

Избаш Ю.М.

*Харьковский национальный университет строительства и архитектуры*

Захария Рауль

*Политехнический Университет Тимишоары, Румыния*

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТА МЕМБРАНЫ В КОМПОЗИТНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАЛОК С ПЕРФОРИРОВАННОЙ СТЕНКОЙ

**Введение.** Так как с каждым годом пролеты становятся все больше, стальные и композитные конструкции становятся более конкурентоспособными по сравнению с железобетонными конструкциями. Для максимальной экономии, стальные балки должны быть запроектированы так, чтобы их работа с перекрытием обеспечивалась в полной мере. Использование композитных балок, имеющих значительный пролет, позволяет создать большие открытые территории с минимальным количеством колонн, это необходимо для офисов, торговых площадей и паркингов. Однако, вместе с тем как увеличивается пролет плиты, необходимая высота стенки балки

будет также увеличиваться, что, в свою очередь, может привести к увеличению высоты этажа и как следствие самого здания в целом. Использование балок с перфорированной стенкой (смотри рис. 1) в значительной степени решает эту проблему, потому как вентиляция, трубопроводы и другие коммуникации могут проходить через отверстия в стенке. Кроме того, в связи с тем, что такие балки изготавливаются из прокатных профилей, повышается высота сечения что приводит к повышенной прочности без дополнительного использования материала и, следовательно, к снижению общей массы стальных конструкций.

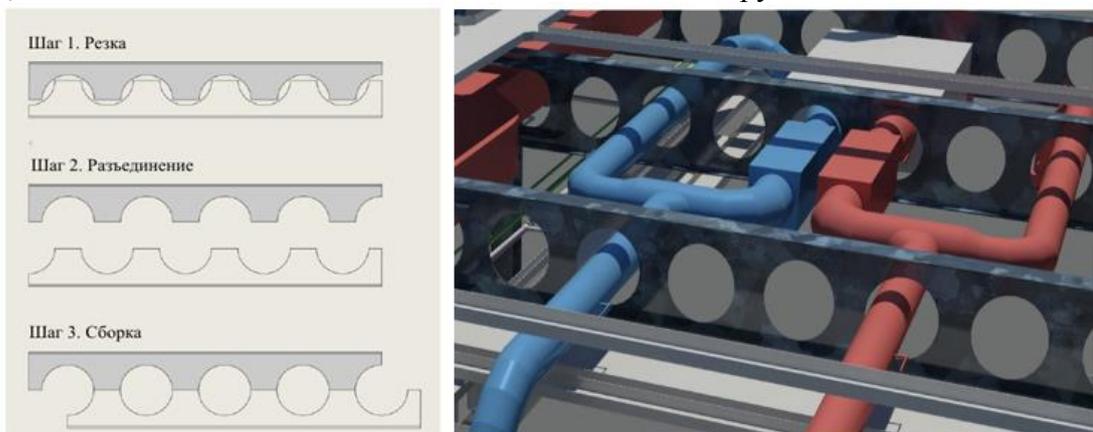


Рис.1. Балка с перфорированной стенкой

Мембранный эффект (смотри рис. 2) в композитных плитах в условиях пожара интенсивно изучается с момента проведения первых полноразмерных испытаний по огнестойкости композитных конструкций, проводимых в Кардингтоне, Великобритания [1,2], в данных отчетах описывается характерное поведение плит. Надо отметить что для того чтобы данный эффект возник, плиты должны иметь надежное оперение по краям, соответственно стальные балки расположенные по контуру

плиты должны быть защищены от огня, а второстепенные балки наоборот оставаться без защитного слоя, что так же приведет к значительной экономии, так как даже сегодня огнезащитные спреи и панели имеют высокую цену. Методы проектирования конструкций такого типа с учетом данного феномена уже существуют [3-5], они были предложены для реализации в будущих Еврокодах посвященных проектированию конструкций в условиях повышенной температуры.

