

трещины шириной раскрытия 1,0 мм для бетона класса по прочности  $C^{16}/_{20}$  для эксплуатационных условий открытой атмосферы (области ускоренной карбонизации).

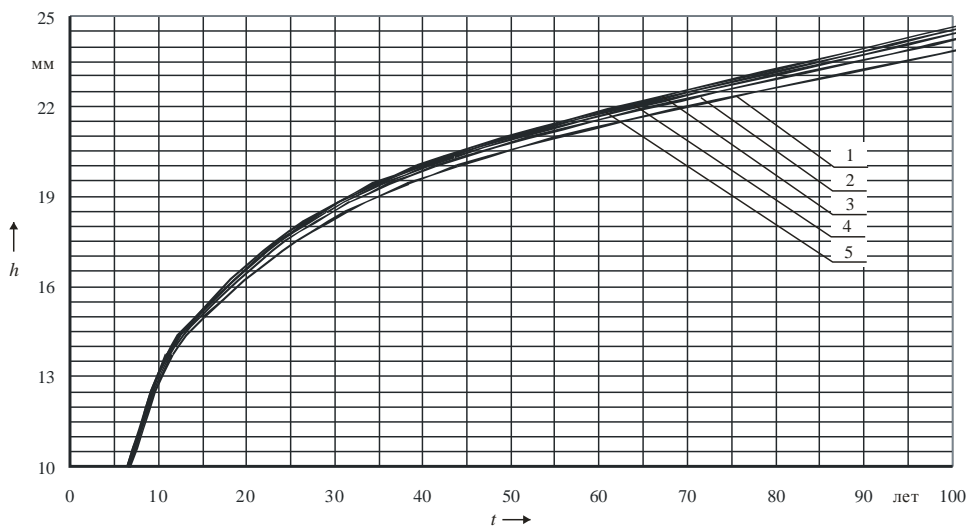


Рисунок 2 – Регрессионные зависимости скорости образования трещин шириной раскрытия 1,0 мм от толщины защитного слоя бетона класса по прочности  $C^{16}/_{20}$  для условий открытой атмосферы, области ускоренной карбонизации:  
диаметры стальной арматуры (Ø): 1 – 8; 2 – 12; 3 – 16; 4 – 20; 5 – 25 мм

Зависимости для трещин любой ширины раскрытия (до 1,0 мм), классов бетона по прочности  $C^{12}/_{15}–C^{30}/_{37}$ , диаметров стальной арматуры 6–25 мм и различных эксплуатационных условий носят аналогичный характер. Они показывают, что скорость образования трещин подчиняется сложной экспоненциальной зависимости, она значительна в поверхностных слоях и уменьшается по сечению вглубь бетона.

Полученные зависимости позволяют прогнозировать срок службы изгибаемых железобетонных элементов по критическому трещинообразованию с учетом карбонизации и ее влияния на изменение защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре.

#### Список литературы

- 1 DuraCrete 7: General guidelines for durability design and redesign. The European Union – Brite EuRam III, Project No. BE95-1347, Probabilistic Performance-based Durability Design of Concrete Structures, Report. – No. T7-01-1, 1999.
- 2 Васильев, А. А. Оценка и прогнозирование степени карбонизации бетона / А. А. Васильев // Инновационное развитие: потенциал науки и современного образования : [монография] / под общ. ред. Г. Ю. Гуляева. – Пенза : МЦНС «Наука и просвещение. – 2018. – С. 148–158.
- 3 Васильев, А. А. Совершенствование оценки и прогнозирования технического состояния железобетонных элементов и конструкций, эксплуатирующихся в различных атмосферных условиях / А. А. Васильев // Проблемы современного бетона и железобетона : сб. науч. тр. Вып. 9. – Минск, 2017. – С. 148–167.

УДК 624.072

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГИБКИХ КРУГЛЫХ ПЛИТ, КОНТАКТИРУЮЩИХ С ДВУХСЛОЙНЫМ ОСНОВАНИЕМ, В ВАРИАЦИОННОЙ ПОСТАНОВКЕ

А. А. ВАСИЛЬЕВ, Д. М. ГУРСКИЙ, О. В. КОЗУНОВА  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Фундаменты многих промышленных зданий и сооружений, например, силосных, водонапорных башен, газгольдеров, резервуаров, башен ТЭЦ, могут быть смоделированы как жесткие недеформируемые плиты (круглый штамп) или как гибкие деформируемые. Это зависит от упругих свойств грунтов, показателя гибкости плит, соотношения геометрических размеров (толщины, радиуса) и нагрузки на подошву фундамента.

