

**ВСЕОБЩНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ  
ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ УСЛОВИЙ В СЛУЧАЕИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ  
ТОННЕЛЬНОЙ ОБЪЕДИН ПО ИЗМЕРЕННЫМ ДЕФОРМАЦИЯМ**

**Москва 1978**

**УДК 624.193.001.42+624.193.001.5**

**Восстановленный научно-исследовательский институт  
транспортного строительства, 1978**

## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

Настоящие Методические рекомендации предназначены для определения усилий в старжевых 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 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.Хасхабач**

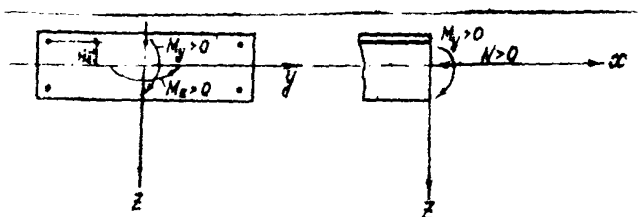
**Руководитель отделения  
тоннелей и метрополитенов**

**В.П.Самойлов**

## 1. ИСХОДНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ

Бетон рассчитывается 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:

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

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

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

При известных деформациях  $\epsilon_j(t)$  напряжения  $\sigma_{ij}(t)$  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

$$\sigma_{ij}(t) = \frac{N(t)}{F_b} + \frac{M_{by}(t)}{J_{by}} + \frac{M_{bz}(t)}{J_{bz}} \quad (j=1,2,3), \quad (3)$$

где  $N$ ,  $M_{by}$ ,  $M_{bz}$  — усилия в бетоне;  
 $F_b$ ,  $J_{by}$ ,  $J_{bz}$  — соответственно площадь и моменты инерции бетона в сечении.

При известных напряжениях  $\sigma_{ij}(t)$  (определены выше) усилия  $N(t)$ ,  $M_{by}(t)$ ,  $M_{bz}(t)$  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  $\varepsilon_0$  - удлинение волокна, проходящего через начало координат;

$\omega_y$  - угол поворота сечения относительно оси  $y$ ;

$\omega_z$  - 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

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

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

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

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

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

Поискные 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  $\varepsilon_j$  в моменты времени  $t_0, t_1, \dots$ , образующие монотонно возрастающую последовательность. Задача состоит в получении аналитической зависимости  $\varepsilon_j = \varepsilon_j(t)$  по методу наименьших квадратов (ниже индекс  $j$  опущен).

Предлагается аппроксимировать кривые деформации функцией

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

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

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

где  $t_i = t_i - t_0$ .

Упомянутые условия имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial \varepsilon(t_0)} &= -2 \sum_{i=1}^n [\varepsilon(t_i) - \varepsilon(t_0) \left(1 + \delta \frac{t_i - t_0}{\sqrt{t_i - t_0}}\right)] \left(1 + \delta \frac{t_i - t_0}{\sqrt{t_i - t_0}}\right) = 0; \\ \frac{\partial S}{\partial \delta} &= -2 \sum_{i=1}^n [\varepsilon(t_i) - \varepsilon(t_0) \left(1 + \delta \frac{t_i - t_0}{\sqrt{t_i - t_0}}\right)] \frac{t_i - t_0}{\sqrt{t_i - t_0}} = 0; \\ \frac{\partial S}{\partial \gamma} &= -2 \sum_{i=1}^n [\varepsilon(t_i) - \varepsilon(t_0) \left(1 + \delta \frac{t_i - t_0}{\sqrt{t_i - t_0}}\right)] \frac{\varepsilon(t_0) \delta t_i}{(\sqrt{t_i - t_0})^3} = 0. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Эти уравнения нелинейны.

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

$$y = \delta_0 t' + q_1, \quad (15)$$

где  $y = \frac{t'}{\varepsilon(t) - \varepsilon(t_0)}$ ,  $\delta_0 = \frac{1}{\delta \varepsilon_0}$ ;  $q_1 = \frac{\gamma}{\delta \varepsilon_0}$ . (16)

Система нелинейных уравнений (14) преобразуется в линейную систему

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial \delta_0} &= -2 \sum_{i=1}^n (y_i - \delta_0 t'_i - q_1) t'_i = 0; \\ \frac{\partial S}{\partial q_1} &= -2 \sum_{i=1}^n (y_i - \delta_0 t'_i - q_1) = 0. \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

Среднеквадратичная ошибка

$$\sigma^2 = \frac{1}{t_{\text{наб}} - t_0} \int_{t_0}^{t_{\text{наб}}} (\epsilon(t) - \epsilon_i(t))^2 dt. \quad (18)$$

Выбирается интервал изменения  $\epsilon$ , и находится минимум функции (18) при изменении  $\epsilon$  в этом интервале. Затем по точке  $(\epsilon_0, \delta_0, \beta_0)$ , соответствующей минимуму  $\sigma$ , из формулы (16) находятся параметры  $\theta$  и  $\gamma$ . Такой метод определения параметров аппроксимирующей функции (12) реализован в программе, составленной для ЭВМ "Найри-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

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

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

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

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

где

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

Тогда

$$\sigma(t_i) = E(t_i) \varepsilon(t_i); \quad (21)$$

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

$i = 1, 2, \dots$

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  $E(t) = \text{const}$ .

2. Решение интегрального уравнения через резольвенту.

Это решение имеет вид

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

где  $R(t, \tau)$  - релаксанта, подчиняется уравнению через ядро  $k(t, \tau)$ .

