

DOI: 10.12737/article\_5bd95a755cd1e3.14923279

<sup>1,\*</sup>Синеев А.А.<sup>1</sup>Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет  
Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26

\*E-mail: sineevanton@mail.ru

## ОБ УЧЕТЕ СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ПОВЕРОЧНЫХ РАСЧЕТАХ

**Аннотация.** В связи с активным развитием вычислительной техники последние несколько десятилетий, все больше проблем человеческой деятельности решаются с помощью информационно-вычислительных систем. В частности, применение персональных компьютеров и специализированных расчетных комплексов совместно с базами данных нормативной документации позволяет обеспечить безопасность возведения и эксплуатации зданий и сооружений, сократить трудозатраты при расчете конструкций и мониторинге напряженно-деформированного состояния, применять уникальные решения при проектировании и строительстве. Однако в большинстве случаев проводимые расчеты абстрактны и не полностью учитывают все воздействия на возводимые или эксплуатируемые здания и сооружения, реальные характеристики материалов, дефекты и несовершенства элементов конструкций. Данный факт обуславливает необходимость обследования и мониторинга состояния вновь возводимых зданий и сооружений как в процессе строительства, так и в процессе эксплуатации. Кроме того, логичным является использование результатов мониторинга в расчетных комплексах для корректировки расчетной схемы с целью установления более приближенных к реальным характеристикам рассматриваемого здания. В наше время практика использования результатов обследования и мониторинга при корректировке расчетных схем зданий и сооружений довольно широко распространена, однако степень автоматизации как процесса сбора данных, так и корректировки расчетной схемы находится на очень низком уровне. Эта проблема особенно актуальна при обследовании и последующей корректировке расчетной схемы зданий с большим количеством узлов, соединений и сварных швов в металлических конструкциях.

**Ключевые слова:** расчетный комплекс, учет дефектов, металлические конструкции, здания и сооружения.

Техническое состояние здания в целом является функцией работоспособности отдельных конструктивных элементов и связей между ними. Математическое описание процесса изменения технического состояния строительных конструкций здания, состоящих из большого числа элементов, представляет значительные трудности. Это обусловлено тем, что процесс изменения работоспособности технических устройств, которыми, в частности, являются здания и сооружения, характеризуется неопределенностью и случайностью.

Факторы, вызывающие изменения работоспособности здания в целом и отдельных его элементов, подразделяются на две группы: внутренние и внешние.

К внутренним факторам относятся:

- физико-химические процессы, протекающие в материалах конструкций;
- нагрузки и процессы, возникающие при эксплуатации;
- конструктивные;
- качество изготовления.

К внешним факторам относятся:

- климатические (температура, влажность, солнечная радиация);

- характер окружающей среды (ветер, пыль, биологические факторы);
- условия эксплуатации.

Достоверная оценка технического состояния конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений, как показала многолетняя практика обследования, может быть выполнена, если в поверочных расчётах адекватно отражены результаты натурного освидетельствования конструкций.

В процессе эксплуатации зданий и сооружений их техническое состояние изменяется. Это выражается в ухудшении количественных характеристик работоспособности, в частности надёжности. Ухудшение технического состояния зданий происходит в результате изменения физических свойств материалов, характера сопряжений между элементами конструкций зданий, а также размеров и форм этих элементов.

Причиной изменения технического состояния зданий являются также разрушения и другие виды потери работоспособности конструктивных материалов.

Наибольшее число дефектов, отказов и аварий приходится на процесс строительства и на начальный период эксплуатации зданий и соору-

жений. Главные причины: недостаточное качество изделий, монтажа, осадка оснований, температурно-влажностные изменения и т.д.

Обследование технического состояния строительных конструкций является самостоятельным направлением строительной деятельности, охватывающим комплекс вопросов, связанных с обеспечением эксплуатационной надёжности зданий, с проведением ремонтно-восстановительных работ, а также с разработкой проектной документации по реконструкции зданий и сооружений.

