

Согласно полученным экспериментальным данным можно определить границы применения безанкерного способа крепления на акриловых клеях взамен традиционных.

Кроме того, необходимо провести теоретические исследования и решить задачу о влиянии конструктивных характеристик крепежного узла, прочности бетона. Математическая модель данного соединения разработана [9].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Золотов М.С. Технология установки крепежных узлов с помощью акриловых клеев / М.С. Золотов, Л.Н. Шутенко, В.Г. Сидоренко // Коммунальное хозяйство городов: респ. межвед. науч.-техн. сб. – Київ: Техніка, 1995. – Вип. 4. – С. 13-15.
2. Морковская Н.Г. Технология безанкерного крепления на акриловых клеях / Н.Г. Морковская // Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве: IV укр. науч.-техн. конф.; тез. докл. – Харьков, 1996. – С. 91-92.
3. Золотов М.С. Конструкции безанкерных креплений и их проектирование / М.С. Золотов, В.Г. Сидоренко // Коммунальное хозяйство городов: респ. межвед. науч.-техн. сб. – Київ: Техніка, 1997. – Вип. 9. – С. 35-38.
4. Золотов С.М. Зависимость адгезионных свойств акриловых клеев от их состава / С.М. Золотов // Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве: VII Международная науч.-техн. интернет-конференция; матер. конф. – Харьков: ХНУГХ, 2008. – С. 12-14.
5. Шутенко Л.М. Кріплення технологічного обладнання і металевих конструкцій до фундаментів та безпека праці: монографія // Л.М. Шутенко, М.С. Золотов, Я.О. Серіков, В.О. Склярів. – Харків: ХНАМГ, 2008. – 285 с.
6. Золотов С.М. Инновационные материалы на основе акриловых полимеров для восстановления и ремонта конструкций объектов строительства и транспорта / С.М. Золотов // Инновационные технологии диагностики, ремонта и восстановления объектов строительства и транспорта: сб. науч. тр. – Днепропетровск: ПГАСА, 2004. – С. 192-196.
7. Золотов С.М. Влияние различных факторов на адгезионные свойства и прочность акриловых клеев / С.М. Золотов // Вісник державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2009. – Вип. 33. – С. 218-224.
8. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2011.
9. Фирсов П.М. Расчетная модель клеевого соединения сталь-бетон / П.М. Фирсов // Строительство, реконструкция и восстановление зданий городского хозяйства: IV Международная научно-техническая интернет-конференция; матер. конф. – Харьков: ХНУГХ, 2014. – С. 56-61.
10. Золотов М.С., Фирсов П.М. Влияние конструктивных факторов крепежного узла на прочность клеевого соединения безанкерного крепления / М.С. Золотов, П.М. Фирсов // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне: НУВГП, 2015. – Вип. 30 - С. 127-134.

УДК 539.3

Сізова Н.Д., Гречко Н.В.

Харківський національний університет будівництва та архітектури

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕРМОПРУЖНОГО СТАНУ СТЕРЖНЕВОЇ КОНСТРУКЦІЇ В ПК ЛІРА

Вступ. При проектуванні об'єктів будівельної галузі розглядаються питання, пов'язані з дослідженнями процесів, які виникають при експлуатації конструкцій і елементів, що знаходяться під зовнішніми

впливами. Це дозволяє визначити найбільш істотні фактори впливу на працездатність, надійність і стійкість конкретних елементів всієї конструкції. Дослідження таких процесів як температурні, дозволя-

ють перейти до розрахунку статичних, сейсмічних, циклічних та інших параметрів роботи всього об'єкта, і тим самим оцінити його експлуатаційні характеристики [1].

Постановка задачі. У загальному випадку дослідження елементів, що знаходяться під дією заданої системи сил і стаціонарного температурного поля, приводять до задач термопружності і описуються системою рівнянь [2, 3]:

$$\mu \nabla^2 \vec{U} + (\lambda + \mu) \text{grad} \text{div} \vec{U} = (3\lambda + 2\mu) \text{grad} \alpha_T T - \vec{F}(x), \quad (1)$$

$$x \in (x_1, x_2, x_3),$$

де λ, μ, ρ – характеристики пружного середовища; α_T – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу конструкції; \vec{U} – вектор пружних переміщень з компонентами u_1, u_2, u_3 ; $T(x)$ – температура пружного тіла; $\vec{F}(x)$ – об'ємні сили, які діють на тіло.

