

УДК 539.3

## КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО БАНКА ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАСЧЕТОВ ПРОЧНОСТИ\*

© 2016 г. **Исаев С.А., Капустин С.А., Игумнов Л.А.,  
Константинов А.Ю., Ломунов А.К.**

*Научно-исследовательский институт механики  
Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского,  
Нижний Новгород, Российская Федерация*

lomonov@mech.unn.ru

*Поступила в редакцию 08.06.2016*

Обсуждаются вопросы создания автоматизированной системы получения, обработки и хранения экспериментальной информации о физико-механических свойствах конструкционных материалов, строительных материалов и различных грунтовых сред, используемой для информационного обеспечения автоматизированных вычислительных систем анализа прочности и проектирования конструкций. Разрабатываемый банк ориентирован на изучение эффектов поведения конструкционных материалов при высокопараметрических воздействиях силовых, температурных и других физических полей, а также на оснащение и экспериментальное обоснование математических моделей, описывающих эти эффекты. В предлагаемом варианте банк данных реализован в виде клиент-серверного приложения, выполненного на платформе Microsoft .Net Framework с применением производительной системы управления базами данных MS SQL Server. Содержательную основу создаваемого банка составляют разделы первичной информации, свойств материала и моделей материала. С целью автоматизации процесса обработки данных на всех стадиях преобразования информации в банк включена специальная подсистема «Рабочий стол», позволяющая агрегатировать данные, полученные из нескольких различных экспериментов, производить коррекцию отобранных данных, их обработку и преобразование. Обработка и преобразование данных в подсистеме «Рабочий стол» может осуществляться либо в ручном режиме, либо на основе специальных алгоритмов с использованием соответствующих математических методов.

*Ключевые слова:* банк данных, экспериментальная информация, модель материала, обработка, алгоритмы, математические методы.

### **Введение**

Современный уровень исследований в области прочности инженерных сооружений характеризуется широким внедрением в практику расчетов автоматизиро-

---

\* Выполнено при финансовой поддержке Российским научным фондом (проект 15-19-10032).

ванных вычислительных систем анализа прочности и проектирования аппаратов, конструкций и других видов инженерных сооружений. Как правило, для моделирования поведения объектов в составе таких систем применяются сложные математические модели, позволяющие описывать поведение используемых в конструкциях материалов в широком диапазоне изменения температур и скоростей деформирования с учетом влияния на свойства этих материалов различных сред и полей различной физической природы. В свою очередь, возможность применения названных моделей связана с наличием большого числа материальных функций, для получения которых необходимо проведение специальных «базовых» экспериментов, позволяющих выявить те или иные эффекты поведения материала.

Трудность получения таких функций обусловлена как сложностью проведения «базовых» экспериментов, так и необходимостью последующего решения ряда взаимосвязанных задач:

- сбора и экспертизы первичных экспериментальных данных;
- централизованной обработки первичной экспериментальной информации;
- получения на основе обработанной первичной экспериментальной информации материальных функций для широкого класса моделей деформирования и разрушения материалов;
- проверки адекватности полученных материальных функций и моделей, используемых при описании реальных процессов в конкретных материалах;
- накопления, хранения и экспертизы данных на всех этапах переработки информации;
- оперативного доступа к данным пользователями различных уровней, а также обеспечения программных средств решения задач прочности моделями материалов и необходимыми материальными функциями.

Поэтому проблема создания средств, обеспечивающих автоматизацию сбора, накопления, математической обработки и доведения результатов экспериментальных исследований до уровня непосредственного использования их в программных средствах анализа прочности и проектирования конструкций, является весьма актуальной.

Настоящая статья посвящена описанию концептуальных основ создания таких средств в рамках автоматизированного банка данных (BDM) физико-механических свойств материалов, а также вопросам разработки первой очереди функциональных средств банка – методических, информационных и программных средств обработки первичной экспериментальной информации.

## **1. Функциональное назначение и концептуальные основы**

Описание некоторых информационных систем, обеспечивающих накопление и доступ к данным по физико-механическим свойствам материалов, а также применение их в программных средствах решения задач прочности, можно найти в [1–7].