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

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

При такой мере ползучести [2]

$$R(t, \tau) = \frac{1}{E(t)} \left\{ \sigma(t) \psi(\tau) e^{-\alpha(t-\tau)} + \int_{\tau_0}^{\tau} \dot{E}(\xi) e^{-\alpha(t-\xi)} d\xi + \dot{E}(\tau) \psi(\tau) F(\alpha) \right\}, \quad (25)$$

$$F(\alpha) = \int_{\tau_0}^{\tau} [1 - e^{-\alpha(\tau-\xi)}] \dot{E}(\xi) d\xi. \quad (26)$$

где  $\tau_0$  - 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  $\dot{E}(t)/E = \text{const}$ , то, как показала проверка в рассматриваемом вопросе, применим простой приближенный метод [3]:

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

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

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

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

$$\psi(\tau) = C_0 \xi_1 \xi_2 \xi_3 \xi_4 = C_0 (Q_6 + Q_65 e^{-\beta \tau}), \quad (30)$$

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)

$$\dot{\sigma}(t_0) = \dot{\sigma}(t_0) \left( \frac{\dot{\sigma}}{\dot{\sigma}_0} - EC_m \sigma(46 \cdot 0,65 e^{\frac{\dot{\sigma}}{\dot{\sigma}_0}}) \right), \quad (32)$$

$$\dot{\sigma}(t_0) = 2 \dot{\sigma}(t_0) \frac{\dot{\sigma}}{\dot{\sigma}_0} - EC_m \sigma(46 \cdot 0,65 e^{\frac{\dot{\sigma}}{\dot{\sigma}_0}}) (2 \dot{\sigma}(t_0) - \dot{\sigma}(t_0)). \quad (34)$$

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

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Арутюнян Н.Х. Некоторые вопросы теории ползучести. М., Гостехтеориздат, 1952.
2. Александровский С.В. Расчет остовных 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. 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

№ строки	ЯЗП	Алгоритм
	АП	
	$i=2 \quad j=30$	
	$i=385$	
	$i=50 \quad t \neq 5$	
	$i=5 \quad H$	
1	ВВ $H_0$	
2	печ с 1-м $H_0$	
3	доп $i=1 \quad n=0 \quad m=1$	
4	ВВ $t_i$	
5	если $t_i \geq 0$ идти к 9	
6	Выв $\Gamma = t_i$	
7	доп $\Gamma = 10$	
8	идти к 11	
9	если $i=i+1 \quad n=n+1$	
10	идти к 4	
11	ВВ $H_i$	
12	печ с 3-м $H_i$	
13	доп $m=0$	
14	доп $i=1$	
15	ВВ $z_i$	
16	Выв $i=i+1$	
17	если $i-n \leq 0$ идти к 15	

№ опер.	НАП	Алгоритм
18	begin $i = 3$	
19	begin $i = 1$	
20	если $Z_i < 0$ перейти к 25	
21	begin $i = i + 1$	
22	если $K < 0$	
23	begin $K = 1$	
24	begin $Z_0 = Z_K$	
25	begin $L = K \quad J = 1$	
26	begin $\delta_0 = 0 \quad \delta_1 = 0 \quad \delta_2 = 0 \quad \delta_3 = 0$	
27	если $Z_i < 0$ перейти к 31	
28	если $Z_i - Z_0 = 0$ перейти к 31	
29	begin $\delta_2 = \delta_0 + t_i \quad \delta_1 = \delta_1 + L_i / (Z_i - Z_0)$ $\delta_2 = \delta_2 + t_i^2 \quad \delta_3 = \delta_3 + L_i^2 / (Z_i - Z_0)$	
30	begin $J = J + 1$	
31	begin $i = i + 1$	
32	если $i \leq 0$ перейти к 27	
33	begin $Q_{0,0} = \delta_0 \quad Q_{0,1} = J \quad Q_{0,2} = \delta_1$ $Q_{1,0} = \delta_2 \quad Q_{1,1} = \delta_0 \quad Q_{1,2} = \delta_3$	
34	если $K < 35$	
35	по CY к 28	
36	если $K < 50$	
38	begin $\sigma = \sqrt{\delta_0 / (t_0 - t_K)}$	

№ п/п	НАП	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	по $\epsilon$ и $Z_0 \beta_2 \beta_3 \epsilon$	печатать $\epsilon_0$ и $\gamma \epsilon$
41	идти к 46	
42	здесь $i=1$	
43	по $\epsilon$ и $Z_i \beta_i \beta_i$	
44	здесь $i=i+1$	
45	если $L-R < 0$ идти к 43	
46	если $L-4 < 0$ идти к 48	
47	если $i$ идти к 83	
48	здесь $m=m+1$	
49	если $m-1 < 0$ идти к 13	
50	интервал 2	
51	если $61-1 < 0$ идти к 1	
52	здесь $61=61+1$	
53	идти к 1	
54	по $Z_0 = 0,5 P_K \quad \beta = 0,1 Z_K$	
55	по $P=0 \quad U=0 \quad m=0 \quad Z=0$	
56	$M = 999993$	
57	идти к 25	
58	если $M-2 < 0$ идти к 61	
59	по $M \quad P \quad Z \quad \beta \quad \gamma \quad \epsilon$	

№ опер.	НАП	Алгоритм
61	Если $Z_0 = Z_0 + \Delta$ $U = U + 1$	
62	если $U - 10 \leq 0$ идти к 25	
63	Если $Z_0 = 0,5 Z_k + (111-1)\Delta$ $X = 0,02 Z_k$	
64	для $\ell$ : $U=0$ $O=0$ $M=999919$	
65	идти к 25	
66	если $M - e < 0$ идти к 68	
67	для $M=e$ $O=U$	
68	Если $Z_0 = Z_0 + X$ $U = U + 1$	
69	если $U - 10 \leq 0$ идти к 25	
70	Если $Z_0 = 0,5 Z_k + (2-1)\Delta$	
71	для $\ell-2$ $U=0$ $O=0$ $p=999999$	
72	идти к 25	
73	если $p - e < 0$ идти к 75	
74	для $p=e$ $O=U$	
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 $Z_0 = 0,5 Z_k + (11-1)\Delta + OX$	
79	идти к 81	
80	Если $Z_0 = 0,5 Z_k + (2-1)\Delta + OX$	
81	для $\ell-4$	