До системи рівнянь (1) додаються початкові і граничні умови на границі Γ тіла Ω , які характеризують закріплення тіла і його завантаження.

За знайденими значеннями вектора переміщень визначаються напруження із наступних співвідношень

$$\sigma_{ij} = \lambda e + 2\mu \varepsilon_{ij}, \quad i = j,$$

$$\sigma_{ij} = 2\mu \varepsilon_{ij}, \quad i \neq j, \quad (2)$$

$$\text{де } e = \sum_{i=1}^3 \varepsilon_{ii}.$$

Таким чином, розв'язок задачі (1) – (2) полягає у визначенні вектора переміщень \vec{U} , компоненту тензора напруженого стану σ_{ij} , компоненту тензора деформацій ε_{ij} .

Як правило, задача (1) – (2) розв'язується чисельними методами, зокрема, методом кінцевих елементів [5] з використання програмних пакетів [6].

Результати дослідження. У статті подаються результати визначення напружено-деформованого стану горизонтальної двопролітної балки з нахиленим до неї

під кутом β стержнем (рис.1) з відповідними закріпленнями, геометричними, фізичними параметрами і різними типами навантажень.

Конструкція знаходиться під зовнішнім температурним впливом, який задано на одному з горизонтальних елементів, на нахилений балці задано температурний перепад. Таким чином, розглядається задача термопружності. Будемо вважати, що на конструкцію не діють об'ємні сили.

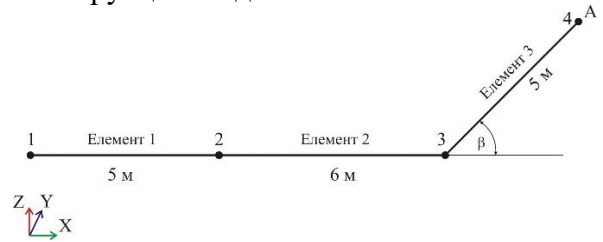


Рис. 1. Горизонтальна балка з нахиленим до неї стержнем

Для обчислення і аналізу напружено-деформованого стану використано програмний комплекс ЛІРА [6].

У ПК ЛІРА комп'ютерна модель дослідження термопружного стану конструкції, яка складається з двопролітної горизонтальної балки з елементом, нахиленим до неї під кутом β , як одну із складових включала завдання навантажень на елементи конструкції, в даному випадку – температур і температурних навантажень, а також відповідного коефіцієнта температурного розширення матеріалу.

Наведемо результати для конструкції, яка складається з двох горизонтальних елементів 1 і 2 довжиною l_1 і l_2 відповідно. Елемент 3 має кут нахилу до горизонтальних елементів β . Всі елементи мають однаковий профіль – брус, вузли 1, 3, 4 мають зв'язки в напрямках x і z . Горизонтальний елемент 1 знаходиться під температурним впливом температурою T_0 , елемент 4 заходиться під впливом температурного перепаду температур T_1 і T_2 .