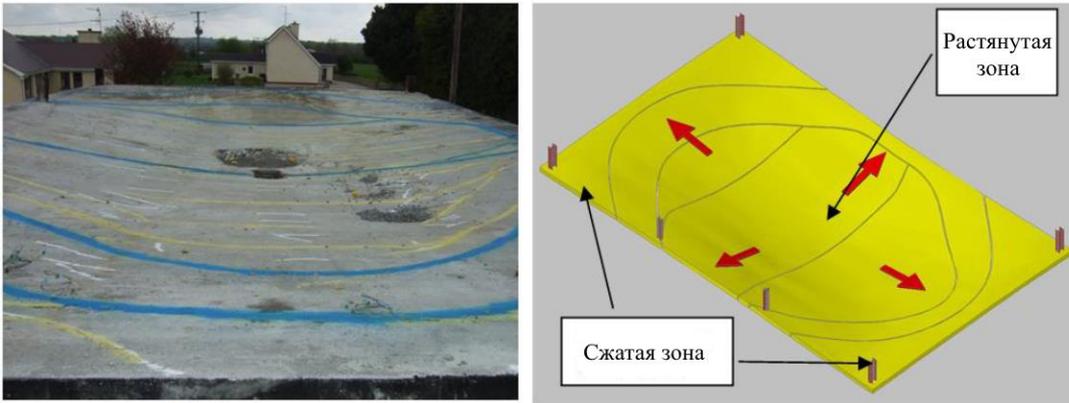


Рис 2. Мембранный эффект в плите

Тем не менее, в конкретных ситуациях может потребоваться анализ численной модели с использованием соответствующего программного обеспечения (для структурного анализа работы конструкции при повышенных температурах). Полное и подробное 3D моделирование композитной плиты слишком сложно и трудоемко. Таким образом, представляет интерес получения наиболее упрощенной модели, которая бы обеспечивала надлежащую работу и адекватную оценку несущей способности конструкции.

В данной статье исследуется возможность создания такой упрощенной модели, для воспроизведения результатов испытания частично защищенной композитной плиты с перфорированной стенкой балки в условиях «натурального» пожара, выполненного в университете Ольстера, Ирландия в рамках проекта FICEB [6,7]. Численные анализы были выполнены с использованием программного комплекса SAFIR. Модель основана также на опыте, полученном при численном моделировании похожих плит, но испытанных в условиях ISO огня и балками с цельной стенкой, FRACOF и COSSFIRE [6-9].

Исходя из опыта моделирований похожих конструкций были заимствованы следующие упрощения [9]:

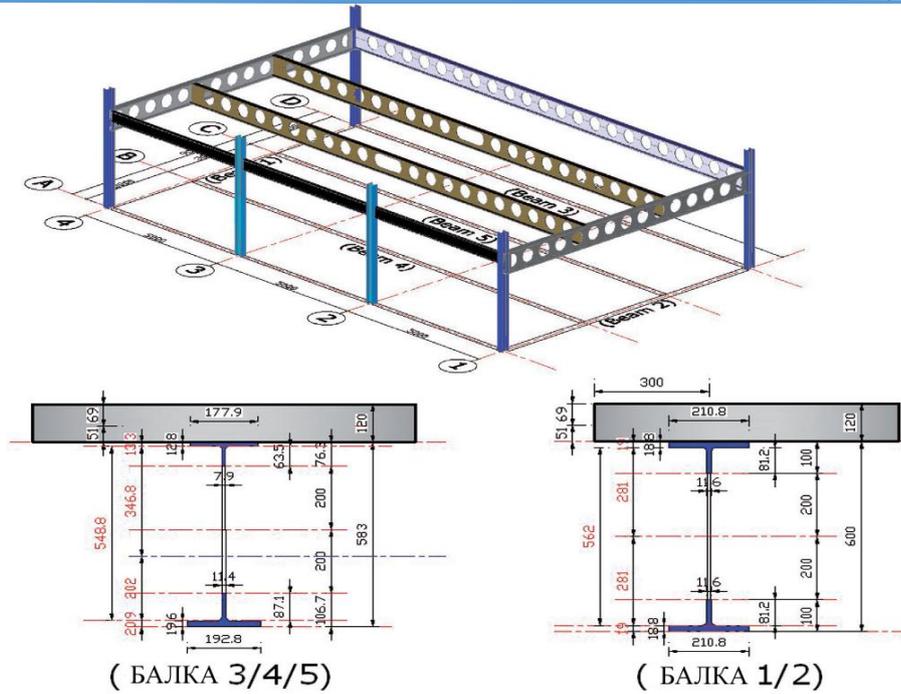
1. Главная и второстепенные балки могут быть идеализированы с использованием балочных элементов, а плита с использованием элементов оболочки.

2. Было решено не моделировать колонны, а заменить их связями, запрещающими движение по определенным осям.