№ опер.	ЯП	Алгоритм
82	идти к 25	
83	если $\ell-2=0$ идти к 73	
84	если $\ell-1=0$ идти к 66	
85	если $\ell=0$ идти к 59	
86	идти к 56	
87	доп $i=1$ $\delta_0=0$	
88	доп $H_5=0$	
89	выч $S_i = t_i / (\beta_0 t_i + \beta_1) + Z_0$	
90	если $Z_i < 0$ идти к 95	
91	выч $H_2 = S_i$ $H_3 = Z_i$ $H_4 = t_i$	
	$H_5 = 1$	
92	выч: $i = i + 1$	
93	если $i - n > 0$ идти к 38	
94	если $H_5 = 0$ идти к 98	
95	выч $S_i = t_i / (\beta_0 t_i + \beta_1) + Z_0$	
96	если $Z_i < 0$ идти к 103	
97	выч $\delta_0 = \delta_0 + ((S_i - Z_i)^2 +$ $+(H_2 - H_3)^2)(t_i - H_4) / 2$	
98	доп $j = i$	
99	идти к 91	
100	выч: $i = i + 1$	



[illegible]

# Контрольный пример

Исходные данные:

Блок № 265,  $t_0 = 52$

$t_i'$	$\varepsilon_i$		
	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 "Верант")

М...

исполним }

$H = 265,0$

$H = 2,0$

$Z = 25,39999$

$\delta_2 = 1,04685$

$\delta_3 = 12,55768$

$\theta =$

$\begin{array}{r} 1,2328 \\ Z = 10,15999 \end{array}$

$\delta_2 = 4,04681$

$\delta_3 = 5,47310$

$\theta =$

$-1,14387$

$H = 3,0$

$Z = 33,89999$

$\delta_2 = 0,64844$

$\delta_3 = 18,86957$

$\theta =$

$1,39394$

$Z = 32,54399$

$\delta_2 = 0,75460$

$\delta_3 = 24,02293$

$\theta =$

$1,25375$

$H = 4,0$

$Z = 17,29999$

$\delta_2 = 1,03576$

$\delta_3 = 38,64117$

$\theta =$

$1,16520$

$Z = 19,37599$

$\delta_2 = 1,02283$

$\delta_3 = 88,66461$

$\theta =$

$0,77004$

## Составление исходных данных и чтение результатов расчета

Исходные данные заносятся в следующем порядке:

$N^2$  - номер блока обделки;

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

$N^2$  - 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  $\varepsilon_0 = \varepsilon(t_{\text{нач}})$  параметров  $\delta$  и  $\gamma$  аппроксимирующей функции. При нажатой клавише "Вариант" производится оптимальный подбор  $\varepsilon_0$ .

В результате расчета печатаются номер блока, номер точки, параметры  $\varepsilon_0$ ,  $\delta$ ,  $\gamma$  аппроксимирующей функции и  $e$  - квадратичное отклонение аппроксимирующей кривой от ломаной, проведенной через натурные точки. При нажатой клавише "Вариант" печатаются оптимальные параметры  $\varepsilon_0$ ,  $\delta$ ,  $\gamma$ ,  $e$ . Если оператор 41 "Идти к 46" заменить на оператор 41 "Идти к 42", то кроме  $\varepsilon_0$ ,  $\delta$ ,  $\gamma$ ,  $e$  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.	ЯЗЫК	Алгоритм
	ал	
	$i = 21 a$	
	$j = 2 i = 2 b$	
	$j = 2 \text{ } \alpha \text{ } \beta \text{ } \gamma \text{ } \delta \text{ } \epsilon \text{ } \zeta \text{ } \eta \text{ } \theta \text{ } \iota \text{ } \kappa \text{ } \lambda \text{ } \mu \text{ } \nu \text{ } \xi \text{ } \omicron \text{ } \pi \text{ } \rho \text{ } \sigma \text{ } \tau \text{ } \upsilon \text{ } \phi \text{ } \chi \text{ } \psi \text{ } \omega \text{ } \text{HMS}$	
	$j = 3 i = 4 w$	
	$i = 17 t$	
	$j = 2 \kappa = 17 q$	
1	доп $j = 0$	
2	доп $i = 0$	
3	доп $\beta_{ji} = 0$	
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 $E_a \rho$

№ опер.	НАП	Алгоритм
15	ВВ $a_{20} a_{21}$	Ввод № комнаты, № блока
16	ВВ $a_3 a_6 a_8 a_9$	Ввод $a_0 t_0 E E_{\text{м}}$
17	Доп $j=0 \quad n=m$	
18	ВВ $b_j \delta_j \Gamma_j$	Ввод $E_j \delta_j V_j$
19	Если $m-1=0$ перейти к 25	
20	ВВ $Z_j$	Ввод $Z_j$
21	Если $m-2=0$ перейти к 23	
22	ВВ $Y_j$	Ввод $Y_j$
23	Если $j=j+1$	
24	Если $j-n < 0$ перейти к 18	
25	Перейти к 26	
26	Доп $A=9 \quad J=1$	
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	Перейти к 36	
31	Доп $A=17 \quad J=2$	
32	Если $t_1 = t_0 + 5 \quad t_2 = t_0 + 10$ $t_3 = t_0 + 15 \quad t_4 = t_0 + 20$ $t_5 = t_0 + 25 \quad t_6 = t_0 + 30$	