Из практики строительства, сравнивая между собой жесткие и гибкие фундаменты, можно сде-

лать следующие выводы:

– *жесткие фундаменты* следует рекомендовать в тех случаях, когда грунты основания относительно прочные, т. е. допускают давление 2–3 кг/см<sup>2</sup>, нагрузки на подошву относительно невелики – здания высотой до 15–20 м;

– при слабых грунтах и больших нагрузках на подошву жесткие фундаменты вследствие малого угла распространения давления в материалах, из которых они изготавливаются, получают большой ширины, глубокими, имеют большой вес и становятся экономически невыгодными. Поэтому при слабых грунтах, допускающих давление 1,2–1,5 кг/см<sup>2</sup>, или при больших нагрузках на подошву рекомендуются *гибкие фундаменты*, так как они способны работать на изгиб и распределять нагрузку от веса здания на необходимую (расчетную) ширину основания. При этом их не нужно заглублять более глубины промерзания.

Ранее авторами в работе [1] рассматривалась постановка и алгоритм линейного расчета вариационно-разностным методом жестких фундаментных плит, свободно опирающихся на неоднородное упругое основание. Расчетная модель неоднородного упругого основания представляется в виде двухслойного пакета [1]. Для каждого слоя грунта используется модель упругого слоя (УС) конечной толщины с постоянными параметрами упругости: модулем деформации и коэффициентом Пуассона.

В проводимых авторами исследованиях решается осесимметричная задача теории упругости [2]: линейно-упругая круглая плита на линейно-упругом двухслойном основании. В расчетах рассматриваются реальные грунты как аналог при моделировании упругого основания, в упрощении его параметров. Аналогичная теория расчета в нелинейной постановке (плоская деформация) контактной задачи для балочных плит на двухслойном основании приведена в работе [3].

Для решения контактной задачи «гибкая круглая плита – двухслойное основание» предлагается использовать вариационно-разностный метод (ВРМ), который позволяет полностью описать напряженно-деформированное состояние упругого основания под плитой, исследовать контактную зону, вычислить внутренние усилия в плите и осадки упругого основания под плитой. Численная реализация ВРМ осуществляется методом конечных разностей в программном пакете МАТНЕМАТИСА 10.0.

*Постановка задачи.* Рассматривается круглая фундаментная плита как упругая плита жесткости  $EI$ , радиусом  $R$  на упругом двухслойном основании под действием симметричной нагрузки. На контакте плиты с упругим основанием возникают только нормальные реактивные давления, силами трения пренебрегаем.

При расчете слоистая упругая среда заменяется осесимметричной расчетной областью в полярных координатах: вдоль горизонтальной оси  $\rho$ . Диагональный поперечник основания аппроксимируется симметричной разбивочной сеткой с постоянным шагом по осям вглубь основания вдоль оси  $Y$ . В результате получено  $N$   $i$ -х узловых и  $K$   $j$ -х сеточных ячеек в плоской постановке рассматриваемой задачи. За неизвестные принимаются: компоненты вектора перемещения  $i$ -й узловой точки основания; реактивные давления в зоне контакта плиты с основанием.

Граничные условия задачи: на границах принятой расчетной области перемещения; в контактной зоне справедливо равенство осадок основания прогибам плиты.

В дальнейшем кроме силовой нагрузки при исследовании фундаментных плит будет предусматриваться учет внутренних коррозионных процессов в бетоне и стальной арматуре [4], а также учет физической нелинейности основания [5] при исследовании НДС упругого основания.

*Алгоритм решения в линейной постановке.* В соответствии с вариационным принципом Лагранжа, при нагружении гибкой плиты, контактирующей с упругим основанием, статической нагрузкой, ее полная потенциальная энергия в состоянии равновесия принимает минимальное значение.

Величина функционала полной потенциальной энергии плиты на упругом основании состоит из трех слагаемых: функционала энергии деформаций упругого основания, функционала энергии деформаций плиты и потенциала работы внешней нагрузки, и определяется следующей формулой:

$$\Theta = U_f + \Omega_b + \Pi. \quad (1)$$

Решение контактной задачи строится в перемещениях и реализуется численно методом конечных разностей, то есть заменой дифференциальных уравнений линейными конечно-разностными соотношениями.

