

участи пострадавших как при переломах, так и при заболевании тазобедренных суставов [1-4].

**ЛИТЕРАТУРА:**

1. Кочетков Ю.С., Манойлов В.П., Кочетков С.Ю. Современные технологии в ортопедии, травматологии и хирургии // Сибирский государственный медицинский университет. -Томск, 2005.-с,49-51.
2. Илизаров Г.А. Библиографический указатель / Под ред. Шевцова В.И.; сост. Грамотеева Э.Ф. Смирнова И.Л., Маслакова

Н.В., Семенова А.И. – М.: Внешторгиздат, 1991.-139с.

3. Механика промышленных роботов: Учеб. пособие для вузов: в трех книгах. Кн.1: Кинематика и динамика. / Под ред. К.В. Фролова, Е.Н. Воробьева.- М.: Высшая школа, 1988.-304с.
4. Павловский М.А., Акинфиева Л.Ю., Бойчук О.Ф. Теоретическая механика. Кн.1: Статика. Кинематика / Под ред. М.А. Павловского. - К.: Высшая школа. Головное изд-во 1989. -351с.

УДК 624.012: 53.09

**Шмуклер В.С., Евзеров И.Д., Фурсов Ю.В., Резник П.А.**

*Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.Н. Бекетова*

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЙ КОНСТРУКЦИЙ  
НА ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ**

**Введение**

Как известно, лабораторные и, в особенности, натурные испытания конструкций, подверженных действию высоких температур, представляют собой весьма сложные и высокобюджетные процедуры[1]. В связи с чем, поиск эффективных и мало затратных методов исследований конструктивных систем и элементов, пребывающих в условиях упомянутых воздействий, является перспективным и актуальным направлением решения данной проблемы. Особый интерес вызывает идея, базирующаяся на эквивалентной замене нагреваемого или охлаждаемого тела ненагретым [2]. В основе подобной замены лежит идеология, фундированная энергетическим принципом взаимности работ Бетти-Максвелла. В цитируемой выше работе обозначен прием построения такого метода, однако, внедрение его в практику стало невозможным в силу целого ряда причин. К ним, в первую очередь, следует отнести:

- сложность фиксации перемещений во внутренних точках области, занимаемой испытываемым телом;
- сложность снятия замеров перемещений в значительном количестве точек на поверхности тела;

- необходимость выполнения большого количества вычислительных операций, связанных с обработкой экспериментально полученной информации и ее представлением в виде, predetermined специальным алгоритмом.

Не случайно автор данного подхода профессор В.М. Майзель выбирает из множества конструкций и ситуаций только те, для которых путем априорного решения соответствующих задач теории упругости, допустимо выразить первый инвариант тензора деформаций через вектор перемещений точек, лежащих на поверхности. К таким конструктивам, в основном, относятся тонкие пластины.

Интегрируя перечисленное, в совокупности с учетом современного состояния существующей измерительной техники и прикладного программного обеспечения, считается целесообразно построение нового экспериментально-теоретического метода испытаний конструкций на действие температур.

Гипотезы и допущения

К ним относятся:

- полная эквивалентность, в смысле геометрии (форма, размеры) и материалов, нагретого и ненагретого тел;

- полная эквивалентность условий опирания (краевые условия) нагретого и ненагретого тел;

- представление конструкции в виде неодносвязного неоднородного изотропного тела, характеристики которого, как следствие, являются функциями координат и времени  $E=E(x,y,z,t)$ ;  $v=v(x,y,z,t)$ , где  $E$  – модуль деформации 1го рода;  $v$  – коэффициент поперечных деформаций;  $x,y,z$  – координаты декартовой системы;  $t$  – время;

- возможность задания распределения температур  $T$  в виде стационарного или нестационарного полей –  $T(x,y,z,t)$ ;

- возможность приближенного отождествления связи между интенсивностью деформаций и интенсивностью напряжений со связью между напряжением и деформаций, полученной экспериментально для однооснозагруженного стандартного образца (подобие гипотезы теории малых упруго-пластических деформаций).

