

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ УСИЛИЙ В СТРУКТУРНОМ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ
ТОННЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ПО ИЗМЕРИМЫМ ДЕФОРМАЦИЯМ

Москва 1978

УДК 624.193.001.42+624.193.001.5

(6) 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 Ленгипротрансомоста и ЛИСИ.

Авторы: канд.техн.наук Сильвестров С.Н.(ЦНИИС), инж.Созинов В.В.(Ленгипротрансомост), канд.техн.наук Харлаб В.Д. (ЛИСИ), кандидаты техн.наук Щербаков Е.Н., Мандриков С.Г., инженеры Любарец И.И., Бевродный И.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.Хаскачах

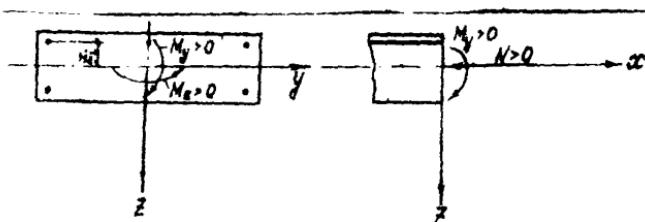
Руководитель отделения
тоннелей и метрополитенов

В.П.Самойлов

1. Инициальные предпосылки

Бетонка работает при имеющихся допущениях:

1. Учитывается только деформации от внешней нагрузки на конструкцию, поэтому из измеренных (общих деформаций) необходимо вычесть температурные деформации и деформации усадки бетона, либо убедиться, что они незначительны.
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 коперечного сечения бетон является однородным по составу и возрасту.
5. Рассматриваемое сечение симметрично относительно оси \bar{z} (см. рисунок); в качестве осей координат выбраны главные центральные оси бетонного сечения.
6. Принимается гипотеза плоских сечений; предполагается отсутствие трения 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:

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

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

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

При известных деформациях $\epsilon_j(t)$ напряжения $\sigma_j(t)$ 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

$$\sigma_j(t) = \frac{N_j(t)}{F_j} + \frac{M_{yj}(t)}{J_{yj}} + \frac{M_{zj}(t)}{J_{zj}} \quad (j=1,2,3), \quad (3)$$

где N_j , M_{yj} , M_{zj} - усилия в бетоне;

F_j , J_{yj} , J_{zj} - соответственно площадь и моменты инерции бетона в сечении.

При известных напряжениях $\sigma_j(t)$ (определенны выше) усилия $N_j(t)$, $M_{yj}(t)$, $M_{zj}(t)$ находятся на 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 сопоставление одинаково относится как к бетонной части сечения, так и к арматуре.

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

Напряжение в стержне (арматуры)

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

Усилия в арматуре

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

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

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

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 $\varepsilon_j = f(t)$ по методу наименьших квадратов (ниже индекс j опущен).

Предлагается аппроксимировать кривые деформаций функцией

$$\varepsilon(t) = \varepsilon(t_0)(1 + b \frac{t - t_0}{V + t_0}). \quad (12)$$

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

$$S = \sum_{ij} [\varepsilon(t_i) - \varepsilon(t_0)(1 + b \frac{t_i - t_0}{V + t_0})]^2, \quad (13)$$

где $t_i' = t_i - t_0$.

Упомянутые условия имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial \varepsilon(t)} &= -2 \sum_i [\varepsilon(t_i) - \varepsilon(t_0)(1 + b \frac{t_i - t_0}{V + t_0})] (1 + b \frac{t_i - t_0}{V + t_0}) = 0; \\ \frac{\partial S}{\partial b} &= -2 \sum_i [\varepsilon(t_i) - \varepsilon(t_0)(1 + b \frac{t_i - t_0}{V + t_0})] \frac{t_i - t_0}{V + t_0} = 0; \\ \frac{\partial S}{\partial V} &= -2 \sum_i [\varepsilon(t_i) - \varepsilon(t_0)(1 + b \frac{t_i - t_0}{V + t_0})] \frac{\varepsilon(t_0)b t_i'}{(V + t_0)^2} = 0. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Эти уравнения нелинейны.

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

$$y = b_0 t' + \delta, \quad (15)$$

где $y = \frac{\varepsilon(t) - \varepsilon(t_0)}{\varepsilon(t_0) - \varepsilon(t_0)}$, $b_0 = \frac{1}{\varepsilon(t_0)}$; $\delta = \frac{\varepsilon(t_0)}{\varepsilon(t_0) - \varepsilon(t_0)}$. (16)

Система нелинейных уравнений (14) преобразуется в линейную систему

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial b_0} &= -2 \sum_i (y_i - b_0 t_i' - \delta) t_i' = 0; \\ \frac{\partial S}{\partial \delta} &= -2 \sum_i (y_i - b_0 t_i' - \delta) = 0. \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

Среднеквадратичная ошибка

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

Выбирается интервал изменения ϵ_0 и находится минимум функции (18) при изменении ϵ_0 в этом интервале. Затем по точке $(\epsilon_0, \delta_0, \beta_0)$, соответствующей минимуму e^2 , из формулы (16) находятся параметры β и δ . Такой метод определения параметров аппроксимирующей функции (12) реализован в программе, составленной для ВВМ "Найри-2" (приложение 1).

4. ВЫЧИСЛЕНИЯ 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

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

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

$$\begin{aligned} & \int_{t_0}^t K(t, \tau) \delta(\tau) d\tau = \int_{t_0}^{t_1} K(t, \tau) \delta(\tau) d\tau + \sum_{i=1}^{n-1} \int_{t_i}^{t_{i+1}} K(t, \tau) \delta(\tau) d\tau + \int_{t_n}^t K(t, \tau) \delta(\tau) d\tau, \\ & \int_{t_0}^{t_1} K(t, \tau) \delta(\tau) d\tau = \delta(t_1) [C^*(t_1, \frac{t_1 - t_0}{2}) - C^*(t_1, \frac{t_1 + t_0}{2})], \\ & \text{где } C^*(t, \tau) = E(t) \left[\frac{1}{E(\tau)} + C(t, \tau) \right]. \end{aligned} \quad (20)$$

Тогда

$$\delta(t_i) = E(t_i) \epsilon(t_i); \quad (21)$$

$$\begin{aligned} \delta(t_i) = & \left\{ E(t_i) \cdot \delta(t_i) [C^*(t_i, \frac{t_i - t_0}{2}) - C^*(t_i, \frac{t_i + t_0}{2})] + \right. \\ & \left. + \sum_{j=1}^{i-1} \delta(t_j) [C^*(t_j, \frac{t_j - t_0}{2}) - C^*(t_j, \frac{t_j + t_0}{2})] \right\} \frac{1}{[C^*(t_i, t_0) C^*(t_i, \frac{t_i + t_0}{2})]}, \end{aligned} \quad (22)$$

$$i = 1, 2, \dots.$$

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 "Найри-2" при $E(t) = const$.