#### Список литературы

1 **Козунова, О. В.** Расчет жестких круглых плит на двухслойном основании. Постановка задачи вариационным методом / О. В. Козунова, А. А. Васильев, Д. М. Гурский // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы междунар. науч.-техн. конф. (Могилев, 26–27 апр. 2018 г.) [Электронный ресурс] / редкол.: И. С. Сазонов [и др.] – Могилев : Белорусско-Российский университет, 2018. – С. 287–288. – Режим доступа : <http://bru.by/content/conferences/materialsconferences>. – Дата доступа : 04.06.2018.

2 **Александров, А. В.** Основы теории упругости и пластичности / А. В. Александров, В. Д. Потапов. – М. : Высш. шк., 1990. – 400 с.

3 **Босаков, С. В.** Вариационно-разностный подход к решению контактной задачи для нелинейно упругого неоднородного основания. Плоская деформация. Теория расчета / С. В. Босаков, О. В. Козунова // Вестник БНТУ. – № 1. – 2009. – С. 5–13.

4 **Васильев, А. А.** Глава 13. Оценка и прогнозирование степени карбонизации бетона / А. А. Васильев [и др.] // Инновационное развитие: потенциал науки и современного образования : [монография]. – Пенза : МЦНС, 2018. – 208 с.

6 **Быховцев, В. Е.** Компьютерное объектно-ориентированное моделирование нелинейных систем деформируемых твердых тел / В. Е. Быховцев. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2007. – 219 с.

УДК 692.415: 624.042.42

## ВЛИЯНИЕ СНЕГОВЫХ НАГРУЗОК НА СОСТОЯНИЕ ПОКРЫТИЯ ЗДАНИЯ

*А. В. ВИТОВТОВА, Е. В. ЕВТУХОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Величина снеговой нагрузки – важная характеристика, учитываемая при проектировании зданий и сооружений в регионах с устойчивым снежным покровом. В настоящее время значение снеговой нагрузки определяется на основе максимальной толщины и плотности снежного покрова, независимо от условий формирования, и рассчитывается умножением полученной нагрузки на коэффициенты, описывающие переход к нагрузке на кровлю, уклон кровли, воздействие ветра [1].

Одними из наиболее изменчивых нагрузок, воздействующих на строительные конструкции, являются снеговые. Для них характерны изменения как в пространстве, так и во времени, что можно наблюдать и в течение одного зимнего сезона, и в разные годы [2].

Ежегодно на территории стран СНГ регистрируются случаи разрушения и повреждения кровель зданий, вызванные выпадением и перераспределением снега на них. Это не только наносит материальный ущерб, но и приводит к человеческим жертвам. Накопление снега на крышах также приводит к образованию снежных карнизов, обрушение которых представляет серьезную опасность для жизни людей и припаркованного вблизи зданий транспорта. В ряде случаев обрушение зданий и сооружений под воздействием снеговых нагрузок связано с изношенностью строительных конструкций, а накопление снега на их крышах становится дополнительным фактором для этого. Однако в большинстве случаев подобные аварийные ситуации возникают в результате недоучета величин снеговых нагрузок при проектировании объектов.

Основные причины обрушений покрытий зданий:

- расчетные снеговые нагрузки, которые принимались во внимание при проектировании, не соответствуют фактическим. Это либо изменение климата, но чаще ошибка проектировщиков;
- нарушение правил эксплуатации зданий, предусмотренных проектом;
- нарушения в процессе строительства, часто связанные с заменой материалов с целью удешевления стоимости строительства;
- ошибки монтажа несущих конструкций и некорректный монтаж строительных материалов;
- применение материалов низкого качества.

Фактически все причины обрушений можно объединить в две группы:

- 1) фактическая нагрузка снега превысила проектную;
- 2) фактическая нагрузка на несущую конструкцию оказалась выше запроектированной [3].

В каждом конкретном случае есть своя причина обрушения, которая выясняется в процессе проведения экспертизы. Если отбросить причины, связанные со строительством и проектированием, а также внешние воздействия, то все остальные будут относиться к компетенции собственников зданий и служб, эксплуатирующих эти здания. Именно эксплуатирующий здание персонал должен следить за состоянием конструкций, своевременностью и качеством ремонта, соблюдением условий эксплуатации, своевременным и полноценным обслуживанием. А соб-