Теоретическая основа метода

В качестве теоретической основы метода используется формула, полученная в [2]. Упомянутая формула базируется на приведенных гипотезах и предпосылках, а также концепции Бетти-Максвелла. Формула позволяет определить перемещение в любой точке изучаемого нагреваемого (охлаждаемого) тела. Для чего, вместо тела (конструкции), испытующего заданные температуры, вводится в рассмотрение тот же, но ненагретый конструктив, нагруженный единичной силой, приложенной в произвольной точке  $S$  и по направлению искомого температурного перемещения. Формула в декартовых координатах имеет вид:

$$Q_c = \iiint_{V_B} \frac{\alpha E}{1-2\nu} T \cdot \theta^* dV_B, \tag{1}$$

где  $Q_c$  – перемещение конструкции в точке  $S$ ;  $\alpha=\alpha(x,y,z,t)$  – коэффициент температурного расширения;  $T=T(x,y,z,t)$  заданное температурное поле;  $\theta^*$  – единичная объемная деформация от действий единичной силы, приложенной в точке  $S$ ;  $V_B$  – объем, занимаемый конструкцией.

Данная формула является поводом для построения предлагаемого метода.

Математическая модель

Введем обозначение:

$$f(x,y,z,t) = \frac{\alpha(x,y,z,t) \cdot T(x,y,z,t)}{1-\nu(x,y,z,t)} \tag{2}$$

Тогда формула (1) примет вид:

$$Q_c = f \cdot \iiint_{V_B} f(x,y,z,t) \operatorname{div} R dV_B \tag{3}$$

где  $\{R\}^T = \{u, v, w\}$ ;  $u = u(x,y,z,t)$ ;  $v = v(x,y,z,t)$ ;  $w = w(x,y,z,t)$ ;  $\operatorname{div} R = I_1$ ,  $I_1$  – 1-й инвариант тензора деформаций;  $u, v, w$  – проекции векторов перемещений вдоль осей  $X, Y, Z$  соответственно;  $f, u, v, w \in C^1$ .

В случае заданного стационарного температурного поля  $T = \text{const}$ . Если, при том, тело изотропно и однородно, то  $E = \text{const}$ ,  $\nu = \text{const}$ ,  $\alpha = \text{const}$ , и, как следствие,  $f = \text{const}$ , тогда формула (3) принимает вид:

$$Q_c = f \cdot \iiint_{V_B} \operatorname{div} R dV_B, \tag{4}$$

Далее используется формула Остроградского-Гаусса:

$$Q_c = f \cdot \iiint_{V_B} \operatorname{div} R dV_B = \iint_S (Ul + Vm + Wn) dS \tag{5}$$

где  $S$  – площадь поверхности рассматриваемого тела;  $l, m, n$  – направляющие косинусы внешней нормали, а интеграл в правой части является поверхностным интегралом 1-го рода.

Таким образом, формула (5) позволяет только по перемещениям, возникающим на поверхности рассматриваемого нагретого тела, нагруженного единичной силой, определить перемещение заданной точки, в заданном направлении и в заданный момент времени, нагретого (охлажденного) тела.

Для общего случая, когда задано нестационарное поле, формула (3) после выполнения интегрирования по частям примет вид:

$$\begin{aligned} Q_c &= \iiint_{V_B} f(x,y,z,t) \operatorname{div} R dV_B = \\ &= \iint_S (Ul + Vm + Wn) dS + \\ &+ \iiint_V \left[ U \frac{\partial f}{\partial x} + V \frac{\partial f}{\partial y} + W \frac{\partial f}{\partial z} \right] dV_B; \end{aligned} \tag{6}$$

Присутствие второго слагаемого (интеграл по объему) в правой части (6), услож-

няет задачу по сравнению с процедурой, задаваемой (5). То есть, в случае постоянных температур и однородности материала достаточно измерить перемещения точек тела, расположенных на поверхности, а затем по (5) определить температурное перемещение.

Что же касается общего случая (нестационарное температурное поле) то для реализации последовательности действий по (6) предлагается следующий алгоритм:

- дискретизация расчетной модели тела методом конечных элементов (МКЭ);
- по заданным температурным и физико-механическим параметрам определение функции  $f(x, y, z, t)$ ;
- аналитическое (в случае аппроксимации) либо численное вычисление производных от  $f$  по координатам  $x, y, z$ ;
- определение МКЭ (при необходимости с учетом физической и геометрической нелинейностей) перемещений во всех узлах сетки конечных элементов (КЭ) от действия одиночной силы, приложенной в заданной точке;
- экспериментальное измерение перемещений в узлах сетки КЭ, расположенных только на поверхности тела;
- вычисление разности перемещений в узлах сетки КЭ, расположенных на поверхности тела, замеренных экспериментально и вычисленных теоретически;
- вычисление перемещений во все узлах сетки КЭ от найденной разности перемещений, приложенных к поверхности тела;
- вычисление суммарных перемещений во всех узлах сетки КЭ от действия единичной силы и разности поверхностных перемещений;
- определение искомого температурного перемещения по (6).