В отличие от существующих систем аналогичного назначения ([1, 2, 5], Material Data System (производитель I-DEASTM) – хранилище свойств материалов; база METALCREEP (производитель National Materials Property Data Network, Inc) содержит данные о свойствах металлов; база данных по черным металлам (производитель ИМЦ МИСиС)), разрабатываемый банк ориентирован на изучение эффектов поведения конструкционных материалов при высокопараметрических воздействиях силовых, температурных и других физических полей, а также на оснащение и

экспериментальное обоснование математических моделей, описывающих эти эффекты.

Создаваемый банк является логическим развитием созданных ранее средств [3–6].

В предлагаемом варианте банк данных реализован в виде клиент-серверного приложения, выполненного на платформе Microsoft.Net Framework с применением производительной системы управления базами данных (СУБД) MS SQL Server. В информационной системе предусмотрена возможность удаленного многопользовательского доступа к данным. Для обеспечения безопасности хранимых данных требуется авторизация пользователей при запуске с последующим аудитом вносимых изменений и ограничение доступа к отдельным ее модулям и массивам данных, исходя из определенной администратором системы ролей и привилегий.

В отличие от [3–6], в создаваемом банке внесены некоторые изменения в структуру внутреннего представления данных, а также реализована новая подсистема «Рабочий стол» (рис. 1), позволяющая упростить и автоматизировать процесс обработки информации на всех стадиях ее преобразования.

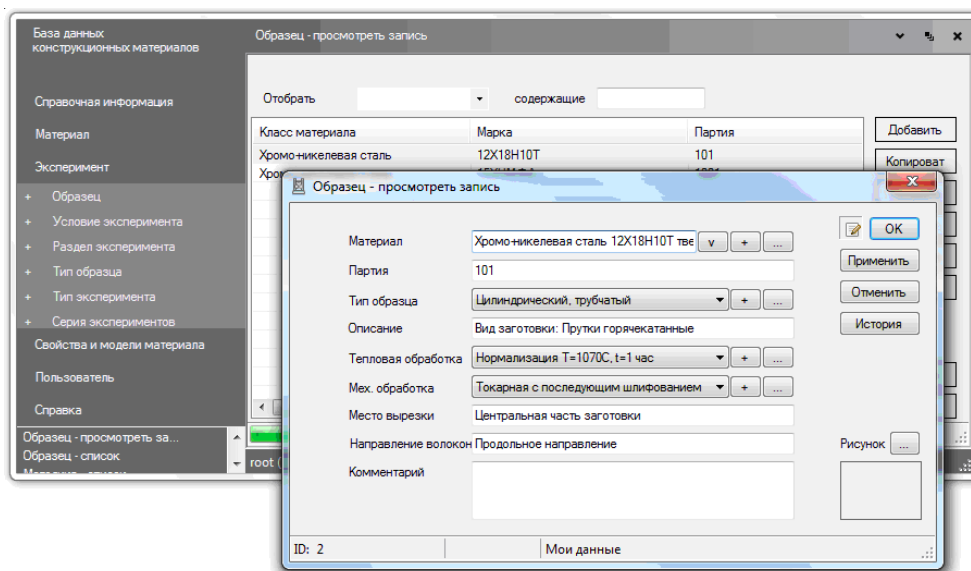


Рис. 1. Пример представления подсистемы «Рабочий стол»

Совокупность формируемой и накапливаемой в банке информации включает в себя описание широкого круга различных по своему смыслу и назначению объектов, содержащих сведения о материале, типе и условиях проведения экспериментов, данные, являющиеся непосредственными результатами экспериментов (первичная информация), а также данные, полученные в результате последовательности соответствующих этапов преобразований первичной информации:

- формирование первичных функций, полученных в результате проведения конкретных экспериментов;
- преобразование и статистическая обработка первичных функций, а также получение на их основе обобщенных функций свойств материала;
- получение материальных функций математических моделей с помощью специальных алгоритмов на основе имеющихся в банке функций свойств материала,

ориентированных на конкретные модели, описывающие соответствующие эффекты поведения материалов.