2. Решение интегрального уравнения через револьверту.

Это решение имеет вид

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

где $R(t, t)$ - реологическая, поддающаяся определению через ядро $k(t, \tau)$.

Для меры подвучести бетона этого испытания используется аналитическое выражение, предложенное Н.Х. Арутиняном [1]:

$$C(t, t) = \Psi(t) \left[1 - e^{-\frac{E(t)}{\alpha}} \right]. \quad (24)$$

При такой мере подвучести [2]

$$R(t, t) = \frac{1}{E(t)} \left\{ \int_{t_0}^t \left[\xi(t) E(\xi) e^{-\frac{E(\xi)}{\alpha}} \right] \left[E(\xi) e^{-\frac{E(\xi)}{\alpha}} d\xi \right] F(\xi) \Psi(\xi) F(\xi) \right\}, \quad (25)$$

$$\int_{t_0}^t \left[\xi(t) E(\xi) e^{-\frac{E(\xi)}{\alpha}} \right] \left[E(\xi) e^{-\frac{E(\xi)}{\alpha}} \right] d\xi. \quad (26)$$

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

Таким образом, если эта мера подвучести 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]:

$$\delta'(t) = \delta(t_0) + \frac{\delta(t_0)}{\alpha} (1 - e^{-\alpha(t-t_0)}), \quad (27)$$

$$\text{где } \alpha = \frac{\delta(t_0)}{E(t_0)} > 0. \quad (28)$$

При использовании меры подвучести бетона, рекомендуемой в [4, 6],

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

$$\Psi(\tau) = C_n \xi_1 \xi_2 \xi_3 \xi_4 = C_m (Q6 + Q65 e^{-\frac{\tau}{Q}}), \quad (30)$$

и с учетом (2)

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

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

В случае использования меры ползучести (24)

$$\dot{\delta}(t_0) = \delta(t_0) \left(\frac{\delta}{\delta} - E C_m \Gamma(46 \cdot 0.65 e^{\frac{t-t_0}{10}}) \right), \quad (32)$$

$$\ddot{\delta}(t_0) = -2\dot{\delta}(t_0) \frac{\delta}{\delta} + E C_m \Gamma(46 \cdot 0.65 e^{\frac{t-t_0}{10}}) (\delta(t_0) \Gamma - \dot{\delta}(t_0)). \quad (33)$$

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Арутюнян Н.Х. Некоторые вопросы теории ползучести. М., Гостехтеориздат, 1952.
2. Александровский С.В. Расчет ограждающих 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 В.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. 2. М., 1969.
5. Методические указания по расчету потеря предварительного напряжения, вызванных ползучестью и усадкой бетона, в железобетонных конструкциях транспортных сооружений. М., изд. ЦНИИС, 1972.

ПРОГРАММА ОБРАБОТКИ ИЗМЕРЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

Текст программы

№	ЯП	Алгоритм
	алг	
	$i=2 \ j=3 \alpha$	
	$i=3 \ \beta \ b$	
	$i=50 \ t \geq s$	
	$i=5 \ H$	
1	88 H_0	
2	печ с $13H$ H_0	
3	доп $i=1 \ n=0 \ b1=1$	
4	88 t_i	
5	если $t_i \geq 0$ идти к 9	
6	Выч $\Gamma=t_i$	
7	доп $\Gamma=1\Gamma$	
8	убр в $K11$	
9	если $i=i+1 \ n=n+1$	
10	идти к 4	
11	88 H_i	
12	печ с $13H$ H_i	
13	доп $w=0$	
14	доп $i=1$	
15	88 Z_i	
16	если $i=i+1$	
17	если $i=7 \leq 0$ идти к 15	
18		

№ опар.	ИАП	Алгоритм
18	анн 8 3	
19	анн 6 1	
20	если $Z_0 < 0$ идти к 23	
21	если $i = l + 1$	
22	идти к 30	
23	дан $K = 1$	
24	если $Z_0 = Z_K$	
25	дан $L = K \quad R = 1$	
26	дан $\delta_0 = 0 \quad \delta_1 = 0 \quad \delta_2 = 0 \quad \delta_3 = 0$	
27	если $Z_i < 0$ идти к 31	
28	если $Z_i - Z_0 = 0$ идти к 31	
29	если $\delta_2 = 0 \cdot t_i \quad \alpha_1 = \delta_1 + t_i / (Z_i - Z_0)$ $\delta_K = \delta_2 + t_i^2 \quad \delta_3 = \delta_3 + t_i^2 / (Z_i - Z_0)$	
30	если $J = J + 1$	
31	если $i = l + 1$	
32	если $i = n \leq 0$ идти к 27	
33	если $Q_{0,0} = \delta_0 \quad Q_{0,1} = R \quad Q_{0,2} = \delta_1$ $Q_{1,0} = \delta_2 \quad Q_{1,1} = \delta_0 \quad Q_{1,2} = \delta_3$	
34	идти к 35	
35	иди 0 2 8	
36	идти к 30	
38	если $\vartheta = \sqrt{\delta_0 / (t_i - t_K)}$	

н омер.	ял	алгоритм
	$\delta_2 = 1/B_0 R_0 \quad \delta_3 = B_1/R_0$	$B = 1/B_0 E_0 \quad \vartheta = B_1/B_0$
39	если $R \cdot 3 < 0$ иди к 83	
40	печ с 5 зан $Z_0 \delta_2 \delta_3 \epsilon$	проверить $E_0 \leq B \leq e$
41	идти к 46	
42	для $i = 1$	
43	печ с 1 зан $Z_i R_i S_i$	
44	если $i = 1$	
45	если $i > 12 < 0$ иди к 43	
46	если $B - 3 = 0$ иди к 48	
47	если $B < 0$ иди к 83	
48	если $W = 0$ иди к 1	
49	если $W < 0 < 0$ иди к 18	
50	импортировать β	
51	если $G_1 < 0$ иди к 1	
52	если $G_1 > 0$ иди к 1	
53	идти к 1	
54	печ $Z_0 = 0,3 R_K \quad R = 0,12 K$	
55	если $R < 0 \quad G = 0 \quad M = 0 \quad Z = 0$	
56	$M = 999993$	
57	идти к 25	
58	если $Z < 0 < 0$ иди к 61	
59	если $M < 0 < 0$ иди к 11	