3. Для того чтобы получить простую численную модель, сечение плиты, содержащей ребра может быть заменена прямоугольным сечением с эквивалентной толщиной, рассчитанной в соответствии с EN1994-1-2. Приложение D (2005) [10].

**Описание теста.** Основные размеры сооружения в плане (смотри рис. 3): 15.0 м в длину, 9.0 м в ширину и 3.0 м в высоту. На фасаде было расположено три оконных проема, каждый 3x1.5 м. Стальные балки изготавливаются из стали S355 в то время как арматурные стержни из S500. Прочность бетона при 20 °C составляла 30МПа (C30/37).

Приложенная распределенная нагрузка на плиту составляла 3.25 кН/м<sup>2</sup> и собственный вес плиты 2.9 кН/м<sup>2</sup>, так что общая нагрузка равнялась 6.15 кН/м<sup>2</sup>. Так как сооружение было запроектировано как офисное, плотность пожарной нагрузки должна быть не менее 511 МДж/м<sup>2</sup> в соответствии с таблицей E.2 EN 1991-1-2 (2005) [11]. В тесте она составила 700 МДж/м<sup>2</sup>.



( БАЛКА 3/4/5 )

( БАЛКА 1/2 )

Рис. 3. Основные размеры конструкции и аксонометрия

Незащищенные второстепенные балки при температуре около 800 °С стали работать как «кабели» (только верхняя полка балки имела несущую способность). Это также обусловило развитие эффекта мембраны в композитной плите.

**Численное моделирование.** Предыдущая попытка смоделировать данное испытание дала не удовлетворительные результаты так как структурное поведение модели не совпадало с реальными данными (смотри рис. 4), это было вызвано тем, что в данной модели были использованы упрощенная модель поведения огня и не точная реализация поведения второстепенных балок упомянутых выше [6].

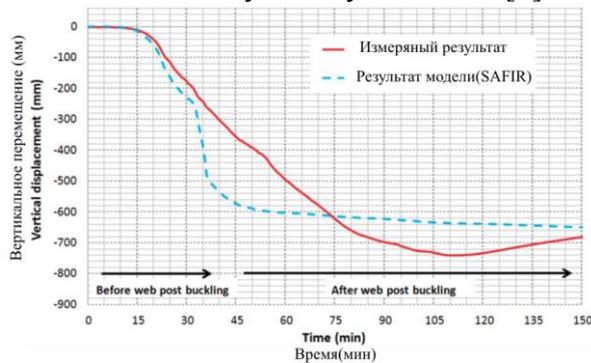


Рис. 4. Максимальные прогибы незащищенной второстепенной балки

Новая модель состояла из следующих составляющих:

1. Правильная модель огня, которая учитывала тот факт, что в разных балках будет наблюдаться разная его интенсивность. Так как температура была замерена исключительно в углах и центре конструкции я применил способ наложения двух кривых распределения температуры в соответствии с временем и использовал в дальнейшем только максимальные ее значения (смотри рис. 5).

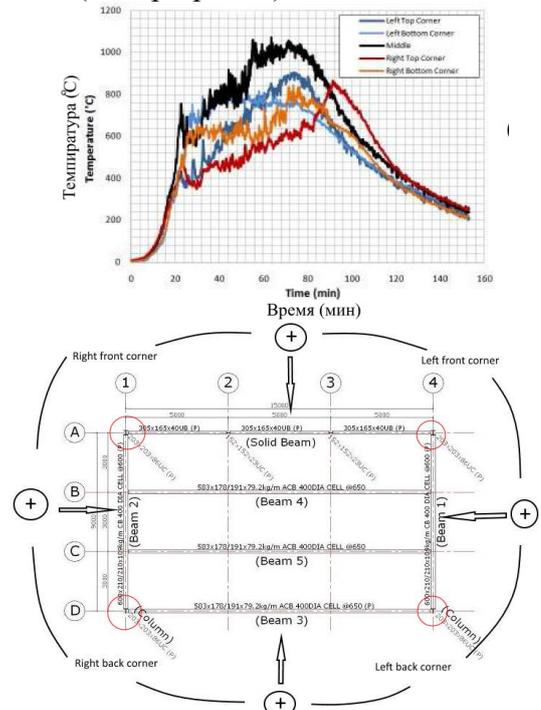


Рис. 5. Порядок задания температурной нагрузки на балки

2. Все типы сечений как балок, так и плиты были смоделированы в SAFIR (смотри рис. 6), затем эти сечения задаются в трехмерную модель (смотри рис. 7.1-2), которая дает полное представление о работе конструкции в целом, под нормальной и температурной нагрузкой (смотри рис.7, 3-4).