Все эти данные имеют различную степень значимости с точки зрения возможности их получения, использования и последующей переработки.

По аналогии с [5, 6] в создаваемом банке выделяются следующие группы данных:

- раздел первичной информации;
- раздел свойств материала;
- раздел моделей материала.

Кроме перечисленных тематических разделов, в создаваемом банке, в качестве самостоятельного, выделен дополнительно раздел «Материал», содержащий общую информацию об исследуемом материале: класс, марку, химический состав, состояние материала, комментарии и ссылку на параметры материала, а также детальную информацию, касающуюся испытываемого образца, – условия термической и механической обработки, место вырезки, направление волокон и др. Функционально этот раздел связан со всеми тематическими разделами банка.

С целью автоматизации процесса обработки данных на всех стадиях преобразования информации в BDM включена специальная подсистема «Рабочий стол», позволяющая агрегировать данные, полученные из нескольких различных экспериментов, производить коррекцию отобранных данных, их обработку и преобразование с помощью специальных алгоритмов и математических средств.

Таким образом, содержательную основу создаваемого банка составляют раздел «Материал», раздел первичной информации, раздел свойств материала, раздел моделей материала и подсистема «Рабочий стол».

## **2. Содержание разделов и структура информации**

Раздел первичной информации содержит сведения, непосредственно относящиеся к эксперименту: сведения, характеризующие материал, испытываемый образец, условия проведения экспериментов, оборудование, на котором проводились испытания, и данные результатов экспериментов в виде первичных функций материала заданного формата.

Раздел свойств материала содержит статистически осредненную информацию о конкретных свойствах рассматриваемого материала, полученную в результате соответствующей обработки данных раздела первичной информации либо занесенную из литературных источников, в виде «функций свойств материала». Представление числовых данных, характеризующих функцию, может осуществляться либо в виде таблиц (линейная аппроксимация), либо с помощью более сложных аппроксимаций (задаются формула и параметры аппроксимации).

В качестве справочной к этой информации могут быть подключены располагаемые в первом разделе банка дополнительные сведения о материале, типе эксперимента, условиях проведения опыта и другие данные, характеризующие эксперименты, на основе которых построена функция.

Раздел моделей материала содержит информацию о материальных функциях математических моделей, описывающих соответствующие эффекты поведения рассматриваемого материала, получаемую на основе обработки данных, содержащихся в разделе свойств материала, либо занесенную из литературных источников. Вычисление функций моделей материала осуществляется с помощью специальных

алгоритмов, ориентированных на конкретные математические модели. Форма представления числовых данных, характеризующих функцию, аналогична предыдущему разделу.

Так же, как и в предыдущем случае, к этой информации, в качестве справочной, могут быть подключены дополнительные сведения о материале, типе эксперимента, условиях проведения опыта, а также информация о конкретных функциях раздела свойств материала, на основе которых построена рассматриваемая материальная функция.

Все перечисленные информационные объекты имеют различную степень значимости с точки зрения возможности их получения, использования и последующей переработки. В этом смысле наиболее ценной является информация первого раздела, так как является наиболее объективной и сопряжена с наибольшей трудоемкостью ее получения.

В результате последующей (в частности, статистической) обработки уровень объективности информации в разделе свойств материала несколько снижается, однако она всегда может быть восстановлена при наличии данных первого раздела.

Последний раздел содержит информацию, отражающую лишь отдельные эффекты модельных представлений поведения материалов и потому еще более удаленную от объективных данных реальных свойств конкретного материала.

Несмотря на формальную независимость перечисленных разделов, все они связаны между собой определенными функциональными отношениями. Эти отношения могут быть построены в виде системы формальных связей, не зависящих от конкретного материала, конкретного содержания данных и даже от тематической направленности этих данных, а определяемых лишь их местом в составе иерархической цепочки получения и последующей переработки данных.