Принятый экспериментально-теоретический подход позволяет корректировать полученное расчетным путем поле перемещений таким образом, чтобы на поверхности тела (конструкции) перемещения были равны экспериментально замеренным.

Приведенный алгоритм фундирует предлагаемый экспериментально-теоретический метод в общем случае.

В некоторых частных, но практически важных случаях, процедура метода может быть упрощена. К ним, в первую очередь, относятся конструктивы в виде тонких пластин и оболочек. Особенностью здесь является то, что первый инвариант тензора деформаций может быть выражен через вертикальные перемещения (прогибы) срединной поверхности ненагретой пластинки при действии единичной вертикальной силы [7].

Формула (3) тогда примет вид (рис. 1) [2]:

$$Q_c = - \iint_S \frac{\alpha \cdot E}{1-\nu} \cdot \nabla W(\xi, \eta, x, y) \left[ \int_{-1/2}^{1/2} T(x, y, z, t) z dz \right] dx dy, \quad (7)$$

где  $h$  – толщина пластины;  $\nabla$  – гармонический оператор Лапласа;  $W(\xi, \eta, x, y)$  – прогиб точки  $(x, y)$  срединной поверхности ненагретой пластины при действии единичной вертикальной силы, приложенной в точке  $(\xi, \eta)$ . Как и ранее, температурное поле в (7) может быть любым.

Располагая сетку точек на нижней поверхности пластины (считаются справедливыми гипотезы Бернулли-Кирхгофа-Лява) и заменяя гармонический оператор его конечно разностным представлением, взамен (7) получим:

$$Q_c = - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \frac{\alpha_{ij} \cdot E_{ij}}{1-\nu_{ij}} \cdot \nabla_{ij} W \left[ \int_{-h/2}^{h/2} T(x, y, z, t) z dz \right], \quad (8)$$

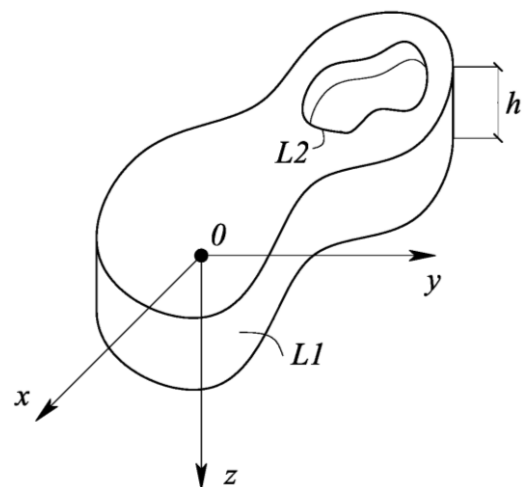


Рис.1. Тонкая пластина. L1, L2 – контуры

где  $N, M$  – количество точек на поверхности пластины вдоль осей  $X$  и  $Y$  соответственно;  $\nabla_{ij}W$  – дискретный (конечноразностный) аналог гармонического оператора Лапласа;  $i \in [1, N]$ ;  $j \in [1, M]$  – текущие индексы.

При этом, оператор Лапласа примет вид:

$$\nabla_{ij}W = \frac{1}{\lambda_x^2}(W_{i+1,j} - 2W_{i,j} + W_{i-1,j}) + \frac{1}{\lambda_y^2}(W_{i,j+1} - 2W_{i,j} + W_{i,j-1}), \quad (9)$$

где  $\lambda_x; \lambda_y$  – шаги сетки вдоль координатных осей;  $W_{i,j}$  – прогиб пластины в точке  $(i, j)$ .

Из (9) следует, что замеряя перемещение пластины от действия единичной силы только на ее нижней поверхности, возможно определить температурное перемещение в точке ее приложения.

Аналогичный прием может быть использован для оболочек, а с учетом некоторых дополнительных предпосылок и для толстых пластин [2].

Экспериментальная составляющая метода.

