	$M_2 = 0.6$
$M_0 = 463.0$	$M_1 = -13.5$	$M_2 = 2.3$
$S_0 = 556.4$	$S_1 = -18.2$	$S_2 = 3.0$
$M_0 = 370.9$	$M_1 = -9.9$	$M_2 = 3.3$
$S_0 = 464.3$	$S_1 = -14.5$	$S_2 = 4.0$
$\tau_6 = 232.0$		
$M_0 = 95.6$	$M_1 = -4.5$	$M_2 = 0.7$
$M_0 = 473.8$	$M_1 = -13.2$	$M_2 = 2.3$
$S_0 = 561.4$	$S_1 = -17.8$	$S_2 = 3.0$
$M_0 = 370.9$	$M_1 = -9.9$	$M_2 = 3.3$
$S_0 = 466.6$	$S_1 = -14.4$	$S_2 = 4.0$
$\tau_7 = 412.0$		
$M_0 = 98.2$	$M_1 = -4.5$	$M_2 = 0.7$
$M_0 = 486.2$	$M_1 = -12.8$	$M_2 = 2.4$
$S_0 = 584.4$	$S_1 = -17.2$	$S_2 = 3.1$
$M_0 = 370.9$	$M_1 = -9.9$	$M_2 = 3.3$
$S_0 = 469.1$	$S_1 = -14.3$	$S_2 = 4.0$
$\tau_8 = 772.0$		
$M_0 = 99.0$	$M_1 = -40.2$	$M_2 = 0.7$
$M_0 = 493.1$	$M_1 = -12.5$	$M_2 = 2.4$
$S_0 = 592.7$	$S_1 = -16.6$	$S_2 = 3.2$
$M_0 = 370.0$	$M_1 = -9.9$	$M_2 = 3.3$
$S_0 = 470.1$	$S_1 = -14.2$	$S_2 = 4.0$

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДГОВОР	3
1. Исходные предположения	4
2. Основные расчетные формулы	5
3. Обработка результатов измерений деформации методом взаимных квадратов	7
4. Вычисление напряжений в сечении	9
ЛИТЕРАТУРА	II
ПРИЛОЖЕНИЯ	
1. Программы обработки измеренных деформаций	12
2. Программы определения усилий в сечении по известному состоянию	21

Редактор Н. И. Журилко

Корректор С. И. Сухова

Подп. к печ. 31.07.78. Заказ № 889

Тираж 180 экз. Объем 2,6 п.л.

Ротавриет ЦНИИС