

ФИЛИАЛ «ИНСТИТУТ ПЕРЕПОДГОТОВКИ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ» УНИВЕРСИТЕТА ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ  
МЧС БЕЛАРУСИ

УДК 69 059

№ государственной регистрации 343

УТВЕРЖДАЮ  
Заместитель начальника  
УГЗ МЧС Беларуси  
подполковник внутренней службы  
А.Н. Камлюк  
« 10 » 109 2019 г.



ОТЧЕТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

по теме

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ  
СИСТЕМ МОНИТОРИНГА НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ОБЪЕКТОВ.  
ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА В ЦЕЛЯХ ПОВЫШЕНИЯ  
БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КРУПНОПРОЛЕТНЫХ  
СООРУЖЕНИЙ

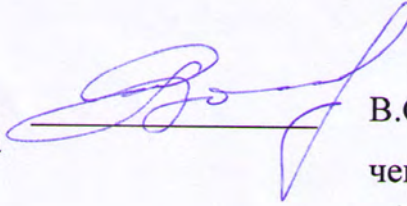
Научный руководитель  
начальник филиала ИППК  
полковник внутренней службы

В.С. Рудольф

Светлая Роща, 2019

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

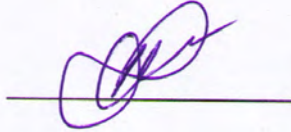
Научный руководитель  
начальник филиала  
ИППК



В.С. Рудольф (введение, заключение, общее руководство работой, главы 1-3)

Исполнители:

Начальник кафедры,  
канд. техн. наук, доцент



В.Е. Бабич (глава 1)

## РЕФЕРАТ

Отчет 83 с., 8 рис., 5 табл., 20 источников

### ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ, КРОВЛЯ, ПОКРЫТИЕ, ОБРУШЕНИЕ, СНЕГОВАЯ НАГРУЗКА, ВОЗДЕЙСТВИЯ, ДЕФОРМАЦИИ, СИСТЕМА МОНИТОРИНГА

Параметры зданий с течением времени имеют свойства меняться под воздействием различных внешних воздействий. При достижении конструкции определенного уровня надежности в них возможно наблюдать необратимые повреждения, такие как: трещины, деформации, потеря устойчивости и т.д. Повреждения критического характера в конструкциях могут привести к обрушению конструкции.

Обрушение зданий наносят значительный экономический ущерб и нередко сопровождаются гибелью людей. Обеспечение системами контроля целостности конструктива зданий становятся все более актуальными.

Проведен анализ обрушений кровель зданий в результате повышенной снеговой нагрузки. Проведена количественная оценка высоты снежного покрова, соответствующей нормативной снеговой нагрузке на здания. Показана необходимость совершенствования нормативной правовой базы в части эксплуатации кровель зданий.

## Содержание

Глава 1. Обеспечение безопасной эксплуатации зданий и сооружений.	5
Применение систем мониторинга технического состояния несущих конструкций сооружений.	
1.1. Анализ причин возникновения деформаций сооружений в ходе проведения строительства и эксплуатации объектов в сложных инженерно-геологических условиях	5
1.1.1. Система «основание-сооружение»	5
1.2. Анализ содержания мониторинга технического состояния конструкций сооружений	9
1.2.1 Перечень и содержание работ в составе мониторинга при контроле изменений технического состояния конструкций сооружений	9
1.2.2. Анализ основных проблем мониторинга технического состояния конструкций сооружений	11
Глава 2. Разработка методики мониторинга состояния несущих конструкций зданий и сооружений	13
2.1 Место и роль систем мониторинга состояния несущих конструкций	13
2.2 Порядок и организация работ научно-технического сопровождения создания и эксплуатации систем мониторинга состояния несущих конструкций	15
2.3 Перечень и содержание работ научно-технического сопровождения на стадиях создания систем мониторинга состояния несущих конструкций	16
2.3.1 Научно-техническое сопровождение проектирования систем мониторинга состояния несущих конструкций	16
Глава 3 Анализ методов и средств мониторинга технического состояния конструкций сооружений	38
3.1 Автоматизированный мониторинг технического состояния конструкций сооружений в непрерывном режиме	38
3.1.1 Периодический мониторинг технического состояния конструкций сооружений	40
3.1.2. Технические средства мониторинга нагрузок, напряжений и	43

деформаций в конструкциях сооружений	
3.1.3. Динамические методы мониторинга технического состояния конструкций сооружений	49
3.1.4. Геодезические методы контроля технического состояния конструкций сооружений	63
3.2 Применение систем мониторинга состояния несущих конструкций крупнопролетных зданий и сооружений с целью повышения безопасности их эксплуатации	68
Глава 4. Влияние снеговой нагрузки на эксплуатацию зданий	70
Заключение	79
Список использованных источников	81

# **Глава 1. Обеспечение безопасной эксплуатации зданий и сооружений. Применение систем мониторинга технического состояния несущих конструкций сооружений**

## **1.1. Анализ причин возникновения деформаций сооружений в ходе проведения строительства и эксплуатации объектов в сложных инженерно-геологических условиях**

### **1.1.1. Система «основание-сооружение»**

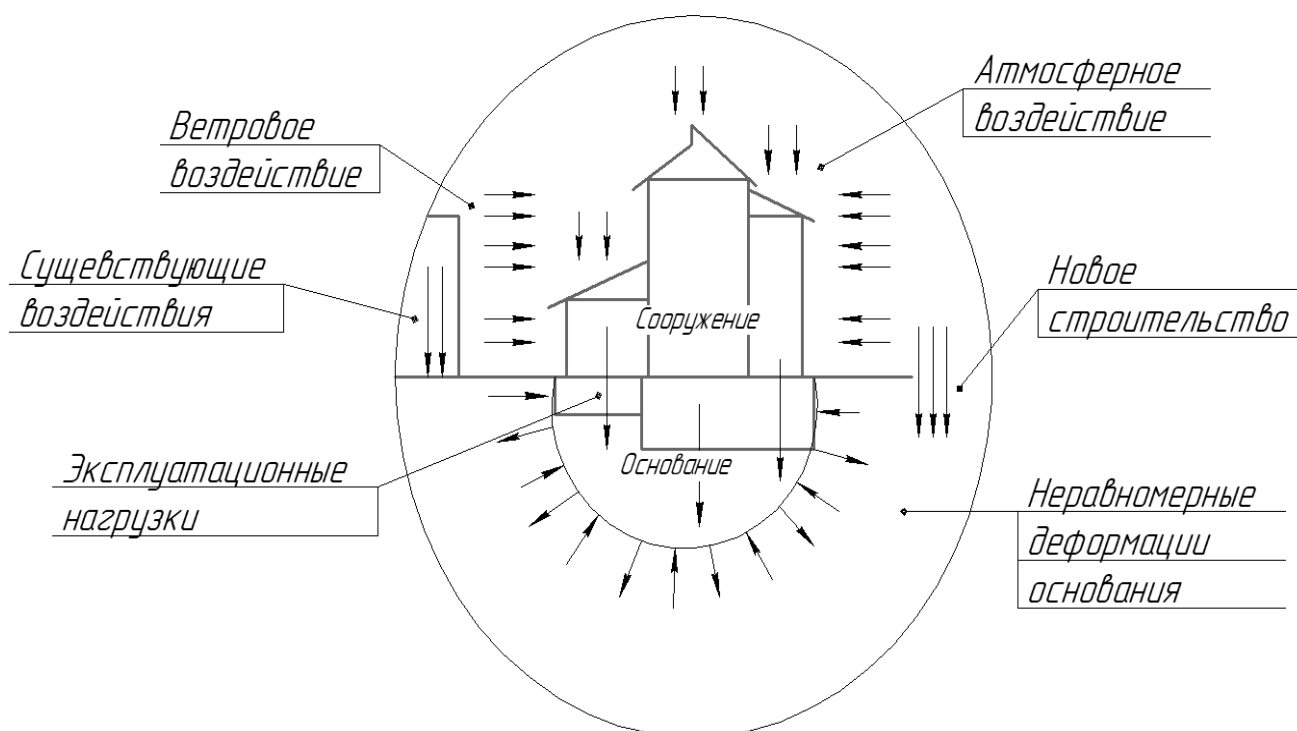
Строительный объект - это многокомпонентная система взаимодействующих конструктивных элементов, работоспособность и техническое состояние каждого из которых определяет прочность, устойчивость и эксплуатационную безопасность сооружения в целом на всех этапах его возведения и функционирования. Всю систему элементов в общем виде можно представить двумя основными группами: основание – сооружение, или, при более детальном членении, в следующем виде: основание – фундамент – надфундаментные конструкции. Данная система существует в условиях взаимодействия всех своих компонентов.

В период своего жизненного цикла компоненты системы подвергаются различного рода воздействиям, как плановым (эксплуатационные нагрузки, природно-климатические изменения), так и внеплановым (техногенным) воздействиям со стороны окружающей среды и внешней инфраструктуры, в том числе аварийные ситуации, что особенно характерно для сооружений, располагающихся в стесненных условиях крупных городов.

Возникновение различного рода деформаций и повреждений несущих и ограждающих конструкций (далее конструкций) строительных объектов

сигнализирует о появлении отклонений от заложенных на стадии проектирования параметров нормального функционирования системы.

Надфундаментные конструкции сооружения призваны взаимодействовать с грунтами основания посредством фундаментных конструкций таким образом, чтобы удовлетворялись все необходимые нормативные требования по обеспечению несущей способности конструкций сооружения. При отклонениях от запланированной схемы взаимодействия система «основание–сооружение», воспринимая помимо проектных нагрузок дополнительные внеплановые воздействия, обусловленные различными причинами, испытывает, в первую очередь, неоднородные деформации, что вызывает появление в элементах сооружения дополнительных перемещений и внутренних усилий. Появление и рост с течением времени величин деформаций до критических значений приводит к снижению и даже к потере работоспособности отдельных элементов конструкций, что в дальнейшем может быть причиной полного отказа строительного объекта (рисунок 1.1).



**Рисунок 1.1. Схема взаимодействия системы «основание-сооружение» с окружающей средой**

Накопленный опыт строительства и эксплуатации строительных объектов свидетельствует о том, что изменение условий нормального функционирования, сопровождающееся повреждениями конструкций, может быть вызвано самыми разнообразными причинами. К ним, в первую очередь, относятся внешние воздействия природно-климатического или техногенного характера, например неравномерные деформации основания, спровоцированные изменением инженерно-геологических условий или несоблюдением проектных условий эксплуатации, в частности, превышения эксплуатационных нагрузок (накопление снеговых мешков на кровле, излишняя концентрация оборудования или скопление людей в зонах, для этого не предусмотренных и т.д.). К числу наиболее опасных причин относится наличие технических ошибок и технологических дефектов, допущенных в ходе проектирования и строительства. Их присутствие способно привести к аварийной ситуации даже при нагрузках ниже эксплуатационных. В отдельную группу причин необходимо выделить экстремальные воздействия, носящие случайный катастрофический характер.

Систематизируя изложенное, можно выделить четыре основные группы причин возникновения аварийных ситуаций.

1. Внешние техногенные и природные воздействия:

- неравномерные деформации основания;
- динамические воздействия (транспорт, оборудование).

2. Изменение плановых условий эксплуатации:

- изменение или превышение эксплуатационных нагрузок;
- износ и изменение свойств материалов конструкций.

3. Технические ошибки и технологические дефекты:

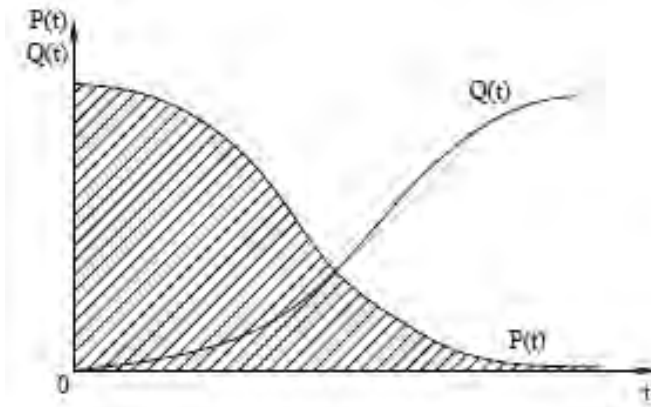
- наличие проектных ошибок;
- несоблюдение проекта и технологические дефекты, допущенные в ходе строительства.



#### 4. Экстремальные воздействия:

- пожар;
- взрыв, террористический акт.

Даже если перечисленные воздействия не приводят непосредственно к аварийной ситуации, то, в целом, при накоплении повреждений надежность конструкций сооружения падает, что, в свою очередь, повышает вероятность аварийного отказа (рис. 1.2). Из этого следует, что мероприятия по восстановлению нормативного технического состояния конструкций объекта экономически целесообразно предпринимать до момента, когда вероятность отказа становится выше показателя надежности конструкций сооружения.



**Рисунок 1.2. Зависимость надежности  $P(t)$  конструкций и вероятности  $Q(t)$  отказа от времени эксплуатации**

В случае отсутствия явно выраженного источника возникновения повреждений сооружения выявление всех взаимосвязанных причин, вызывающих снижение характеристик несущей способности конструкций, является задачей, требующей комплексного подхода к исследованию состояния объекта в целом с учетом взаимодействия всех его компонентов/ Подобная задача является предметом комплексного инженерного обследования проблемного сооружения.

## **1.2. Анализ содержания мониторинга технического состояния конструкций сооружений**

### **1.2.1 Перечень и содержание работ в составе мониторинга при контроле изменений технического состояния конструкций сооружений**

Оценка технического состояния конструкций зданий и сооружений имеет основной целью обеспечение их безопасной эксплуатации на основании соответствия их фактической прочности, жесткости, устойчивости нормативным требованиям. Для достижения этой цели изменения механических и физических характеристик конструкционных материалов, параметры действующих нагрузок, НДС элементов конструкций, образование дефектов и повреждений требуют регулярного технического диагностирования в течение всего периода эксплуатации сооружения.

Своевременное выявление происходящих деформационных процессов и контроль влияния дополнительных воздействий на сооружение позволяют отслеживать изменение технического состояния конструкций с целью предупреждения возникновения аварийных ситуаций, способных привести к серьезным повреждениям вплоть до полной потери несущей способности конструкций объекта, делающую невозможной его дальнейшую эксплуатацию.

Как показывает опыт, неравномерные деформации основания в большинстве случаев являются процессом достаточно растянутым во времени и поэтому могут быть выявлены в ходе инженерного мероприятия, принятого называться мониторингом технического состояния конструкций зданий и сооружений.

Под мониторингом (от лат. monitor – предостерегающий) в общем случае подразумевается «специально организованное, систематическое наблюдение за состоянием объектов, явлений, процессов с целью их оценки, контроля или прогноза».

В соответствии с нормативно-технической литературой целью мониторинга является обеспечение надежности системы «основание - сооружение», недопущение негативных изменений окружающей среды, разработка технических решений для предупреждения и устранения отклонений, превышающих предусмотренные в проекте, а также осуществление контроля выполнения принятых решений.