Обозначим атрибуты метода.

*Объект исследования* – конструкция (тело), испытующее заданное температурное воздействие (поле).

*Предмет исследования* – температурные перемещения изучаемого тела.

*Цель метода* – определение температурных перемещений конструкции путем экспериментально-теоритического исследования ее ненагретого аналога.

Метод предполагает наличие специального технического и программного обеспечения.

Техническое обеспечение включает систему нагружения, систему измерения и вычислительный комплекс (ПК).

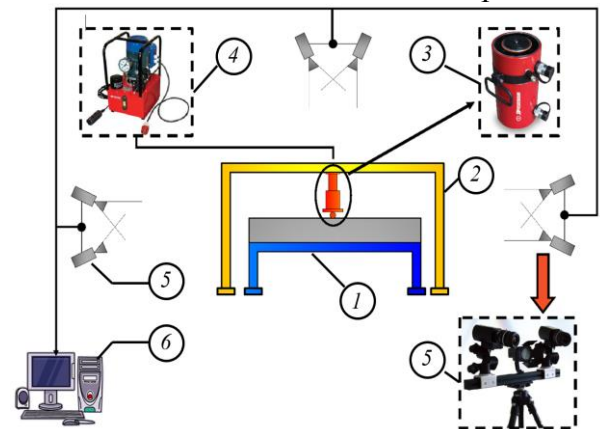
*Система нагружения* состоит из домкрата, маслостанции и опорной рамы (рис. 3). Данная система проста в эксплуатации, мобильна, не требует больших стартовых и эксплуатационных затрат. Предназначена для использования при испытаниях как в лабораторных условиях (малые модели),

так и непосредственно на готовых конструкциях (натурные испытания, испытания крупномасштабных моделей).

*Система измерения* – фотограмметрическая или лазерная установка, типа VIC-3D, позволяющая экспериментально измерять все три проекции перемещения на поверхности образца (тела), при этом, практически, в любом количестве точек [3].

VIC-3D обладает следующими преимуществами по сравнению с другими системами измерения:

- экономия времени и средств по сравнению с использованием тензорезисторов;
- отсутствие прямого контакта с объектом измерения (образцом), позволяющего использовать систему для измерения поля деформаций на реальном действующем объекте или на чувствительных к механическому воздействию образцах;
- использование простого белого света для подсветки объекта измерения и отсутствие потенциально опасных лазерных излучений;
- наглядность отображения полученных результатов в виде полноцветных 3D диаграмм, наложенных на изображение реального объекта, получение полной картины деформаций по всей поверхности, кроме того (фоновый эффект), использование системы для экспресс-ана-



лиза конструкции в процессе нагружения и поиска механических концентраторов;

- наличие стандартных библиотек для вычислений деформаций  $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_{xx}, \epsilon_{yy}, \epsilon_{xy}$  модуля Юнга и коэффициента Пуассона;

- синхронизация с испытательной машиной, а также использование интегрированных функций «виртуальный экстензометр» и «виртуальный тензорезистор» для получения диаграммы нагружения в истинных координатах;
- простой экспорт диаграмм в стандартные приложения Microsoft Office обеспечивает формирование полноценного отчета по проведенным испытаниям;
- высокая разрешающая способность измерительной системы, позволяющая уловить изменения деформации, связанные даже с внутренним разрушением ламелей композиционного материала.

Программное обеспечение включает фирменную систему обработки снятых поверхностных перемещений, любой программный комплекс, реализующий метод конечных элементов и набор собственных эксклюзивных утилит, обеспечивающих совместное функционирование систем нагружения, измерения и вычисления. Структурная схема показана на рис. 2.

#### Пример

С целью верификации предложенного метода в качестве исходных данных были взяты результаты экспериментального исследования железобетонных плит на продавливание при нагреве [4]. Упомянутое

исследование выполнялось с использованием специально разработанной уникальной установки для испытания железобетонных узлов сопряжения колонны и плиты (рис. 3 и рис. 4).

Рис. 2. Структурная схема метода:

- 1 – объект исследования;
- 2 – опорная рама;
- 3 – гидравлический домкрат;
- 4 – маслостанция;
- 5 – фотограмметрическая или лазерная установка, типа VIC-3D;
- 6 – персональный компьютер, оснащенный ПК МКЭ.