№ опер.	ЯП	Алгоритм
33	Всех $t_7 = t_0 + 45$ $t_8 = t_0 + 60$	
	$t_9 = t_0 + 90$ $t_{10} = t_0 + 120$	
34	Всех $t_{11} = t_0 + 150$ $t_{12} = t_0 + 180$	
	$t_{13} = t_0 + 270$	
35	Всех $t_{14} = t_0 + 360$ $t_{15} = t_0 + 540$	
	$t_{16} = t_0 + 720$	
36	печ с 134 $Q_{20}$ $Q_{21}$	
37	дон $K=0$	
38	печ с 134 $t_K$ $\bar{F}$	
38	удти к 41	
40	спросим	
41	дон $j=0$ $\sigma=0$	
42	Всех $z_j = e_j (1 + \delta_j (t_K - Q_0) /$ $(t_j + t_K - Q_0))$	$\xi_j(t) = \xi_j (1 + \delta_j \frac{t - t_0}{t_j + t - t_0})$
43	всех $j=j+1$ $\sigma=\sigma+1$	
44	если $\sigma-m < 0$ удти к 42	
45	дон $w_{0,0}=1$ $w_{1,0}=1$ $w_{2,0}=1$	
46	Всех $z_0 = z_0$	
47	если $m-1=0$ удти к 57	
48	Всех $w_{0,1}=z_0$ $w_{1,1}=z_1$	
48	если $m-2 \neq 0$ удти к 54	
50	Всех $Q_{13}=z_1 - z_0$ $Q_{17}=z_1 - z_0$	$\Delta, \Delta_w$

№ опер.	НАП	Алгоритм
51	Выч $Q_{16} = z_0 z_1 - z_1 z_0$	$\Delta \epsilon$
52	Выч $z_0' = Q_{16} / Q_{15}$ $z_1' = Q_{17} / Q_{15}$	$\epsilon_0(t) = \frac{4t}{A}$ $\omega_y(t) = \frac{4\omega}{A}$
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 $H_2 = H_1 + a_2 y_1 z_1$	
60	Вотт $i = i + 1$	
61	если $i-2 \neq 0$ Идти к 59	
62	Вотт $j = j + 1$	
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.	НАП	Алгоритм
70	идти к 72	
71	печ с 1 эл $H_0, H_1, H_2$	
72	доп $U = K$	
73	вотп $U = U - 1$	
74	выч $Q_7 = F \quad F = 0$	
75	доп $d = 0 \quad \sigma = 0$	
76	выч $g_{jk} = Q_8 z_j$	$EE_j(t_k)$
77	доп $l = 0$	
78	выч $Q_{18} = g_{ji}$	$\sigma_{j,0}$
79	если $F = 0$ идти к 101	
80	доп $l = U$	
81	выч $Q_{13} = (t_0 + t_1)/2$	$\frac{t_0 + t_1}{2}$
	$Q_{14} = (t_k + t_{k-1})/2$	$\frac{t_k + t_{k-1}}{2}$
84	если $K-1 < 0$ идти к 101	
85	выч $g_{jk} = g_{jk} + z_{jk} C$	$\sigma_{jk} = EE_j(t_k) + \sigma_{j,0} (C(t_k, \frac{t_0+t_1}{2}) - C(t_k, \frac{t_k+t_{k-1}}{2}))$
86	если $K-2 < 0$ идти к 100	
87	доп $i = 1$	
88	доп $61 = i$	
89	вотп $i = i - 1$	
90	выч $Q_{19} = t_i$	$t_{i-1}$
91	вотп $i = i + 2$	
92	выч $Q_{10} = t_i$	$t_{i+1}$

№ шаг.	НАП	Алгоритм
93	ДОП $l = b$	
94	ВЫЧ $a_{1l} = (t_l + a_{10})/R$	$\frac{t_l + t_{l-1}}{R}$
	$a_{12} = t_0 + (a_{10})/R$	$\frac{t_l + t_{l-1}}{R}$
95	ДОП $g_{1k} = g_{1k} + g_{10}^k$	
97	ЕСЛИ $l = L+1$	
98	ДОП $b1 = l$	
99	ЕСЛИ $b1 - l \leq 0$ УДТИ К 88	
100	ВЫЧ $g_{1k} = g_{1k} / (1 + \rho)$	
101	ЕСЛИ $j = j+1$ $T = T+1$	
102	ЕСЛИ $T = m < 0$ УДТИ К 76	
103	ДОП $j = 0$	
104	ВЫЧ $z_j = g_{1k}$	
105	ДОП $j = j+1$	
106	ЕСЛИ $j - R \leq 0$ УДТИ К 104	
107	ВЫЧ $\omega_{a0} = 1/\alpha_0$ $M_0 = x_0 \alpha_0$	
108	ЕСЛИ $m - 1 = 0$ УДТИ К 119	
109	ВЫЧ $\omega_{a1} = z_0/\alpha_1$ $\omega_{1,0} = 1/\alpha_0$	
	$\omega_{1,1} = z_1/\alpha_1$	
110	ЕСЛИ $m - R \neq 0$ УДТИ К 115	
111	ВЫЧ $a_{15} = (z_1, z_0)/\alpha_0 \alpha_1$	$\Delta$
	$z_{17} = (x_1 - x_0)/\alpha_1$	$\Delta_{184}$
112	ВЫЧ $a_{16} = (x_0, z_1, x_1, z_0)/\alpha_1$	$\Delta_{185}$