По функциональному назначению выделяются такие разделы мониторинга как:

- *объектный* – все виды наблюдений за состоянием оснований, фундаментов и несущих конструкций объектов;

- *геолого-гидрогеологический* – система наблюдений за изменением состояния грунтов, уровней и состава подземных вод, за деструктивными процессами: эрозия, оползни, карстово-суффозионные явления, оседания земной поверхности, а также за состоянием температурного, электрического и других физических полей;

- *эколого-биологический* – системы наблюдений за изменением окружающей природной среды, радиационной обстановки и др.;

- *аналитический* – анализ и оценка результатов наблюдений, выполнение расчетных прогнозов, сравнение прогнозируемых параметров с результатами измерений, разработка мероприятий по предупреждению или устранению негативных последствий вредных воздействий и недопущению интенсивности их воздействий.

***Основными задачами мониторинга технического состояния конструкций сооружения являются:***

- выявление фактов незапланированных воздействий на сооружение;
- отслеживание образования и развития повреждений в элементах конструкций;
- прогнозирование изменения технического состояния элементов конструкций через контроль их НДС.

### **1.2.2. Анализ основных проблем мониторинга технического состояния конструкций сооружений**

Мониторинг технического состояния конструкций зданий и сооружений является на сегодняшний день достаточно распространенным инженерным мероприятием, но его содержание трактуется и реализуется во многих случаях по-разному. Это связано с недостаточным нормативно-техническим обеспечением и методической базой, регулирующей предметное содержание, состав и методику проведения работ. Основными системными проблемами мониторинга на современном этапе являются:

1. отсутствие единого подхода к предметам мониторинга: «что необходимо измерять?»;
2. выбор состава инструментальных средств и методика проведения измерений в ходе мониторинга;
3. методика трактовки получаемой в процессе мониторинга информации для эффективного прогнозирования возможного развития и предотвращения аварийной ситуации.

Таким образом, необходимо констатировать, что для каждого конкретного случая принятие решения о составе мероприятий, предметах и методике проведения мониторинга технического состояния конструкций сооружения является индивидуальной для данного случая и зависящей от многих факторов задачей. На выбор возможной схемы, состава и порядка

проведения мониторинга влияют также технико-экономические показатели, такие как объем затрат и время проведения, а также профессиональная квалификация и технические возможности исполнителей.

## **Глава 2. Разработка методики мониторинга состояния несущих конструкций зданий и сооружений**

### **2.1 Место и роль систем мониторинга состояния несущих конструкций**

К ведению МЧС Беларуси относятся вопросы создания и развития функциональных подсистем мониторинга, лабораторного контроля и прогнозирования, обеспечивающих снижение риска возникновения, развития и минимизацию ущерба от чрезвычайных ситуаций.

С целью обеспечения безопасности зданий и сооружений в соответствии с ТКП 45-3.02-108-2008 (02250) высотные здания оборудуются структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений; (СМИС). Построенная на базе программно-технических средств система, предназначенная для осуществления мониторинга технологических процессов и процессов обеспечения функционирования оборудования непосредственно на потенциально опасных объектах, в зданиях и сооружениях и для передачи информации об их состоянии по каналам связи в дежурно-диспетчерские службы (ДДС) этих объектов для последующей обработки с целью оценки, предупреждения и ликвидации последствий дестабилизирующих факторов в реальном времени, а также для передачи информации о прогнозе и факте возникновения чрезвычайных ситуаций, в том числе вызванных террористическими актами, в единую систему оперативно-диспетчерского управления в чрезвычайных ситуациях.

СМИС с целью предупреждения возникновения чрезвычайных ситуаций осуществляют контроль в режиме реального времени: отклонений от нормативных значений технических параметров

производственных процессов, процессов обеспечения функционирования зданий и сооружений; изменения состояния несущих конструкций зданий и сооружений.

СМИС обеспечивают снижение риска возникновения чрезвычайных ситуаций, представляющих угрозу для безопасности людей, в том числе при опасном изменении состояния несущих конструкций зданий и сооружений.

Для решения задачи контроля изменения состояния несущих конструкций зданий и сооружений в состав СМИС включают подсистему мониторинга состояния несущих конструкций зданий, сооружений (СМИК).

Система мониторинга состояния несущих конструкций осуществляет контроль показателей, характеризующих надежность здания, сооружения, с целью предупреждения ситуаций, при которых значения регистрируемых параметров превысят их предельно допустимые величины. Объектом мониторинга СМИК являются несущие конструкции зданий и сооружений.

Системы мониторинга состояния несущих конструкций зданий, сооружений входит в состав структурированных систем мониторинга и управления зданиями и сооружениями (СМИС).

Роль СМИК заключается в информационном обеспечении предупреждения чрезвычайных ситуаций при представляющих угрозу для безопасности людей изменениях состояния несущих конструкций зданий и сооружений.

Системы мониторинга являются одним из элементов, обеспечивающих научно-техническое сопровождение строительства и эксплуатации зданий, сооружений.

## **2.2 Порядок и организация работ научно-технического сопровождения создания и эксплуатации систем мониторинга состояния несущих конструкций**

Работы по научно-техническому сопровождению создания и эксплуатации систем мониторинга состояния несущих конструкций зданий и сооружений должны производиться специализированными научно-исследовательскими, учебными, научно-производственными организациями на основании заключаемых с ними Договоров.

Указанные выше организации должны иметь обученный персонал, техническое оснащение для производства работ по научно-техническому сопровождению и мониторингу состояния несущих конструкций зданий и сооружений, что должно подтверждаться соответствующими документами.

Научно-техническое сопровождение охватывает все стадии жизненного цикла системы мониторинга состояния несущих конструкций, при строительстве и эксплуатации здания, сооружения:

- 1) создание системы мониторинга:
  - a. проектирование системы мониторинга:
    - информирование требований к системе мониторинга;
    - разработку концепции системы мониторинга;
    - разработку специальных технических условий (разделов СТУ) на создание, технических заданий на проектирование системы мониторинга;
    - разработку разделов проектной документации системы мониторинга (стадии "Проект", "Рабочая документация");
  - b. строительно-монтажные работы;
  - c. ввод в действие системы мониторинга;
- 2) эксплуатация системы мониторинга.

Перечень, содержание и требования к работам научно-технического сопровождения должны отражаться в Договоре и соответствующем



техническом задании, разрабатываемом с учетом рекомендаций настоящей методики.

## **2.3 Перечень и содержание работ научно-технического сопровождения на стадиях создания систем мониторинга состояния несущих конструкций**

### **2.3.1 Научно-техническое сопровождение проектирования систем мониторинга состояния несущих конструкций**

*Формирование общих требований к системе мониторинга.* Общие требования к системе мониторинга формируются на основе проектной архитектурно-строительной документации с учетом характера и назначения, конструктивной формы, размеров, технической и социальной значимости, категории опасности объекта.

Требования к системе мониторинга на стадии строительства формируются на основе проекта производства работ с учетом принятых технологий на этапах строительства здания, сооружения.

*Основные работы по обеспечению формирования требований к системе мониторинга должны включать:*

- получение исходных данных необходимых для создания системы мониторинга состояния несущих конструкций здания, сооружения;
- обследование для получения отсутствующих и/или дополнительных исходных данных (для существующих зданий, сооружений);
- формирование требований к системе мониторинга.

*Основной перечень исходных данных для создания системы мониторинга состояния несущих конструкций должен включать:*

- специальные технические условия (если разрабатывались);
- материалы по объемно-планировочным и конструктивным решениям;
- общая характеристика здания, сооружения: назначение, общая площадь проектируемых зданий, их высота, глубина подземной части, решения по конструкции и др.;
- расположение строящегося здания, сооружения с указанием данных о природно-климатических условиях;
- сведения о возможных и наблюдаемых в районе площадки строительства (трассы) опасных природных процессах (землетрясениях, оползнях, селях, лавинах, абразии, переработке берегов, карсте, суффозии, просадочности пород, наводнениях, подтоплении, эрозии, ураганах, смерчах, цунами и др.), требующих превентивных защитных мер.
- статические и динамические расчёты на проектные нагрузки и воздействия, а так же динамические характеристики конструкции;
- другие необходимые данные.

***Основные работы по обследованию существующих зданий, сооружений для создания системы мониторинга состояния несущих конструкций должны включать:***

- получение материалов:
  - исполнительной документации по архитектурно-планировочным решениям;
  - общей характеристики здания, сооружения;
  - данных о расположении;
  - данных о природно-климатических условиях;
  - данных о возможных и наблюдаемых в районе расположения опасных природных процессах, требующих превентивных защитных мер;

- результатов статических расчётов на проектные, расчётные нагрузки и воздействия, а так же динамических характеристик конструкции;

- данных проведенных периодических (внеочередных) мониторингов состояния несущих конструкций;

- проведение работ по обследованию (выборочному, сплошному) несущих конструкций.

Работы по обследованию существующих зданий, сооружений для создания системы мониторинга состояния несущих конструкций должны проводиться в соответствии с действующими нормативно-техническими, методическими документами, прошедшими экспертизу и аттестованными установленным порядком.

***Работы по формированию требований к системе мониторинга состояния несущих конструкций здания, сооружения должны включать:***

- анализ исходных данных (данных обследования), в том числе анализ конструктивного решения;

- определение назначения системы мониторинга;

- формулирование целей мониторинга;

- определение функций системы мониторинга.

В ходе анализа исходных данных осуществляется детальное изучение здания, сооружения, определяются основные потенциальные опасности и угрозы для безопасности.

При принятии решения о разработке физической исследовательской модели здания, сооружения необходимо учитывать, что на ней возможно моделирование сочетаний любых нагрузок и воздействий на несущие конструкции, включая выходящие за расчетные, а также террористические воздействия. Использование физической модели для обеспечения принятия

проектных решений позволяет создавать систему мониторинга несущих конструкций наиболее полно соответствующую потенциальным угрозам.

На основании анализа потенциальных опасностей и угроз должны быть определены назначение системы мониторинга и сформулированы цели мониторинга.

Назначением системы мониторинга могут быть:

- своевременное оповещение о критическом изменении состояния несущих конструкций комплекса и обеспечение принятия обоснованных решений: по обеспечению безопасности посетителей и персонала, безопасной эксплуатации; прекращения эксплуатации;
- мониторинг и регистрация в течение всего срока эксплуатации изменений состояния несущих конструкций вследствие накопления в них эксплуатационных дефектов, которые с течением времени могут привести здание, сооружение в предельное состояние, требующее соответствующего ремонта или прекращения эксплуатации.

***Целями системы мониторинга могут быть:***

- обеспечение безопасности персонала, посетителей путём автоматического, в режиме реального времени мониторинга интегральных характеристик напряженно-деформированного состояния несущих конструкций, своевременного информирования дежурно-диспетчерской службы здания, сооружения и ЕДДС города, района об их критическом изменении;
- снижение риска утраты несущей конструкцией свойств, определяющих ее надежность посредством своевременного обнаружения на ранней стадии негативного изменения состояния (напряженно-деформированного состояния) несущих конструкций, которое может привести к их разрушению и повлечь людские потери, переход здания, сооружения в ограниченно работоспособное, аварийное состояние, к полной или частичной потере несущей способности.

В соответствии с определенным назначением и сформулированными целями должны быть определены ***функции системы мониторинга.***

***Основными функциями должны быть определены:***

- автоматический, в режиме реального времени мониторинг интегральных характеристик напряженно-деформированного состояния несущих конструкций здания, сооружения и информирование персонала дежурно-диспетчерской службы здания, сооружения и ЕДДС города, района о критическом изменении состояния (напряженно-деформированного состояния) несущих конструкций здания, сооружения;
- периодический автоматизированный контроль состояния несущих конструкций здания, сооружения, включающий определение их состояния, выдачу рекомендаций по обеспечению их безопасности, контроль функционирования автоматического мониторинга.

Сформированные требования к системе мониторинга должны быть оформлены в виде отчета, который утверждается Заказчиком работ по научно-техническому сопровождению.

**Разработка концепции системы мониторинга состояния несущих конструкций здания, сооружения.**

***Основные работы по обеспечению разработки концепции системы мониторинга должны включать:***

- детальное изучение исходных данных и материалов с требованиями к системе мониторинга;
- поиск путей и оценка возможности реализации требований к системе мониторинга;
- разработку альтернативных вариантов структур системы мониторинга и планов их реализации; оценку необходимых ресурсов на их реализацию и обеспечение функционирования; оценку преимуществ и недостатков каждого варианта; определение порядка оценки качества и условий приёмки системы; оценку эффектов, получаемых от системы;

- подготовку и оформление отчета, содержащего описание сформированных требований, описание и обоснование предлагаемого варианта структуры системы и перечня задач, обеспечивающего выполнение функций мониторинга.

Поиск путей и оценка возможности реализации требований к системе мониторинга могут осуществляться методом экспертных оценок, другими подобными методами и должны быть направлены на определение основных вариантов структур систем мониторинга. В ходе этих работ должна быть оценена возможность практической реализации структур мониторинга, определены критерии оценки опасности изменения состояния несущих конструкций, критерии оценки состояния несущих конструкций, системы показателей и способы их получения и отражения в паспорте мониторинга, а также способы реализации соответствующих оценок в ходе функционирования системы мониторинга.

При разработке альтернативных вариантов структур системы мониторинга необходимо исходить из того, что основными ее подсистемами должны быть:

- сигнальная подсистема мониторинга, в первую очередь, обеспечивающая оповещение людей и, соответственно, предотвращение (снижение) потерь;

- подсистема периодического мониторинга, обеспечивающая оценку состояния несущих конструкций здания, сооружения и выдачу рекомендаций по их безопасной эксплуатации и/или усилению (восстановлению), проверку и настройку сигнальной подсистемы мониторинга.

Сигнальная подсистема мониторинга состояния несущих конструкций должна осуществлять в режиме реального времени контроль критически важных интегральных характеристик надежности конструкций зданий,

сооружений, с целью оповещения о превышении предельно допустимых величин.

Подсистема периодического мониторинга состояния несущих конструкций осуществляет контроль показателей, характеризующих надежность конструкций, с целью предупреждения ситуаций, при которых значения регистрируемых параметров превысят их предельно допустимые величины, установленные нормами проектирования конструкций. Одним из результатов периодического мониторинга является оценка надежности здания, сооружения - возможность выполнения заданных функций в течение промежутка времени до следующего этапа периодического мониторинга.

Периодический мониторинг состояния несущих конструкций носит, как правило, комплексный характер, включающий визуальный контроль, приборное (инструментальное) обследование, если необходимо – автоматизированный мониторинг. Периодичность и задачи, которые решаются в каждом из этих видов контроля, определяются в регламенте работ периодического (внеочередного) мониторинга.

В концепции для каждой из предложенных структур должно быть представлено описание функционирования системы мониторинга.

***Основными задачами могут быть определены:***

***для сигнальной подсистемы***

- сбор данных от датчиков, установленных в критически важных точках несущих конструкций здания, сооружения;
- обработка полученных данных, определение интегральных характеристик и показателей изменения состояния несущих конструкций здания, сооружения;
- информирование ДДС объекта (ЕДДС города, района) о критически важном ухудшении состояния несущих конструкций здания, сооружения;

*для подсистемы периодического мониторинга*

- сбор и обработку требуемых для оценки состояния несущих конструкций здания, сооружения данных:

- от датчиков сигнальной подсистемы, других подсистем мониторинга (например, геотехнического);

- от дополнительных инструментальных средств наблюдений за деформациями и перемещением несущих конструкций и грунта;

- визуальных наблюдений;

- определение:

- несущей способности здания, сооружения;

- категории состояния, здания, сооружения;

- обеспечение выдачи:

- заключений о состоянии несущих конструкций здания, сооружения;

- рекомендаций:

- - по усилению несущих конструкций;

- по безопасной эксплуатации;

- проверка и настройка сигнальной подсистемы мониторинга.