В работе [4] приведены результаты испытаний 8 образцов, которые представляли из себя узлы сопряжения колонны с плитой и отличались толщиной плиты, наличием поперечной арматуры, а также характером приложения температурной нагрузки. В качестве исходных данных выбраны результаты испытания образца **7-ПК2000** (без поперечной арматуры) при максимальной температуре нагрева нижней поверхности плиты до  $\theta=479^{\circ}\text{C}$  без силового нагружения (для большей “чистоты” и простоты расчета). Расположение термопар, индикаторов часового типа и прогибомеров Максимова показаны на рис/ 5. Распределение температур во времени для термопар ТХА приведено в табл. 1 и табл. 2

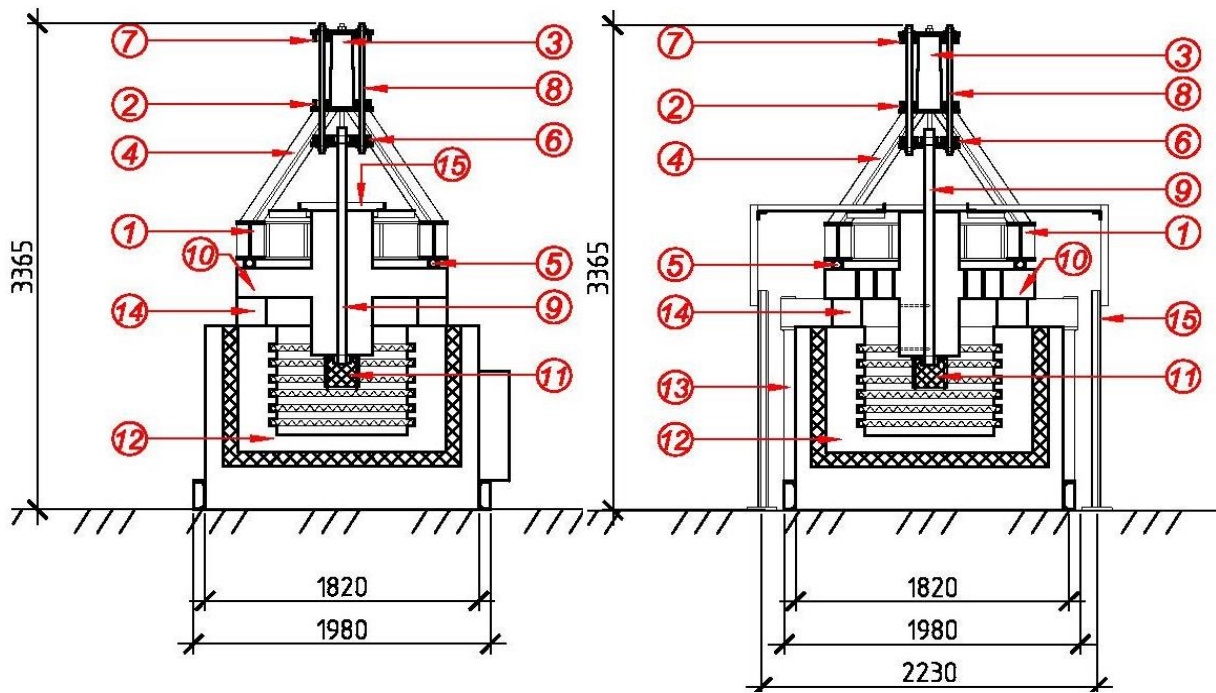


Рис.3. Вид установки в разрезе:

1 – нижнее основание верхней рамы из двутавра; 2 – пластина верхнего основания рамы; 3 – домкрат; 4 – наклонные раскосы; 5 – фторопластовые прокладки; 6 – нижняя пластина реверса; 7 – верхняя пластина реверса; 8 – тяжи реверса; 9 – главный тяж; 10 – образец; 11 – теплоизоляционный короб; 12 – электрическая печь; 13 – стойки нижней рамы; 14 – ригельная конструкция нижней рамы; 15 – рама для измерительных приборов.