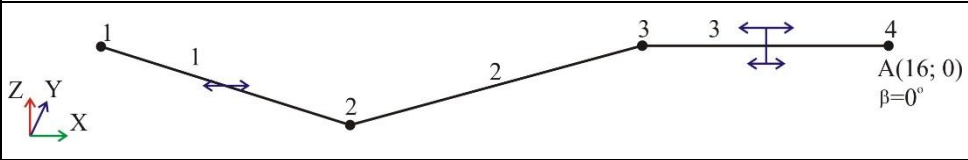
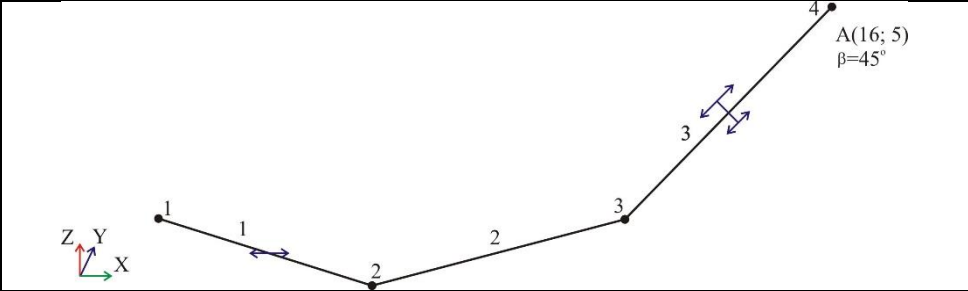
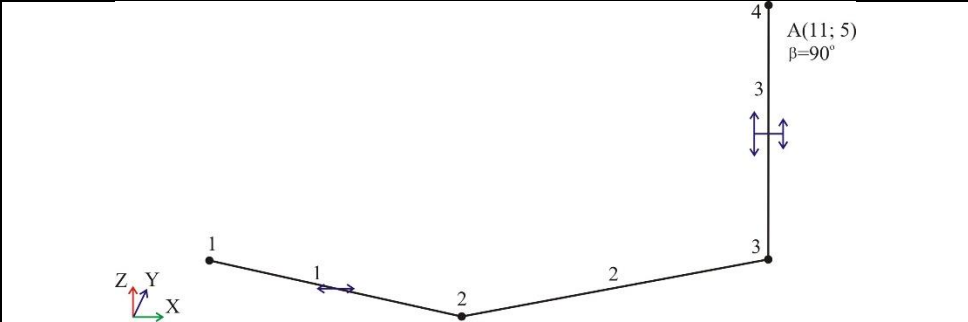
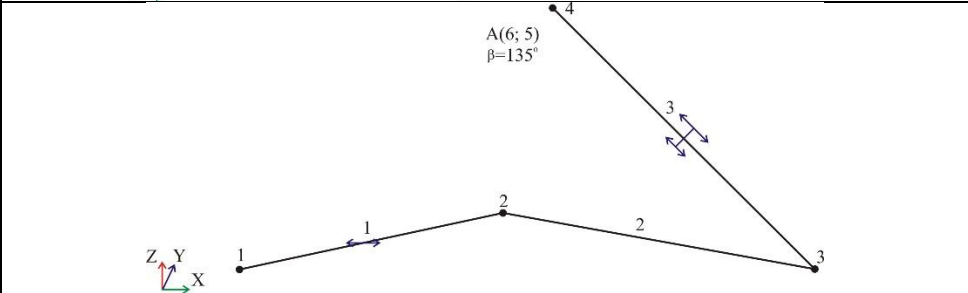
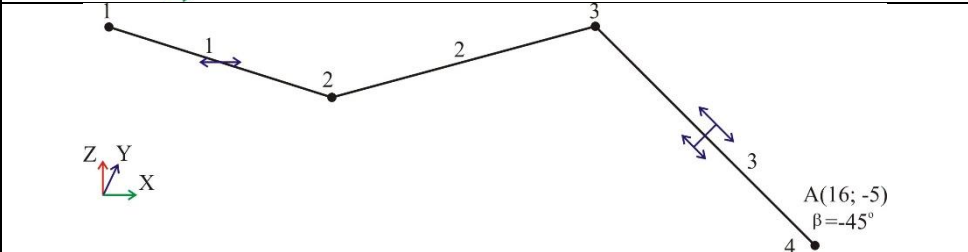
У обчислювальному експерименті кут нахилу β змінювався 0° до -45° (315°), при сталих інших параметрах.

Характер поведінки деформованої схеми (табл.1) показав, що при заданій схемі закріплення деформується горизон-

тальна частина конструкції. Зміна кута нахилу елемента 4 якісно змінює деформовані схеми, наглядно це проявилось при $\beta \geq 90^\circ$. Переміщення вузла 2 по вісі x не змінюються в залежності від кута нахилу елемента 4 до горизонтальної частини балки. Однакові значення переміщень по вісі x можна пояснити типами закріплення вузлів 1, 3, 4 балки.