№ опр.	РАД	АЛГОРИТМ
61	$\delta_{014} Z_0 = Z_0 + j\epsilon \quad U = U + 1$	
62	$\text{если } U - 10 \leq 0 \quad \text{удалить } x 25$	
63	$\delta_{014} Z_0 = 0,5 Z_k + (m-1)j\epsilon$	
	$x = 0,018 Z_k$	
64	$\text{доп } \ell : \epsilon = 0 \quad 0 = 0 \quad M = 999999$	
65	$U = 1000000 \times 25$	
66	$\text{если } M \cdot e < 0 \quad \text{удалить } x 68$	
67	$\text{доп } M = \ell \quad 0 = U$	
68	$\delta_{014} Z_0 = Z_0 + x \quad U = U + 1$	
69	$\text{если } U - 10 = 0 \quad \text{удалить } x 25$	
70	$\delta_{014} Z_0 = 0,5 Z_k + (2-1)j\epsilon$	
71	$\text{доп } \ell - 2 \quad U = 0 \quad C = 0 \quad P = 999999$	
72	$U = 1000000 \times 25$	
73	$\text{если } P \cdot e < 0 \quad \text{удалить } x 75$	
74	$\text{доп } P = e \quad C = U$	
75	$\delta_{014} Z_0 = Z_0 + x \quad U = U + 1$	
76	$\text{если } U - 10 \leq 0 \quad \text{удалить } x 25$	
77	$\text{если } M \cdot P > 0 \quad \text{удалить } x 80$	
78	$\delta_{014} Z_0 = 0,5 Z_k + (m-1)j\epsilon + 0x$	
79	$U = 1000000 \times 81$	
80	$\delta_{014} Z_0 = 0,5 Z_k + (2-1)j\epsilon + 0x$	
81	$\text{доп } \ell = 4$	

к однр.	ЯП	Алгоритм
32	услуги к 25	
33	если $\ell - 2 = 0$ услуга к 73	
34	если $\ell - 1 = 0$ услуга к 66	
35	если $\ell = 0$ услуга к 59	
36	услуги к 56	
37		
38	доп $i = 1$ $\delta_0 = 0$	
39	доп $H_5 = 0$	
40	б6/4 $S_i = t_i / (\beta_0 t_i + \beta_1) + Z_0$	
41	если $Z_i < 0$ услуга к 95	
42	б6/4 $H_2 = S_i$ $H_3 = Z_i$ $H_4 = t_i$	
43	$H_5 = 1$	
44	б6/п: $i = i + 1$	
45	если $i - n > 0$ услуга к 38	
46	если $H_5 = 0$ услуга к 92	
47	б6/4 $S_i = t_i / (\beta_0 t_i + \beta_1) + Z_0$	
48	если $Z_i < 0$ услуга к 103	
49	б6/п $\delta_0 = \delta_0 + ((S_i - Z_i)^2 +$	
50	$+ (H_2 - H_3)^2) ((t_i - H_4) / 2$	
51	доп $i = i$	
52	услуга к 91	
53	б6/п: $i = i + 1$	

Контрольный пример

Исходные данные:

Блок № 265, $t_0 = 52$

t'_1	ε_1			
	Н о м е р т о ч к и	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	24,9	
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 "Выполнить")

, В1 ..

{ ИСПОЛНИМ }

$H = 265,0$	$b_2 = 1,04685$	$b_3 = 12,55768$	$B =$
$H_F = 2,0$			
$Z = 25,39999$			
$\begin{array}{r} 1,2328 \\ - 10,15899 \\ \hline - 1,14387 \end{array}$	$b_2 = 4,04681$	$b_3 = 5,47310$	$B =$

$H_F = 3,0$	$b_2 = 0,64841$	$b_3 = 18,86957$	$B =$
$Z = 33,89999$			
$\begin{array}{r} 1,39394 \\ - 32,54399 \\ \hline 1,25375 \end{array}$	$b_2 = 0,75460$	$b_3 = 24,02253$	$B =$

$H_F = 4,0$	$b_2 = 1,03576$	$b_3 = 38,64117$	$B =$
$Z = 17,29999$			
$\begin{array}{r} 1,16520 \\ - 19,37599 \\ \hline 0,77004 \end{array}$	$b_2 = 1,02283$	$b_3 = 88,66461$	$B =$

Составление исходных данных и чтение результатов расчета

Исходные данные заносятся в следующем порядке:

N^1 - 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 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 ϵ (одновременно и массива ϵ);

N^2 - номер точки в сечении блока обделки;

$\epsilon_i(t_i')$ - массив относительных деформаций (увеличенный в 10^5 раз) одной точки сечения, далее $\epsilon_i(t_i')$ 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 $\epsilon_0, \epsilon(t_{max})$ параметров b и \hat{v} аппроксимирующей функции. При нажатой клавише "Вариант" производится оптимальный подбор ϵ_0 .

В результате расчета печатаются номер блока, номер точки, параметры ϵ_0 , b , \hat{v} аппроксимирующей функции и e - квадратичное отклонение аппроксимирующей кривой от ломаной, проведенной через натуральные точки. При нажатой клавише "Вариант" печатаются оптимальные параметры ϵ_0 , b , \hat{v} , e . Если оператор 41 "Идти к 46" заменить на оператор 41 "Идти к 42", то кроме ϵ_0 , b , \hat{v} , e будут печататься t_i' и соответствующие ординаты кривых $\epsilon_i(t_i')$ и $\epsilon(t_i')$ ($\epsilon(t_i')$ - точки аппроксимирующей функции).

Приложение 2

ПРОГРАММА ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСИЛИЙ В СЕЧЕНИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО
СТЕРЖНЯЧисленное решение интегрального уравнения
Текст программы

# опер.	ЯПН	Алгоритм
	a_n	
	$i = 21 \alpha$	
	$j = e \ i = 2\beta$	
	$j = 2 \pi e \delta g z y \propto H M S$	
	$j = 3 \ i = 4 \ w$	
	$i = 17 \ t$	
	$j = 2 \ K = 17 \ g$	
1	$\text{дел} j = 0$	
2	$\text{дел} i = 0$	
3	$\text{дел} \theta_{d,i} = 0$	
4	$\text{всп} i = i + 1$	
5	$\text{если } i - 2 \leq 0 \text{ идти к 3}$	
6	$\text{всп} j = j + 1$	
7	$\text{если } j - 2 \leq 0 \text{ идти к 2}$	
8	$\text{вв } m$	Ввод m -как вектор в начале.
9	$\text{вв } Q_0 \ \theta_{a,0}$	Ввод $F_b \ F_a$
10	$\text{если } m - 1 = 0 \text{ идти к 14}$	
11	$\text{вв } a_1 \ \theta_{a,1} \ \theta_{t,1}$	Ввод $J_{ax} \ J_{ay} \ J_{az}$
12	$\text{если } m - 2 = 0 \text{ идти к 14}$	
13	$\text{вв } a_2 \ \theta_{a,2}$	Ввод $J_{ax} \ J_{az}$
14	$\text{вв } Q_3 \ a_4$	Ввод E_a, β

