

3 Зуева, А. Н. Быстровозводимые здания и модульное строительство / А. Н. Зуева // Молодой учёный. – 2016. – № 3 (107). – С. 100–103.

4 Окорочков, Р. В. Эффективность применения интеллектуальных технологий в отечественной энергетике / Р. В. Окорочков, А. В. Задорожний. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2015. – 230 с.

5 Назаров, А. Г. Классификация и систематизация стратегий развития промышленных предприятий / А. Г. Назаров // Вестник РГГУ. Серия: Экономика. Управление. Право. – 2019. – № 2. – С. 102–116.

6 Григорьева, М. И. Использование BIM-технологий в строительстве / М. И. Григорьева // Архитектура. Строительство. Дизайн. 2017. – № 3. – С. 100–123.

УДК 624.012.4

## **ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ШВЫ В НЕСУЩИХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

*Р. А. МАЛАХОВ*

*Начальник конструкторского бюро «Железобетонные конструкции»  
ЗАО «Струнные технологии», г. Минск  
магистрант, Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

Деформационный шов – это элемент конструкции здания, который предназначен для компенсации деформаций, возникающих при воздействии различных факторов, таких как температурные перепады, осадки грунта, сейсмическая активность и др. Они располагаются в различных несущих элементах зданий, таких как стены, перекрытия, фундаменты в местах, где может возникнуть концентрация напряжений. Понятие «деформационный шов» носит общий характер. Согласно обзору литературных источников [1–8], деформационные швы в железобетонных конструкциях, в зависимости от назначения, можно разделить на следующие типы:

1 Компенсационные швы (с англ. *expansion joints*) – это швы, которые разделяют различные части здания, чтобы предотвратить передачу напряжений между ними и обеспечить свободу деформаций, возникающих вследствие изменения температуры. Они позволяют смежным участкам свободно перемещаться друг относительно друга, сохраняя целостность конструкции. Данный тип шва обычно называют деформационным или температурно-усадочным швом. Компенсационные швы должны иметь достаточную толщину, чтобы предотвратить передачу нагрузки от разделяемых конструкций, при этом ширина шва может быть от 25 до 150 мм, выполненного из материала, способного легко сжиматься. Варианты компенсационных швов представлены на рисунке 1.

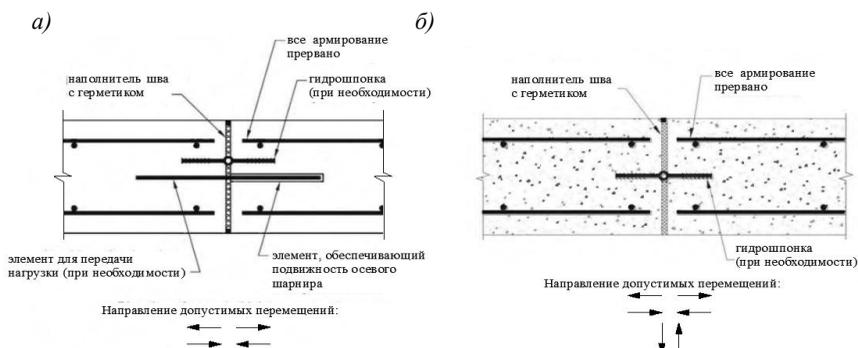


Рисунок 1 – Варианты исполнения компенсационных швов [1]:

*а* – допустимы только горизонтальные перемещения; *б* – допустимы все перемещения

При необходимости для обеспечения свободного осевого перемещения стыка можно использовать специальные элементы (стальной, пластиковый штифт). В соединениях для обеспечения герметичности предусматривают гидрошпонки.

2 Усадочные швы (с англ. *contraction joints*) – это швы, которые используются в строительных конструкциях для компенсации изменений размеров конструкций из-за усадки бетона. Из-за низкой прочности бетона на растяжение образование таких трещин в железобетоне зачастую неизбежно, если не предусмотреть какие-либо специальные мероприятия. В настоящее время используются два типа усадочных швов в зависимости от армирования в месте шва: «полные» и «частичные» (рисунок 2). Полные усадочные швы, предпочтительные для большинства строительных конструкций, строятся с полным разрывом армирования в месте соединения.

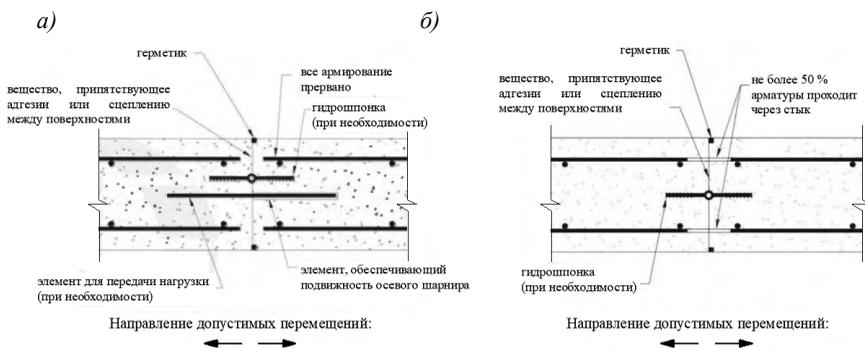


Рисунок 2 – Усадочные швы [1]:

*а* – полный усадочный шов; *б* – частичный усадочный шов

Вся арматура заканчивается примерно на расстоянии 50 мм от стыка. Соединения с частичной усадкой устраиваются так, чтобы через них проходило не более 50 % арматуры. Частично усадочные швы часто используются в конструкциях, удерживающих жидкость [2].