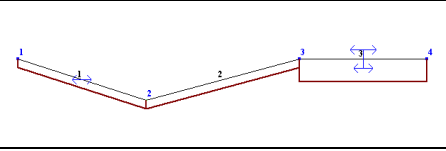
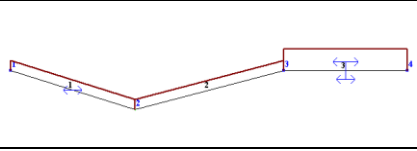
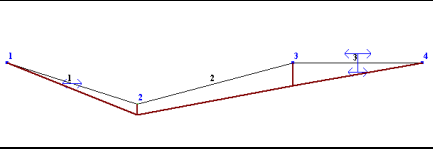
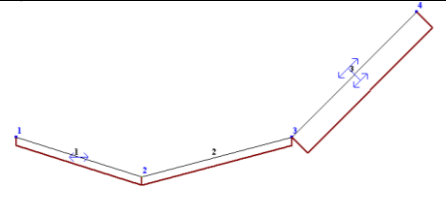
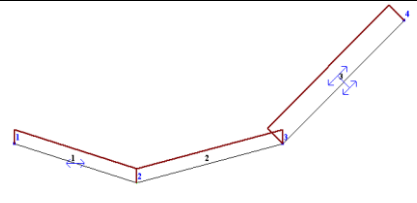
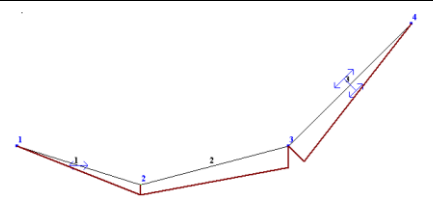
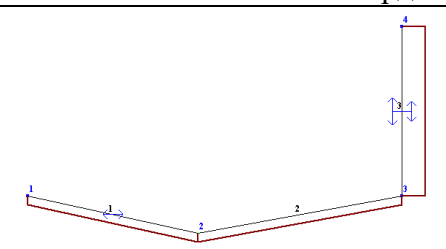
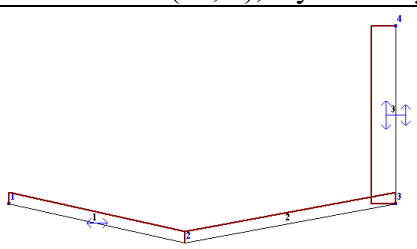
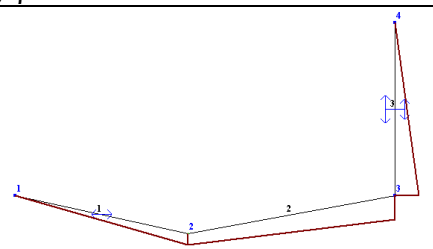
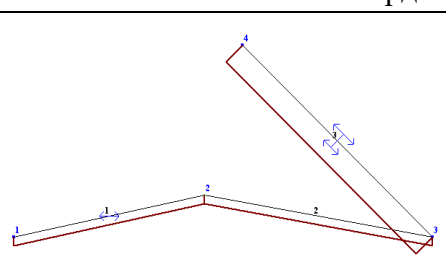
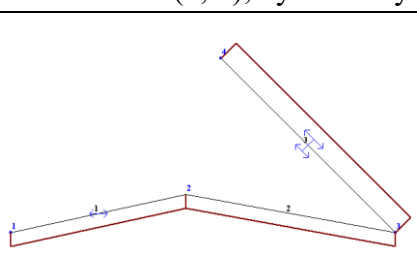
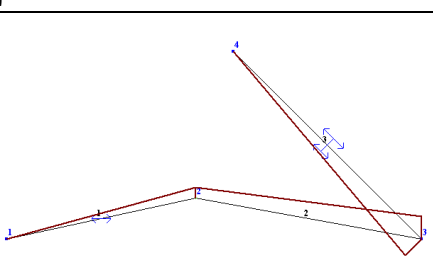
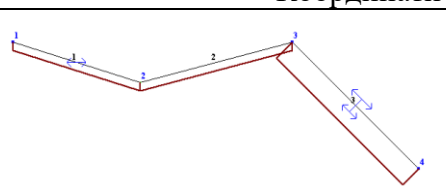
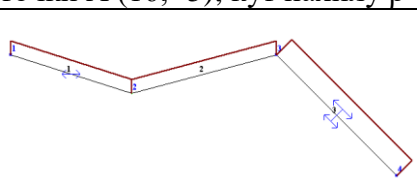
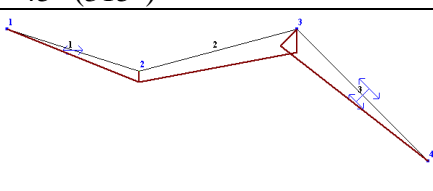
Значення переміщень по вісі z для вузла 2 (в безрозмірному виді) наведено в табл.1.

Таблиця 1 – Деформовані схеми конструкції в залежності від кута нахилу стержня до горизонтальної балки

| Деформована схема | Переміщення по вісі z у вузлі 2 |
|--|-----------------------------------|
|  | 0.8516 |
|  | 1.25 |
|  | 1,0 |
|  | -1.25 |
|  | 1.25 |

Аналіз напружено-деформованого стану конструкції показав, що на нахиленому стержні температурний перепад дає рівномірний розподіл в епюрах поздовжніх і поперечних сил (табл.2). Якісно епюри напружено-деформованого стану всієї конструкції співпадають у розглянутих випадках навантажень і закріплень, змінюючи знак при $\beta = 135^\circ$. Це відноситься також до епюр згинального моменту.