№ опер.	ЯЯП	Алгоритм
113	Выч $M_0 = a_{16}/a_{15}$ $M_1 = a_{17}/a_{15}$	$N_5(t) = \frac{\Delta_{15}}{\Delta}$ , $M_{54}(t) = \frac{\Delta_{14}}{\Delta}$
114	Уйти 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 $W_{3,1}$	
119	Выч $M_0 = M_0/1000$ $M_1 = M_1/100000$ $M_2 = M_2/100000$	$N_5(t)$ $M_{54}(t)$ $M_{52}(t)$
120	Выч $S_0 = H_0 + M_0$ $S_1 = H_1 + M_1$ $S_2 = H_2 + M_2$	$N(t)$ $M_2(t)$ $M_3(t)$
121	если $m-1 \neq 0$ Уйти к 125	
122	печ с 1 зн $M_0$	печать $N_5(t)$
123	печ с 1 зн $S_0$	печать $N(t)$
124	Уйти к 131	
125	если $m-2 \neq 0$ Уйти к 129	
126	печ с 1 зн $M_0$ $M_1$	печать $N_5(t)$ $M_{54}(t)$
127	печ с 1 зн $S_0$ $S_1$	печать $N(t)$ $M_2(t)$
128	Уйти к 131	
129	печ с 1 зн $M_0$ $M_1$ $M_2$	печать $N_5(t)$ $M_{54}(t)$ $M_{52}(t)$
130	печ с 1 зн $S_0$ $S_1$ $S_2$	печать $N(t)$ $M_2(t)$ $M_3(t)$







# контрольный пример

Исходные данные:

Общие для всех рассчитываемых блоков

Количество точек в сечении блока $m \times n$	Площадь		Относительно оси $y$		Относительно оси $z$		Модуль упругости арматуры	Характеристика скорости старения бетона	
	бетона $F_{b,2}$ см <sup>2</sup>	арматуры $F_{a,2}$ см <sup>2</sup>	Момент инерции момент площади бетона $J_{b,4}$ см <sup>4</sup>	Статический момент площади бетона $S_{b,3}$ см <sup>3</sup>	Момент инерции момент площади арматуры $J_{a,4}$ см <sup>4</sup>	Момент инерции момент площади бетона $J_{b,4}$ см <sup>4</sup>			
3	3391	109	1356069	109	73094	696594	32572	21	0,0167

Для каждого блока

Номер блока	Характеристика скорости ползучести бетона $Q_{\infty}$ , сутки	Время установки блока под нагрузку $t_{\infty}$ , сутки	Модуль упругости бетона $E_b \cdot 10^4$ , кг/см <sup>2</sup>	Конечная характеристика ползучести $S_{\infty} = E_b$
265	185	52	3,32	0,7

Для каждой точки блока

Параметры кривых деформаций			Координаты точек	
Начальная упругая относительная деформация	$\delta$	$\gamma$	$z$ , 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**

№ опции	НАП	Алгоритм
	ал	
	$i = 0$	
	$j = 0$	
	$j = 0$ до $j = NMS$	
	$j = 3$ до $j = 4$ ш	
	$i = 0$	
1	доп $j = 0$	
2	доп $i = 0$	
3	доп $\beta_{ji} = 0$	
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 $a, \beta_{a,0}$	ввод $F_g, F_a$
10	если $m - 1 = 0$ идти к 14	
11	вв $a_1, \beta_{a,1}, \beta_{a,1}$	ввод $J_{ay}, J_{ay}, J_{ay}$
12	если $m - 2 = 0$ идти к 14	
13	вв $a_2, \beta_{a,2}$	ввод $J_{ax}, J_{ax}$
14	вв $a_3, a_4$	ввод $E_a, \beta$
15	вв $a_{20}, a_{21}$	ввод № калыча, № калыча в калыче



№ опер.	РАП	Алгоритм
16	88 $a_5 a_6 a_7 a_8$	8808 $a_0 t_0 E t_m$
17	доп $j=0$ $n=m$	
18	88 $e_j \delta_j \gamma_j$	8808 $e_j \delta_j \gamma_j$
19	если $m-1=0$ перейти к 25	
20	88 $z_j$	
21	если $m-2=0$ перейти к 23	
22	88 $y_j$	
23	вс $j=j+1$	
24	если $j-n < 0$ перейти 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 фзх $a_{20} a_{21}$	печатать № халыца, № блока
28	доп $K=0$	
29	печ с фзх $t_K$	
30	доп $j=0$ $\sigma=1$	
31	выч $z_j = e_j (1 + \delta_j (t_K - a_6)) / (\gamma_j + t_K - a_6)$	$E(t) = E_0_j (1 + \delta_j \frac{t - t_0}{\gamma + t - t_0})$
32	если $m - \sigma = 0$ перейти к 35	
33	вс $j=j+1$ $\sigma = \sigma + 1$	