В соответствии с нормативными документами о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию, в случае если для разработки системы мониторинга состояния несущих конструкций здания, сооружения недостаточно требований по надежности и безопасности, установленных нормативными техническими документами, или такие требования не установлены, разработке проектной документации должны предшествовать разработка и утверждение в установленном порядке специальных технических условий (СТУ).

В СТУ включаются требования к системе мониторинга на весь ее жизненный цикл от создания и до эксплуатации включительно. СТУ на систему мониторинга могут включаться в виде раздела СТУ на создание



структурированной системы мониторинга и управления инженерными системами (СМИС) здания, сооружения.

В СТУ должны быть представлены разработанные в соответствии с концепцией следующие основные требования к системе мониторинга и обеспечению ее функционирования:

- к системе мониторинга в целом: назначение; цели создания;
- к структуре и функционированию;
- к объему мониторинга параметров состояния несущих конструкций;
- к способам и средствам связи для информационного обмена между компонентами системы;
- к обеспечению взаимосвязей с ЕДДС города, района;
- к режимам функционирования;
- к численности и квалификации персонала;
- к надежности;
- к помещениям для размещения персонала и технических средств системы, к параметрам сетей энергоснабжения;
- к функциям (задачам), выполняемым персоналом - в автоматизированном режиме и выполняемым комплексом средств автоматизации системы мониторинга - в автоматическом режиме;
- к видам обеспечения (математическому, информационному, лингвистическому, программному, техническому, методическому);
- к порядку разработки, к составу и содержанию работ по созданию системы;
- к составу, структуре и содержанию разделов проектной документации;
- к порядку контроля и приемки системы.

В требованиях к функциям (задачам) системы, выполняемым в автоматическом режиме должна быть задана задержка реакции системы

мониторинга от момента изменения контролируемых параметров до выдачи сообщения (сигнала) об изменении состояния несущих конструкций.

В требованиях к функциям (задачам) системы, выполняемым в автоматизированном режиме должна быть задана задержка реакции системы мониторинга от момента изменения контролируемых параметров до выдачи заключения о категории состояния здания, сооружения и предложений по обеспечению безопасности здания, сооружения.

Научно-техническое сопровождение разработки технического задания на проектирование заключается в обеспечении отражения в нем сформированных требований к проектированию системы мониторинга в соответствии с разработанными СТУ и концепцией. Аналогичные вопросы решаются при согласовании ТЗ.

Специальные технические условия на создание системы мониторинга состояния несущих конструкций здания, сооружения должны разрабатываться с учетом специальных технических условий на проектирование, строительство и эксплуатацию объекта.

### ***Разработка проектных решений системы мониторинга состояния несущих конструкций***

На основании сформированных требований, разработанной концепции, СТУ и технического задания рекомендуется разработать программу производства работ по созданию системы мониторинга состояния несущих конструкций.

В программе производства рекомендуется отражать содержание работ по созданию системы мониторинга на следующих стадиях:

- проектирования СМИК стадия «Проект», «Рабочая документация»;
- строительно-монтажные работы: возведение подземной, надземной части здания, сооружения;

- ввод в действие СМИК;
- эксплуатация здания, сооружения.

Обеспечение разработки проектных решений для уникальных зданий, сооружений

В случае принятия решения по разработке физической исследовательской модели рекомендуется для обоснования проектных решений по системе мониторинга выполнение следующих работ:

- создание физической исследовательской модели адекватной зданию, сооружению:
  - получение и анализ исходных данных для разработки физической исследовательской модели (характеристик конструкций и материалов, расчётов конструкций на статические и динамические нагрузки, на просадку основания, ветровые нагрузки, на воздействия и др.);
  - разработка и построение физической исследовательской модели;
  - обеспечение адекватности физической исследовательской модели проектируемому зданию, сооружению в соответствии с полученными исходными данными и получением экспериментальных подтверждений;
- определение сочетаний нагрузок и воздействий на здание, сооружение;
- разработка вариантов проектных решений для системы мониторинга и выбор наиболее рациональных, путем моделирования сочетаний нагрузок и воздействий на несущие конструкции физической исследовательской модели и модельной оценки функционирования системы мониторинга по регистрации соответствующих изменений напряжённо-деформированного состояния несущих конструкций;
- экспериментальная проверка на физической модели определения категорий состояния несущих конструкций здания, сооружения в

соответствии с "Методикой оценки и сертификации инженерной безопасности зданий и сооружений" или другой методикой аттестованной в установленном порядке;

- разработка компьютерной модели здания, сооружения адекватной физической исследовательской модели и проектируемой системе мониторинга состояния несущих конструкций;

- разработка для физической исследовательской модели паспорта мониторинга состояния несущих конструкций здания, сооружения, предназначенного для обеспечения настроек проектируемой системы мониторинга на стадии ввода в действие.

Для уникальных зданий, сооружений, в том случае, если физическая исследовательская модель не разрабатывается, а также для не типовых, рекомендуется для обоснования проектных решений по системе мониторинга выполнение следующих работ:

- анализ расчётов несущих конструкций на нагрузки и воздействия, выполненных при проектировании сооружения;

- разработка компьютерной модели объекта (здания, сооружения и модели системы мониторинга);

- определение сочетаний нагрузок и воздействий на здание, сооружение;

- проведение дополнительных моделирования и расчетов на определенные сочетания нагрузок и воздействий (при необходимости);

- проверка проектных решений для системы мониторинга и выбор наиболее рациональных, путем моделирования сочетаний нагрузок и воздействий на компьютерных моделях объекта и модельной оценки функционирования системы мониторинга по регистрации соответствующих изменений напряжённо-деформированного состояния несущих конструкций;

- разработка на компьютерной модели объекта матрицы граничных значений интегральных характеристик состояния здания, сооружения, предназначенной для обеспечения настроек системы мониторинга на стадии ввода в действие.

Обеспечение разработки проектных решений для типовых зданий, сооружений

Для типовых зданий, сооружений рекомендуется для обоснования проектных решений по системе мониторинга выполнение следующих работ:

- анализ расчётов несущих конструкций на нагрузки и воздействия, выполненных при проектировании сооружения;
- получение ранее разработанных компьютерных моделей объектов (здания, сооружения и модели системы мониторинга), расчетных моделей (расчетов) на данный тип здания, сооружения;
- определение (уточнение) сочетаний нагрузок и воздействий на здание, сооружение;
- проведение дополнительных моделирования и расчетов на определенные сочетания нагрузок и воздействий (при необходимости);
- адаптация полученных компьютерных моделей объекта, расчетных моделей под данное здание, сооружение в соответствии с полученными исходными данными;
- проверка проектных решений для системы мониторинга и выбор наиболее рациональных, путем моделирования сочетаний нагрузок и воздействий на адаптированных моделях и модельной оценки функционирования модели системы мониторинга по регистрации соответствующих изменений напряжённо-деформированного состояния несущих конструкций;
- разработка на адаптированной компьютерной модели объекта матрицы граничных значений интегральных характеристик здания,

сооружения, предназначенной для обеспечения настроек системы мониторинга на стадии ввода в действие.

***Вопросы научно-технического сопровождения, отражаемые в методическом разделе проектной документации по системе мониторинга состояния несущих конструкций***

***Разработка паспорта мониторинга состояния несущих конструкций.***

Разработка паспорта мониторинга заключается в разработке включаемых в него документов и моделей:

- заключения о состоянии несущих конструкций здания, сооружения, рекомендации по усилению, восстановлению несущих конструкций полученные в результате работ периодического (внеочередного) мониторинга, рекомендаций по совершенствованию математического, программного и методического обеспечения системы мониторинга (при необходимости);

- компьютерной модели объекта (здания, сооружения и его системы мониторинга – СМИК), адекватной текущему состоянию несущих конструкций;

- матрицы граничных значений интегральных характеристик соответствующих нарушению нормальной эксплуатации и предаварийному изменению состояния несущих конструкций для каждого из определенных воздействий и/или нагрузок на строительные конструкции здания, сооружения.

**Разработка адекватной компьютерной модели объекта**

Компьютерная модель объекта должна позволять рассчитывать любые перемещения (линейные и угловые), деформации элементов и динамические параметры (собственные формы, частоты и амплитуды колебаний) для всех нормативных и расчетных видов нагрузок и/или воздействий, в том числе импульсных (землетрясения, взрывы).

Компьютерная модель объекта разрабатывается с использованием специализированных программных средств, имеющих сертификаты, подтверждающие их применимость для решения задач моделирования.

Рекомендуется в общем случае предусматривать следующую последовательность разработки компьютерной модели объекта:

- разработка модели несущих конструкций здания;
- включение в модель сети точек контроля интегральных характеристик;
- проведение "зеркальных" натуральных и модельных экспериментов путем приложения определенных нагрузок и/или воздействий на здание, сооружение и на его компьютерную модель;
- корректировка компьютерной модели до тех пор, пока сопоставление интегральных характеристик, полученных путем измерений в контрольных точках в ходе натурального эксперимента и полученных в ходе моделирования не покажут расхождений соответствующих допустимой погрешности;

Полученная в результате компьютерная модель является адекватной зданию, сооружению в границах зоны, охватывающей примененные в ходе экспериментов нагрузки и/или воздействия, – зоны адекватности.

- определение по данным моделирования и экспертных оценок критически важных точек несущих конструкций и мест установки датчиков для контроля интегральных характеристик в этих точках, включение их в модель;
- обеспечение возможности получения значений соответствующих интегральных характеристик несущих конструкций по данным, получаемым с мест установки датчиков системы мониторинга в ходе модельных экспериментов.

Полученная в результате компьютерная модель объекта является адекватной зданию, сооружению и системе мониторинга в границах зоны адекватности.

***Разработка матрицы граничных значений интегральных характеристик.***

Матрица граничных значений интегральных характеристик разрабатывается для оценки состояния несущих конструкций зданий, сооружений по критериям - нарушение нормальной эксплуатации и предаварийное изменение состояния несущих конструкций.

Рекомендуется следующая последовательность разработки матрицы граничных значений интегральных характеристик:

- проведение модельных экспериментов путем моделирования нормативных, расчетных нагрузок и/или воздействий на компьютерную модель здания, сооружения;
- формирование по данным, получаемым в ходе модельных экспериментов по всем точкам установки датчиков матрицы граничных значений интегральных характеристик несущих конструкций.

Полученная матрица граничных значений интегральных характеристик несущих конструкций используется для формирования матрицы настроек программного комплекса сигнальной подсистемы мониторинга.

В случае, когда нормативные, расчетные нагрузки и/или воздействия, моделируемые при разработке матрицы граничных значений интегральных характеристик, выходят за границы зоны адекватности компьютерной модели объекта, можно говорить об экстраполяции зоны адекватности. Матрица граничных значений интегральных характеристик несущих конструкций полученная для экстраполированной области зоны адекватности носит прогнозный характер.



## ***Определение критериев оценки напряженно-деформированного состояния несущих конструкций и контролируемых в процессе мониторинга параметров***

Для разработки матриц граничных значений интегральных характеристик соответствующих нарушению нормальной эксплуатации и предаварийному изменению состояния несущих конструкций здания, сооружения должна быть решена задача выбора критериев оценки напряженно-деформированного состояния несущих конструкций и контролируемых в процессе мониторинга параметров.

При определении таких критериев целесообразно исходить из принципов методики предельных состояний, положенных в основу обеспечения надёжности в строительстве (ГОСТ 27751-88 «Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчёту», введенного в действие на территории Республики Беларусь постановлением Государственного комитета по архитектуре и строительству от 01.04.1994 №6.).

Согласно этой методике различают два основных предельных состояния здания, сооружения:

- 1-е предельное состояние, когда конструкция полностью утрачивает свои эксплуатационные свойства, например, разрушается, теряет устойчивость, опрокидывается и т. д. При проектировании в этом случае исходят из максимально возможных - расчётных нагрузок и/или воздействий и минимально возможных - расчётных сопротивлений конструкционных материалов;
- 2-е предельное состояние, когда при сохранении несущей способности затруднена нормальная эксплуатация сооружения. Например, перемещения (прогибы) конструкций приводят к нарушению работы технологического оборудования, колебания конструкций вызывают дискомфортное состояние людей, находящихся в помещениях верхних

этажей высотного здания. Проектирование зданий, сооружений в этом случае выполняется, исходя из так называемых нормативных значений пониженных для нагрузок и /или воздействий и повышенных для прочности материала, так как предполагается, что такое дискомфортное состояние будет кратковременным или может быть устранено штатными средствами. После чего сооружение будет полностью удовлетворять эксплуатационным требованиям, в том числе требованиям безопасности.

Исходя из этих положений, рекомендуется определить критерии оценки напряженно-деформированного состояния несущих конструкций и контролируемые в процессе мониторинга параметры (показатели).

Согласно ГОСТ 27751-88 общие условия обеспечения надежности сооружений заключаются в том, чтобы показатели напряженно-деформированного состояния конструкций (деформации, перемещения, в том числе динамические, раскрытие трещин и т. п.) не превышали соответствующих им предельных значений, устанавливаемых нормами проектирования конструкций.

Критерии оценки напряженно-деформированного состояния несущих конструкций и контролируемые в процессе мониторинга параметры (показатели) должны использоваться для принятия решений:

- по обеспечению безопасности людей (эвакуация);
- по переводу здания, сооружения в режим аварийной эксплуатации (противоаварийные мероприятия по минимизации возможных последствий);
- по усилению несущих конструкций здания, сооружения.

### ***Структура и техническое обеспечение системы мониторинга состояния несущих конструкций***

Обеспечение решений вопросов построения и технического обеспечения мониторинга должно включать следующие основные работы:

- обоснование структуры системы мониторинга;

- обоснование требований к характеристикам датчиков и регистрирующих устройств, мест, технологий и конструкторских решений по их установке.

## 1. Математическое обеспечение системы мониторинга состояния несущих конструкций

Обеспечение решений вопросов математического обеспечения мониторинга должно включать следующие основные работы по разработке математических моделей, алгоритмов:

- обработки данных датчиков и регистрирующих устройств и получения интегральных характеристик состояния несущих конструкций:

- получения спектров реакции (передаточных функций);
- собственных частот и форм колебаний;
- коэффициентов демпфирования;
- и др.

- определения критериев, показателей для оценки:

- нарушения нормальной эксплуатации и предаварийного изменения состояния несущих конструкций;

- категорий состояния несущих конструкций;

- определения нарушения нормальной эксплуатации и предаварийного изменения состояния несущих конструкций здания, сооружения;

- определения категорий состояния несущих конструкций;

*может включать разработку математических моделей, алгоритмов:*

- распознавания наиболее вероятных:
  - нагрузок и/или воздействий на несущие конструкции;
  - сценариев повреждений несущих конструкций;

○ оценки возможных масштабов повреждений несущих конструкций.

