

# НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

УДК 002.55:539.4:620.172

## Автоматизированный банк данных “Прочность материалов”

**В. Т. Трощенко, П. П. Лепихин, Л. А. Хамаза, Ю. Н. Бабич**

Институт проблем прочности им. Г. С. Писаренко НАН Украины, Киев, Украина

*Описывается разрабатываемый авторами автоматизированный банк данных “Прочность материалов”, содержащий сведения о физико-механических характеристиках многочисленных отечественных конструкционных материалов в широком диапазоне условий их нагружения и эксплуатации. Представлены структура банка данных и описание его системы управления. Банк данных является многоцелевым информационно-вычислительным комплексом, предназначенным для решения практических задач по оценке и обоснованию ресурса основных деталей, узлов и агрегатов объектов современной техники по критериям прочности, надежности и долговечности.*

**Ключевые слова:** банк данных “Прочность материалов”, конструкционные материалы, структура банка, общие сведения о марках конструкционных материалов, специальные характеристики конструкционных материалов, система управления банком данных.

Современная методология установления, обоснования и увеличения ресурса сооружений, конструкций и оборудования, обеспечения их надежности и безопасной эксплуатации предусматривает необходимость применения расчетно-экспериментальных методов подтверждения ресурса основных деталей, узлов и агрегатов объектов современной техники при значительном сокращении объемов трудоемких и дорогостоящих экспериментальных исследований. Важным элементом такой методологии являются специализированные банки данных, содержащие как общие, так и специальные сведения о физико-механических характеристиках материалов.

В промышленно развитых странах Запада и в России разработан целый ряд банков по материалам. К ним, в частности, относятся.

Автоматизированный банк данных (АБД) при Центре данных о механических свойствах MP-DC (Трэверс-Сити, Мичиган, США), в котором собрано более 1 млн. сведений о свойствах 5000 металлов и сплавов [1].

Программа “Атлас сталей мира” (Atlas of World Steels), содержащая базу данных (общее число марок сталей 54000), в которую включена информация о химическом составе и некоторых свойствах сталей [1].

Американские базы данных Alloy Digest, Corrosion and Chemical Resistance, Alloy Finder, ASM Materials Data, а также база MSC/MVISION Evaluator,

содержащая сведения о физических и механических характеристиках, необходимых при работе с конечноэлементными пакетами MSC NASTRAN, ABAQUS, ANSYS и COSMOS [2].

Североамериканская база данных CASTI Metals Black Book. North American Ferrous Data по составу различных металлов и сплавов [3].

Японская база данных Data-Free-Way for Nuclear Materials по свойствам материалов для атомной энергетики [4].

Немецкая программа “Ключ сталей” (Stahlschlüssel), представляющая, по существу, электронную версию справочника “Stahlschlüssel” и содержащая сведения о стандартных характеристиках механических свойств 45 тыс. марок сталей [1].

Автоматизированные банки данных Winsteel, WinAlloy, WinPlant, разработанные фирмой “Квантор-Софт” с участием ГНЦ ЦНИИТМАШ, в которых приведены краткие сведения о более чем 48 тыс. сталей и сплавов, используемых в 24 наиболее промышленно развитых странах мира [1].

Комплекс банков данных “Конструкционная прочность материалов для основных деталей ГТД” (ЦИАМ, Москва), содержащих первичную информацию о более чем 300 наименованиях металлических сплавов, применяемых в различных отраслях машиностроения, энергетики, газотурбинной техники, авиации и космонавтики [5].

Кроме того, в России существуют отраслевые банки данных. Так, в ЦНИИчермет есть банк по сталям, используемым в металлургии и тяжелом машиностроении, в НИИхиммаш – по материалам для химической промышленности, в ВИАМ – по авиационным материалам, в Московском институте сталей и сплавов – по черным и цветным металлам и сплавам и т.д. [1].

Сравнительный анализ характеристик существующих автоматизированных банков данных по свойствам конструкционных материалов показывает, что в основном они имеют материаловедческую и технологическую направленность. Как правило, банки содержат общие сведения о марках материалов, их химическом составе и стандартных механических свойствах, а также технологические характеристики (ковочные свойства, свариваемость, обрабатываемость резанием, шлифуемость, литейные свойства и т.п.).

Что касается банков данных, содержащих сведения о физико-механических свойствах конструкционных материалов при различных условиях нагружения и эксплуатации, то в них имеется лишь отдельная информация о механических свойствах конструкционных материалов при тех или иных условиях нагружения.

Исходя из этого и возникла необходимость создания проблемно ориентированного банка данных, в котором систематизирована информация о механических свойствах конструкционных материалов в широком диапазоне при различных условиях деформирования, полученная преимущественно в Институте проблем прочности им. Г. С. Писаренко НАН Украины.

Наиболее близким по содержанию к описываемому в настоящей работе банку данных “Прочность материалов”, является комплекс банков данных “Конструкционная прочность материалов для основных деталей ГТД” (ЦИАМ, Москва), включающих в себя специализированные банки данных по характеристикам конструкционной прочности материалов, таким как:

характеристики сплавов для проведения расчетов на прочность;  
первичные данные по механическим характеристикам полуфабрикатов;  
первичные данные по малоцикловой усталости образцов;  
результаты испытаний деталей на малоцикловую усталость;  
первичные данные по скорости развития трещин в образцах;  
скорость развития трещин в деталях;  
расчетные кривые малоцикловой усталости с учетом рассеяния;  
расчетные кривые скорости развития трещин с учетом рассеяния;  
характеристики трещиностойкости.

Расчеты на прочность деталей и узлов газотурбинных установок с учетом указанных выше характеристик проводятся с использованием таких программных продуктов фирмы MSC, как PATRAN, NASTRAN, DYTRAN, FATIGUE и др.