№ онр.	НАИ	Алгоритм
15	88 $a_{20} a_{21}$	8808 № ^к кальца, № блока
16	88 $a_3 a_6 a_8 a_9$	8808 $a_0 t_0 E EG_m$
17	90п $j=0 n=m$	
18	88 $E_j \delta_j \beta_j$	8808 $E_j \delta_j \beta_j$
19	если $m-1=0$ идти к 25	
20	88 Z_j	8808 Z_j
21	если $m-2=0$ идти к 23	
22	88 Y_j	8808 Y_j
23	если $j=d+1$	
24	если $j-R < 0$ идти к 18	
25	идти к 26	
26	90п $N=8 S=1$	
27	86и4 $t_0 = a_6 \quad t_1 = t_0 + 10$	
	$t_2 = t_0 + 80 \quad t_3 = t_0 + 30$	
28	86и4 $t_4 = t_0 + 60 \quad t_5 = t_0 + 180$	
	$t_6 = t_0 + 180$	
29	86и4 $t_7 = t_0 + 380 \quad t_8 = t_0 + 920$	
30	идти к 36	
31	90п $N=17 S=2$	
32	86и4 $t_1 = t_0 + 5 \quad t_2 = t_0 + 10$	
	$t_3 = t_0 + 15 \quad t_4 = t_0 + 20$	
	$t_5 = t_0 + 25 \quad t_6 = t_0 + 30$	

нр.	РАН	Алгоритм
33	$\theta_{6/4} t_7 = t_0 + 45 \quad t_8 = t_0 + 60$	
	$t_9 = t_0 + 90 \quad t_{10} = t_0 + 120$	
34	$\theta_{6/4} t_{11} = t_0 + 150 \quad t_{12} = t_0 + 180$	
	$t_{13} = t_0 + 210$	
35	$\theta_{6/4} t_{14} = t_0 + 360 \quad t_{15} = t_0 + 360$	
	$t_{16} = t_0 + 360$	
36	п84 с 13н $Q_{20} Q_{21}$	
37	дан $K=0$	
38	п84 с 13н t_K 5	
39	у8ми K 41	
40	спросим	
41	дан $j=0 \quad O=0$	
42	$\theta_{6/4} z_j = e_j (1 + \delta_j (t_K - Q_0)) / (r_j + t_K - Q_0)$	$z_j(t) = E_j (1 + \delta_j \frac{t - t_0}{r_j + t - t_0})$
43	всм $j=j+1 \quad O=O+1$	
44	если $O=m < 0$ у8ми K 42	
45	дан $W_{0,0}=1 \quad W_{1,0}=1 \quad W_{2,0}=1$	
46	$\theta_{6/4} x_0 = z_0$	
47	если $m-1=0$ у8ми K 57	
48	$\theta_{6/4} W_{0,1}=z_1 \quad W_{1,1}=z_1$	
49	если $m-2 \neq 0$ у8ми K 57	
50	$\theta_{6/4} Q_{13}=z_1-z_0 \quad Q_{17}=z_1-z_0$	A, Δ_w

опер.	РАН	Алгоритм
51	$B_0/4 \quad Q_{16} = Z_0 Z_1 - Z_1 Z_0$	$\Delta \varepsilon$
52	$B_0/4 \quad X_0 = Q_{16}/Q_{15} \quad X_1 = Q_{17}/Q_{15}$	$E_0(t) = \frac{A_f}{A} \quad \omega_y(t) = \frac{4\omega}{A}$
53	услуг к 57	
54	$B_0/4 \quad W_{2,2} = Y_0 \quad W_{3,2} = Y_1$ $W_{2,2} = Y_0 \quad W_{2,1} = Z_2$	
55	$B_0/4 \quad W_{2,3} = Z_0 \quad W_{3,3} = Z_1$ $W_{2,3} = Y_2$	
56	рп 08 УЗХ	
57	доп $j=0 \quad H_0=0 \quad H_i=0 \quad H_k=0$	
58	доп $i=0$	
59	$B_0/4 \quad H_j = H_j + Q_{3,j} Y_{j+1} X_0$	
60	бсм $i=i+1$	
61	если $i=R \neq 0$ услуг к 59	
62	бсм $j=j+1$	
63	если $j=R \neq 0$ услуг к 58	
64	$B_0/4 \quad H_0 = H_0/1000 \quad H_i = H_i/100000$ $H_k = H_k/100000$	
65	если $m-1 \neq 0$ услуг к 68	
66	пв4 с 1 зн H_0	печать H
67	услуг к 72	
68	если $m-2 \neq 0$ услуг к 71	
69	пв4 с 1 зн $H_0 \quad H_1$	

№	ОПЕР.	ЯП	АЛГОРИТМ
70	УЗПИК 72		
71	НЕЧ С 1 ЗН $H_0 H_1 H_2$		
72	ДОП $U = K$		
73	БСМ $U = U - 1$		
74	Б614 $Q_2 \cdot T \quad T = 0$		
75	ДОП $J = 0 \quad O = 0$		
76	Б614 $Q_K = Q_{j+1}$		$EE_j(t_K)$
77	ДОП $I = 0$		
78	Б614 $Q_{18} = Q_{j+1}$		$\delta_{j+1,0}$
79	ЕСЛИ $T = 0$ ТОПИК 101		
80	ДОП $I = U$		
81	Б614 $Q_{13} = (t_0 + t_1)/2$		$\frac{t_0 + t_1}{2}$
	$Q_{14} = (t_K + t_1)/2$		$\frac{t_K + t_{K-1}}{2}$
84	ЕСЛИ $K-1 < 0$ ТОПИК 101		
85	Б614 $Q_K = Q_{j+K} + 2_{18} C$		$E_K = EE_j(t_K) + \delta_{j,0} (C^*(t_K, \frac{t_K}{2}) - C^*(t_0, \frac{t_K}{2}))$
86	ЕСЛИ $K-2 < 0$ ТОПИК 100		
87	ДОП $i = 1$		
88	ДОП $b1 = i$		
89	БСМ $i = i - 1$		
90	Б614 $Q_{19} = t_i$		t_{i-1}
91	БСМ $i = i + 2$		
92	Б614 $Q_{10} = t_i$		t_{i+1}

№ номер.	НАП	АЛГОРИТМ
93	$\text{J011 } i = 61$	
94	$\text{Б014 } a_{ij} = (t_i + a_{ij})/R$	$\frac{t_i + t_{j+1}}{R}$
	$a_{18} = (t_1 + a_{18})/R$	$\frac{t_1 + t_{18}}{R}$
95	$\text{Б017 } g_{xx} = g_{xx} + g_{xj}^2$	
97	$\text{Б011 } i = i + 1$	
98	$\text{Б011 } b1 = i$	
99	$\text{Б011 } b1 = 0 \text{ условие к 88}$	
100	$\text{Б014 } g_{xx} = g_{xx} / (1 + R)$	
101	$\text{Б011 } j = j + 1 \quad R = 0 + 1$	
102	$\text{Б011 } R = m < 0 \text{ условие к 96}$	
103	$\text{J011 } j = 0$	
104	$\text{Б014 } g_{ij} = g_{ij} / R$	
105	$\text{Б011 } j = j + 1$	
106	$\text{Б011 } j - R \leq 0 \text{ условие к 104}$	
107	$\text{Б014 } w_{00} = 1/2, \quad M_0 = x_0 a_0$	
108	$\text{Б011 } m - 1 = 0 \text{ условие к 109}$	
109	$\text{Б014 } w_{01} = z_0/a_1, \quad w_{10} = 1/q_0$	
	$w_{11} = z_1/a_1$	
110	$\text{Б011 } m - R \neq 0 \text{ условие к 115}$	
111	$\text{Б014 } a_{15} = (z_1, z_2) / a_2 a_1$	Δ
	$z_{12} = (x_1 - x_0) / a_1$	Δ_{Mg}
112	$\text{Б014 } a_6 = (x_2 z_1 - x_1 z_2) / a_1$	Δ_{N6}