3 Строительные швы (с англ. *construction joints*), используемые для разделения различных этапов строительства, обычно предусматриваются в больших железобетонных плитах и стенах (рисунок 3). Правильно расположенные и выполненные строительные швы не оказывают негативного воздействия на конструкцию и в целом помогают избежать усадочных деформаций (бетонирование захватками). Но при этом следует учитывать, что непроектные рабочие швы, возникшие непосредственно в процессе выполнения монолитных работ, могут и ослаблять монолитность конструкций [3]. При необходимости данный тип шва допускает горизонтальное смещение под прямым углом к поверхности шва, но при этом передаёт напряжение изгиба между двумя поверхностями, а также не допускает вертикальных смещений [4].



Рисунок 3 – Вариант исполнения строительного шва [1]

4 Подвижные швы (с англ. *movement joints*) – это швы, которые используются в строительстве для компенсации движения и вибрации конструкций. Обычно используются в мостах, промышленных сооружениях, зданиях, построенных в сейсмоопасных районах [2].

5 Осадочные деформационные швы компенсируют деформации вследствие неравномерных осадок основания.

В некоторых случаях функции разных типов швов могут быть совмещены.

При проектировании деформационных швов необходимо полное понимание ключевых факторов, определяющих размер и расположение деформационных швов. На основе анализа документов [1–8] можно выделить главные факторы, которые необходимо учитывать, закладывая деформационные швы в строительные конструкции зданий и сооружений:

1 Свойства материала. Тип материала, использованного при строительстве здания, играет важную роль в определении расстояния между компенсаторами. Такие материалы, как бетон, сталь и каменная кладка имеют раз-

ные коэффициенты теплового расширения, которые влияют на то, насколько они будут расширяться или сжиматься при изменении температуры. Коэффициент линейного температурного расширения бетона  $\alpha_t$  принимают равным  $1 \cdot 10^{-5}$  (1/°C) [5]. Таким образом, величина удлинения здания длиной 60 м составит 9,0 мм при повышении температуры на 15 °C. При таком удлинении, если элемент жёстко закреплён и не армирован, может возникнуть напряжение около 4,8 МПа.

2 Перепады температур. Бетон расширяется при повышении температуры и сжимается при её понижении. Ожидаемые перепады температур, которым здание будет подвергаться в течение всего срока службы, имеют решающее значение при определении расстояния между деформационными швами. Напряжения, вызванные температурой, зависят от величины изменения температуры: большие колебания температуры могут привести к существенным напряжениям, которые необходимо учитывать при проектировании. Особенно таким воздействиям подвержены сооружения, не имеющие наружных ограждающих конструкций, например паркинги, аэротенки.

3 Учёт усадки бетона. Усадка бетона при высыхании и понижении температуры вызывает в бетоне растягивающие напряжения. Известно, что бетон обладает низкой прочностью на растяжение, так для основных бетонов, применяемых в строительстве, он составляет  $f_{ctm} = 1,6 \dots 3,2$  МПа [5]. Поэтому при достижении значительных усилий растяжения могут возникнуть трещины.

4 Размеры здания и конструктивная схема. Общий размер, форма, расположение диафрагм жёсткости здания также влияют на расстояние между деформационными швами. Для зданий большой длины (от 30 м) может потребоваться дополнительное введение швов во избежание возникновения дополнительных напряжений в сечениях элементов конструкции из-за изменения объёма.

На уровень напряжений и деформаций в здании сильно влияет симметричность здания с точки зрения жёсткости относительно поперечного смещения. В зданиях прямоугольной формы или в зданиях с двумя осями симметрии в плане температурные напряжения возникают по относительно простым схемам. В то же время в зданиях более сложной конфигурации, таких как П- или Г-образные, горизонтальные изменения размеров приводят к сложным схемам напряжений, особенно в местах изменения формы. Вместе с этим основные несущие конструкции должны иметь примерно одинаковую жёсткость против горизонтального смещения относительно оси симметрии, тогда напряжения и деформации будут меньше, чем в аналогичном здании, где имеются части здания со значительно большей жёсткостью.