Обследование зданий выполняется с целью установления их пригодности к нормальной эксплуатации или необходимости ремонта, восстановления, усиления или ограничений в эксплуатации, как отдельных конструкций, так и зданий в целом [1].

После возведения конструкций их надёжность должна поддерживаться на достаточном уровне путем правильной эксплуатации здания или сооружений, систематического наблюдения за состоянием конструкций и своевременным производством ремонта.

Каждая строительная авария является тяжёлым, чрезвычайным происшествием. Многие аварии сопровождаются человеческими жертвами. Вот лишь некоторые примеры:

- обрушение покрытия печного корпуса Куйбышевского цементного завода (г. Жигулевск) в 1959 г.;

- разрушение стальных конструкций покрытия машинного зала Северодвинской ТЭЦ в 1964 г. [2];

- частичное обрушение кровли ледового катка «Полюс», 2009 г., Владивосток;

- обрушение стальной конструкции на одном из заводов концерна Рейн-Вестфальские Электростанции (РВЭ), Германия, Гревенброх, 2007 г. [12].

Вывод. Прибегая к помощи синергетического подхода к процессу гидратации и использования термодинамического метода выявляется возможность управления структурообразованием твердеющих систем и направлением его протекания. Так же данный подход разрешает собой проводить анализ состояния основных структурных элементов открытой метастабильной системы твердеющего многокомпонентного бетона. Выявить показатели полноты процессов в неравновесной системе с фиксацией нового состояния – от вязко-текучего до камневидного, т.е. переход к новому аттрактору. Эти определения четко поясняют механизм процесса гидратации и согласуются с положениями синергетики. Объектом дальнейших исследований представляется

вычисление роли каждого компонента многокомпонентной высокопрочной твердеющей системы на основе значений их термодинамических параметров с учетом синергетических представлений.



Рис. 1. Разрушение металлических конструкций ангара

Большинство аварий металлических конструкций зданий и сооружений можно предотвратить, организовав мероприятия по обследованию на стадии возведения и эксплуатации.

Состав работ по проведению обследований строительных конструкций зданий и сооружений, а также порядок их выполнения указаны в нормативной документации [11].

Поверочные расчеты, сопровождающие обследование металлических конструкций зданий и сооружений, выполняются согласно нормативной документации [5] как, например, в приложении 1 [4], где определяется фактическая несущая способность поперечных и главной продольной балки. Однако в наше время развития цифровых технологий расчеты все чаще проводятся в расчетных комплексах.

Очевидно, что такие расчеты необходимы для определения реального напряженно-деформированного состояния конструкции, однако в случае выявления большого числа дефектов в значительном количестве элементов конструкций (например в большепролетных металлических фермах или каркасах куполов) проведение расчетов как по СП [5], так и в расчетных комплексах становится чрезвычайно трудоемкой и ответственной задачей.

Анализ патентных материалов, отобранных в результате патентно-информационного поиска, показывает, что хорошо проработанными являются способы и методы мониторинга и обследования металлических конструкций. Вопрос, связанный с интеграцией результатов обследования и мониторинга в расчетные комплексы для уточнения напряженно-деформированного состояния конструкций, является малоизученным и имеет существенную научную новизну и актуальность. Ни в одной базе не было найдено патентов связанных с систематизацией результатов мониторинга/обследования металлических конструкций

зданий и сооружений и интеграции этих результатов в расчетные комплексы для уточнения реального напряженно-деформированного состояния конструкций, несмотря на то, что и в Российской Федерации и в других странах такой опыт имеется.

Поиск по иностранным патентным базам данных «Espacenet» [14] и «Questel Orbit» [15] и

по Российской патентной базе «ФИПС» [13] показал, что и в Российской Федерации, и за рубежом одинаковое внимание уделяется как способам определения напряженно-деформированного состояния конструкции, так и разработке приборов и оборудования для определения напряженно-деформированного состояния (табл. 1).