Рис.4. Вид установки в натуре

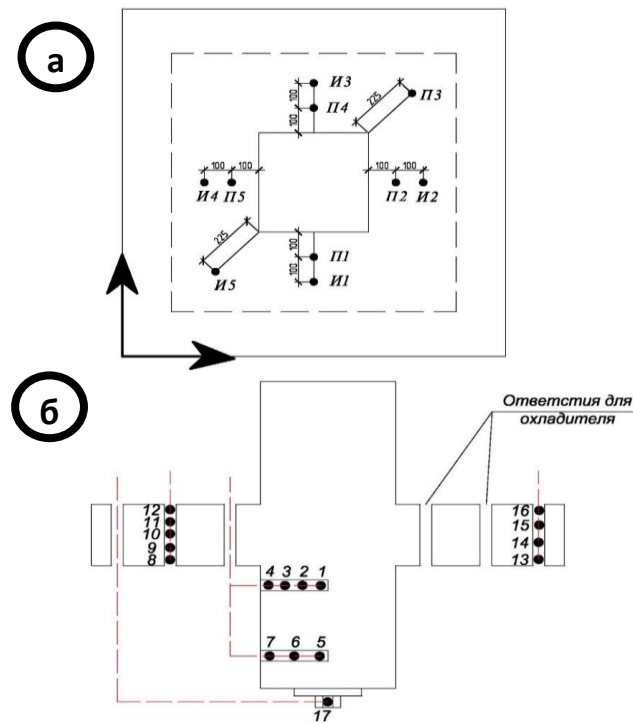


Рис.5. Измерительная система на образце 7-ПК2000:  
 а) – индикаторы часового типа и прогибомеры Максимова;  
 б) – термопары ТХА.

Табл. 1 - Распределение температур во времени для термопар ТХА №1-9

Время замера	Значения температур по термопарам, °С								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
9:40	27.4	29.0	27.3	27.5	29.0	28.7	27.1	25.6	24.8
10:00	26.6	27.9	32.8	95.3	30.4	131.3	26.9	66.7	27.8
10:30	36.3	42.4	62.3	180.6	59.9	247.0	41.1	138.4	51.3
11:00	52.5	66.3	98.9	254.0	102.5	333.0	63.2	204.0	79.3
11:30	71.9	94.1	139.2	318.0	150.7	397.0	88.4	261.0	108.1
12:00	93.9	124.9	180.3	370.0	200.0	458.0	116.9	317.0	137.2
12:30	119.5	158.3	220.0	422.0	247.0	501.0	147.9	348.0	164.9
13:00	145.6	189.2	257.0	462.0	288.0	536.0	179.3	384.0	191.1
13:30	170.7	214.0	291.0	496.0	324.0	565.0	208.0	417.0	214.0
14:00	200.0	243.0	328.0	537.0	361.0	603.0	242.0	452.0	239.0
14:30	219.0	257.0	354.0	562.0	385.0	627.0	265.0	479.0	256.0

Табл. 2 - Распределение температур во времени для термопар ТХА №10-17 и в печи

Время замера	Значения температур по термопарам, °С								
	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	Печь
9:40	24.2	23.2	24.9	23.4	23.1	22.7	23.4	34.5	43.1
10:00	22.8	21.4	23.0	35.5	23.2	21.2	21.8	19.7	271.0
10:30	30.6	23.2	23.6	51.7	31.5	22.7	21.9	19.2	408.0
11:00	43.9	28.2	24.1	66.9	41.2	25.5	22.5	19.7	531.0
11:30	58.6	34.9	32.8	81.4	50.6	28.5	23.9	21.4	643.0
12:00	74.2	43.8	40.1	94.9	59.6	31.9	25.7	21.2	734.0
12:30	90.0	54.9	49.0	108.3	67.9	35.7	27.8	21.6	813.0
13:00	105.7	61.4	60.9	121.9	76.6	40.9	30.8	16.1	889.0
13:30	121.0	66.6	83.3	133.8	84.2	45.4	33.7	14.9	955.0
14:00	139.1	79.6	80.5	147.4	93.3	49.7	37.9	15.8	1043.0
14:30	152.6	88.9	78.0	157.1	51.5	48.2	45.0	21.3	1110.0

Для расчета по предложенной методике были выбраны значения перемещений от температуры в разные моменты времени для индикаторов часового типа И2, И3 и прогибомеров Максимова П2, П3, П4. Для определения первого инварианта тензора деформаций от единичной нагрузки была создана КЭ модель в ПК Лира-Сапр, которая пред-

ставляла из себя (в силу симметрии геометрии и нагрузки) четверть исследуемого образца (рис. 6). Результаты представлены в таблице 3. Сопоставление значений, полученных экспериментально и при помощи предложенной методики составило разницу 5-15%.