При различном закреплении элементов здания между собой и фундаментами с изменениями температуры возникнут напряжения (рисунок 4). Без ограничения закрепления не возникает напряжений, т. к. конструкция

свободна. На практике все здания в той или иной степени ограничены, например, фундаментная плита – силой трения о грунт. Исследования показали, что здания с жёстким защемлением колонн в фундаменте имеют в критических сечениях элементы усилия в пределах нижнего этажа почти в два раза выше, чем при шарнирном опирании колонн [4].

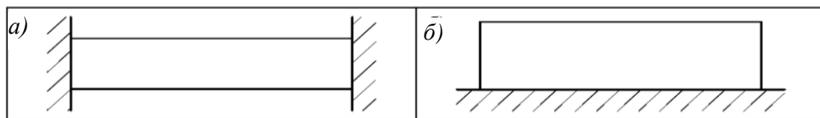


Рисунок 4 – Типы ограничения стен [7]

*a* – ограничение элемента на концах; *б* – ограничение вдоль одного края

5 Нормы и стандарты проектирования. Различные строительные нормы и стандарты содержат рекомендации по размещению деформационных швов в различных типах конструкций. Так, стандарт [5] указывает, что в конструкциях зданий влияние эффектов температуры и усадки может не учитываться при общем статическом расчёте, если предусмотрены деформационные швы на расстоянии  $d_{\text{joint}}$ . Данное рекомендуемое значение составляет 30 м. В свою очередь, в [6] имеются указания, что допускается расчёт на температурно-усадочные воздействия не производить, если расстояние между температурно-усадочными швами не превышает значений, приведённых в таблице 1 данного документа, что составляет от 10 до 72 м, в зависимости от конструкции здания и расположения его относительно окружающей среды (на открытом воздухе, отапливаемые, неотапливаемые).

6 Методы расчёта. Существуют различные методы расчёта расстояния между компенсаторами, включая эмпирические правила, основанные на опыте, аналитические методы, учитывающие свойства материалов и разницу температур, а также компьютерное моделирование для более сложных конструкций [7].

Таким образом, понимание ключевых факторов проектирования деформационных швов, методов их устройства, правильный выбор типа шва в несущих конструкциях здания позволяет повысить безопасность и надёжность проектируемых конструкций на всех стадиях их возведения и эксплуатации.

### Список литературы

- 1 ACI Committee 350 : Code Requirements for Environmental Engineering Concrete Structures (ACI 350-20) and Commentary. – American Concrete Institute, Farmington Hills, MI. – 2021. – 553 pp.
- 2 Pfeiffer M. J. Joint Design for Reinforced Concrete Buildings / M. J. Pfeiffer, D. Darwin // SM Report. – 1987. – № 20. – 73 pp.

3 Дейнеко, А. В. Проектирование железобетонных перекрытий с учетом рабочих швов бетонирования / А. В. Дейнеко, В. А. Курочкина, И. Ю. Яковлева, А. Н. Старостин // Вестник МГСУ. – 2019. – Т. 14, вып. 9. – С. 1106–1120. DOI:10.22227/1997-0935.2019.9.1106-1120.

4 Technical Memorandum No. CGSL-8530-2016-13. Joint Spacing for Concrete Structures / Concrete, Geotechnical, and Structural Laboratory Group Denver, Colorado : Technical Service Center – 86-68530. – 2016. – 38 pp.

5 Проектирование железобетонных конструкций : ТКП EN 1992-1-1-2009\*. Еврокод 2. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий. – Минск : МАиС Республики Беларусь, 2015. – 207 с.

6 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения (с изм. 1, 2) : СП 63.13330.2018. – М. : Минстрой России, 2019. – 123 с.

7 Проектирование железобетонных конструкций. Часть 3. Конструкции, локализуемые и удерживающие жидкость. Еврокод 2 : КП EN 1992-3-2009\*. – Минск : МАиС Республики Беларусь, 2010. – 35 с.

УДК 711.4.01:004.9

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АРХИТЕКТУРЕ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ

*В. А. МАЛИВАНОВА*

*Научный руководитель – А. В. Щеглова (исслед. архитектуры, ст. преп.)  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Влияние технологий на современную архитектуру сложно переоценить. Оно включает в себя разработку новых материалов и конструкций, а также цифровизацию проектирования и строительства, использование 3D-печати зданий.

Одним из самых значительных достижений в этой области стали инновационные цифровые технологии, особенно трехмерная печать. За последние пятьдесят лет 3D-технологии значительно развились и продолжают стремительно внедряться во все сферы человеческой деятельности. На сегодняшний день они считаются одним из самых эффективных методов улучшения качества проектирования.

Сейчас около 73 % архитектурных компаний в мире применяют цифровое 3D-моделирование (BIM), и большинство согласны с тем, что появление BIM (Building Information Model) стало настоящей революцией в архитектуре. Архитекторы получили возможность быстро и точно визуализировать свои идеи, что значительно упрощает коммуникацию с заказчиками.

В Беларуси существует компания ОДО «ЭНЭКА», основателем и директором которой является Григорий Кузьмич. Данная компания активно использует в своей работе BIM-технологии, проводит курсы повышения ква-