Таблица 1

**Некоторые результаты поиска патентов в части определения НДС конструкций.  
Патентная база данных ФИПС**

Вид, страна, номер и приоритет охранного документа	Правообладатель	Наименование объекта интеллектуальной собственности
Описание изобретения к патенту Российская Федерация: Классификация RU2 442 113 C1 10.02.2012	Автономное учреждение Ханты-Мансийского автономного округа-Югры "Югорский научно-исследовательский институт информационных технологий" (RU)	Способ и устройство определения нагруженности стержней пространственно-стержневых металлических конструкций
Описание полезной модели к патенту Российская Федерация: Классификация RU 169 803 U1 03.04.2017	Хуснутдинова Ильвина Гамировна (RU) (автор и патентообладатель)	Устройство для бесконтактного контроля напряженно-деформированного состояния и уровня поврежденности металлических конструкций
Описание изобретения к патенту Российская Федерация: Классификация RU 2 391 655 C2 10.06.2010	Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Сибирский государственный университет путей сообщения" (СГУПС) (RU)	Способ диагностирования металлических конструкций и устройство для его осуществления
Описание изобретения к патенту Российская Федерация: Классификация RU 2 523 073 C1 20.07.2014	Российская Федерация, от имени которой выступает Министерство промышленности и торговли Российской Федерации (МИНПРОМТОРГ РОССИИ) (RU)	Устройство для определения механических напряжений на поверхности металлической конструкции путем введения фиксированного количества теплоты
Описание изобретения к патенту Российская Федерация: Классификация RU 2 610 821 C2 15.02.2017	Федеральное государственное унитарное предприятие "Научно-исследовательский институт стандартизации и унификации" (ФГУП "НИИСУ") (RU)	Способ оценки остаточного ресурса металлических деталей

Особенно стоит отметить патенты на темы:

1) Способ и устройство определения нагруженности стержней пространственно-стержневых металлических конструкций;

2) Устройство для бесконтактного контроля напряженно-деформированного состояния и уровня поврежденности металлических конструкций;

3) Steel construction stress-strain measurement's program-controlled static electric resistance strain gauge.

Большое число патентов выполнено на территории стран Китайской Народной Республики.

Наиболее активно анализируемые разработки проводились в период 2014–2017 г. Это

связано с развитием вычислительной техники и электроники.

В России не уделено должное внимание вопросам использования данных мониторинга/обследования металлических конструкций в расчетных комплексах для уточнения реального напряженно-деформированного состояния конструкции, однако с недавнего времени начали проводиться некоторые исследования. Из найденных работ особо стоит отметить диссертационные работы в этой области [6, 7].

Как в России, так и за границей, разработано большое количество расчетных комплексов, позволяющее довольно легко оценить напряженно-

деформированное состояние конструкций зданий и сооружений численными методами. Однако в этих комплексах слабо проработан вопрос учета дефектов, в частности в металлических конструкциях зданий и сооружений. К таким дефектам можно отнести [4]:

- ослабления сечений металлических конструкций из-за коррозии, возникновения трещин, технологических надрезов;
- смещения элементов металлических конструкций относительно их проектного положения;
- недостаточные усилия затяжки болтов в болтовых соединениях металлических конструкциях зданий и сооружений;
- дефекты в сварных соединениях металлических конструкций зданий и сооружений;
- общие и местные искривления элементов металлических конструкций зданий и сооружений.

В ходе мониторинга объективная оценка технического состояния зданий и сооружений может быть получена только на основании результатов численных расчетов с обоснованной корректировкой расчетных моделей объектов, учитывающей изменения, произошедшие в ходе эксплуатации.

Поверочный расчет конструкций с учетом влияния дефектов и повреждений выполняется с целью установления:

- возможности дальнейшей эксплуатации конструкций без каких-либо ограничений;
- необходимости немедленного прекращения эксплуатации в аварийной ситуации;
- возможности ограничений эксплуатации конструкций до плановых ремонтно-восстановительных работ;
- необходимости усиления конструкций;

Поверочные расчеты также выполняются при оценке технического состояния зданий и сооружений, подлежащих ремонту или реконструкции.