№ 018 p.	РАН	АЛГОРИТМ
113	$M_0 = \omega_{16}/\alpha_{15}$ $M_1 = \omega_{17}/\alpha_{15}$	$N_8(t) = \frac{\Delta M}{\Delta}, M_{8x}(t) = \frac{\Delta M_{8x}}{\Delta}$
114	удали к 119	
115	$\omega_{14} M_{2,2} = y_0/\alpha_2$ $W_{1,2} = y_1/\alpha_2$ $W_{2,2} = y_2/\alpha_2$	
116	$\omega_{14} W_{2,1} = z_2/\alpha_1$ $W_{2,0} = 1/\alpha_0$	
117	$\omega_{14} W_{0,3} = x_0$ $W_{1,3} = x_1$ $W_{2,3} = x_2$	
118	иди С8 У3 М	
119	$\omega_{14} M_0 = M_0/1000$ $M_1 = M_1/100000$ $M_2 = M_2/100000$	$N_8(t)$ $M_{8x}(t)$ $M_{8z}(t)$
120	$\omega_{14} S_0 = H_0 + M_0$ $S_1 = H + M_1$ $S_2 = H_2 + M_2$	$N(t)$ $M_x(t)$ $N_z(t)$
121	если $m-1 \neq 0$ удалить к 125	
122	печ с 1 ЗН M_0	печатать $N_8(t)$
123	печ с 1 ЗН S_0	печатать $N(t)$
124	удали к 131	
125	если $m-2 \neq 0$ удалить к 129	
126	печ с 1 ЗН M_0 M_1	печатать $N_8(t)$ $M_{8x}(t)$
127	печ с 1 ЗН S_0 S_1	печатать $N(t)$ $M_x(t)$
128	удали к 131	
129	печ с 1 ЗН M_0 M_1 M_2	последовательно $N_8(t)$ $M_{8x}(t)$ $M_{8z}(t)$
130	иди с 1 ЗН S_0 S_1 S_2	последовательно $N(t)$ $N_8(t)$ $N_z(t)$

№ опар.	ЯП	Алгоритм
	$EC(t, \tau) = EC_m (0,6 + 0,65 e^{-\frac{t-t_0}{T}}) (1 - e^{-\frac{\tau(t-\tau)}{T}})$	
82	$B_{614} \rho = a_9 ((0,6 + 0,65 \exp(-a_4 a_5)) \cdot$ $\exp a_5 (a_{14} - t_k))$	$EC(t_k, \frac{t_k + t_{k+1}}{2})$
83	$B_{614} C = a_9 ((0,6 + 0,65 \exp(-a_4$ $a_{13})) (1 - \exp a_5 (a_{13} - t_k)) - (0,6 +$ $0,65 \exp(-a_4 t_0)) (1 - \exp a_5 (t_0 - t_k)))$	$EC(t_k, \frac{t_0 + t_1}{2}) - EC(t_k, t_0)$
95	$B_{614} \rho = a_9 ((0,6 + 0,65 \exp(-a_4$ $a_{11})) (1 - \exp a_5 (a_{11} - t_k)) - (0,6 +$ $0,65 \exp(-a_4 a_{12})) (1 - \exp a_5 (a_{12} -$ $t_k)))$	

опер.	РАП	Алгоритм
	$EC(t, \tau) = EC_m (Q_6 + Q_{65} e^{-\frac{\beta t}{Q_6 + t - \tau}})$	
82	$B_{614} \mu = Q_9 ((Q_6 + Q_{65} \exp(-Q_4 t_x))$ $(t_x - Q_{14}) / (Q_5 + t_x - Q_m))$	
83	$B_{614} C = Q_9 ((Q_6 + Q_{65} \exp$ $(-Q_4 Q_{13})) (t_x - Q_{13}) / (Q_5 + t_x - Q_{13})$ $- (Q_6 + Q_{65} \exp(-Q_4 t_o)) (t_x - t_o) /$ $(Q_5 + t_x - t_o))$	
85	$B_{614} \ell = Q_9 ((Q_6 + Q_{65} \exp$ $(-Q_4 Q_n)) (t_x - Q_n) / (Q_5 + t_x - Q_n)$ $- (Q_6 + Q_{65} \exp(-Q_4 Q_{18})) (t_x -$ $Q_{18}) / (Q_5 + t_x - Q_{18}))$	

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 $E_a \cdot 10^3$, кг/см ²	Характеристика скорости старения бетона β , сутки	
	бето-на F_b , см ²	арма-туры F_a , см ²	Момент инерции площа-ди бе-ти сече-го сеч. ри J_b , см ⁴	Стати-ческий момент площа-ди ар-ди бет. армату-ры J_{ay} , см ⁴	Момент инерции площа-ди сече-ния J_b , см ⁴	Момент инерции площа-ди ар-ди бет. армату-ры J_{az} , см ⁴			
3	3391	109	1356069	109	73094	696594	32572	21	0,0167

Для каждого блока

Номер блока	Характеристика скорости ползучести бетона Q_s , сутки	Время установки блока под нагрузку t_u , сутки	Модуль упругости бетона $E_b \cdot 10^{-3}$, кг/см ²	Конечная характеристика ползучести $C = E_b$
265	185	52	3,32	0,7

Для каждой точки блока

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

Приложение к аналитическому решению интегрального

уравнения

Текст программы

№ пункт	НАР	АЛГОРИМ
	ан	
	$i = 0 / a$	
	$j = 8 \quad l = 8 \cdot 8$	
	$j = 8 \text{ с } \text{б} \text{г} \text{а} \text{у} \text{с} \text{HMSg}$	
	$j = 3 \quad i = 4 \text{ и}$	
	$i = a \ell$	
1	доп $j = 0$	
2	доп $i = 0$	
3	доп $\beta_{j,i} = 0$	
4	всп $i = i + 1$	
5	если $i - 2 < 0$ идти к 3	
6	всп $j = j + 1$	
7	если $j - 8 < 0$ идти к 2	
8	88 т	
9	88 $a_0 \beta_{0,0}$	88од $F_F F_a$
10	если $m - 1 = 0$ идти к 14	
11	88 $a_1 \beta_{1,1} \beta_{1,1}$	88од $J_{xy} J_{xy} J_{xy}$
12	если $m - 2 = 0$ идти к 14	
13	88 $a_2 \beta_{2,2}$	88од $J_{xx} J_{xz}$
14	88 $a_3 a_4$	88од E_a^2
15	88 $a_{20} a_{21}$	88од № ^{какая} , № ^{Блоки в какое}