Таблиця 2 – Характеристика напружено-деформованого стану конструкції в залежності від кута нахилу стержня до горизонтальної балки

| Епюри поздовжніх сил | Епюри поперечних сил | Епюри згинального моменту |
|---|--|---|
| Координати точки A(16; 0); кут нахилу $\beta= 0^\circ$ | | |
|  |  |  |
| Координати точки A(16; 5); кут нахилу $\beta= 45^\circ$ | | |
|  |  |  |
| Координати точки A (11; 5); кут нахилу $\beta= 90^\circ$ | | |
|  |  |  |
| Координати точки A (6; 5); кут нахилу $\beta= 135^\circ$ | | |
|  |  |  |
| Координати точки A (16; -5); кут нахилу $\beta= -45^\circ (315^\circ)$ | | |
|  |  |  |

Для напружено-деформованого стану максимальні значення (табл.3) поздовжніх сил не залежать від кута нахилу елемента 4. Найбільші максимальні значення поперечних сил проявилися при куті нахилу елемента 4 рівному 0° .

Згинальний момент показав мінімальне значення при $\beta = 135^\circ$ (табл. 3).

Аналіз конструкції на стійкість [7, 8] показав стійкість конструкції для різних значень кута β° (табл.4), система – абсолютна стійка з коефіцієнтами запасу стійкості для конкретних температурних навантажень (від 1,9784 до 3,7241). Одержано форми втрати стійкості для кожного вузла конструкції, а також вільна довжина хвиль.

Таблиця 3 – Максимальні і мінімальні значення напружено-деформованого стану конструкції в залежності від кута нахилу стержня

| Координати точки A(x;z), кут нахилу | поздовжні сили (<i>min, m</i>) | поперечні сили (<i>m</i>) | | згинальний момент (<i>max, мм</i>) | |
|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|--------------|--------------------------------------|-----------|
| | | <i>max</i> | | | |
| (16; 0), $\beta=0^\circ$ | -91,77 | <i>max</i> | 73,42 | 293,66 | |
| (16; 5), $\beta=45^\circ$ | -91,771 | <i>max</i> | 60,939 | 430,907 | |
| (11; 5), $\beta=90^\circ$ | -91,77 (1) | <i>max</i> | 68,83 (1) | 344,137 (1) | |
| (6; 5), $\beta=135^\circ$ | -91,771 | <i>min</i> | -39,173 | <i>min</i> | - 430,907 |
| | | <i>max</i> | 60,939 | <i>max</i> | 430,907 |
| (16; -5), $\beta=-45^\circ$ | -91,771 | <i>max</i> | 60,939 | 430,907 | |

Таблиця 4 – Характеристика стійкості конструкції в залежності від кута нахилу стержня до горизонтальної балки

| Форма втрати стійкості | | | | Вільна довжина хвиль (<i>m</i>) | | |
|---|---------|---------|----------|-----------------------------------|-------|--------|
| Координати точки A (16; 0), кут нахилу $\beta=0^\circ$ Коефіцієнт запасу стійкості – 3,7241 (система абсолютно стійка) | | | | | | |
| Номери вузлів | | | | Номери вузлів | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 4 |
| -321,585 | 6,5186 | 149,860 | -100,675 | 1,763 | 1,469 | 1,329 |
| Координати точки A (16; 5), кут нахилу $\beta=45^\circ$ Коефіцієнт запасу стійкості – 1,9784 (система абсолютно стійка) | | | | | | |
| Номери вузлів | | | | Номери вузлів | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 4 |
| -280,127 | -38,047 | 279,44 | -273,388 | 2,155 | 1,796 | 0,9192 |
| Координати точки A (11; 5), кут нахилу $\beta=90^\circ$ Коефіцієнт запасу стійкості – 3,3312 (система абсолютно стійка) | | | | | | |
| Номери вузлів | | | | Номери вузлів | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 4 |
| -310,346 | -9,221 | 192,86 | -147,317 | 1,864 | 1,553 | 1,124 |
| Координати точки A (6; 5), кут нахилу $\beta=135^\circ$ Коефіцієнт запасу стійкості – 2,492 (система абсолютно стійка) | | | | | | |
| Номери вузлів | | | | Номери вузлів | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 4 |
| -290,245 | -38,017 | 279,447 | -273,329 | 2,155 | 1,736 | 0,919 |
| Координати точки A (16; -5), кут нахилу $\beta=-45^\circ$ (315°) Коефіцієнт запасу стійкості – 2,492 (система абсолютно стійка) | | | | | | |
| Номери вузлів | | | | Номери вузлів | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 4 |
| -290,245 | -38,017 | 279,447 | -273,329 | 2,155 | 1,736 | 0,919 |