3. Для моделирования поведения второстепенных балок было принято решение понизить фактор предела текучести стали (EN 1994-1-2 (2005)) в 1000 раз после достижения температуры в 800 °С, тем самым повторив реальное структурное поведение сечения и в тоже время не нарушая конвергенцию в среде программы.

4. Так же были выполнены калибровки по моделированию защитного слоя балок и колонн, так как данные производителя не соответствовали полученным результатам.

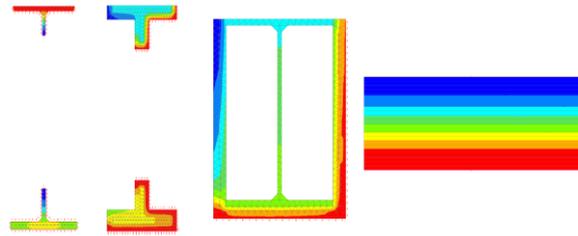


Рис. 6. Температурный расчет сечений основных типов конструкции

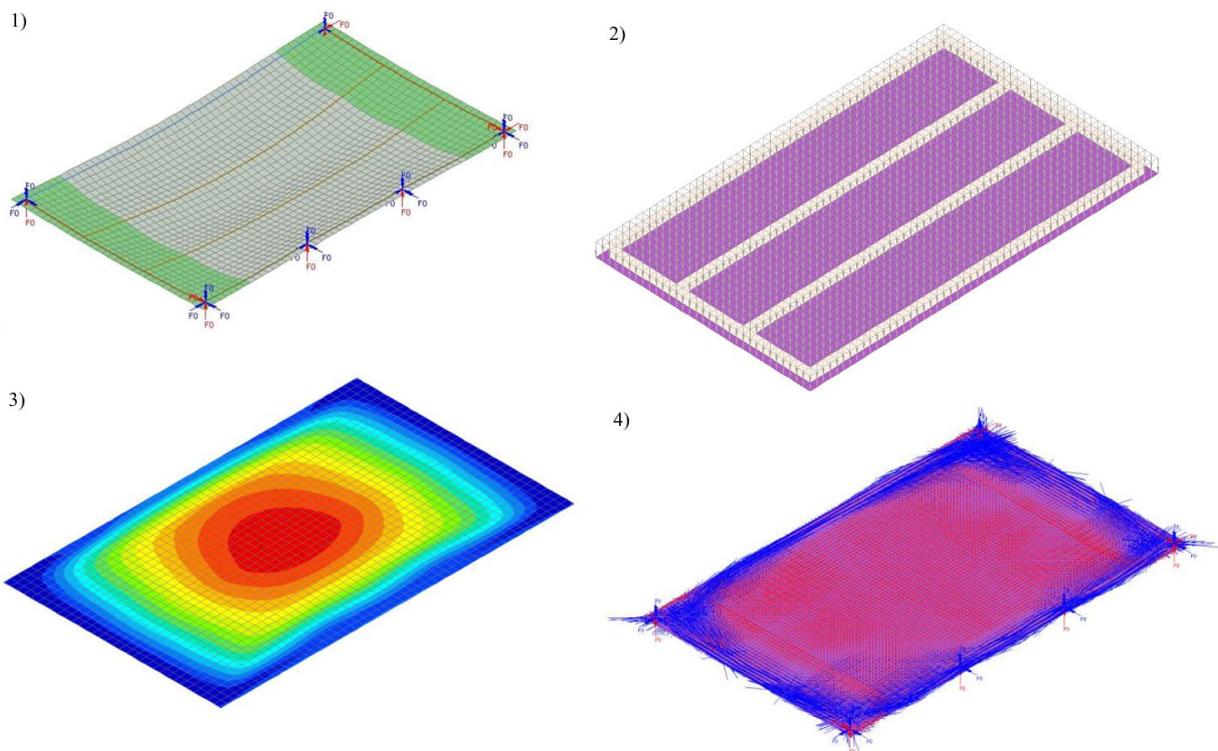


Рис. 7. 3Д моделирование.