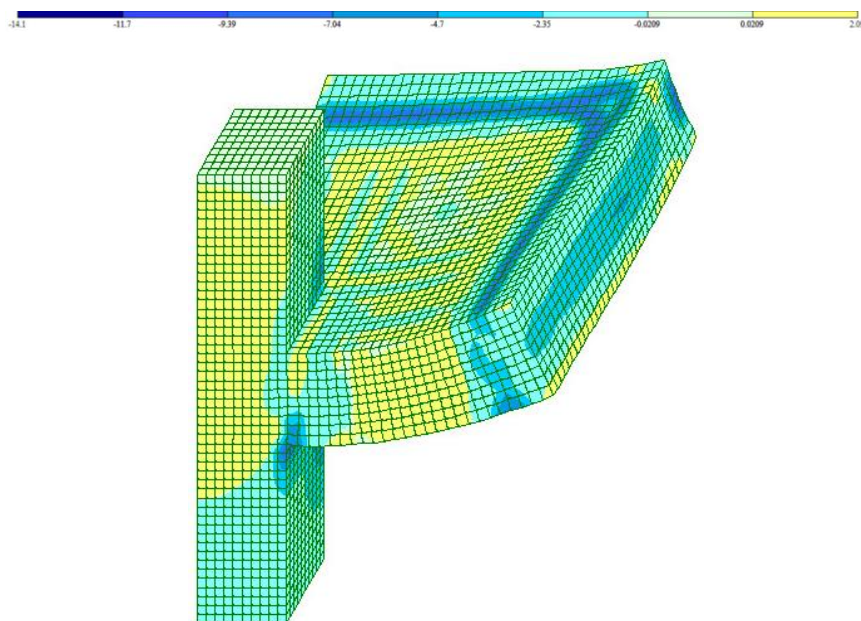


Рис.6. Изополя напряжений по Nx (МПа) при совместном действии температурного и статического нагружения



Таблица 3 - Сопоставление экспериментальных значений перемещений с полученными по предлагаемой методике

Время замера	И2		И3		П2		П3		П4	
	I*	II*	I*	II*	I*	II*	I*	II*	I*	II*
9:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:00	0.17	0.1683	0.05	0.0495	0.04	0.0396	0	0	0.04	0.0396
10:30	0.51	0.561	0.39	0.4056	0.34	0.2958	0	0.001	0.32	0.2958
11:00	0.89	1.0413	0.69	0.7797	0.73	0.7665	0.06	0.063	0.6	0.7665
11:30	1.26	1.134	0.99	0.9405	1.08	0.9396	0.1	0.103	0.88	0.9396
12:00	1.53	1.3464	1.2	1.188	1.31	1.3362	0.12	0.1176	1.07	1.225
12:30	1.79	1.8437	1.42	1.4342	2.55	2.8815	0.13	0.1417	1.23	1.145
13:00	2.01	1.7889	1.59	1.5264	1.78	1.7088	0.27	0.2646	1.37	1.557
13:30	2.14	2.2256	1.7	1.768	1.91	2.0437	0.27	0.2889	1.46	1.38
14:00	2.22	2.5086	1.77	1.9293	2.04	2.1012	0.27	0.2781	1.53	1.6
14:30	2.21	2.3426	1.79	1.8616	2.11	2.1944	0.27	0.2889	1.56	1.43

\* Экспериментальные значения

\*\* Значения, полученные по предложенной методике.

**Заклучение**

Разработанный метод, при наличии соответствующих обозначенных видов обеспечений, представляет собой эффективную технологию проведения исследований конструкций, подверженных воздействию виртуальных температурных полей. Его отличительными особенностями являются простота экспериментальной части, низкая стоимость собственно эксперимента, физическая прозрачность и логическая обоснованность получаемых результатов. Перечисленное, в первую очередь, предопределено выполнением необходимых процедур на ненагретом теле, загруженным самым простым образом – единичной силой. Путем расширения технической базы, возможности метода могут быть существенно расширены (имеются в виду приспособления, создающие одновременное воздействие от сил, приложенных в разных направлениях, например, экспериментальное моделирование “центра сжатия”). Важным моментом здесь является также возможность испытания конструкций различных типов: массивов, оболочек, пластин, стержней, их комбинаций и т.д.