### ***Методическое обеспечение системы мониторинга состояния несущих конструкций***

Обеспечение решений вопросов методического обеспечения мониторинга должно включать следующие основные работы:

- разработку:
  - технологических регламентов установки датчиков и регистрирующих устройств во время строительства;
  - регламентов действий персонала, дежурно-диспетчерской службы (ДДС) здания, сооружения при регистрации нарушении нормальной эксплуатации и предаварийном изменении состояния несущих конструкций;
  - программы и методики и испытаний системы мониторинга;
  - регламенты работ периодического (внеочередного) мониторинга.

### ***Научно-техническое сопровождение создания систем мониторинга состояния несущих конструкций в ходе строительно-монтажных работ***

Основными работами научно-технического сопровождения создания систем мониторинга в ходе строительно-монтажных работ являются:

- периодический мониторинг возводимых несущих конструкций:
  - визуальное обследование;
  - инструментальные наблюдения:
    - за изменением состояния грунтов, уровней, составом, направлением и скоростями движения подземных вод, изменением температурных полей с использованием серии скважин;
    - за осадками здания;

- геодезическая съемка положения несущих конструкций;
- оценка состояния возводимых несущих конструкций и выдача рекомендации по их укреплению (при необходимости);
- надзор за соблюдением технологического регламента установки датчиков и регистрирующих устройств системы мониторинга в процессе изготовления и монтажа строительных конструкций;
- надзор за реализацией проектных решений по системе мониторинга при возведении здания, сооружения.

Мониторинг на стадии выполнения строительных работ в грунтах и строительно-монтажных работ должен вестись в соответствии с нормативной документацией, регламентирующей эти виды деятельности.

### **Научно-техническое сопровождение работ по вводу в действие системы мониторинга состояния несущих конструкций**

Научно-техническое сопровождение по вводу в действие и настройке системы мониторинга должно включать следующие основные работы:

- обеспечение адекватности компьютерной модели объекта построенному зданию, сооружению;
- разработка паспорта мониторинга для СМИК построенного здания, сооружения по компьютерной модели объекта для определенных сочетаний нагрузок, воздействий;
- тестирование категорий состояния несущих конструкции в соответствии с "Методикой оценки и сертификации инженерной безопасности зданий и сооружений" (или другой аттестованной установленным порядком) по компьютерной модели объекта адекватной построенному зданию, сооружению;
- идентификация интегральных характеристик (собственных частот, других измеряемых параметров несущих конструкций здания) системой

мониторинга в ходе предварительных испытаний СМИК здания, сооружения;

- настройка программного комплекса СМИК в соответствии с паспортом мониторинга;

- разработка регламента работ периодического (внеочередного) мониторинга на стадии эксплуатации на основании данных геомониторинга, компьютерного моделирования и обследования здания, сооружения;

- участие в приемо-сдаточных испытаниях системы мониторинга.

Обеспечение адекватности разработанной на стадии проектирования компьютерной модели объекта построенному зданию, сооружению должна осуществляться впутем проведения экспериментов описанных выше.

На основании данных моделирования на адекватной компьютерной модели объекта уточняется паспорт мониторинга для построенного здания, сооружения.

На основании паспорта мониторинга производится настройка программного комплекса СМИК.

## **Глава 3 Анализ методов и средств мониторинга технического состояния конструкций сооружений**

### **3.1 Автоматизированный мониторинг технического состояния конструкций сооружений в непрерывном режиме**

Мониторинг технического состояния конструкций зданий и сооружений в настоящее время может осуществляться в периодическом или непрерывном автоматизированном режиме. Для современного промышленного и гражданского строительства характерны разработка и внедрение в практику разнообразных систем мониторинга конструкций зданий и сооружений, основанных на использовании традиционных методов контроля (геодезический мониторинг) или применении новых передовых технологий, таких как, например, волоконно-оптические измерительные системы или GPS-измерения.

Автоматизированный мониторинг в непрерывном режиме основан на использовании постоянно действующих автоматизированных систем контроля технического состояния конструкций объекта. Данные системы наряду с другими системами контроля инженерных систем объекта (тепло и водоснабжения, пожарной безопасности, климатических условий и т.п.) функционирует в автоматическом режиме с выводом информации на централизованные диспетчерские пункты в соответствии с концепцией так называемого «умного дома». Исходная информация о состоянии объекта при помощи преобразователей различного типа (линейных и угловых перемещений, усилий, напряжений и т.д.) непрерывно собирается на компьютеризированных измерительных приборах в пределах локальных зон. Далее, по локальным компьютерным сетям информация поступает и обрабатывается в централизованном диспетчерском пункте.

Стоимость существующих на сегодняшний день систем непрерывного автоматизированного мониторинга достаточно высока и сопоставима со стоимостью других инженерных систем сооружения, поэтому на стадии проектирования подобные системы разрабатываются в основном для сооружений повышенной ответственности. Устройство такого рода систем экономически и технически целесообразно производить на стадии строительства объектов. Для уже эксплуатируемых объектов устройство подобных систем связано с рядом проблем, а именно:

- высокая стоимость установки автоматизированной системы после возведения объекта;
- трудность доступа к несущим конструкциям для установки первичных преобразователей измерительных приборов;
- трудоемкость устройства единой сети получения информации, необходимость устройства специальных каналов для прохода кабелей и подготовки помещения для их диспетчерского контроля.

Основные проблемы оценки технического состояния конструкций сооружений при непрерывной автоматизированной системе мониторинга:

- обеспечение достоверности информации о реальном техническом состоянии объекта при контроле с помощью выбранного набора параметров и числа точек измерений;
- техническая сложность обработки и трактовки результатов;
- необходимость обязательного периодического проведения проверочных расчетов в соответствии с требованиями нормативной литературы.

Разработка универсальной методики непрерывного автоматизированного мониторинга технического состояния широкого спектра зданий и сооружений на сегодняшний день далека от завершения и является комплексной научно-технической задачей, охватывающей различные научные и методические аспекты.



### **3.1.1 Периодический мониторинг технического состояния конструкций сооружений**

Периодический мониторинг, проводящийся по установленному графику, представляет собой специализированное обследование, повторяемое по заранее запланированной программе, основной задачей которого является выявление изменений технического состояния конструкций сооружения с помощью визуального и инструментального контроля ряда параметров сооружения, который может проводиться, в том числе, и с элементами автоматизации. Периодический мониторинг, в целом, является на сегодняшний день менее затратным мероприятием, чем автоматизированный мониторинг, но его методика в силу уже перечисленных выше причин также не является отработанной и нормированной в соответствующих нормативных документах. По этой причине к преимуществам периодического мониторинга следует отнести наличие в его составе достаточного объема работ по визуальному контролю состояния объекта, осуществляемого с наибольшей надежностью, обеспечиваемой непосредственным присутствием специалистов.

В настоящее время развитие инструментальной базы и средств измерений, возможность цифровой обработки результатов и автоматической передачи данных в компьютеры предоставляет возможность выбора разнообразных методов и средств мониторинга, общие характеристики наиболее распространенных из которых приведены в таблице 3.1.

Для получения объективной информации о влиянии неравномерных деформаций основания на техническое состояние конструкций сооружения необходимо выполнять периодический стандартный набор работ по

обследованию, соответствующий для разнообразных строительных объектов требованиям. Данный метод ведения наблюдений не рассматривается как альтернативный, а является основополагающим и обязательным элементом общей системы мониторинга. Таким образом, процедуры обследования и мониторинга существуют в неразрывной связи и являются взаимодополняющими элементами системы контроля технического состояния конструкций объектов.

С целью выбора дополнительного эффективного метода, непосредственно контролирующего влияние дополнительных деформационных воздействий на НДС конструкций сооружения (контроль деформаций, напряжений в элементах конструкций, частот колебаний) на всех этапах его мониторинга, необходимо выявить основные особенности методов, рассмотренных в таблице 3.1.

Данные методы можно условно разделить на две группы:

- локальные методы – контроль осуществляется выборочно на конструкциях сооружения с использованием технических средств измерений;
- дистанционные методы – определение изменения основных прочностных характеристик конструкций с помощью динамических методов, контроль геометрических параметров объекта с помощью геодезических методов.

Таблица 3.1 - Методы мониторинга технического состояния конструкций сооружений

<b>1. Обследование технического состояния конструкций</b>		
<i>Средства</i>	<i>Назначение</i>	<i>Особенности</i>
визуальное обследование – выявление участков повреждений конструкций инструментальные измерения – измерения локальных деформаций конструкций, определение величин раскрытия трещин,	оценка технического состояния конструкций на определенном этапе эксплуатации определение возможности восприятия конструкциями дополнительных нагрузок	поэтапное и детальное проведение наблюдений с целью получения наиболее полной информации о техническом состоянии конструкций объекта

контроль свойств конструкционных материалов обмерочные работы – определение изменения геометрических параметров объектов и несущих элементов, влияющих на изменение их НДС проверочные расчеты строительных конструкций	и деформаций при возникновении какого-либо дополнительного воздействия	
<b>2. Определение величин нагрузок, напряжений и деформаций в конструкциях с помощью технических средств измерений</b>		
<i>Средства</i>	<i>Назначение</i>	<i>Особенности</i>
инструменты для измерения деформаций, перемещений (прогибомеры, мессуры, электромеханические измерители перемещений, тензометры, инклинометры, наклонометры, экстензометры, сдвигомеры, отвесы) датчики нагрузок, напряжений, деформаций (вибрационные датчики, тензорезисторы, волоконно-оптические, акустические датчики)	определение нагрузок, напряжений и деформаций конструкций зданий и сооружений в локальных местах	возможность объединения электрических датчиков в общую систему контроля состояния конструкций в автоматическом режиме и ведения непрерывного мониторинга для получения динамики развития деформационных процессов
<b>3. Динамические методы</b>		
<i>Средства</i>	<i>Назначение</i>	<i>Особенности</i>
искусственное возбуждение колебаний (удары, вибраторы) средства измерений (деформографы, наклонометры, сейсмометры, акселерометры)	получение информации об изменениях динамических параметров конструкций сооружений (период и логарифмический декремент затухания, основной тон колебаний, анализ изменения передаточных функций регистрации волновых полей), указывающих на изменение НДС конструкций	схемы наблюдений могут быть достаточно простыми, вплоть до одной точки
<b>4. Геодезические методы</b>		
<i>Средства</i>	<i>Назначение</i>	<i>Особенности</i>
традиционные измерения вертикальных и горизонтальных перемещений (нивелирование, тахеометрия) стерео- и фотограмметрия	дистанционное определение перемещений конструкций объекта (измерение осадок, кренов, прогибов)	получаемые данные соответствуют состоянию объектов на момент измерений

лазерное сканирование GPS – измерения (спутниковые системы глобального позиционирования)		
--	--	--

### **3.1.2. Технические средства мониторинга нагрузок, напряжений и деформаций в конструкциях сооружений**

Мониторинг технического состояния конструкций, а именно оценку изменения их несущей способности можно производить путем измерения действующих нагрузок на конструкции, компонентов относительных деформаций и перемещений элементов, соответствующих изменению внутренних усилий и напряжений в их сечениях. Для этих целей используются технические средства измерений (приборы, измерительные преобразователи), характеризующиеся набором контролируемых параметров, диапазоном, точностью измерений, чувствительностью, принципом действия и т.д. В таблице 2 приведены основные виды приборов и датчиков для решения различных задач мониторинга.

Принципы проектирования и эксплуатации систем мониторинга конструкций и оснований высотных зданий с использованием различных технических средств (датчиков, измерителей, регистраторов) отражены в работах Айме К.А., Ламперти Р., Николаева С.В., Сухина В.В. и др.

К основным преимуществам использования механических приборов измерения деформаций и перемещений в конструкциях сооружений, таких, например, как инклинометры, прогибомеры и др. можно отнести:

- надежность и точность измерений, широкий измерительный диапазон;
- автономность электрического питания при использовании приборов для одновременных испытаний;
- быстрота установки в местах измерений,

к недостаткам:

- трудоемкость измерения большого количества параметров в ручном режиме с последовательным обходом точек контроля;
- сложность проведения повторных измерений в контролируемых точках при необходимости точной установки приборов.

Таблица 3.2 - Технические средства мониторинга

<i>Измеритель</i>	<i>Виды</i>	<i>Применение</i>
Динамометры (стационарные, переносные)	Пружинные, гидравлические, электрические	Измерение интенсивности нагрузки
Прогибомеры	Прогибомер Максимова, Емельянова, Аистова.	Измерение деформаций и перемещений
Индикаторы (мессуры)	-	Измерение небольших по абсолютной величине перемещений
Электромеханические измерители перемещений	Пассивные Активные (сельсины)	Измерение и преобразование механических перемещений в электрический сигнал.
Клинометры	Способ жесткого рычага С уровнем С отвесом - маятником Оптический	Измерение малых угловых перемещений элементов
Тензометры	Механические Электрические (Аистова) Струнные Тензорезисторные	Измерения линейных деформаций поверхностных волокон элементов конструкций. Тензометрические датчики контролируют возникновение и рост механического напряжения в стальных и железобетонных элементах сооружений
Сдвигомеры	Тезометр-сдвигомер Аистова	Измерение деформаций сдвига
Отвесы	Прямой, обратный	Определение взаимных горизонтальных смещений точек сооружения, расположенных на одной вертикали.
Инклинометры и наклонометры (стационарные, переносные)	Поверхностные, встраиваемые Маятниковые системы С цифровой индикацией	Системы для контроля смещений и деформаций различных объектов, определение ротационных движений стенок

		конструкций
Экстенсометры	Одинарные и многоточечные Датчики осадки	Система мониторинга общей и дифференциальной осадки фундаментов, предназначена для долговременного контроля за поведением зданий
Датчики напряжений	Датчики нагрузки бетона Анкерные датчики	Мониторинг нагрузок в строительных конструкциях, мониторинг вертикальных или горизонтальных нагрузок на опорные элементы сооружения.
Гидравлические датчики нагрузки	Анкерные датчики электрогидравлические, тензометрические	Мониторинг подпорок, ж.б. колонн- надставок, анкерных стоек и стальных колонн- надставок
Измерители трещин и стыков	Одноосные и трехкомпонентные	Электронные измерители деформаций для мониторинга раскрытия трещин, открытых стыков в сооружениях, определения смещения отдельных элементов

На сегодняшний день в системы мониторинга строительных объектов внедряют электромеханические и электрические средства контроля и диагностики технического состояния конструкций, основанные на использовании чувствительных элементов, называемых первичными преобразователями, работа которых может быть основана на различных физических принципах. Такие средства мониторинга подразумевают периодическое или непрерывное наблюдение за состоянием конструкций, автоматизированную передачу, обработку и хранение полученной информации в электронном виде с дальнейшим ее накоплением в базе данных ЭВМ. Системы таких устройств получили название информационно- измерительные средства (ИИС).

Основными преимуществами использования ИИС являются:

- возможность регистрации информации цифровыми накопителями и представления результатов измерений в цифровом виде;

- возможность обработки данных сотен приборов, хранение в памяти накопителя большого объема информации;
- возможность автоматизированного анализа полученных величин, установки порога тревоги, передачи информации на отдаленные центры, управляющие сетью приборов;
- отсутствие возможности накопления ошибок оператора при автоматизированных наблюдениях.