Поверочные расчеты конструкций (несущих элементов) необходимо выполнять по фактическим расчетным схемам и фактическим сечениям с учетом влияния обнаруженных дефектов и повреждений; по уточненным значениям расчетных сопротивлений материала и соединений, а также действующих нагрузок и их сочетаний.

Таким образом, при поверочном расчете сооружения должна использоваться адекватная его текущему техническому состоянию расчетная модель, построенная, как правило, на основе метода конечных элементов (КЭ-модель) и актуализируемая на основании результатов инструментальных измерений. Данная модель должна с контролируемой точностью позволять оценивать

фактическое техническое состояние сооружений на текущем этапе мониторинга. Однако, как показывает опыт, актуализация расчетных моделей либо не проводится, либо осуществляются вручную, что является длительным и трудоемким процессом [7]. Это обусловлено отсутствием как методов (правил) систематизации результатов обследования и мониторинга металлических конструкций зданий и сооружений, так и отсутствием методов автоматической корректировки конечно элементной модели.

В связи с вышеизложенным определена цель проводимого исследования: модернизация существующих научно-методологических основ, комплекса методов и средств систематизации результатов обследований и экспериментальных исследований возводимых и эксплуатируемых металлических конструкций зданий и сооружений, и разработка методики автоматизированной интеграции полученных результатов в расчетные комплексы.

Поставленная цель определяет задачи исследования:

1. Изучение отечественного и зарубежного опыта, а также современного уровня развития науки в рассматриваемой области.
2. Анализ состава и содержания комплекса обследования и мониторинга напряженно-деформированного состояния на этапе строительства и эксплуатации металлических конструкций зданий и сооружений.
3. Исследование технологии проведения, методы и средства систематизации результатов экспериментальных исследований, обследования и мониторинга напряженно-деформированного состояния, применяемых при строительстве и эксплуатации металлических конструкций зданий и сооружений.
4. Разработка методологических основ систематизации результатов экспериментальных исследований, обследования и мониторинга напряженно-деформированного состояния при строительстве и эксплуатации металлических конструкций зданий и сооружений с целью приведения получаемых результатов к виду, позволяющему автоматизировать процесс учета дефектов при уточнении расчетной схемы металлических конструкций зданий и сооружений.
5. Разработка методологических основ автоматизированной интеграции результатов экспериментальных исследований, обследования и мониторинга напряженно-деформированного состояния металлических конструкций зданий и сооружений в расчетные комплексы.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Леденёв В.В., Ярцев В.П. Обследование и мониторинг строительных конструкций зданий и сооружений. Издательство ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017 г. 252 с.

2. Беляев Б.И., Корниенко В.С. Причины аварий стальных конструкций и способы их устранения. Москва: Издательство литературы по строительству, 1968 г. 126 с.

3. <https://lidermsk.ru/articles/36/obsledovanie-stalnyih-konstruktsij/>

4. Технический отчет. Обследование строительных конструкций строения, расположенного по адресу: г. Москва, Бережковская набережная, д. 20. ОАО «ЦНИИПромзданий».

5. СП 16.13330.2011 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81.

6. Коргин А.В. Научно-методологические основы и информационная технология автоматизации инженерных исследований при реконструкции сооружений: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Москва, 2005. 329 с.

7. Ермаков В.А. Методика актуализации расчетных моделей зданий и сооружений в ходе мониторинга их технического состояния: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва, 2012. 171 с.

8. <https://www.scopus.com>

9. <http://apps.webofknowledge.com/>

10. <https://search.proquest.com/pqdtglobal/>

11. ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния».

12. Еремин К.И., Махутов Н.А., Павлова Г.А., Шишкина Н.А. Реестр аварий зданий и сооружений 2001 – 2010 годов. ООО «ВЕЛД», Москва, 2011 г. 318 с.