Также практически отсутствует ограничение на качественные и количественные параметры температурного поля.

**ЛИТЕРАТУРА:**

1. Шмуклер В.С. Каркасные системы облегченного типа. / Ю.А. Климов, Н.П. Бурак // Золотые страницы, Харьков, 2008. 336 с.
2. Майзель В.М. Температурная задача теории упругости, Издательство Академии Наук Украинской ССР, Киев 1961г. 153 с
3. <http://www.correlatedsolutions.com/>
4. Фомин С. Л. Экспериментальное исследование железобетонных плит на продавливание при нагреве / Астахов А.А., Резник П.А. // Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво) / Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» Міністерства регіонального розвитку та будівництва України. Вип.78: в 2-х кн.: Книга 1. -Київ, ДП НДІБК, 2013. Свідотство про державну реєстрацію: серія КВ №8159. С. 487-503.
5. Шмуклер В. С. Эффективный алгоритм решения температурной задачи теории конструкций / Резник П.А. // Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво) / Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» Міністерства ре-

- гіонального розвитку та будівництва України. Вип.78: в 2-х кн.: Книга 1. -Київ, ДП НДІБК, 2013. Свідотство про державну реєстрацію: серія КВ №8159. С. 550-557."Науковий вісник будівництва" №73 стр.420 2013г
- б. Безухов Н.И., Лужин О.В. Приложение методов теории упругости и пластичности к

решению инженерных задач // Высшая школа, Москва, 1974. 200с.

7. Shmukler V.S., Verbitskii I.L. Mode matching technique in the form of over determined contour collocations for solution of the elasticity theory problem. / Boundary elements XXXVI, Wessex Institute of Technology, United Kingdom, 2004

УДК 691.462:620.193

**Данченко Ю.М., Гасанов А.Б., Чернявский В.Л.**

*Харьковский национальный университет строительства и архитектуры*

### **БИОХИМИЧЕСКАЯ КОРРОЗИЯ БЕТОНА В САМОТЕЧНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ ВОДООТВЕДЕНИЯ**

Бетон и железобетон уже несколько десятилетий применяются в качестве основных конструкционных материалов при возведении и ремонте трубопроводов водоотведения больших диаметров, отказы в работе которых, а тем более аварии приносят существенный экологический и экономический ущерб. Заметим, что указанные строительные материалы по своим противокоррозионным свойствам являются не самыми удачными для объектов водоотводящих систем. До 70% аварий на канализационных коллекторах связаны с коррозией их сводовой части. Механизм коррозионного разрушения конструкционных материалов в системах водоотведения рядом отечественных и зарубежных специалистов в настоящее время трактуется как результат биогенной серно-кислотной коррозии [1-3].

Настоящие исследования посвящены физико-химическому, химическому и микробиологическому изучению цементного бетона сводовой части канализационных коллекторов, подвергшихся действию эксплуатационных сред, а также определению причин разрушения бетона с учетом динамики и последовательности биогеохимических трансформаций биогенных элементов (табл.1). Объектом исследования были образцы бетона сводовой части коллекторов, эксплуатировавшийся в течение 25 ... 50 лет. Динамику и актив-

ность коррозионных процессов, последовательность химических и микробиологических реакций оценивали сопоставлением определяемых характеристик с объективными показателями, отражающими интенсивность разрушения бетона - значениями рН образцов.

Необходимо отметить, что на сводовую часть коллектора действуют две агрессивные среды: газообразная в виде атмосферы подсводового пространства и жидкая, формируемая микроорганизмами в конденсатной влаге на поверхности свода. Эти среды способствуют протеканию двух групп процессов, одна из которых связана с гидратацией цементных реликтов, другая - с коррозией компонентов бетона, и вместе они формируют его адаптационное повеление [4].

Так, в среде коллекторов (таблица) в 2...3 раза по сравнению с бетоном в нормальных условиях твердения повышается степень гидратации вяжущего, достигая 80-90%. Зона контакта цементного камня с мелким заполнителем в локальных местах уплотняется, в то время как в межзерновом пространстве наблюдается разрыхление связывающей массы. Для зоны контакта последней с крупным заполнителем характерно наличие микротрещин при отсутствии уплотненных участков, что свидетельствует о неблагоприятных условиях эксплуатации бетона.