*Тензометрические преобразователи* – измерительные преобразователи деформации твердого тела, вызываемой механическими напряжениями, в электрический сигнал, предназначенный для последующей обработки. Бывают металлические (проволочные, фольговые, пленочные) и полупроводниковые (пластинчатые). С помощью тензорезисторов работа конструкции исследуется в области упругих деформаций. В основе принципа работы тензорезисторов лежит явление тензоэффекта, заключающееся в изменении электрического сопротивления проводящего материала при его механической деформации. Преобразование измеряемой деформации в изменение электрического сопротивления происходит в тензорезисторе вследствие наличия тензорезистивного эффекта в проводниковых и полупроводниковых материалах. Тензорезисторы позволяют обнаружить незаметные деформации в конструкциях, измерение которых позволяет получить значение механического напряжения от приложенной к объекту нагрузки. Тензорезисторы могут быть применены к конструкциям различных форм и из различных материалов для измерения различных типов напряжений, от статического до динамического. Тензорезисторы используются как чувствительные элементы для датчиков силы, давления, ускорения, перемещения и крутящего момента.

*Акустические пьезопреобразователи* – чувствительные элементы со спектральным анализом сигналов от волн напряжений в конструкциях,

находящихся под нагрузкой, основанные на измерениях ряда акустических параметров строительных материалов, соединенные в искусственную сеть. Установка таких систем возможна внутри конструкции при строительстве или на поверхности конструкции в период эксплуатации.

*Волоконно-оптические датчики* (ВОД) предназначены для контроля деформаций (перемещений) в элементах строительных конструкций. В основе действия лежит зависимость коэффициента отражения света в сенсорном элементе, жестко связанном с контролируемым объектом, от величины деформации этого объекта. ВОД, объединенные в единую систему контроля, могут быть также использованы для наблюдения за нагрузками, вибрациями, температурой, влажностью конструкций и др. Первые попытки создания датчиков на основе оптических волокон и публикации о разработках и экспериментальных образцах подобных датчиков относятся к середине 1970-х годов. Однако считается, что этот тип датчиков сформировался как одно из направлений техники только в начале 1980-х годов, в это же время появился термин "волоконно-оптические датчики" (optical fibers sensors).

Использование данного вида систем диагностирования строительных конструкций применяется специалистами научно-исследовательской лаборатории НИиППЛ «ПиК» МГСУ, ЗАО «Новые технологии», ЗАО «Мониторинг-центр» и др. Российские исследования систем мониторинга строительных объектов на базе волоконно-оптических датчиков, теоретические и практические аспекты их применения отражены в работах Егорова Ф.А., Неугодникова А.П., Рубцова И.В. и др.. Использование автоматизированных систем мониторинга на основе волоконно-оптических преобразователей является довольно затратным мероприятием в силу необходимости создания стационарных сетей волоконно-оптических кабелей в пределах сооружения для передачи информации в



централизованные пункты ее обработки, а также сложности систем трактовки и анализа получаемой информации. Также к недостаткам использования ВОД в рамках решения поставленной задачи можно отнести:

- необходимость подготовки поверхности конструкции для установки датчиков (зачистка, наклейка датчиков и т.д.);
- сложность определения положения датчиков контроля по отношению к направлению действия максимальных напряжений и деформаций;
- невозможность оценки напряжений в глубинных слоях в случае их использования для эксплуатируемых конструкций;
- отсутствие единой метрологической базы для сертификации и поверки датчиков;
- неоднозначность требований и методического подхода к разрабатываемым средствам контроля;
- необходимость проведения экспериментальных исследований, построения градуировочных графиков на основе испытаний предварительно изготовленных образцов с целью накопления статистических данных;
- чувствительность к изменениям температуры и неуверенность в надежности результатов измерений при экстремальных условиях эксплуатации измерительных систем.

*Молекулярно-электронные датчики* – стационарные датчики пространственно-временного анализа. Позволяют с высокой точностью фиксировать качественно и количественно смещения, колебания, нормальную и тангенциальную деформацию, коррозионные изменения и т.д.

### **3.1.3. Динамические методы мониторинга технического состояния конструкций сооружений**

Природные чрезвычайные ситуации в Республике Беларусь происходят довольно редко, однако наносят, как правило, значительный ущерб. В последние годы территория Республики Беларусь регулярно оказывается под действием циклонов («Хавьер» (2013 г.), «Даниэлла» и «Эмма» (2016 г.), «Аксель» (2017 г.)), приводящих к значительному увеличению снежного покрова за довольно короткий промежуток времени и, как следствие, к разрушению кровель и покрытий зданий и сооружений.

По данным Республиканского центра управления и реагирования на чрезвычайные ситуации МЧС Республики Беларусь, за последние 10 лет в Республике Беларусь произошло 130 обрушений кровли по причинам, связанным с увеличением нагрузки снежного покрова: 58 % обрушений пришлось на сельскохозяйственные здания, 28 % – на жилые дома и хозпостройки, 6 % – на гаражи и навесы, 5 % – на складские здания, по 2 % – на общественные и производственные объекты.

Не обходится без подобных чрезвычайных ситуаций и за рубежом. Так, в январе 2006 года произошло обрушение крыши ледового катка в Германии, произошедшего вследствие обильного снегопада и неверной оценки количества снега на крыше [1].

25 января 2011 года в магазине «Окей» в спальном Выборгском районе Санкт-Петербурга произошло обрушение более полутора тысяч квадратных метров кровли, в результате которого один человек погиб и 13 были ранены.

Однако наиболее трагический случай произошел 28 января 2006 года. Трагедия, унесшая жизни 65 человек, была связана с обрушением крыши торгового зала в г.Катовица, Польша. По данным следствия, причинами явились ошибки в проектировании (недостаточная несущая способность

ферм покрытия и возникновение значительных горизонтальных сил, приведших к потере устойчивости колонн), а также превышение расчетного значения снеговой нагрузки вследствие обильного снегопада [2, 3].

Обрушение во всех случаях происходит ввиду недостаточной прочности конструктивных элементов относительно действующей в рассматриваемый момент времени нагрузки либо воздействия. Поэтому можно выделить следующие основные причины обрушений:

- не корректный учет возможной нагрузки (воздействий) при расчете и проектировании конструктивных элементов, которые будут действовать в течение проектного срока эксплуатации;

- ошибки при расчете, проектировании и возведении конструктивных элементов, в том числе при назначении надежностных параметров, рассчитанных на проектный срок эксплуатации;

- внесение изменений либо повреждение конструкций запроектными воздействиями в ходе эксплуатации либо ремонтных работ, в том числе при искусственном перемещении или перераспределении снега в ходе уборки;

- нарушение проектного срока эксплуатации, сроков ремонта конструкций, а также эксплуатационных требований, в том числе своевременной уборки снега с кровли;

- не корректный учет нагрузки (воздействий) в технических нормативных правовых актов (далее – ТНПА), вызванное либо изменением климатических условий в ходе проектного срока эксплуатации, либо изменением надежностных параметров, определяемых как способами проектирования, так и требованиями к эксплуатации и ремонту конструкций.

Очевидно, что в ходе проектирования, возведения и эксплуатации конструкций всегда присутствует человеческий фактор, а поэтому полностью избежать вышеперечисленных ошибок невозможно. Понимание

основных положений действующих ТНПА в области снеговых воздействий, надежности параметров и проектного срока эксплуатации конструкций, а также особенностей поведения конструкций при повышенных нагрузках является ключом к предотвращению чрезвычайных ситуаций, в том числе их неконтролируемого (прогрессирующего) развития.

В Республике Беларусь нормативные значения снеговой нагрузки определяют в соответствии с положениями двух независимых документов – либо СНиП 2.01.07, либо ТКП EN 1991-1-3 (совместно с ТКП EN 1990 и прочими взаимосвязанными документами) [4-6]. Это обусловлено тем, что с 2010 года в нашей стране допускается альтернативное проектирование конструкций зданий и сооружений – либо по комплексу устоявшихся «отечественных» ТНПА, разработанных преимущественно во времена существования СССР (применяется только для легких железобетонных, стальных конструкций); либо по комплексу так называемых «Еврокодов», разработанных техническим комитетом по стандартизации CEN/TC 250 «Еврокоды конструкций» (применяется для любых видов конструкций); либо по белорусским ТНПА в области проектирования конкретных видов конструкций, сочетающих в себе одновременно советскую школу проектирования конструкций и надежные подходы «Еврокодов» (применяется для бетонных, железобетонных, каменных, армокаменных и деревянных конструкций).

В соответствии с положениями СНиП 2.01.07 [4], в зависимости от продолжительности действия нагрузок следует различать постоянные и временные (длительные, кратковременные, особые) нагрузки. Длительность действия нагрузки в ходе проектного срока эксплуатации определяет надежные подходы к их учету для корректного назначения прочности и жесткости строительных конструкций и как результат – надежную их эксплуатацию в ходе проектного срока.

Снеговые нагрузки согласно СНиП 2.01.07 [4] принято относить к временным нагрузкам, в зависимости от расчетной ситуации – к длительным либо кратковременным, в соответствии с нормативным районированием. Следует учитывать, что с 2004 года на территории Республики Беларусь было введено собственное, отличное от советских норм, районирование по весу снегового покрова, предполагающего только два района: IB ( $80 \text{ кг/м}^2$ ) и IIB ( $120 \text{ кг/м}^2$ ) (рисунок 1). По сравнению с советскими нормами [4, 7, 8], с одной стороны, нормативное значение снегового покрова было значительно увеличено (ранее – I ( $50 \text{ кг/м}^2$ ), II ( $70 \text{ кг/м}^2$ ) и III ( $100 \text{ кг/м}^2$ )), а с другой стороны, фактически исключено нормирование длительно действующей части снеговой нагрузки для снеговых районов III-V (ранее длительно действующая временная нагрузка составляла для III района (северно-восточная и восточная часть могилевской и гомельской областей) 0,3 от полного нормативного значения). Таким образом, для зданий, спроектированных согласно положениям СНиП 2.01.07 [4] в 2004 и более поздних годах, снеговая нагрузка учитывалась только как временная кратковременная нагрузка с нормативными значениями в 1,7...2,4 раза большими, чем в предыдущие года.

Важно также учитывать, что нормативное значение веса снегового покрова не является прямой величиной, используемой в расчетах несущей способности (прочности и жесткости) конструкций покрытий. В соответствии с п.5.1 СНиП 2.01.07 [4], полное нормативное значение снеговой нагрузки на горизонтальную проекцию покрытия  $s$  следует определять по формуле (1) с последующим переводом в расчетное значение путем умножения на коэффициент надежности по нагрузке  $\gamma_f$ .

$$s = S_0 \mu, (1)$$

где  $S_0$  – нормативное значение веса снегового покрова на  $1 \text{ м}^2$  горизонтальной поверхности земли, принимаемое в соответствии с картой

районирования (рисунок 3.1),  $\mu$  – коэффициент перехода от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие, принимаемый в соответствии с профилями покрытий и нормативными схемами снеговых нагрузок, средней скоростью ветра.

**Карта 1\* – Районирование территории Республики Беларусь по весу снегового покрова**



————— Граница районов с различным весом снегового покрова.

**Рисунок 3.1 – Районирование территории Республики Беларусь по весу снегового покрова с 2004 года согласно изменению к СНиП 2.01.07 [7]**

Коэффициент перехода от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие  $\mu$  может принимать различные значения в диапазоне от 0 до:

- 3,0 – для покрытий с парапетами;
- 4,0 – для покрытий зданий с перепадом высот;
- 6,0 – для навесов с перепадом высот относительно основного здания.

Максимальные значения, как правило, принимаются локально (с последующим линейным снижением в сторону плоской части кровли с

коэффициентом  $\mu = 1,0$ ), и соответственно, имеют название «зона снеговых мешков».

Коэффициент надежности по нагрузке  $\gamma_f$  для снеговой нагрузки в соответствии с положениями СНиП 2.01.07 [4, 7] принимается равным 1,5...1,6 – для расчетов по несущей способности (на прочность и устойчивость – первая группа предельных состояний), и 1,0 – для расчетов по эксплуатационной пригодности (по деформациям, на выносливость – вторая группа предельных состояний) и в условиях пожара, а также других особых воздействий. Важно понимать, что для расчетов по эксплуатационной пригодности и в условиях пожара, а также других особых воздействий с точки зрения надежных подходов кратковременные нагрузки не учитываются, а учитывается только длительно действующие нагрузки.

Таким образом, при проектировании покрытий на территории Республики Беларусь в соответствии с положениями СНиП 2.01.07 [4, 7, 8], в расчетах по несущей способности вес снегового покрова без учета понижающих коэффициентов, вызванных ветровым сдуванием и сдвигом под действием силы тяжести и прочих равных условиях, составит – минимум (максимум):

– до 2004 года – до 80(160) кг/м<sup>2</sup> в плоской части кровель и до 240(480)...480(960) кг/м<sup>2</sup> в «зоне снеговых мешков»;

– с 2004 года и позднее – до 128(192) кг/м<sup>2</sup> в плоской части кровель и до 384(576)...768(1152) кг/м<sup>2</sup> в «зоне снеговых мешков».

В соответствии с положениями ТКП EN 1990, ТКП EN 1991-1-3 [5, 6], снеговые нагрузки следует классифицировать как переменные, стационарные воздействия. Предусматривается также рассмотрение снеговых нагрузок в качестве особой (чрезвычайной) расчетной ситуации, однако национальное приложение, действующее на территории Республики Беларусь, не допускает (не предполагает) учитывать такие ситуации: «На

территории Республики Беларусь нет чрезвычайных снеговых заносов, подразумеваемых настоящим пунктом, поэтому настоящий пункт не применяется на территории Республики Беларусь».

В целом, подход по оценке снеговых нагрузок в соответствии с ТКП EN 1990, ТКП EN 1991-1-3 [5, 6] аналогичен СНиП 2.01.07 [4], однако имеет свои особенности. Так, например, учет длительности действия снеговой нагрузки производится в зависимости от вида расчетной ситуации и осуществляется посредством умножения нормативных значений на коэффициенты:

$\psi_0$  – коэффициент, учитывающий комбинационное значение временного воздействия (на территории Республики Беларусь принимается равным 0,6);

$\psi_1$  – коэффициент, учитывающий частоту повторения временного воздействия (на территории Республики Беларусь принимается равным 0,5);

$\psi_2$  – коэффициент, учитывающий практически постоянное значение временного воздействия (на территории Республики Беларусь принимается равным 0,0).

Учет коэффициентов  $\psi_i$  является основой надежностных подходов в «Еврокодах» и в некотором плане является более подробным, но статистически выверенным способом оценки длительности действия воздействий в ходе проектного срока эксплуатации. Важно также понимать, что согласно положений ТКП EN 1990 [6], для снеговой нагрузки в обязательном порядке проверяется прочность конструкций в ведущем сочетании, т.е. без коэффициентов  $\psi_i$ .