13. <http://www1.fips.ru>

14. <https://worldwide.espacenet.com>

15. <https://www.orbit.com/>

*Информация об авторах*

**Синеев Антон Алексеевич**, аспирант научно-образовательного центра «Испытания Сооружений». E-mail: [sineevanton@mail.ru](mailto:sineevanton@mail.ru). Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

*Поступила в августе 2018 г.*

© Синеев А.А., 2018

<sup>1,\*</sup>**Sineev A.A.**

<sup>1</sup>*National research Moscow state University of civil engineering  
Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe highway, 26*

<sup>\*</sup>*E-mail: [sineevanton@mail.ru](mailto:sineevanton@mail.ru)*

## ON ACCOUNT OF THE STATE OF STEEL CONSTRUCTION DURING THE CALCULATIONS

**Abstract.** *In the last few decades, the majority of human activity issues are solved with the use of data-processing system. The application of personal computers and specialized calculation complex in conjunction with databases of normative documents are used to secure the construction and an exploitation of buildings. It provides: to reduce the effort required to calculate the structures and the monitoring of the stress-strain condition; to apply unique solutions during design and construction. In most cases, performed calculations are abstract, they do not fully consider all impacts on erected or operated buildings and facilities, real characteristic of materials, defects and imperfections of structural elements. It is apparent that survey and monitoring of newly raised buildings in the process of construction and exploitation is required. In addition, it is logical to utilise monitoring results for a design scheme adjustment with an aim to establish more real characteristics of the building. In modern times, the use of survey and monitoring design schemes adjustment of buildings and structures is widespread, while the degree of automation of both the data collection process and the adjustment of the design scheme is kept low. This issue is acute in the survey and design scheme adjustment of buildings with a large number of components, joints and welds in metal structures.*

**Keywords:** *estimated complex, defect accounting, metal constructions, buildings and structures.*

**REFERENCES**

1. Lednev V.V., Yarcev V.P. Inspection and monitoring of building structures. Tambov: TSTU. 2017, 252 p.

2. Belyaev B.I., Kornienko V.S. Causes of accidents of steel structures and ways to eliminate them. Moscow: Publishing house of literature on construction. 1968, 126 p.

3. <https://lidermsk.ru/articles/36/obsledovanie-stalnyih-konstruktsij/>
4. Technical report. Inspection of building structures of the building, located at: Moscow, Be-rezhkovskaya embankment, 20. PC «СNIPZ»
5. SP 16.13330.2011 Steel structures. Updated version of SNiP II-23-81.
6. Korgin A.V. Scientific and methodological basis and information technology of automation of engineering research in the reconstruction of build-ings: thesis for the degree of doctor of technical Sci-ences. Moscow, 2005. 329 p.
7. Ermakov V.A. Methods of updating the de-sign models of buildings and structures in the course of monitoring their technical condition: thesis for the

degree of candidate of technical Sciences. Moscow, 2012. 171 p.

8. <https://www.scopus.com>
9. <http://apps.webofknowledge.com/>
10. <https://search.proquest.com/pqdtglobal/>
11. GOST 31937-2011 Buildings and structures. Rules of inspection and monitoring of technical con-dition.
12. Eremin K.I., Mahutov N.A., Pavlova G.A., Shishkina N.A. The register of accidents of buildings and constructions in 2001-2010. LLC «WELD», Moscow. 2011, 318 p.
13. <http://www1.fips.ru>
14. <https://worldwide.espacenet.com>
15. <https://www.orbit.com/>

*Information about the author*

**Sineev, Anton A.** Postgraduate student. E-mail: [sineevanton@mail.ru](mailto:sineevanton@mail.ru). National research Moscow state University of civil engineering. Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe highway, 26.

---

*Received in August 2018*

**Для цитирования:**

Синеев А.А. Об учете состояния металлических конструкций при поверочных расчетах // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №10. С. 74–79. DOI: 10.12737/article\_5bd95a755cd1e3.14923279

**For citation:**

Sineev A.A. On account of the state of steel construction during the calculations. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 10, pp. 74–79. DOI: 10.12737/article\_5bd95a755cd1e3.14923279