Висновки. Досліджено напружено-деформований стан стержневої конструкції, яка знаходиться під зовнішніми температурними впливами з використанням пакету ЛІРА. Проведено обчислювальний експеримент і аналіз стійкості та термопружного стану конструкції в залежності від геометричних і фізичних параметрів. Наведені результати дають можли-

вість на стадії проектування з урахуванням обчислювального експерименту обирати оптимальні експлуатаційні параметри конкретної стержневої конструкції.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Баженов В.А., Гранат С. Я., Шишов О.В. Будівельна механіка. – К.: Выща школа, 1999.
2. Боли Б., Уэйнер Дж. Теория температурных напряжений. - М.: Мир, 1964. – 518 с.

3. Коваленко А.Д. Основы термоупругости.– Киев: Наук.думка, 1970.– 308 с.
4. Партон В.З., Перлин П.И. Методы математической теории упругости - М.: Наука, 1981. – 688 с.
5. Зенкевич О.К., Ченг Ю.К., Метод конечного элемента в задачах строительной и непрерывной механики. М.: Наука, 1971.– 453 с.
6. Городецкий А.С., Шмуклер А.В., Бондарев А.В. Информационные технологии расчета и проектирования строительных конструкций.– Харьков: НТУ «ХПИ», 2003 – 889 с.
7. Сізова Н.Д., Гречко Н.В. Комп'ютерне моделювання стійкості стержневих конструкцій. // Наук. вісник будівництва. – 2015.–Вип.80.– С. 265-270.
8. Сізова Н.Д., Гречко Н.В. Автоматизоване проектування конструкцій стержневих систем в ПК ЛІРА: Навчально-методичний посібник. – Харків: ХДТУБА, 2011.– 108 с.

УДК 626/627:532.5

Дмитриев С.В., Осадчий В.С.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЛН В ТЕЛЕ ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПОЛОЖЕНИЕ КРИВОЙ ДЕПРЕССИИ

Введение. В настоящее время наблюдения за температурным режимом грунтовых плотин используют только для поиска фильтрационных аномалий [1,2] и получения значения коэффициента фильтрации [3]. Рассматриваемая проблема [4] представляется следующим образом: сезонные изменения температуры воды в верхнем бьефе грунтовой плотины создают температурную волну, которая с фильтрационной водой перемещается в теле грунтовой плотины [5,6]. Возникающие при этом градиенты температуры внутри плотины оказывают влияние на положение кривой депрессии. Проведенные лабораторные экспериментальные исследования [7] указывают на целесообразность разработки расчетных зависимостей для инженерной практики.

Целью настоящего исследования является получение математического описания указанных процессов.

Результаты исследования. К ограничениям решаемой задачи следует отнести следующее:

1. Закон фильтрации (закон Дарси) имеет пределы применения. Он находит вполне удовлетворительное теоретическое объяснение при малых скоростях фильтрации, то есть, при тех условиях обте-

кания частиц грунта, когда силами инерции можно пренебречь. Это так называемая верхняя граница. Закон Дарси также нарушается и при очень малых скоростях фильтрации в процессе начала движения жидкости через проявления неньютоновских реологических свойств жидкости и ее взаимодействия с твердым скелетом пористой среды. Это нижняя граница.

2. Следующее ограничение сформулировано в виде требования об относительном постоянстве уровней в бьефах. Это связано с тем, что в противном случае задача существенно усложняется, и получить аналитическое решение в этом случае также достаточно сложно.

3. Учитывая значительную протяженность пути фильтрации в грунтовых сооружениях, замечая, что передача температуры внутри грунтового сооружения в основном происходит за счет конвекции (фильтрации) внутри сооружения, можно сделать вывод о том, что рассматриваемые явления будут проявляться в значительной степени только в водопроницаемых грунтах. В слабопроницаемых грунтах явление подвижной температурной волны в теле грунтового сооружения существовать будет, но недостаточно выражено.