Для установления таких связей, прежде всего, должны быть введены соответствующие структуры данных.

В частности, если рассматривать данные, содержащиеся в банке, как результат некоторых законченных этапов переработки информации, то структура связей основных информационных элементов банка может быть представлена укрупненной схемой, изображенной на рис. 2.

Более детально на схеме изображены связи информационных элементов раздела первичной информации.

В основу организации структуры данных этого раздела положена иерархическая цепочка следующих структурных элементов: эксперимент → серия экспериментов → тип эксперимента → раздел эксперимента.

*Эксперимент* является основным структурным элементом раздела первичной информации, содержащим данные, характеризующие первичные функции материала, а также сведения, касающиеся проведения конкретных экспериментов (дата проведения, серия экспериментов), на основе которых эти функции получены, в виде набора соответствующих данных и ссылок.

*Серия экспериментов* содержит сведения, общие для группы однотипных опытов, включающие ссылки на описание экспериментального образца, испытательной установки, типа эксперимента, условий проведения эксперимента и документов, регламентирующих проведение эксперимента.

*Тип эксперимента* содержит общее описание конкретного вида испытаний и функциональное назначение данных, перечень данных, а также ссылки на раздел эксперимента и методику проведения испытаний рассматриваемого типа.

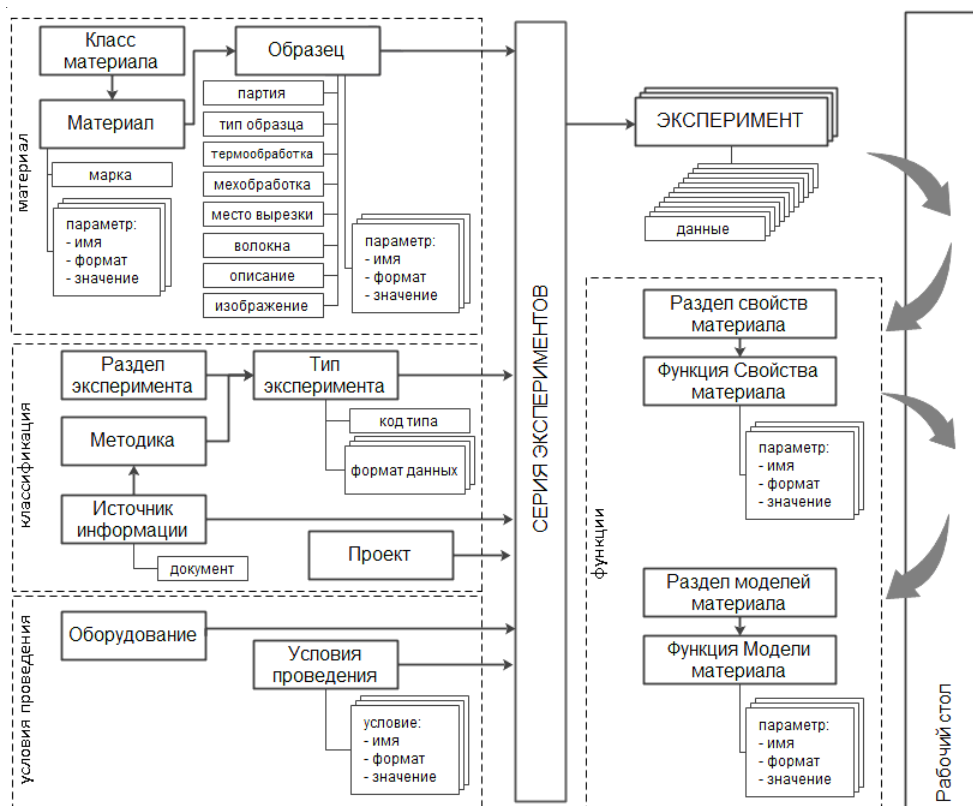


Рис. 2. Структурная схема банка данных

*Раздел эксперимента* определяет функциональное назначение группы испытаний, объединенных по некоторому тематическому признаку.