В соответствии с Национальным приложением к ТКП EN 1991-1-3 [5], районирование территории Республики Беларусь по снеговой нагрузке принимается отличным от положений СНиП 2.01.07 [4, 7] (рисунок 2). При этом в соответствии с Изменением № 2 к ТКП EN 1991-1-3 [9], значения



снеговой нагрузки следует уточнить по таблице НП.1.1 (ВУ) в зависимости от высоты местности над уровнем моря. Например, г. Минск находится в районе 2В с номинальным значением снеговой нагрузки 1,45 кПа, учитывая, что высота над уровнем моря г. Минска составляет в среднем 220 м, уточненная снеговая нагрузка составит 1,51 кПа. Уточненное значение снеговой нагрузки для более низких отметок может уменьшаться, при этом нижний предел ограничен значением 1,0 кПа.

Нормативное значение снеговой нагрузки на горизонтальную проекцию покрытия  $s$  в соответствии с положениями ТКП EN 1991-1-3 [5, 9] следует определять по формуле (2)

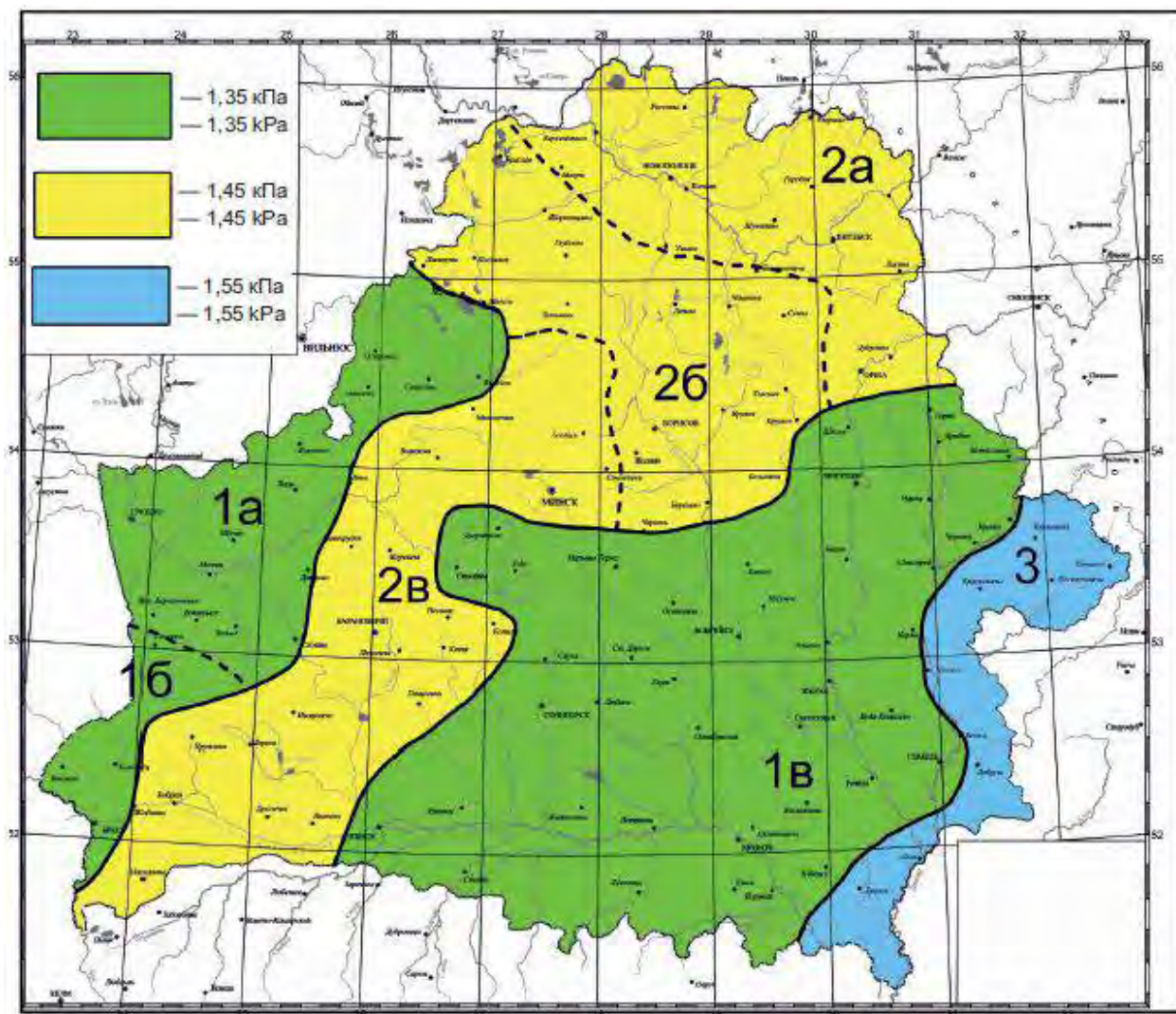
$$s = \mu_i C_e C_t s_k, (1)$$

где  $\mu_i$  – коэффициент формы снеговых нагрузок;  $s_k$  – характеристическое (нормативное) значение снеговых нагрузок на грунт;  $C_e$  – коэффициент окружающей среды (принимается равным 0,8 для обдуваемых ветром кровель и 1,0 – для закрытых от ветра кровель);  $C_t$  – температурный коэффициент (принимается равным 0,8 для покрытий с повышенной теплопередачей, способствующей таянию снега (например, стеклянные покрытия), и равным 1,0 – для остальных кровель).

Коэффициент перехода от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие  $\mu_i$  может принимать различные значения в диапазоне от 0 до:

- 2,0 – для покрытий с парапетами;
- 2,9 – для покрытий зданий с перепадом высот.

Как и для СНиП 2.01.07 [4, 7], максимальные значения принимаются только в зоне «снеговых мешков», с последующим линейным снижением в сторону плоской части кровли с коэффициентом  $\mu = 0,8$  (в СНиП 2.01.07 – к 1,0).



**Рисунок 4.2 – Районирование территории Республики Беларусь по весу снегового покрова согласно Национальному Приложению к ТКП EN 1991-1-3 [5, 9]**

Коэффициент надежности по нагрузке  $\gamma_Q$  для снеговой нагрузки в соответствии с положениями ТКП EN 1990 [6] принимается равным 1,5 – для расчетов по несущей способности (на прочность и устойчивость – первая группа предельных состояний), и 1,0 – для расчетов по эксплуатационной пригодности (по деформациям, на выносливость – вторая группа предельных состояний) и в условиях пожара, а также других особых воздействий. Для расчетов по эксплуатационной пригодности и в условиях пожара, а также других особых воздействий с точки зрения надежных подходов учитывается только длительно действующие нагрузки посредством введения коэффициентов  $\psi_1$  либо  $\psi_2$ .

Таким образом, при проектировании покрытий на территории Республики Беларусь в соответствии с положениями ТКП EN 1990, ТКП EN 1991-1-3 [5, 6, 9], в расчетах по несущей способности вес снегового покрова без учета понижающих коэффициентов, вызванных ветровым сдуванием и сдвигом под действием силы тяжести и прочих равных условиях, составит – минимум (максимум):

– до 120(255) кг/м<sup>2</sup> в плоской части кровель и до 300(640)...435(926) кг/м<sup>2</sup> в «зоне снеговых мешков» (максимальное значение условно приведено для наивысшей точки Беларуси – гора Дзержинская, 345 м над уровнем моря).

Сопоставив предельные значения, полученные по ТКП EN 1991-1-3 [5, 9] и СНиП 2.01.07 [4, 7], можно сделать вывод о том, что при проектировании согласно положений ТКП EN 1991-1-3 нагрузка принимает, как правило, большие значения в плоской части кровель и несколько меньшие значения для «зон снеговых мешков» (особенно для навесов).

Примечательным является факт, что достаточно подробные указания по определению снеговой нагрузки в соответствии со СНиП 2.01.07 [4, 7] не содержат никаких рекомендаций по эксплуатации кровель, а именно – какую предельную величину снегового покрова допускается сохранять без последующей уборки. В этом плане положения ТКП EN 1991-1-3 [5, 9] также не содержат конкретных рекомендаций по эксплуатации, но в Приложении Е приведены значения удельного веса снега (таблица 3.1).

Согласно требованиям технических нормативных правовых актов [10, 11], при эксплуатации зданий крыши должны очищаться от снега, не допускается образование снегового покрова толщиной более 30 см, (при оттепелях, если наблюдается обледенение свесов и водоотводящих устройств, снег должен сбрасываться и при меньшей толщине снегового покрова). Это соответствует нагрузке в 60 кг/м<sup>2</sup> для осевшего снега (через

несколько часов или суток после выпадения), либо  $120 \text{ кг/м}^2$  для влажного снега. Очевидно, что несущая способность покрытий в большинстве случаев будет достаточной для восприятия указанной нагрузки и сам процесс уборки снега не будет представлять большой опасности. При этом необходимо с предельной осторожностью производить уборку влажного снега для старых зданий южных районов Республики Беларусь, т.к. несущей способности покрытия может быть недостаточно, тем более с учетом накопления усталостных повреждений в конструкциях и наличием дополнительной нагрузки от людей, убирающих снег. Следует также ограничивать локальное увеличение снеговой нагрузки при искусственном перемещении или перераспределении снега в процессе уборки. В случае отсутствия в штате организации, эксплуатирующей здание, соответствующих специалистов, реализация требований по контролю нормативных нагрузок на кровлю здания [10, 11] видится довольно проблематичной.

**Таблица 3.1. – Удельный вес снега**

Вид снега	Удельный вес, кН/м <sup>3</sup> *
Свежий	1,0
Осевший (через несколько часов или суток после выпадения)	2,0
Старый (через несколько недель после выпадения)	2,5 – 3,5
Влажный	4,0

*Примечание: \* – соответствует весу в кг 1 см слоя снега.*

Надзорные органы МЧС и Минздрава Республики Беларусь осуществляют проверки соблюдения законодательства в части эксплуатации кровель, качество их очистки от снега и наледи. Результатом данной работы зачастую становится приостановка эксплуатации объектов. К примеру, в январе 2016 года после циклона «Даниэлла» в г. Минске была приостановлена работа 6 объектов.

Очевидно, что недостаточная прочность и жесткость конструкций не всегда может быть выявлена визуально. В этом плане поведение конструкций при повышенных нагрузках и предотвращение значительной части чрезвычайных ситуаций возможно путем контроля основных деформаций (прогибов, перемещений, в т.ч. вибрации) и их сопоставления с критическими величинами. Следует отметить, что это актуально для конструкций, не имеющих склонности к хрупкому (быстрому) разрушению. Учитывая, что нормальное проектирование конструкций не допускает возможности хрупкого разрушения, указанный подход является вполне оправданным.

Эксплуатационная пригодность конструкций определяется допустимыми критическими деформациями исходя из следующих предпосылок ТКП EN 1990 [6]:

- внешний вид строительного объекта;
- комфорт пользователя;
- функционирование конструкций (включая функционирование оборудования, инженерных сетей и обслуживающего персонала), или которые вызывают повреждения отделочных слоев или неконструктивных элементов.

Интересным является факт, что конкретные значения деформаций приведены только в «Еврокодах» по проектированию железобетонных конструкций ТКП EN 1992-1-1 [12] ( $1/250$  расчетного пролета исходя из требований к внешнему виду, либо  $1/500$  расчетного пролета если могут быть повреждены смежные части конструкции) и деревянных конструкций ТКП EN 1995-1-1 [13] ( $1/250$  расчетного пролета), в то время как ТКП EN 1993-1-1 [14], регламентирующем проектирование стальных конструкций предполагается определить указанные значения в национальном приложении (хотя в национальном приложении для Республики Беларусь не определены). Кроме того, в «Еврокодах» имеется

ссылка на международный стандарт ISO 4356 [15], в котором изложены основные подходы к оценке критических деформаций и критические значения для элементов покрытий предполагается выбирать в диапазоне от 1/250 до 1/125 пролета в общем случае, 1/300 пролета для обеспечения устойчивости либо исключения повреждений опорных участков, и 10...15 мм при наличии перегородок снизу.

Перечисленные предпосылки во многом перекликаются с требованиями СНиП 2.01.07 [16], в котором деформации классифицируют исходя из следующих причин:

- технологических (обеспечение условий нормальной эксплуатации технологического и подъемно-транспортного оборудования, контрольно-измерительных приборов и т. д.);

- конструктивных (обеспечение целостности примыкающих друг к другу элементов конструкций и их стыков, обеспечение заданных уклонов);

- физиологических (предотвращение вредных воздействий и ощущений дискомфорта при колебаниях);

- эстетико-психологических (обеспечение благоприятных впечатлений от внешнего вида конструкций, предотвращение ощущения опасности).

Критические значения деформаций в СНиП 2.01.07 [16] для эстетико-психологических требований составляют от 1/300 до 1/120 расчетного значения пролета в зависимости от величины пролета (1/300 для пролета более 36 м), при наличии элементов, подверженных растрескиванию (стяжек, полов, перегородок) – 1/150 расчетного пролета. В соответствии с п.6 Приложения 6 СНиП 2.01.07 [16] «Прогиб элементов покрытий и перекрытий, ограниченный исходя из конструктивных требований, не должен превышать расстояния (зазора) между нижней поверхностью этих

элементов и верхом перегородок, витражей, оконных и дверных коробок, расположенных под несущими элементами».

Очевидно, что конкретное значение критической деформации должно быть определено индивидуально для каждой конструкции, исходя из технологических, конструктивных, физиологических, а возможно и эстетико-психологических особенностей.

Динамические методы применяются для установления НДС конструкций при заданных динамических воздействиях, а также оценки схемы работы и состояния конструкций в режиме собственных и вынужденных колебаний. Динамические измерения основаны на сравнении волновых полей, и позволяют определять собственные частоты колебания конструкций и их изменения во времени с целью получения картины деформаций.

Методика динамического мониторинга НДС конструкций высотных зданий активно продвигается в настоящее время такими организациями как ГУП МНИИТЭП, ЦНИИЭП жилища и др., ее основные направления и технология реализации отражены в работах Гурьева В.В., Дорофеева В.М., Николаева С.В. и др.

В ГУП МНИИТЭП разработана технологии контроля периода и логарифмического декремента основного тона колебаний конструкций, а также методика динамического зондирования и ранней диагностики деформационного состояния конструкций, связанная с анализом передаточных функций для отдельных частей зданий и сооружений. Передаточная функция для части здания соответствует отношению компонентов спектров мощности сигналов, зарегистрированных в месте динамического воздействия и в месте приема отклика и характеризует НДС конструкций рассматриваемой части объекта. При динамических измерениях возможно выявление мест нарушения в конструктивных

связях, наблюдение особенностей совместной работы здания с грунтовым основанием.

Анализ возможностей контроля несущей способности конструкций сооружений при неравномерных деформациях основания с использованием динамических методов позволяет к преимуществам их применения отнести практически полную автоматизацию процесса мониторинга, а к недостаткам:

- невозможность выявления причин и степени опасности происходящих процессов на основании изменения динамических параметров объектов;

- отсутствие точной фиксации мест изменения НДС в конструкциях.