1) 3Д модель конструкции; 2) Нагрузка на конструкцию; 3) Максимальная диаграмма прогибов конструкции; 4) Максимальный мембранный эффект конструкции.

**Результаты моделирования.** Было выполнено значительно количество анализов моделей с различными модификациями, с целью определить свод правил, позволяющих на практике сэкономить время, так как один анализ может занимать вплоть до 8 часов. Испытывались модели с цельной и перфорированной стенкой; с максимальной кривой распределения температур по времени для всех балок и с различными кривыми для различных балок; с потерей нижней полки при 600, 700 и

2)

800°С; с распределенной и концентрированной нагрузкой; с различными температурными свойствами защитного слоя балок.

На основе этих анализов, был сделан вывод, что наиболее простой численной моделью, которая наилучшим образом описывает реальный полномасштабный тест в условиях «натурального» огня, является модель имеющая следующие допущения и параметры:

- Главные и второстепенные балки были идеализированы с помощью балочных элементов, а плита с помощью элементов оболочки;
- Вместо ребристого сечения, эквивалентная толщина плиты была использована в соответствии с EN 1994-1-2. Приложение D (2005);
- Задание различных температурных кривых к различным элементам конструкции;

- Свойства противопожарной защиты для краевых балок должны быть откалиброваны;
- Нагрузки принимаются распределенными по всей площади плиты;
- Минимальное сечение, без термического учета плиты, было использовано для анализа;
- Кручение и потеря устойчивости нижней полки балки происходит около 800 °C, а не 600 °C.

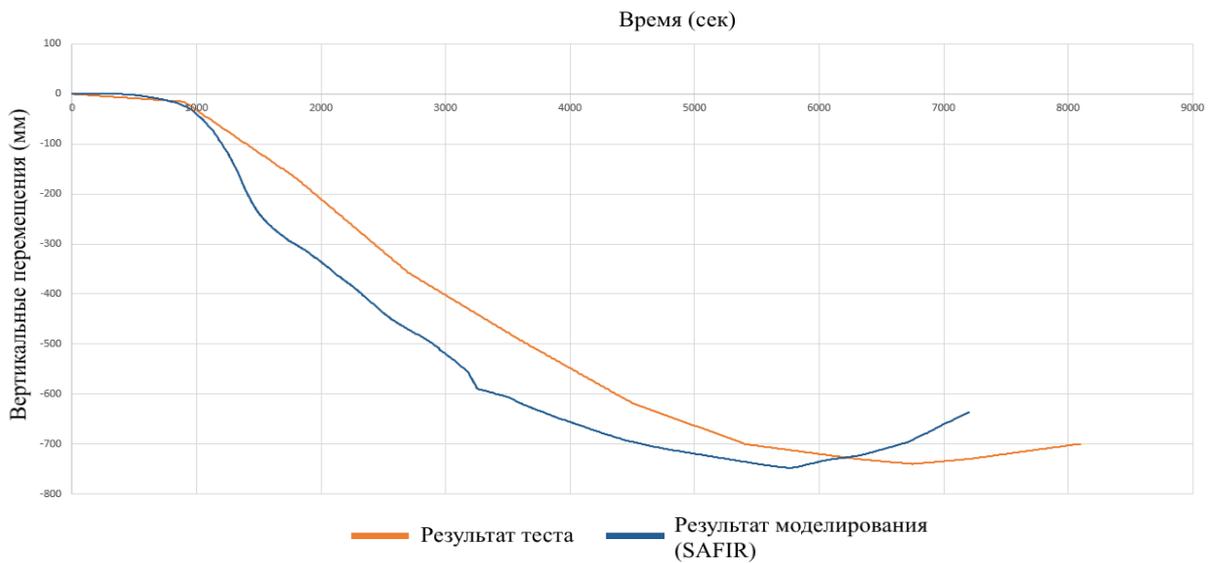


Рис.8. Сравнение прогибов второстепенной незащищенной балки реальной и смоделированной конструкции

**Вывод.** Используя опыт, полученный из моделирования похожих конструкций (испытанных в условиях ISO огня и с цельной стенкой балки), работа, освещенная в этой статье, была направлена на то чтобы предложить численную модель настолько простую, на сколько это возможно, которая в то же время обеспечит надлежащий уровень схожести структурного поведения конструкции и безопасную оценку ее несущей способности.

Так же, используя информацию полномасштабного испытания в условиях реального пожара, было проанализировано множество численных моделей композитной конструкции с использованием балок с перфорированной стенкой, с помощью программы SAFIR.