Конкретная информация, относящаяся к перечисленным выше структурным элементам, располагается в разделе банка «Материал», а также в других структурных элементах, которые будем называть ссылками.

Ссылки формально не вписываются в представленную иерархическую цепочку и содержат сведения, объединенные по некоторому характерному для этих объектов признаку. В число основных ссылок в структуру создаваемого банка входят следующие элементы:

- *Образец*. Содержит необходимую информацию о конкретном образце, используемом для проведения эксперимента: тип образца, партия, условия термической и механической обработки, место вырезки, волокна, а также комментарии и ссылки на материал;

- *Оборудование*. Содержит описание и основные параметры конкретной установки, используемой для проведения эксперимента;

- *Источник информации*. Содержит сведения о факте проведения конкретного эксперимента, его исполнителях и (или) ссылку на внешние источники, на основе которых были заимствованы соответствующие результаты эксперимента;

- *Условия проведения*. Содержит необходимую информацию об условиях проведения конкретного испытания в виде набора величин, характеризующих имя условия, формата значения и самого значения условия;



- *Методика*. Содержит краткое описание методики проведения типового эксперимента (или серии экспериментов) и ссылки на соответствующие документы;
- *Формат данных*. Содержит информацию об идентификации числовых значений рассматриваемых функций, единицах измерения этих значений и т.д.

### **3. Применение подсистемы «Рабочий стол» для обработки первичной информации и формирования раздела свойств материала**

Формирование информации раздела свойств материала осуществляется в результате преобразования данных первого раздела (первичных функций) с помощью специально разработанной подсистемы «Рабочий стол».

«Рабочий стол» представляет собой инструментальное средство, позволяющее:

- агрегатировать данные, полученные из нескольких различных экспериментов;
- производить коррекцию отобранных данных (вручную или с помощью специальных математических средств) и строить протофункцию вида:

$$y = F(x_1, \dots, x_n),$$

где  $y$  – значение функции,  $x_1, \dots, x_n$  – аргументы функции.

«Рабочий стол» реализован в виде модуля информационной системы. Система поддерживает возможность работы с неограниченным количеством рабочих столов, основу которых составляет рабочий лист – таблица. Столбец таблицы соответствует типу данных в массиве первичной информации, полученной из эксперимента, строка определяет собой кортеж, соответствующий множеству значений по типам данных при единичном съеме – замере данных в эксперименте.

Источником информации, обрабатываемой на рабочем столе, являются данные, извлеченные из блока первичной информации. Интересующие пользователя фрагменты такой информации, выбираемые из списка экспериментов, содержащих необходимые данные, могут быть импортированы на рабочий стол для последующей обработки.

На рабочий стол могут быть загружены данные из нескольких экспериментов одной или нескольких серий. Пользователь должен самостоятельно контролировать, чтобы количество и типы (форматы) данных, импортируемых из разных экспериментов в один столбец таблицы рабочего стола, соответствовали друг другу. Иными словами, в каждый столбец таблицы рабочего стола следует импортировать однотипные данные в одном формате.

Схема импорта данных из раздела «Первичная информация» на рабочий стол изображена на рис. 3.

После импорта данных на рабочий стол необходимо вручную назначить одному из столбцов роль «значение функции». Остальные столбцы на рабочем столе после этого получают роль «параметры функции». В процессе работы, если это необходимо, роль «значение функции» может передаваться другому столбцу, однако в каждый момент времени только один столбец на рабочем листе может быть назван «значение функции».

Обработка и преобразование данных на рабочем столе может осуществляться либо в ручном режиме, либо на основе специальных алгоритмов с использованием соответствующих математических методов.