### **3.1.4. Геодезические методы контроля технического состояния конструкций сооружений**

Нормативное техническое состояние конструкций зданий и сооружений в значительной степени определяется неизменностью и стабильностью их геометрических параметров (пространственное положение, пролеты конструкций, прогибы, перемещения и т.д.). Контроль деформаций проблемного сооружения традиционно осуществляется путем определения развития в основном вертикальных осадок по контуру сооружения в уровне основания с помощью геометрического нивелирования. Неравномерные деформации основания во многих случаях носят сложный пространственный характер, вызывающий, в свою очередь, пространственные деформации всего объекта. Конфигурация, пространственная жесткость сооружения, различные физико-механические характеристики материалов, наличие дефектов, повреждений несущих элементов и т.д. влияют на перераспределение деформаций по всему объему сооружения и, как следствие, возникает разброс значений



перемещений в вертикальных и горизонтальных плоскостях, что необходимо учитывать для получения объективной картины изменения технического состояния конструкций. Учет только вертикальных осадок в уровне основания не отражает реальной картины пространственной деформации всего объекта и изменения НДС его конструкций. Это особенно важно при значительных габаритах объектов и большой этажности зданий, в условиях отсутствия доступа к части осадочных марок для проведения необходимого количества измерений при геометрическом нивелировании.

Таким образом, при неравномерных деформациях основания основными параметрами, которые должны контролироваться в ходе мониторинга, являются пространственные деформации сооружения - взаимные перемещения массива его характерных точек в нескольких уровнях по высоте и периметру объекта, которые объект испытывает в результате деформационного воздействия со стороны основания.

Традиционно пространственные перемещения сооружений определяются при помощи геодезических измерений с применением целого ряда различных геодезических методов, относящихся к дистанционным оптическим способам получения информации о техническом состоянии конструкций объектов. Наиболее распространенным на сегодняшний день является определение деформаций зданий и сооружений с использованием современной геодезической аппаратуры – дальномеров, теодолитов, нивелиров и т.д.

Техническое развитие приборной базы привело к появлению качественно новых геодезических приборов: электронных тахеометров, являющихся сочетанием классического теодолита с лазерным дальномером и позволяющих одновременно выполнять линейные и угловые измерения до точек, снабженными специальными отражательными марками. Наличие электронной памяти и интерфейса в комплектации всех современных

тахеометров и дальномеров позволяет накапливать и передавать зарегистрированную цифровую информацию в электронном виде в компьютер для последующей ее обработки с целью автоматизации процесса измерений.

В состав наблюдений за деформациями сооружений традиционно входит повторная планово-высотная съемка характерных точек с целью определения вертикальных и горизонтальных перемещений конструкций, кренов относительно точек прилегающей территории, а также мониторинг раскрытия трещин фасадов. Разности положения деформационных марок, полученные в результате каждого последующего цикла измерений, начиная с нулевого, позволяют судить о факте возникновения и динамики развития деформаций, скорости их изменения. К преимуществам применения традиционных геодезических методов в ходе мониторинге технического состояния конструкций сооружений относится их регламентированность нормами.

К менее распространенным методам дистанционных измерений осадок, смещений, кренов зданий относят фотограмметрические методы, используемые для определения взаимного положения объектов по фотоснимкам. Соединение фотоснимков в единое целое выполняется с использованием математических законов соответствия между объектом фотографирования и его изображением на снимке. В рассматриваются особенности цифровых измерительных систем, методы и технические средства получения цифровых фотограмметрических изображений (цифровые камеры, фотограмметрические сканеры, цифровые фотограмметрические рабочие станции).

В зависимости от способов съемки и обработки снимков условно выделяется классическая фотограмметрия и стереофотограмметрическая съемка. Стереофотограмметрия позволяет производить необходимые измерения по стереопарам аналитическими (с использованием

компьютеров), аналоговыми (с использованием стереофотограмметрических приборов) и цифровыми методами обработки изображений.

Также к нетрадиционным методам геодезического контроля геометрических характеристик сооружения относится *лазерное сканирование* - современный аналог фотограмметрического метода измерений. Результатом сканирования является трехмерная модель сооружения в виде множества (нескольких миллионов) точек, каждая из которых имеет свои координаты. На основе полученной 3-D модели сооружения возможно решение многочисленных инженерных задач, в том числе определение деформаций объекта съемки в течение длительного периода времени по направлениям всех пространственных координат, фиксация мест разрушений.

Преимуществом использования лазерного сканирования является:

- объективность съемки, наглядность результатов;
- универсальность метода, краткость полевого периода;
- высокая точность съемки;
- оперативное создание цифровых моделей;
- слежение за деформациями сооружений с оперативным отображением полученных данных в информационных системах.

К основным недостаткам можно отнести высокую стоимость оборудования и программного обеспечения.

Система контроля деформаций зданий с помощью *технологии GPS-измерений* предполагает установку в одной или нескольких контрольных точках в пределах здания стационарных антенн высокоточного GPS-приемника, регистрирующей непрерывно или с определенным интервалом свое пространственное положение с точностью до нескольких миллиметров и передающей текущие трехмерные координаты в компьютер. Смещения точек за опасный порог обозначенной области измерений вне зависимости

от причин возникновения (просадка, смещение грунта, разрушение элементов конструкций здания, внешнее воздействие и т.д.) свидетельствует о факте деформации здания.

Стоит отметить, что применение технологии GPS-измерений для мониторинга деформаций объектов в районах с плотной городской застройкой ограничивается в связи с наличием многочисленных препятствия для приема спутниковых сигналов, вследствие чего затрудняется определение координат всех необходимых точек сооружения. При этом необходимо констатировать, что результатом GPS-измерений является достаточно небольшой объем информации, что при значительных габаритах объектов не дает полной деформационной картины сооружения.

Сделать объективный вывод о том, какие из перечисленных выше методов контроля следует применять в сочетании с традиционными методами обследования технического состояния достаточно сложно. Выявление их основных достоинств и недостатков не является окончательным критерием для принятия решения. В такой ситуации дополнительными факторами выбора являются:

- соответствие выбранного метода существующим нормам в области мониторинга и инструментальных измерений;
- универсальность метода, возможность его адаптации к конкретному объекту;
- условия эксплуатации объекта мониторинга, обеспечение доступа к несущим конструкциям;
- трудоемкость использования метода в ходе мониторинга;
- экономическая целесообразность применения метода;
- наличие в арсенале специалистов необходимой аппаратуры и опыта ее применения.

К преимуществам применения традиционных геодезических измерений (нивелирование, тахеометрическая съемка) можно отнести

развитие современной геодезической приборной базы в сочетании с использованием передовых информационных технологий, опыт, накопленный в области наблюдений за деформациями зданий и сооружений, отраженный в научно-технической и нормативной литературе.

### **3.2 Применение систем мониторинга состояния несущих конструкций крупнопролетных зданий и сооружений с целью повышения безопасности их эксплуатации**

На сегодняшний день существующими нормативными документами предусматривается необходимость проведения обязательного мониторинга эксплуатируемых объектов и их грунтового основания, попадающих в зону влияния нового строительства или реконструкции, с целью своевременного выявления и учета изменения геолого-гидрологических, инженерно-геологических, природных и техногенных параметров, определяющих техническое состояние конструкций зданий и сооружений. Для зданий высотой более 75 м и сооружений повышенной ответственности контроль деформационного состояния несущих конструкций является обязательным, а разработка систем стационарного мониторинга должна осуществляться еще на стадии проектирования. Решение о необходимости проведения мониторинга строительных объектов, не отнесенных к разряду ответственных или проблемных по нормативным документам, принимается на основании обращения владельца сооружения или эксплуатирующей организации, обеспокоенных возможностью возникновения аварийных ситуаций, или по фактам проявления повреждений конструкций различного вида.

Вместе с тем, значительное число аварий происходит на объектах гражданского и промышленного назначения, не имеющих обязательных требований к постоянному контролю состояния несущих конструкций.

Предварительные ситуации в этом случае невозможно было выявить, ввиду короткого промежутка времени наблюдения, либо необходимые превентивные мероприятия не были проведены в связи с халатностью ответственных должностных лиц. Среди объектов, пострадавших от обрушения нередко встречаются крупные торговые центры, спортивные сооружения, а также другие общественные здания с большим количеством людей. Все они имели большую площадь покрытия, как правило в несущих конструкциях использовались стальные изделия (балки, фермы и т.д.). Причиной аварий стали воздействие внешних природных факторов в первую очередь на кровельные системы (снеговые нагрузки, скопление большого количества осадков из-за нарушения работы систем водоотведения крыш и т.п.) и непринятие своевременных мер по очистке крыш при отсутствии объективной информации о напряженно деформированном состоянии несущих конструкций.

Становится очевидным, что применение систем мониторинга становится современным неотъемлемым требованием повышения эксплуатационной безопасности этих объектов. Не менее актуальным является решение вопроса о внесении в ТНПА, как минимум рекомендаций, по оборудованию системами мониторинга несущих конструкций зданий и пересмотр в связи с этим требований не только к их эксплуатации, но и проектированию

## Глава 4. Влияние снеговой нагрузки на эксплуатацию зданий

Рассматривая снеговую нагрузку, как наиболее часто встречающуюся ситуацию с обрушением зданий, следует отметить, что снег на крышах зданий и сооружений традиционно представляет собой источник серьезной опасности не только в связи с повреждением и деформацией кровли с возможным последующим разрушением здания и гибелью людей и животных, но также и с обрушением водостока под тяжестью льда. повреждением автомобилей, припаркованных рядом со строением. Потоки талой воды могут приводить к порче и частичному разрушению фасада здания.

В последние годы территория Республики Беларусь регулярно оказывается под действием циклонов («Хавьер» (2013 г.), «Диниэлла» и «Эмма» (2016 г.), «Аксель» (2017 г.)), приводящих к значительному увеличению снежного покрова за довольно короткий промежуток времени. В таблице 4.1 представлены сведения о наиболее сильных снегопадах, произошедших в г. Минске за последние 125 лет.

Таблица 4.1 - Сведения по наиболее сильным снегопадам в г. Минске

№ п.п.	Год	Высота снежного покрова, см
1	1906	+24 <sup>2</sup> +32 <sup>3</sup>
2	1926	+29 <sup>2</sup> +41 <sup>4</sup>
3	1956	+22 <sup>2</sup> +26 <sup>3</sup>
4	1981	+22 <sup>1</sup>
5	1992	+36 <sup>2</sup>
6	1996 (январь) (апрель)	+22 <sup>2</sup> +21 <sup>2</sup> +26 <sup>3</sup>
7	1999	+22 <sup>2</sup>
8	2000	+21 <sup>2</sup>
9	2003	+23 <sup>2</sup>

10	2004	+22 <sup>2</sup> +27 <sup>3</sup>
11	2016	+21 <sup>1</sup>
<b>Примечания:</b> 1 – увеличение снежного покрова за 1 день; 2 – увеличение снежного покрова за 2 дня; 3 – увеличение снежного покрова за 3 дня; 4 – увеличение снежного покрова за 4 дня.		

Согласно требованиям технических нормативных правовых актов [10, 11] крыши должны очищаться от снега, не допуская образования снегового покрова толщиной более 30 см, с ограждением опасной зоны и вывешиванием на опасных участках соответствующих предупредительных надписей (при оттепелях, если наблюдается обледенение свесов и водоотводящих устройств, снег должен сбрасываться и при меньшей толщине снегового покрова). При очистке крыш от снега и льда категорически запрещается создавать навалы, превышающие нормативные нагрузки.

Водосточные трубы, водоприемные воронки и их сопряжения с кровлей должны быть в исправном состоянии (не допускается протекание стыков водосточного стояка, а также засорение и обледенение воронок).

Анализ причин обрушений покрытий зданий и сооружений показал, что случаи обрушения кровли по причине повышенной снеговой нагрузки зачастую приводят к тяжелейшим последствиям.

3.02.2011 года в Новосибирске обрушилась кровля промышленного цехастроительной компании "Дискус Плюс". Погибли 2 человека, четверо получили ранения.

25.01.2011 года около 20.40 в магазине "Окей" в спальном Выборгском районе Санкт-Петербурга обрушились более полутысячи квадратных метров кровли. Один человек погиб, 13 ранены. По данным следствия, ЧП произошло во время уборки снега.

15 человек погибло при обрушении крыши ледового катка в Германии (построен в 1971 году) в январе 2006 года, произошедшего вследствие обильного снегопада и неверной оценки количества снега на крыше [20].



28 января 2006 года обрушилась крыша торгового зала на Международной ярмарке в Катовице, Польша (построен в 2000 году). Причинами трагедии, унесшей жизни 65 человек, названы ошибки в проектировании, а именно, недостаточная несущая способность ферм покрытия и возникновение значительных горизонтальных сил, приведших к опрокидыванию колонн. Также влияние оказало превышение расчетного значения снеговой нагрузки вследствие обильного снегопада [20] (рисунок 4.1).



Рисунок 4.1 - Обрушение кровли торгового зала на Международной ярмарке в Катовице, Польша, 2006 год

Надзорные органы МЧС и Минздрава Республики Беларусь осуществляют проверки соблюдения законодательства в части эксплуатации кровель, качество их очистки от снега и наледи. Результатом данной работы зачастую становится приостановка эксплуатации объектов. К примеру, в январе 2016 года после циклона «Даниэлла» в г. Минске была приостановлена работа 6 объектов.

По данным Республиканского центра управления и реагирования на ЧС МЧС Республики Беларусь за последние 10 лет в Республике Беларусь произошло 130 обрушений кровли по причинам, связанным с увеличением нагрузки снежного покрова на покрытие.

К примеру, 15.03.2013 года произошло обрушение навеса автостоянки площадью 1000 м<sup>2</sup>, рассчитанной на 82 машиноместа, расположенной на внутриворотовой территории РУП «Отель «Минск» по адресу: г. Минск, просп. Независимости, 11 (рис. 4.2). В результате обрушения повреждены 22 автомобиля находящиеся на автостоянке, а также получил повреждения в виде деформации резервный участок газового трубопровода, питающего газовую котельную. Жертв нет.

Распределение по местам пришествий приведено на рисунке 3.



а)

б)

Рисунок 4.2 - Обрушение навеса автостоянки в г. Минске 15.03.2013 г.



Рисунок 4.3 - Места обрушений кровли

Как указано выше, при очистке крыш не допускается создание навалов, превышающих допустимую нагрузку на кровлю. Согласно [17] определение снеговой нагрузки проводится в соответствии с [4] и [5].

Очевидно, что при условии отсутствия в штате организации, эксплуатирующей здание, соответствующих специалистов реализация указанного требования [11] видится довольно проблематичной.

Известно, что снег может иметь различную плотность, значительно отличающуюся в зависимости от различных условий. К этим условиям относятся среднесуточная температура воздуха и температура во время снегопада, скорость ветра, время с момента выпадения, условия выпадения (рыхлый снег, свежевывавший мокрый снег, выпавший с дождем), структура и величина падающих снежинок.

Установлено, что свежевывавший снег полностью сохраняет свою первичную кристаллизацию и звездчатую структуру вплоть до плотности  $150 \text{ кг/м}^3$ . При плотности  $160\text{-}200 \text{ кг/м}^3$  он начинает становиться зернистым в верхних неуплотненных слоях и при плотности  $220 \text{ кг/м}^3$  – в верхних уплотненных и нижних слоях. Общий диапазон колебания плотности свежевывавшего снега находится в пределах от 10 до  $200 \text{ кг/м}^3$  [18]. Диапазон же плотности свежевывавшего снега в зависимости от температуры воздуха составляет от  $75 \text{ кг/м}^3$  при  $-10^\circ\text{C}$  до почти  $600 \text{ кг/м}^3$  при температуре выше  $+2^\circ\text{C}$ . Еще большей плотностью (более  $700 \text{ кг/м}^3$ ) обладает снег в период таяния. Последнее, без сомнения, является также актуальным, учитывая метеорологические условия Республики Беларусь, при которых зачастую происходят колебания температуры, соответствующие таянию снега с последующим его замерзанием.