№ опер.	ЯПП	Алгоритм
16	88 $a_5 \ a_8 \ a_3 \ a_9$	8808 $a_0 \ t_0 \ E \ t_{cm}$
17	зоп $j=0 \ n=m$	
18	88 $E_j \ \delta_j \ T_j$	8808 $E_j \ \delta_j \ T_j$
19	если $m-1=0$ идти к 25	
20	88 Z_j	
21	если $m-2=0$ идти к 23	
22	88 y_j	
23	беск $j=j+1$	
24	если $j-n < 0$ идти к 18	
25	б614 $t_0 = a_6 \ t_1 = t_0 + 10$	
	$t_2 = t_0 + 20 \ t_3 = t_0 + 30$	
26	б614 $t_4 = t_0 + 60 \ t_5 = t_0 + 120$	
	$t_6 = t_0 + 180 \ t_7 = t_0 + 360$	
	$t_8 = t_0 + 720$	
27	неч с 13Н $a_{20} \ a_{21}$	печатка № ^{хвоста} , № ^{хвоста}
28	зоп $K=0$	
29	неч с 13Н t_K	
30	зоп $j=0 \ O=1$	
31	б614 $\gamma_j = e_j (1+\delta_j) (t_K - a_6) / (t_K +$ $t_K - a_6))$	$E_j(t) = E_j (1+\delta_j) \frac{t-t_0}{\gamma_j + t-t_0}$
32	если $m-O=0$ идти к 35	
33	беск $j=j+1 \ O=O+1$	

№ опер.	РАН	АЛГОРИТМ
34	удину $\times 31$	
35	$\text{зан } \omega_{1,0} = 1 \quad \omega_{1,1} = 1 \quad \omega_{1,2} = 1$	
36	$\text{борт } Z_0 = Z_1$	
37	если $M-1=0$ $\text{удину } \times 45$	
38	$\text{борт } \omega_{3,1} = Z_3 \quad \omega_{3,2} = Z_1$	
39	если $M-2=0$ $\text{удину } \times 43$	
40	$\text{борт } Z_{1,3} = Z_1 - Z_0$	Δ
	$Z_{1,0} = Z_0 Z_1 - Z_1 Z_0$	Δ_s
	$Z_{1,1} = Z_1 - Z_0$	Δ_w
	$a_0 = a_{1,0}/a_{1,3} \quad x_0 = x_{1,0}/a_{1,3}$	$E_0(t) = \frac{\Delta_s}{A} \quad \omega_0(t) = \frac{\Delta_w}{A}$
41	$\text{удину } \times 70$	
42	$\text{борт } \omega_{3,2} = y_0 \quad \omega_{3,0} = y_1$	
	$\omega_{3,2} = y_0 \quad \omega_{3,1} = Z_0$	
43	$\text{борт } \omega_{3,3} = Z_0 \quad \omega_{3,2} = Z_1 \quad \omega_{3,0} = Z_2$	
44	из $CY' \quad M-3 \quad X$	$E_0(t) \quad u_0(t) \quad u_2(t)$
45	$\text{зан } j=0 \quad H_0=0 \quad H_1=0 \quad H_2=0$	
46	$\text{зан } i=0$	
47	$\text{борт } H_i = H_{i-1} + a_3 \quad B_{di} \quad x_i$	$N_d(t) \quad M_{d1}(t) \quad M_{d2}(t)$
48	$6..m \quad i=i+1$	
49	если $i-2=0$ $\text{удину } \times 47$	
50	$\text{борт } j=j+1$	
51	если $j-2=0$ $\text{удину } \times 46$	

№ опер.	ЯП	Алгоритм
52	$B_{\text{с.н}} H_0 = H_0 / 1000 \quad H_1 = H_1 / 100000$	
	$H_A = H_A / 100000$	
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 $H_0 \quad H_1$	
58	идти к 60	
59	печ с 1 ЗН $H_0 \quad H_1 \quad H_2$	
60	дел $J^* = 0$	
61	дел $j=0 \quad O=0$	
62	если $J^* \neq 0$ идти к 65	
63	$B_{614} \quad g_j = Q_8 \quad z_j$	
64	идти к 70	
65	$B_{614} \quad Q_{14} = Q_8 \quad e_j$	$\tilde{E}_{g_j}(t_0) = E_g E_j(t_0)$
66	$B_{614} \quad Q_{13} = -Q_{16}/Q_{15}$	$d_j = -\ddot{\tilde{E}}_{g_j}(t_0)/\dot{\tilde{E}}_{g_j}(t_0)$
67	$B_{614} \quad g_j = Q_{11} + Q_{15}(1-\exp Q_{17}(t_0 - t_x))/Q_{17}$	
70	$B_{cm} \quad j=j+1 \quad O=O+1$	
71	если $O-m < 0$ идти к 62	
72	$B_{614} \quad W_{90} = 1/Q_9 \quad M_0 = g_0 Q_9$	
73	если $m-1=0$ идти к 83	

№ опер.	РНП	Алгоритм
74	$w_{q_1} = E_0/a_1 \quad w_{q_0} = 1/a_0$ $w_{q_1} = E_1/a_1$	
75	если $m-2 \neq 0$ идти к 79	
76	$\delta_{014} \alpha_{15} = (E_1 - E_0)/a_0 a_1$ $Q_{16} = (g_0 E_1 - g_1 E_0)/a_1$ $a_{17} = (g_1 - g_0)/a_0$	
77	$\delta_{014} M_0 = Q_{16}/a_{15} \quad M_1 = Q_{17}/a_{15}$	
78	идти к 83	
79	$\delta_{014} w_{q_{18}} = g_0/a_0 \quad w_{q_{19}} = g_1/a_0$ $w_{q_{20}} = g_1/a_0$	
80	$\delta_{014} w_{q_{21}} = E_1/a_1 \quad w_{q_{22}} = 1/a_0$	
81	$\delta_{014} w_{q_{23}} = g_0 \quad w_{q_{24}} = g_1$ $w_{q_{25}} = g_1$	
82	70 СУ УЗМ	
83	$\delta_{014} M_0 = M_0/1000 \quad M_1 = M_1/100000$ $M_2 = M_2/100000$	
84	$\delta_{014} S_0 = H_0 + M_0 \quad S_1 = H_1 + M_1 \quad S_2 = H_2 + M_2$	
85	если $m-1 \neq 0$ идти к 89	
86	пев с 13н M_0	
87	пев с 13н S_0	
88	идти к 95	
89	если $m-2 \neq 0$ идти к 93	