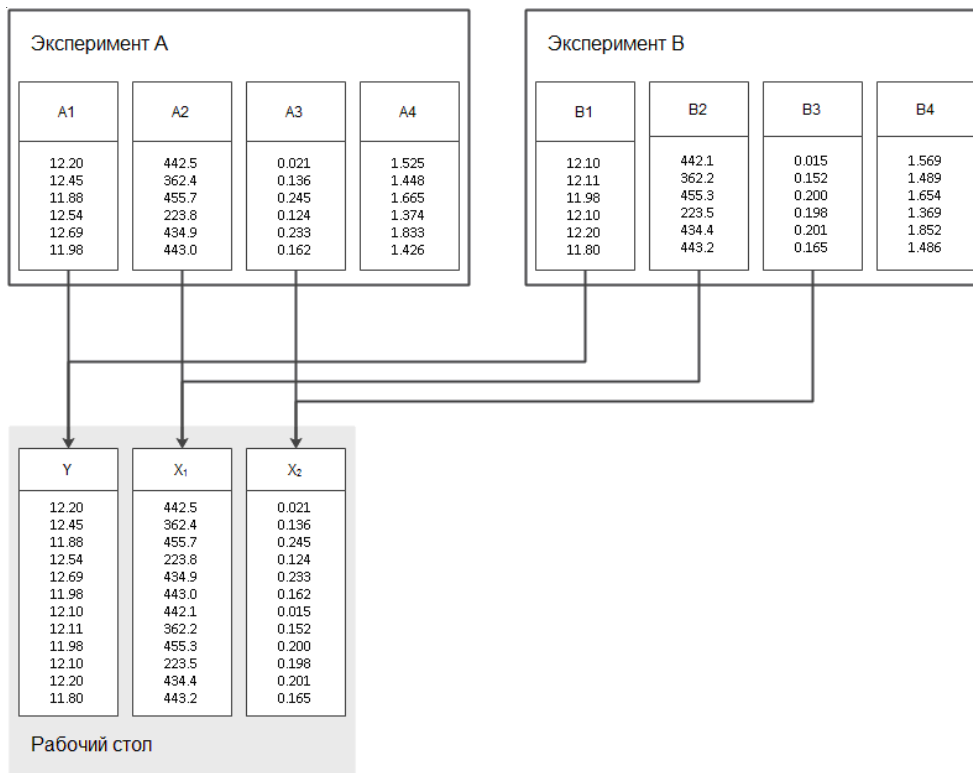


Рис. 3. Импорт данных на рабочий стол

### Заключение

Изложены концептуальные основы создаваемого в НИИ механики ННГУ автоматизированного банка данных физико-механических свойств материалов. Показаны основные этапы преобразования информации от первичных экспериментальных данных до материальных функций математических моделей, описывающих механические эффекты поведения материалов. Представлено краткое описание подсистемы «Рабочий стол», позволяющей производить коррекцию, обработку и преобразование данных из различных разделов банка с помощью специальных алгоритмов и математических средств.

### Список литературы

1. Мищенко Ю.Д. Сбор и представление экспериментальной информации при работе с банком данных по механическим свойствам материалов. *Пути развития информационных систем в научных учреждениях*: Сб. докл. конф. Киев, 1981. Ч. 2. С. 69–75. Деп. в ВИНТИ 17.11.81, №52-77-81.
2. Гришко В.Г. Принципы построения АСНИ прочности материалов. *Проблемы прочности*. 1981. №3. С. 115–121.
3. Капустин С.А. Задачи исследования квазистатических процессов деформирования конструкций при термосиловых нагружениях и их реализация в рамках АСНИ «Прочность». *Прикладные проблемы прочности и пластичности*. Горьков. ун-т, Горький. 1984. С. 17–23.
4. Бушмин Е.В., Дутышева Л.Я., Капустин С.А. Распределенная система обработки экспериментальных данных по физико-механическим свойствам материалов. *Управляющие системы и машины*. 1987. №3. С. 97–101.



5. Брагов А.М., Капустин С.А., Кузнецов А.М., Ломунов А.К., Большаков А.П., Игнатов О.Н. Концептуальная основа и общая структура банка данных по физико-механическим свойствам конструкционных материалов. *Вестник ННГУ. Сер. Механика*. Н. Новгород, 2002. Вып. 1(4). С. 119–126.