№ опер.	ЯЯП	Алгоритм
34	удити к 34	
35	Золт $\omega_{2,0} = 1$ $\omega_{1,0} = 1$ $\omega_{0,0} = 1$	
36	Золт $z_0 = z_0$	
37	Золт $m-1 = 0$ удити к 40	
38	Золт $\omega_{2,1} = z_0$ $\omega_{1,1} = z_1$	
39	Золт $m-2 \neq 0$ удити к 42	
40	Золт $z_{1,5} = z_1 - z_0$	$\Delta$
	$z_{1,6} = z_0 z_1 - z_1 z_0$	$\Delta_z$
	$z_{1,7} = z_1 - z_0$	$\Delta_w$
	$\alpha_0 = z_{1,6} / \alpha_{1,5}$ $\alpha_1 = z_{1,7} / \alpha_{1,5}$	$\varepsilon_0(t) = \frac{\Delta_z}{\Delta}$ $\omega_1(t) = \frac{\Delta_w}{\Delta}$
41	удити к 40	
42	Золт $\omega_{2,2} = y_0$ $\omega_{1,2} = y_1$	
	$\omega_{2,2} = y_0$ $\omega_{1,2} = z_2$	
43	Золт $\omega_{2,3} = z_0$ $\omega_{1,3} = z_1$ $\omega_{0,3} = z_2$	
44	пр СЧ $\omega 3 x$	$\varepsilon_0(t)$ $\omega_1(t)$ $\omega_2(t)$
45	Золт $j=0$ $H_0=0$ $H_1=0$ $H_2=0$	
46	Золт $i=0$	
47	Золт $H_i = H_i + \alpha_3 \beta_{2,0} x_i$	$N_a(t)$ $M_{a1}(t)$ $M_{a2}(t)$
48	Золт $i=i+1$	
49	Золт $i-2 \neq 0$ удити к 47	
50	Золт $j=j+1$	
51	Золт $j-2 = 0$ удити к 46	

№ опер.	ЯАП	Алгоритм
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 $J = 0$	
61	доп $j = 0$ $\sigma = 0$	
62	если $J \neq 0$ идти к 65	
63	выч $g_j = a_8 z_j$	
64	идти к 70	
65	выч $a_{14} = a_8 g_j$	$\ddot{b}_{g_j}(t_0) = E_0 \varepsilon_j(t_0)$
66	выч $a_{17} = -a_{16} / a_{15}$	$\alpha_j = -\ddot{b}_{g_j}(t_0) / \dot{b}_{g_j}(t_0)$
69	выч $g_j = a_{14} + a_{15} (1 - \exp(a_{17}(t_0 - t_k))) / a_{17}$	
70	выст $j = j + 1$ $\sigma = \sigma + 1$	
71	если $\sigma - m < 0$ идти к 62	
72	выч $W_{a0} = 1/a_0$ $M_0 = g_0 a_0$	
73	если $m-1 = 0$ идти к 83	

№ опер.	ЯАП	Алгоритм
74	Если $\omega_{0,1} = Z_0/a_1$ , $\omega_{4,0} = 1/a_0$	
	$\omega_{3,1} = Z_1/a_1$	
75	если $\pi_1 - 2 \neq 0$ перейти к 79	
76	Если $a_{15} = (Z_1 - Z_0)/a_0 a_1$	
	$a_{16} = (Z_0 Z_1 - Z_1 Z_0)/a_1$	
	$a_{17} = (Z_1 - Z_0)/a_0$	
77	Если $M_0 = a_{16}/a_{15}$ , $M_1 = a_{17}/a_{15}$	
78	перейти к 83	
79	Если $\omega_{0,2} = Z_0/a_2$ , $\omega_{4,2} = 1/a_0$	
	$\omega_{3,2} = Z_1/a_2$	
80	Если $\omega_{0,1} = Z_0/a_1$ , $\omega_{2,0} = 1/a_0$	
81	Если $\omega_{0,3} = Z_0$ , $\omega_{3,2} = Z_1$	
	$\omega_{2,3} = Z_2$	
82	по СЧ ШЗМ	
83	Если $M_0 = M_2/1000$ , $M_1 = M_2/100000$	
	$M_2 = M_2/100000$	
84	Если $S_0 = H_0/M_0$ , $S_1 = H_1/M_0$ , $S_2 = H_2/M_0$	
85	если $\pi_1 - 1 \neq 0$ перейти к 89	
86	печ с 1 зн $M_0$	
87	печ с 1 зн $S_0$	
88	перейти к 95	
89	если $\pi_1 - 2 \neq 0$ перейти к 93	

[illegible]

№ опер.	ЯП	Алгоритм
	$EC(t, \tau) = EC_m (46 + 0,65 e^{-\beta \tau}) (1 - e^{-\delta(t-\tau)})$	
66	Выч $a_{15} = a_{14} (\delta_1 / \beta_1 - a_3 a_5 (46 + 0,65 \exp(-a_4 t_0)))$	$\dot{\sigma}_{\delta_1}(t_0) = \sigma_{\delta_1}(t_0) (\frac{\delta_1}{\beta_1} - EC_m \delta (46 + 0,65 e^{-\beta t_0}))$
67	Выч $a_{16} = -2 a_{14} \delta_1 / \beta_1^2 + a_3 a_5 (46 + 0,65 \exp(-a_4 t_0)) (2 a_{14} a_5 - a_{15})$	$\ddot{\sigma}_{\delta_1}(t_0) = -2 \sigma_{\delta_1}(t_0) \frac{\delta_1}{\beta_1^2} + EC_m \delta (46 + 0,65 e^{-\beta t_0}) (\delta_1 \beta - \dot{\sigma}_{\delta_1}(t_0))$
	$EC(t, \tau) = EC_m (46 + 0,65 e^{-\beta \tau}) \frac{t - \tau}{a_0 + t - \tau}$	
66	Выч $a_{14} = a_{14} (\delta_1 / \beta_1 - a_3 (46 + 0,65 \exp(-a_4 t_0)) / a_5)$	$\dot{\sigma}_{\delta_1}(t_0) = \sigma_{\delta_1}(t_0) (\frac{\delta_1}{\beta_1} - EC_m (46 + 0,65 e^{-\beta t_0}) / a_0)$
67	Выч $a_{16} = -2 a_{14} \delta_1 / \beta_1^2 + a_3 ((46 + 0,65 \exp(-a_4 t_0)) / a_5) (2 a_{14} / a_5 - a_{15})$	$\ddot{\sigma}_{\delta_1}(t_0) = -2 \sigma_{\delta_1}(t_0) \frac{\delta_1}{\beta_1^2} + EC_m (46 + 0,65 e^{-\beta t_0}) / a_0 (2 \frac{\delta_1}{a_5} - \dot{\sigma}_{\delta_1}(t_0))$