Была достигнута цель работы, упрощенная численная модель показала структурное поведение, очень схожее с результатом эксперимента.

**ЛИТЕРАТУРА:**

1. SCI - Swinden Technology Centre (1999), "The behaviour of Multi-storey steel framed buildings in fire – A European joint research programme", British Steel, Rotherham, U.K.
2. Wang, Y.C. (1996), «Tensile membrane action in slabs and its application to the Cardington tests», Second Cardington Conference, BRE, Watford, UK.
3. Bailey, C.G. (2001), «Steel structures supporting composite floor slabs: design for fire», BRE Digest, 462
4. Bailey, C.G., Lennon, T. and Moore, D. B. (2003), «The behaviour of a multi-storey composite steel framed building in fire», Struct Eng, 81/2, pp.27-36.
5. Bailey, C.G. (2004), «Membrane action of slab/ beam composite floor systems in fire», Eng Struct, 26, pp. 1691-1703.
6. Vassart O., Hawes M., Simms I., B. Zhao, J.-M. Franssen, A. Nadjai, Research Fund for Coal and Steel (RFGS) (2012), Contract No RFSR-CT-2007-00042: «Fire resistance of

- long span cellular beam made of rolled profiles (FICEB)», 250.
7. Vassart O., Zhao B. (2013), «Membrane Action of Composite Structures in Case of Fire», ECCS TC3 Fire Safety, 247.
  8. Zaharia R., C. Vulcu, O. Vassart, T. Gernay, Franssen J.M. (2013). «Numerical analysis of partially fire protected composite slabs». Steel and Composite Structures. 14(1). ISSN 1229-9367.
  9. Vulcu, C., Gernay, Th., Zaharia, R. and Franssen, J.M. (2010), «Numerical modelling of membrane action of composite slabs in fire situation», Proceedings of 6th Intl Conference Structures in Fire, East Lansing, USA.
  10. EN 1994-1-2 (2005), «Eurocode 4 – Design of composite steel and concrete structures. Part 1-2. General rules – Structural Fire Design», CEN, Brussels.
  11. EN 1991-1-2 (2005), «Eurocode 1- Actions on structures - Part 1-2: General actions - Actions on structures exposed to fire», CEN, Brussels.

УДК (057)

**Савйовський В.В.,**

*Киевский национальный университет строительства и архитектуры,*

**Каржинерова Т. І., Каржинерова Е. Г.**

*Харьковский национальный университет строительства и архитектуры*

### УМЕНЬШЕНИЕ МОРАЛЬНОГО И ФИЗИЧЕСКОГО ИЗНОСА ЗДАНИЙ ПРИ ИХ РЕКОНСТРУКЦИИ

Реконструкция зданий и сооружений в Украине за последние годы стала одним из ведущих направлений в современном строительстве.

Основания для выполнения работ по реконструкции, следующие: достаточно большой срок эксплуатации многих зданий, построенных в XIX и XX веках, возрастают эстетические, технические и технологические требования к помещениям; необходимо создание новых площадей под организацию офисного пространства, складских помещений, торговых залов и пр.

Реконструкция позволяет решить следующие задачи:

- продлить срок службы здания и обеспечить защиту от аварий;
- восстановить разрушенное здание или его отдельные узлы для возобновления эксплуатации;
- переоборудовать здание для современных целей;
- выполнить реорганизацию объекта с изменением характеристик помещений;
- усилить несущие конструкции;
- надстроить дополнительные этажи;
- провести современные коммуникации;

- решить другие характерные задачи, связанные с работами в уже существующем здании;
- улучшить эксплуатационные характеристики здания;
- повысить срок эксплуатации здания;
- увеличить капитальную стоимость и безопасность эксплуатации.

В процессе реконструкции происходит обследование существующего здания или сооружения, оценка его состояния, принятие решений по исправлению выявленных дефектов, выполнение комплекса ремонтно-строительных работ, направленных на восстановление отдельных конструктивных элементов или всего здания в целом в целях, связанных с модернизацией, повышением функциональности, вместительности и комфортности, а также предотвращение развития деформаций и иных разрушительных факторов здания.

Необходимость реконструкции объектов обуславливается рядом причин, к которым относятся: модернизация, переоборудование или переустройство зданий, экономические требования, завершение приостановленного строительства, моральный и физический износ зданий, тех-