№ спр.	ЯП	Алгоритм
	$EC(t, \tau) = EC_m (0,6 + 0,65 e^{-\beta t}) (1 - e^{-\delta(t-\tau)})$	
66	$\delta_{ij} \alpha_{15} = \alpha_{14} (\delta_i / \beta_j - \alpha_g \alpha_s (0,6 + 0,65 e^{\exp(-\alpha_g t_0)}))$	$\dot{\delta}_{ij}(t_0) = \delta_{ij}(t_0) \left(\frac{\delta_i}{\beta_j} - EC_m \delta' (0,6 + 0,65 e^{-\beta t_0}) \right)$
67	$\delta_{ij} \alpha_{16} = -2 \alpha_{14} \delta_i / \beta_j + \alpha_g \alpha_s (0,6 + 0,65 e^{\exp(-\alpha_g t_0)})(\alpha_{14}(\alpha_g - \alpha_{15}))$	$\ddot{\delta}_{ij}(t_0) = -2 \delta_{ij}(t_0) \frac{\delta_i}{\beta_j} + EC_m \delta' (0,6 + 0,65 e^{-\beta t_0}) (\delta_{ij} r - \dot{\delta}_{ij}(t_0))$
	$EC(t, \tau) = EC_m (0,6 + 0,65 e^{-\beta t}) \frac{t-\tau}{\alpha_s + t - \tau}$	
66	$\delta_{ij} \alpha_{14} = \alpha_{14} (\delta_i / \beta_j - \alpha_g (0,6 + 0,65 e^{\exp(-\alpha_g t_0)}) / \alpha_s)$	$\dot{\delta}_{ij}(t_0) = \delta_{ij}(t_0) \left(\frac{\delta_i}{\beta_j} - EC_m (0,6 + 0,65 e^{-\beta t_0}) / \alpha_s \right)$
67	$\delta_{ij} \alpha_{16} = -2 \alpha_{14} \delta_i / \beta_j + \alpha_g ((0,6 + 0,65 e^{\exp(-\alpha_g t_0)}) / \alpha_s) (2 \alpha_{14} / \alpha_s - \alpha_{15})$	$\ddot{\delta}_{ij}(t_0) = -2 \delta_{ij}(t_0) \frac{\delta_i}{\beta_j} + EC_m (0,6 + 0,65 e^{-\beta t_0}) / \alpha_s (2 \frac{\delta_{ij}(t_0)}{\alpha_s} - \dot{\delta}_{ij}(t_0))$

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, см^2 ;
- F_a - площадь арматуры, см^2 ;
- J_{gy} - 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_{gz} - момент инерции площади бетона относительно оси Z , см^4 ;
- J_{az} - момент инерции площади арматуры относительно оси Z , см^4 ;
- J_{gy}, S_{ay}, J_{ay} - задаются только при $m=2$ и $m=3$;
- J_{az}, J_{gz} - задаются только при $m=3$;
- E_a - модуль упругости арматуры, умноженный на 10^{-5} , $\text{кг}/\text{см}^2$;
- β - характеристика скорости старения материала (обычно $\beta = 0,0167 \text{ л/сутки}$).

Исходные данные по каждому блоку:

- $N^{\#}$ - номер кольца;
- $N^{\#}$ - номер блока в кольце;
- α_0 - характеристика скорости ползучести, сутки;
- t_0 - возраст бетона в момент загружения;
- 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:

- $\epsilon_i(t_0)_i$ - величина упругой деформации, умноженная на 10^5 ;
- δ_i, ϑ_i - параметры аппроксимирующей функции;
- Z_i - аппликата точки, задается только при $m=2$ и 3 ;

ψ - ордината точки, задается только при $m=3$, Z_i и ψ_i ,
при $m=1$ не задается.

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

$N_a(t)$, $M_y(t)$, $M_{xz}(t)$ - усилия в арматуре;

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

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

$N_y(t)$, $M_y(t)$, $M_{xz}(t)$ - 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.

ЧСВОЛЮМ 1

$S_{20} = 265,0$	$B_{21} = 1,0$	
$t_0 = 52,0$	$\pi = 1,0$	
$H_0 = 58,3$	$H_1 = 72,0$	$H_2 = 1,5$
$M_0 = 25,06$	$M_1 = -76,1$	$M_2 = 5,2$
$S_0 = 346,9$	$S = -78,7$	$S_2 = 6,7$
$M_0 = 258,6$	$M_1 = -6,1$	$M_2 = 5,2$
$S_0 = 346,9$	$S = -6,1$	$S_2 = 6,7$
$t_0 = 62,0$	$\pi = 1,0$	
$H_0 = 70,7$	$H_1 = -40,7$	$H_2 = 0,8$
$M_0 = 251,48$	$M_1 = 12,0$	$M_2 = 2,8$
$S_0 = 421,08$	$S = -16,1$	$S_2 = 3,6$
$M_0 = 341,1$	$H_1 = -11,7$	$M_2 = 2,7$
$S_0 = 411,5$	$S = -15,9$	$S_2 = 3,5$
$t_0 = 72,0$	$\pi = 1,0$	
$H_0 = 77,7$	$H_1 = -40,6$	$H_2 = 0,7$
$M_0 = 383,4$	$M_1 = -13,5$	$M_2 = 2,3$
$S_0 = 461,2$	$S = -18,1$	$S_2 = 3,0$
$M_0 = 364,0$	$H_1 = -12,9$	$M_2 = 2,1$
$S_0 = 441,3$	$S = -17,5$	$S_2 = 2,8$
$t_0 = 82,0$	$\pi = 1,0$	
$H_0 = 81,5$	$H_1 = -4,7$	$H_2 = 0,6$
$M_0 = 404,0$	$M_1 = -14,00$	$M_2 = 2,2$
$S_0 = 486,1$	$S = -18,7$	$S_2 = 2,9$
$M_0 = 375,1$	$H_1 = -13,0$	$M_2 = 2,0$
$S_0 = 45,0$	$S = -17,8$	$S_2 = 2,6$
$t_0 = 112,0$	$\pi = 1,0$	
$H_0 = 88,2$	$H_1 = -40,7$	$H_2 = 0,6$
$M_0 = 437,5$	$M_1 = -14,00$	$M_2 = 2,2$
$S_0 = 520,7$	$S = -18,6$	$S_2 = 2,8$
$M_0 = 383,3$	$H_1 = -12,2$	$M_2 = 1,8$
$S_0 = 471,5$	$S = -17,0$	$S_2 = 2,5$
$t_0 = 172,0$	$\pi = 1,0$	
$H_0 = 93,4$	$H_1 = -74,3$	$H_2 = 0,6$
$M_0 = 463,0$	$M_1 = -11,5$	$M_2 = 2,3$
$S_0 = 556,4$	$S = -18,2$	$S_2 = 3,5$
$M_0 = 374,02$	$H_1 = -10,7$	$M_2 = 1,05$
$S_0 = 467,7$	$S = -17,4$	$S_2 = 2,4$
$t_0 = 232,0$	$\pi = 1$	
$H_0 = 95,6$	$H_1 = -46,7$	$H_2 = 0,7$
$M_0 = 473,8$	$M_1 = -13,2$	$M_2 = 2,3$
$S_0 = 569,4$	$S = -17,8$	$S_2 = 3,0$
$M_0 = 363,0$	$H_1 = -9,9$	$M_2 = 1,7$
$S_0 = 458,6$	$S = -16,4$	$S_2 = 2,4$
$t_0 = 412,0$	$\pi = 1,0$	
$H_0 = 98,2$	$H_1 = -40,3$	$H_2 = 0,7$
$M_0 = 486,12$	$M_1 = -12,8$	$M_2 = 2,4$
$S_0 = 584,4$	$S = -17,2$	$S_2 = 3,1$
$M_0 = 342,7$	$H_1 = -6,7$	$M_2 = 1,76$
$S_0 = 443,1$	$S = -15,0$	$S_2 = 2,3$
$t_0 = 772,0$	$\pi = 1,0$	
$H_0 = 95,6$	$H_1 = -74,2$	$H_2 = 0,7$
$M_0 = 493,4$	$M_1 = -12,5$	$M_2 = 2,4$
$S_0 = 592,7$	$S = -15,8$	$S_2 = 3,2$
$M_0 = 326,4$	$H_1 = -7,9$	$M_2 = 1,05$
$S_0 = 425,7$	$S = -12,2$	$S_2 = 2,3$

**РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ВОЛНОВЫХ
ПРИМЕР**

$\omega_0 = 265,0$	$\omega_1 = 1,9$	
$\nu_0 = 52,0$		
$H_0 = 58,0$	$H_1 = 2,0$	$H_2 = 1,7$
$M_0 = 285,0$	$M_1 = -6,1$	$M_2 = 2,1$
$S_0 = 346,5$	$S_1 = -8,0$	$S_2 = 0,7$
$K_0 = 285,0$	$K_1 = -2,0$	$K_2 = -1,2$
$S_0 = 346,5$	$S_1 = -8,0$	$S_2 = 0,7$
$\tau_1 = 62,0$		
$H_0 = 70,7$	$H_1 = -4,1$	$H_2 = 1,2$
$M_0 = -351,0$	$M_1 = -12,0$	$M_2 = 1,6$
$S_0 = 421,0$	$S_1 = -16,1$	$S_2 = 1,7$
$M_0 = 335,0$	$M_1 = -11,0$	$M_2 = 2,3$
$S_0 = 409,0$	$S_1 = -15,1$	$S_2 = 1,7$
$\tau_2 = 72,0$		
$H_0 = 77,3$	$H_1 = -40,6$	$H_2 = 0,7$
$M_0 = 383,9$	$M_1 = -13,5$	$M_2 = 2,1$
$S_0 = 461,4$	$S_1 = -18,1$	$S_2 = 3,0$
$M_0 = 557,1$	$M_1 = -11,6$	$M_2 = 3,1$
$S_0 = 434,5$	$S_1 = -15,7$	$S_2 = 3,6$
$\tau_3 = 82,0$		
$H_0 = 81,95$	$H_1 = -4,7$	$H_2 = 0,8$
$M_0 = 404,5$	$M_1 = -14,0$	$M_2 = 2,1$
$S_0 = 486,1$	$S_1 = -18,7$	$S_2 = 2,5$
$M_0 = 364,5$	$M_1 = -10,6$	$M_2 = 2,1$
$S_0 = 446,0$	$S_1 = -15,2$	$S_2 = 3,9$
$\tau_4 = 112,0$		
$H_0 = 88,2$	$H_1 = -4,7$	$H_2 = 0,6$
$M_0 = 437,5$	$M_1 = -14,0$	$M_2 = 2,2$
$S_0 = 525,7$	$S_1 = -18,8$	$S_2 = 2,8$
$M_0 = 370,0$	$M_1 = -10,0$	$M_2 = 3,3$
$S_0 = 458,3$	$S_1 = -14,8$	$S_2 = 4,0$
$\tau_5 = 172,0$		
$H_0 = 93,4$	$H_1 = -40,6$	$H_2 = 0,6$
$M_0 = 463,0$	$M_1 = -13,5$	$M_2 = 2,3$
$S_0 = 556,4$	$S_1 = -18,2$	$S_2 = 3,0$
$M_0 = 370,9$	$M_1 = -9,6$	$M_2 = 3,3$
$S_0 = 464,3$	$S_1 = -14,5$	$S_2 = 4,5$
$\tau_6 = 232,0$		
$H_0 = 95,6$	$H_1 = -4,5$	$H_2 = 0,7$
$M_0 = 473,8$	$M_1 = -13,2$	$M_2 = 2,3$
$S_0 = 561,4$	$S_1 = -17,8$	$S_2 = 3,5$
$M_0 = 370,9$	$M_1 = -9,9$	$M_2 = 3,3$
$S_0 = 466,6$	$S_1 = -14,4$	$S_2 = 4,6$
$\tau_7 = 412,0$		
$H_0 = 98,2$	$H_1 = -4,5$	$H_2 = 0,7$
$M_0 = 486,2$	$M_1 = -12,8$	$M_2 = 2,4$
$S_0 = 584,4$	$S_1 = -17,2$	$S_2 = 3,1$
$M_0 = 370,9$	$M_1 = -9,9$	$M_2 = 3,7$
$S_0 = 469,1$	$S_1 = -14,3$	$S_2 = 4,6$
$\tau_8 = 572,0$		
$H_0 = 99,0$	$H_1 = -40,2$	$H_2 = 0,7$
$M_0 = 493,1$	$M_1 = -12,5$	$M_2 = 2,4$
$S_0 = 592,7$	$S_1 = -16,8$	$S_2 = 3,1$
$M_0 = 370,9$	$M_1 = -9,9$	$M_2 = 3,7$
$S_0 = 470,1$	$S_1 = -14,2$	$S_2 = 4,7$

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДЛОЖЕНИЯ	3
1. Исходные предисловия	4
2. Основные расчетные формулы	5
3. Обработка результатов измерений линейкой методом наименьших квадратов	7
4. Вычисление напряжений в сечении	9
ЛИТЕРАТУРА	II
ПРИЛОЖЕНИЯ	
1. Программы обработки измеренных деформаций	12
2. Программы определения усилий в сечении тонкостенного стержня	27

Редактор Н.И.Шуренко
Корректор С.Д.Сухова

Подп. к печ. 31.07.78г. Заказ № 889
Тираж 180 экз. Объем 2,6 п.л.
Редакция ЦНИИСа