Таким образом, очевидно, что высота снежного покрова не может являться единственным определяющим критерием при профилактике деформаций строительных конструкций покрытий зданий.

На рисунке 4 представлены результаты расчетов высоты снежного покрова в зависимости от плотности снега с учетом нормативной снеговой нагрузки для областных городов республики согласно [19]. В расчете

принято максимальное значение плотности снега [18] как наиболее неблагоприятный вариант.

Проведенные расчеты показали, что для случая максимальной плотности снега при температуре воздуха при снегопаде выше  $-2,0^{\circ}\text{C}$  снежная нагрузка, рассчитанная согласно [5], будет наблюдаться при значении снежного покрова меньшем, чем 30 см.

Подтверждают приведенные выводы и случаи обрушения кровель. Так, например, 19 февраля 2010 г. в д. Мальковичи Ганцевичского р-на Брестской области произошло смещение кровли спортивного зала, снежный покров составлял всего 15 см. При этом капитальный ремонт школы проводился в 2009 году.

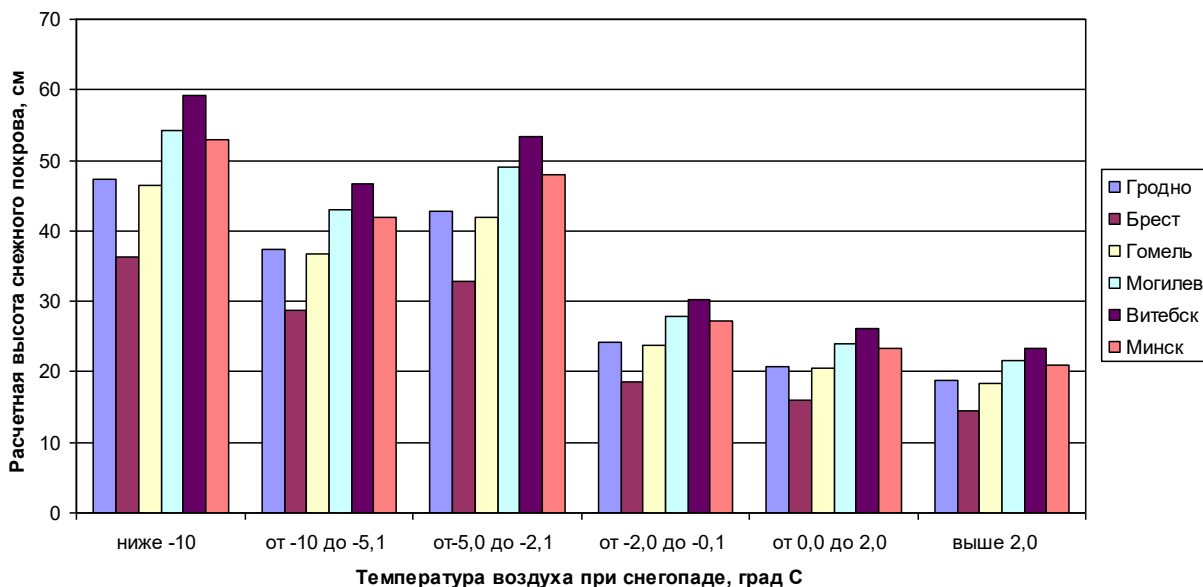


Рисунок 4.4 - Результаты расчета высоты снежного покрова при различной температуре воздуха при снегопаде в областных городах Республики Беларусь

В дополнение к изложенному, необходимо упомянуть и о строгом соблюдении требований к содержанию водостоков. При неисправном (засоренном) состоянии водосточной системы при определенной интенсивности осадков на кровле может скапливаться значительное количество воды, что создает опасность аналогичную скоплению снега.

Выполним рассмотрим расчет стальных несущих конструкций здания на воздействие снеговой нагрузки. С учетом условий приведенных в таблице 3.2

Таблица 3.2 – Исходные данные проектируемого здания

Наименование параметра	Значение
Район строительства	г. Минск
Снеговой район (по карте 1 прил. 5 СнИП 2.01.07-85)	II
Нормативное значение веса снегового покрова на 1 м <sup>2</sup> , кг/м <sup>2</sup>	120
Расчетные данные поверхности крыши:	
- ширина, м	6
- длина, м	12
Марка балки	52Б
Марка швеллера	20У
Модель профнастила	H60-845-07

Снеговая нагрузка на балку кровли:

$$13 \text{ (м)} \times 6 \text{ (м)} \times 69 \text{ (кг/м}^2\text{)} = 5382 \text{ кг.}$$

Определение собственного веса конструкции крыши:

1. Балка I<sub>тавр</sub> 52Б,

$$13 \text{ м} \times 97,9 \text{ кг погонный метр} = 1272,7 \text{ кг}$$

2. Прогон швелера 20У

$$6 \text{ м} \times 18,4 \text{ погонный метр} \times 7 \text{ шт} = 772,8 \text{ кг.}$$

3. Профнастил H60-845-07 несущий и кровельный,

где H60 – марка профнастила;

845 – ширина листа в мм;

0,7 – толщина профнастила в мм;

Нормативное значение снеговой нагрузки на горизонтальную проекцию покрытия следует определять по формуле:

$$S_o = 0,7 \cdot C_e \cdot C_t \cdot \mu \cdot S_g$$

где S<sub>o</sub> – Нормативная снеговая нагрузка;

$C_e$  – коэффициент учитывающий снос снега;

$C_t$  – термический коэффициент (таяние снега);

$\mu$  - коэффициент перехода отвеса снегововго покрова земли к снеговой нагрузки покрытия;

$S_g$  – вес снегового покрова на  $1 \text{ м}^2$  поверхности земли

$C_e = 1,038$ ,  $C_t = 0,8$  (для неутепленных покрытий зданий),  $\mu = 1$ ,  $S_g = 1,2 \text{ кПа} = 120 \text{ кг/м}^2$  (г. Минск).

Расчет нормативной снеговой нагрузки:

$$S_o = 0,7 \cdot 1,038 \cdot 0,8 \cdot 1,2 = 0,69 \text{ кПа} = 69 \text{ кг} / \text{м}^2$$

Коэффициент учитывающий снос снега:

$$C_e = (1,2 - 0,1 \cdot V \cdot \sqrt{k}) \cdot (0,8 + 0,02b)$$

где коэффициент 0,65 (из таблицы СнИПа 2.01.07-85),

$b = 100 \text{ м}$  не более ширины покрытия,

$V$  - скорость ветра за три наиболее холодных месяца,  $V \geq 2 \text{ м/с}$ .

Снеговая нагрузка на балку кровли:

$$13 \text{ (м)} \times 6 \text{ (м)} \times 69 \text{ (кг/м}^2) = 5382 \text{ кг.}$$

Определение собственного веса конструкции крыши:

4. Балка  $I_{\text{тавр}} 52\text{Б}$ ,

$$13 \text{ м} \times 97,9 \text{ кг погонный метр} = 1272,7 \text{ кг}$$

5. Прогон швелера 20У

$$6 \text{ м} \times 18,4 \text{ погонный метр} \times 7 \text{ шт} = 772,8 \text{ кг.}$$

6. Профнастил Н60-845-07 несущий и кровельный,

где Н60 – марка профнастила;

845 – ширина листа в мм;

0,7 – толщина профнастила в мм;

$$13 \text{ м} \times 6 \text{ м} \times 8,8 \text{ кг/м}^2 = 686,4 \text{ кг/м}^2.$$

Общая нагрузка на балку с учетом ее собственного веса:

$$\Sigma P \text{ (сумма нагрузки)} = 5382 + 1272,7 + 772,8 + 686,4 = 8113,9 \text{ кг.}$$

Как видно, запас прочности зависит от выбора коэффициентов надежности, связанных с определенной толщиной снегового покрова, характерного для определенной климатической зоны. Способность здания противостоять кратковременным сверхрасчетным снеговым нагрузкам связана со своевременной очисткой кровли. Исключение влияния в этой ситуации «человеческого фактора» путем применения повышенных коэффициентов экономически нецелесообразно.

Несомненной перспективой для решения проблемы предупреждения аварийных обрушений зданий в данном случае является разработка автоматических систем мониторинга на основе средств контроля прогибов несущих стальных строительных конструкций.

## **Заключение**

Проведенные исследования показали, что снеговая нагрузка на кровли является одной из причин возникновения чрезвычайных ситуаций, связанными с обрушениями конструкций. Среди наиболее вероятных следует выделить следующие причины обрушений:

- не корректный учет возможной нагрузки (воздействий) при расчете и проектировании конструктивных элементов, которые будут действовать в течение проектного срока эксплуатации;

- ошибки при расчете, проектировании и возведении конструктивных элементов, в том числе при назначении надежностных параметров, рассчитанных на проектный срок эксплуатации;

- внесение изменений либо повреждение конструкций запроектными воздействиями в ходе эксплуатации либо ремонтных работ, в том числе при искусственном перемещении или перераспределении снега в ходе уборки;

- нарушение проектного срока эксплуатации, сроков ремонта конструкций, а также эксплуатационных требований, в том числе своевременной уборки снега с кровли;

- не корректный учет нагрузки (воздействий) в технических нормативных правовых актов (далее – ТНПА), вызванное либо изменением климатических условий в ходе проектного срока эксплуатации, либо изменением надежностных параметров, определяемых как способами проектирования, так и требованиями к эксплуатации и ремонту конструкций.

Необходимо с предельной осторожностью производить уборку влажного снега, т.к. несущей способности покрытия может быть недостаточно, тем более с учетом накопления усталостных повреждений в конструкциях и наличием дополнительной нагрузки от людей, убирающих



снег. Следует также ограничивать локальное увеличение снеговой нагрузки при искусственном перемещении или перераспределении снега в процессе уборки.

Недостаточная прочность и жесткость конструкций не всегда может быть выявлена визуально. В этом плане поведение конструкций при повышенных нагрузках и предотвращение значительной части чрезвычайных ситуаций возможно путем контроля основных деформаций (прогибов, перемещений, в т.ч. вибрации) и их сопоставления с критическими величинами. В связи с тем, что основные деформации строительных конструкций находятся в диапазоне малых величин, исчисляемых долями и целыми миллиметрами, визуальный контроль либо мониторинг подручными средствами во многом является нецелесообразным. Наиболее целесообразным является применение стационарных автоматизированных систем мониторинга, позволяющих обеспечивать диагностику несущих конструкций в режиме реального времени.

## Список использованных источников

1. Джамбулатов Р. Г. Анализ причин обрушения покрытий общественных зданий // Молодой ученый. – 2015. – №10. – С. 197-200.
2. Biegus, A. Collapse of Katowice fair building / A. Biegus, K. Rykaluk // Engineering Failure Analysis. – 2013. – № 16 (5). – P. 1643-1654.
3. Holicky, M. Failures of roofs under snow load: Causes and reliability analysis. / M. Holicky, M. Sykora // In Proc. Fifth Congress on Forensic Engineering. – 2009. – P. 11-14.
4. СНиП 2.01.07-85. Строительные нормы и правила. Нагрузки и воздействия. – Введ. 01.01.1987 – Москва: Госстрой СССР, 1987. – 46 с.
5. ТКП EN 1991-1-3-2009 (02250). Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-3. Общие воздействия. Снеговые нагрузки. – Введ. 01.01.2010 г. – Минск: Минстройархитектуры, 2009. – 48 с.
6. ТКП EN 1990-2011\* (02250). Еврокод. Основы проектирования строительных конструкций (EN 1990:2002, IDT). – Введ. 01.07.2012 г. – Переиздание с Изменением № 1 (введ. 01.04.2015). – Минск: Минстройархитектуры, 2015. – 94 с.
7. Изменение № 1 к СНиП 2.01.07-85. Строительные нормы и правила. Нагрузки и воздействия. – Введ. 01.07.2004. – Минск: Минстройархитектуры, 2004. – 5 с.
8. Приложение 5 к СНиП 2.01.07-85. Карты районирования территории СССР по климатическим характеристикам. – Введ. 01.01.1987 – Москва: Госстрой СССР, 1987. – 9 л.
9. Изменение № 2 к ТКП EN 1991-1-3-2009 (02250). Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-3. Общие воздействия. Снеговые нагрузки. – Введ. 01.07.2015. – Минск: Минстройархитектуры, 2015. – 9 с.

10. ТКП 45-1.04-78-2007 (02250). Техническая эксплуатация производственных зданий и сооружений. Порядок проведения. – Введ. 01.04.2008 г. – Минск: Минстройархитектуры, 2008. – 56 с.
11. ТКП 45-1.04-14-2005 (02250). Техническая эксплуатация жилых и общественных зданий и сооружений. Порядок проведения. – Введ. 01.07.2006 г. – Минск: Минстройархитектуры, 2006. – 44 с.
12. ТКП EN 1992-1-1-2009\* (02250). Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий (EN 1992-1-1:2004+AC:2010, IDT). – Введ. 01.01.2010 г. – Переиздание с Изменением № 1 (введ. 01.04.2015). – Минск: Минстройархитектуры, 2015. – 219 с.
13. ТКП EN 1995-1-1-2009\* (02250). Еврокод 5. Проектирование деревянных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий (EN 1995-1-1:2004+AC:2006+A1:2008, IDT). – Введ. 01.01.2010 г. – Переиздание с Изменением № 1 (введ. 01.09.2014). – Минск: Минстройархитектуры, 2014. – 106 с.
14. ТКП EN 1993-1-1-2009\* (02250). Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий (EN 1993-1-1:2005+AC:2009, IDT). – Введ. 01.01.2010 г. – Переиздание с Изменением № 1 (введ. 01.09.2014). – Минск: Минстройархитектуры, 2014. – 96 с.
15. ISO 4356:1977. Bases for the design of structures – Deformations of buildings at the serviceability limit states. – Publication date : 1977-11. – Geneva: ISO, 1977. – 18 p.
16. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия (Дополнения. Раздел 10. Прогибы и перемещения). – Введ. 01.01.1987 – Москва: ЦИТП Госстрой СССР, 1988. – 8 с.
17. Жабинский А.Н. Расчет стальных конструкций каркаса здания по СНиП и ТКП EN: учебно-методическое пособие для студентов

строительных специальностей высших учебных заведений / А.Н. Жабинский, В.В. Надольский. – Минск : БНТУ, 2016. – 104 с.

18. Кузьмин П.П. Физические свойства снежного покрова. – Л. Гидрометеиздат, 1957. – 177 с.

19. Седляр Т.Н., Белкина И.В. Учет воздействий по СНиП 2.01.07-85 (снеговые нагрузки) и ТКП EN 1991-1-3- 2009 / Моделирование и механика конструкций, 2016, №4.

20. Джамбулатов Р. Г. Анализ причин обрушения покрытий общественных зданий // Молодой ученый. — 2015. — №10. — С. 197-200.