6. Капустин С.А., Кузнецов А.М., Урлин С.О., Брагов А.М., Ломунов А.К., Слепнев Ю.Г. Банк данных для информационного обеспечения моделей деформирования и разрушения материалов и сред. *Вестник ННГУ*. Н. Новгород, 2006. Вып. 1(7). С. 141–149.

7. Беликов В.В., Вабищевич Н.П., Катышков Ю.В., Мансурова Н.А. База данных по свойствам материалов. *Математическое моделирование*. 2014. Т. 26, №8. С. 20–30.

#### References

1. Mishchenko Yu.D. Sbor i predstavlenie eksperimental'noy informatsii pri rabote s bankom dannykh po mekhanicheskim svoystvam materialov. *Puti razvitiya informatsionnykh sistem v nauchnykh uchrezhdeniyakh*: Sb. dokl. konf. Kiev, 1981. Ch. 2. S. 69–75. Dep. v VINITI 17.11.81, №52-77-81.

2. Grishko V.G. Printsipy postroeniya ASNI prochnosti materialov. *Problemy prochnosti*. 1981. №3. S. 115–121.

3. Kapustin S.A. Zadachi issledovaniya kvazistaticheskikh protsessov deformirovaniya konstruktсий pri termosilovykh nagruzheniyakh i ikh realizatsiya v ramkakh ASNI "Prochnost". *Prikladnye problemy prochnosti i plastichnosti*. Gor'kov. un-t, Gor'kiy. 1984. S. 17–23.

4. Bushmin E.V., Dutysheva L.Ya., Kapustin S.A. Raspredeleonnaya sistema obrabotki eksperimental'nykh dannykh po fiziko-mekhanicheskim svoystvam materialov. *Upravlyayushchie sistemy i mashiny*. 1987. №3. S. 97–101.

5. Braгов А.М., Капустин С.А., Кузнецов А.М., Ломунов А.К., Большаков А.П., Игнатов О.Н. Концептуальная основа и обшчая структура банка данных по физико-механическим свойствам конструкционных материалов. *Vestnik NNGU. Ser. Mekhanika*. N. Novgorod, 2002. Vyp. 1(4). S. 119–126.

6. Kapustin S.A., Kuznetsov A.M., Urlin S.O., Bragov A.M., Lomunov A.K., Slepnev Yu.G. Bank dannykh dlya informatsionnogo obespecheniya modeley deformirovaniya i razrusheniya materialov i sred. *Vestnik NNGU*. N. Novgorod, 2006. Vyp. 1(7). S. 141–149.

7. Belikov V.V., Vabishchevich N.P., Katyshkov Yu.V., Mansurova N.A. Baza dannykh po svoystvam materialov. *Matematicheskoe modelirovanie*. 2014. T. 26, №8. S. 20–30.

**CONCEPTUAL BASICS OF AUTOMATED DATABASE  
FOR INFORMATIONAL PROVISION OF STRENGTH CALCULATIONS**

**Isaev S.A., Kapustin S.A., Igumnov L.A., Konstantinov A.Yu., Lomunov A.K.**

*Research Institute of Mechanics University of Nizhni Novgorod,  
Nizhni Novgorod, Russian Federation*

The paper discusses issues of developing an automated system of acquisition, processing and storing experimental information on physical-mechanical properties of structural materials, civil engineering materials and various soil media, used for informationally providing automated computational systems for analyzing strength and designing structures. The bank being developed is oriented at studying effects of behavior of structural materials under high-parameter effects of stress, thermal and other physical fields, as well as for equipping and experimentally corroborating mathematical models describing such effects. In its present version, the data bank is implemented on the basis of Microsoft.Net Framework, using the MS SQL Server database management production system. The content basis of the bank comprises parts of primary information on properties and models of materials. To automate the data processing process at all the stages of data transformation, the bank comprises the “Working Desk” subsystem, which makes it possible to aggregate data acquired from several different experiments, as well as to correct, process and transform it. At the Working Desk, data can be processed and transformed either manually, or using special algorithms with the related mathematical methods.

*Keywords:* databank, experimental information, material model, processing, algorithms, mathematical methods.