# 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  $m=3$ );

$F_g$  - площадь бетонного сечения,  $\text{см}^2$ ;

$F_a$  - площадь арматуры,  $\text{см}^2$ ;

$J_{gy}$  - момент инерции площади бетонного сечения относительно оси  $y$ ,  $\text{см}^4$ ;

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

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

$J_{gz}$  - момент инерции площади бетона относительно оси  $z$ ,  $\text{см}^4$ ;

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

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

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

$E_a$  - модуль упругости арматуры, умноженный на  $10^{-5}$ ,  $\text{кг/см}^2$ ;

$\beta$  - 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;

$\alpha_0$  - характеристика скорости ползучести, сутки;

$t_0$  - возраст бетона в момент нагружения;

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

$C = E_g$  - конечная характеристика ползучести.

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

$\epsilon_0(t_0)_i$  - величина упругой деформации, умноженная на  $10^5$ ;

$\delta_i, \gamma_i$  - 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.



УСЛОВИЯ 1

$S_{20} = 265.0$	$B_{21} = 1.0$	
$t_e = 52.0$	$\pi = 1.0$	
$M_0 = 58.3$	$H_1 = -2.0$	$H_2 = 1.5$
$M_0 = 25.06$	$M_1 = -6.1$	$M_2 = 5.2$
$S_0 = 346.9$	$S_1 = -8.1$	$S_2 = 6.7$
$M_0 = 258.6$	$M_1 = -4.1$	$M_2 = 5.2$
$S_0 = 346.9$	$S_1 = -8.1$	$S_2 = 6.7$
$t_e = 62.0$	$\pi = 1.0$	
$H_0 = 70.7$	$H_1 = -40.1$	$H_2 = 0.8$
$M_0 = 25.10$	$M_1 = -12.0$	$M_2 = 2.8$
$S_0 = 421.06$	$S_1 = -16.1$	$S_2 = 3.6$
$M_0 = 341.7$	$M_1 = -11.7$	$M_2 = 2.7$
$S_0 = 411.5$	$S_1 = -15.9$	$S_2 = 3.5$
$t_e = 72.0$	$\pi = 1.0$	
$H_0 = 77.2$	$H_1 = -40.6$	$H_2 = 0.7$
$M_0 = 383.4$	$M_1 = -13.5$	$M_2 = 2.3$
$S_0 = 461.12$	$S_1 = -18.1$	$S_2 = 3.0$
$M_0 = 364.0$	$M_1 = -12.9$	$M_2 = 2.1$
$S_0 = 441.5$	$S_1 = -17.5$	$S_2 = 2.8$
$t_e = 82.0$	$\pi = 1.00$	
$H_0 = 81.5$	$H_1 = -4.7$	$H_2 = 0.6$
$M_0 = 40405$	$M_1 = -14.00$	$M_2 = 2.2$
$S_0 = 486.1$	$S_1 = -18.7$	$S_2 = 2.9$
$M_0 = 375.1$	$M_1 = -13.0$	$M_2 = 2.0$
$S_0 = 450.6$	$S_1 = -17.8$	$S_2 = 2.6$
$t_e = 112.0$	$\pi = 1.0$	
$H_0 = 88.2$	$H_1 = -40.7$	$H_2 = 0.6$
$M_0 = 437.5$	$M_1 = -14.00$	$M_2 = 2.2$
$S_0 = 525.7$	$S_1 = -18.6$	$S_2 = 2.8$
$M_0 = 383.2$	$M_1 = -12.2$	$M_2 = 1.8$
$S_0 = 471.5$	$S_1 = -17.0$	$S_2 = 2.5$
$t_e = 172.0$	$\pi = 1.0$	
$H_0 = 93.4$	$H_1 = -74.5$	$H_2 = 0.6$
$M_0 = 463.0$	$M_1 = -12.5$	$M_2 = 2.3$
$S_0 = 556.4$	$S_1 = -18.2$	$S_2 = 3.0$
$M_0 = 374.02$	$M_1 = -10.7$	$M_2 = 1.08$
$S_0 = 467.7$	$S_1 = -13.4$	$S_2 = 2.4$
$t_e = 232.0$	$\pi = 1$	
$H_0 = 95.6$	$H_1 = -74.5$	$H_2 = 0.7$
$M_0 = 473.8$	$M_1 = -13.2$	$M_2 = 2.3$
$S_0 = 569.4$	$S_1 = -17.8$	$S_2 = 3.0$
$M_0 = 363.0$	$M_1 = -9.9$	$M_2 = 1.7$
$S_0 = 458.6$	$S_1 = -10.4$	$S_2 = 2.4$
$t_e = 412.0$	$\pi = 1.00$	
$H_0 = 98.2$	$H_1 = -74.3$	$H_2 = 0.7$
$M_0 = 486.2$	$M_1 = -12.8$	$M_2 = 2.4$
$S_0 = 564.4$	$S_1 = -17.2$	$S_2 = 3.1$
$M_0 = 342.1$	$M_1 = -6.7$	$M_2 = 1.16$
$S_0 = 445.1$	$S_1 = -13.0$	$S_2 = 2.3$
$t_e = 772.0$	$\pi = 1.0$	
$H_0 = 99.6$	$H_1 = -74.2$	$H_2 = 0.7$
$M_0 = 493.4$	$M_1 = -12.5$	$M_2 = 2.4$
$S_0 = 592.7$	$S_1 = -10.8$	$S_2 = 3.2$
$M_0 = 326.1$	$M_1 = -7.9$	$M_2 = 1.05$
$S_0 = 425.7$	$S_1 = -12.2$	$S_2 = 2.3$

# РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТА КОНТРОЛЬЩИКА

## ПРИМЕР:

$\sigma_{20} = 265.0$	$\sigma_{21} = 1.5$	
$\tau_0 = 52.0$		
$H_0 = 58.3$	$H_1 = 2.0$	$H_2 = 1.0$
$M_0 = 286.1$	$M_1 = 6.1$	$M_2 = 0.0$
$S_0 = 346.5$	$S_1 = -8.0$	$S_2 = 0.0$
$M_0 = 286.1$	$M_1 = 6.1$	$M_2 = 0.0$
$S_0 = 346.5$	$S_1 = -8.0$	$S_2 = 0.0$
$\tau_1 = 62.0$		
$H_0 = 70.7$	$H_1 = -4.1$	$H_2 = 0.0$
$M_0 = 351.0$	$M_1 = -10.0$	$M_2 = 0.0$
$S_0 = 421.0$	$S_1 = -16.1$	$S_2 = 0.0$
$M_0 = 336.0$	$M_1 = -11.0$	$M_2 = 0.0$
$S_0 = 409.7$	$S_1 = -15.1$	$S_2 = 0.0$
$\tau_2 = 72.0$		
$H_0 = 77.3$	$H_1 = -4.0$	$H_2 = 0.0$
$M_0 = 383.9$	$M_1 = -13.5$	$M_2 = 2.0$
$S_0 = 461.0$	$S_1 = -18.0$	$S_2 = 0.0$
$M_0 = 357.1$	$M_1 = -11.0$	$M_2 = 3.0$
$S_0 = 434.5$	$S_1 = -15.7$	$S_2 = 3.0$
$\tau_3 = 82.0$		
$H_0 = 81.05$	$H_1 = -4.7$	$H_2 = 0.0$
$M_0 = 404.5$	$M_1 = -14.0$	$M_2 = 2.0$
$S_0 = 486.1$	$S_1 = -18.7$	$S_2 = 2.0$
$M_0 = 364.5$	$M_1 = -10.6$	$M_2 = 3.0$
$S_0 = 446.0$	$S_1 = -15.4$	$S_2 = 3.0$
$\tau_4 = 112.0$		
$H_0 = 88.2$	$H_1 = -4.7$	$H_2 = 0.6$
$M_0 = 437.5$	$M_1 = -14.0$	$M_2 = 2.2$
$S_0 = 525.7$	$S_1 = -18.8$	$S_2 = 2.8$
$M_0 = 370.0$	$M_1 = -10.0$	$M_2 = 3.3$
$S_0 = 458.3$	$S_1 = -14.8$	$S_2 = 4.0$
$\tau_5 = 172.0$		
$H_0 = 93.4$	$H_1 = -4.0$	$H_2 = 0.6$
$M_0 = 463.0$	$M_1 = -13.5$	$M_2 = 2.3$
$S_0 = 556.4$	$S_1 = -18.2$	$S_2 = 3.0$
$M_0 = 370.9$	$M_1 = -9.9$	$M_2 = 3.3$
$S_0 = 464.3$	$S_1 = -14.5$	$S_2 = 4.0$
$\tau_6 = 232.0$		
$H_0 = 95.6$	$H_1 = -4.5$	$H_2 = 0.7$
$M_0 = 473.8$	$M_1 = -13.2$	$M_2 = 2.3$
$S_0 = 560.4$	$S_1 = -17.8$	$S_2 = 3.0$
$M_0 = 370.9$	$M_1 = -9.9$	$M_2 = 3.3$
$S_0 = 466.6$	$S_1 = -14.4$	$S_2 = 4.0$
$\tau_7 = 412.0$		
$H_0 = 98.2$	$H_1 = -4.5$	$H_2 = 0.7$
$M_0 = 486.2$	$M_1 = -12.8$	$M_2 = 2.4$
$S_0 = 584.4$	$S_1 = -17.2$	$S_2 = 3.0$
$M_0 = 370.9$	$M_1 = -9.9$	$M_2 = 3.3$
$S_0 = 468.1$	$S_1 = -14.3$	$S_2 = 4.0$
$\tau_8 = 772.0$		
$H_0 = 99.0$	$H_1 = -4.0$	$H_2 = 0.7$
$M_0 = 493.1$	$M_1 = -12.5$	$M_2 = 2.4$
$S_0 = 592.7$	$S_1 = -16.6$	$S_2 = 3.0$
$M_0 = 370.9$	$M_1 = -9.9$	$M_2 = 3.3$
$S_0 = 470.1$	$S_1 = -14.2$	$S_2 = 4.0$

# ОПЛАБЕЖЕНЕ

ПРЕДГОВОР	3
1. Исходные предположения	4
2. Основные расчетные формулы	5
3. Обработка результатов измерений деформаций методом взаимных изгибов	7
4. Вычисления изгибов в сечении	9
ЛИТЕРАТУРА	II
ПРИЛОЖЕНИЯ	
1. Программы обработки измеренных деформаций	12
2. Программы определения усилий в сечении изгибаемого стержня	21

Редактор Н.И. Журавлев

Корректор С.А. Сухов

Подп. печ. 31.07.78. Заказ № 889

Тираж 180 экз. Объем 2,6 п.л.

Ротационная печать