На рис. 1 представлена структура банка данных "Прочность материалов", при разработке которого предусматривалось, что банк данных по металлическим конструкционным материалам должен состоять из следующих основных частей.

Первая часть – это информационный массив данных, включающий общие сведения о марках материалов (назначение, вид поставки, химические, физические и общие механические свойства). Сюда входят также всевозможные справочные данные, а именно: справочники; единицы измерения; система химических элементов; страны-изготовители; классификаторы; литература и т.п.

Вторая часть – это информационный массив данных по специальным характеристикам исследуемых марок материалов при тех или иных условиях нагружения и эксплуатации (рис. 1,б).

Третья часть – это набор алгоритмов и программ для прогнозирования характеристик прочности и долговечности материалов, в том числе бывших в эксплуатации, с использованием уже имеющихся информационных массивов банка.

Параллельно с разработкой структуры банка по металлическим конструкционным материалам создавалась совместимая с ней, но практически полностью автономная структура информационной базы по неметаллическим материалам (рис. 1,а), содержащая кроме общих сведений о марке материала следующие разделы:

конструкционные материалы – стекла, ситаллы, керамика (физико-механические характеристики);

термозащитные материалы – стеклопластики, углеметаллопластики, смолы (эксплуатационные характеристики);

огнеупорные материалы (эксплуатационные свойства).

На основе описанной структуры банка данных "Прочность материалов" создана соответствующая электронная оболочка и система управления базой данных (СУБД).

На рис. 2 представлена типичная структурная схема АБД по свойствам конструкционных материалов. В соответствии с выполняемой задачей и спецификой языковых средств АБД по свойствам материалов, использующий персональные компьютеры класса IBM, PENTIUM, является информационно-

поисковой системой диалогового типа (вопросно-ответной системой), располагающей развитыми информационно-логическими языками с многоуровневой иерархической структурой и единой операционной частью.



а



б

Рис. 1. Структурная схема банка данных “Прочность материалов”.

### Основные свойства СУБД.

1. Система управления базой данных представляет собой интегрированное решение в области автоматизации технологий обработки информации и предназначена для использования в условиях вычислительных сетей без ограничения количества пользователей.

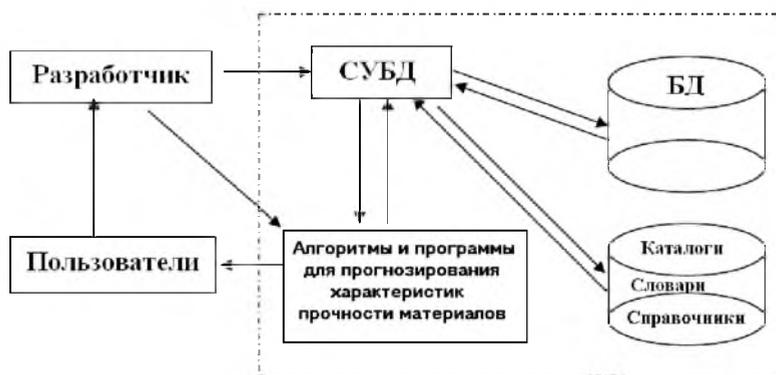


Рис. 2. Типичная структурная схема АБД.

2. В системе предусматривается наличие одной общей для многих пользователей базы данных, располагающейся на сервере.

3. Система может функционировать как в вычислительных сетях, так и на автономных персональных компьютерах класса IBM, PENTIUM в среде WINDOWS. Никаких дополнительных требований к аппаратным средствам система не предъявляет.

4. Средой программирования системы является DELPHI. Физическая структура базы данных отвечает стандартам DELPHI без привлечения других форматов.

5. Для реализации электронной базы данных написано около 40 модульных программ на языке СУБД для персонального пользования.

В настоящее время в рамках общей структуры АБД “Прочность материалов” выполнены следующие работы.

Создан банк данных, содержащий общие сведения о конструкционных материалах отечественного и зарубежного производства (примерно 1300 марок).

Создан информационный массив банка данных “Усталость”, который включает:

- характеристики сопротивления усталости 429 марок конструкционных материалов с учетом влияния конструктивно-технологических и эксплуатационных факторов;

- характеристики неупругого циклического деформирования и усталостного разрушения в условиях многоциклового нагружения 78 металлов и сплавов;

- характеристики прочности и пластичности при статическом и малоцикловом циклическом нагружении 200 конструкционных сталей.

Создан информационный массив банка данных “Длительная прочность и ползучесть”, в который входят:

- характеристики длительной прочности и ползучести на базах до 300 тыс. ч 36 марок конструкционных материалов, используемых в теплоэнергетике.

Создан информационный массив банка данных “Колебания и демпфирующая способность материалов и конструкций”, который включает:

– демпфирующие свойства более 100 марок конструкционных материалов при продольных, крутильных или поперечных колебаниях в условиях комнатной, а также низких и высоких температур.

Проводятся работы по разработке алгоритмов и пакетов прикладных программ:

– для прогнозирования характеристик усталостного разрушения материалов на базе уравнения кривой усталости Басквина–Мэнсона–Коффина и использования при определении параметров этого уравнения так называемых искусственных нейронных сетей;

– для прогнозирования длительной прочности металлов и сплавов до 300 тыс. ч на основе концепции так называемых базовых диаграмм длительной прочности.

Ниже представлены файлы данных, содержащие информацию об общих и специальных физико-механических свойствах конструкционных материалов.

Взаимодействие пользователя персональным компьютером с банком данных происходит следующим образом. После входа в систему осуществляется переход к главному меню, содержащему пять регистров: “Просмотр”; “Редактор”; “Настройки”; “Справки”; “Помощь” (рис. 3).

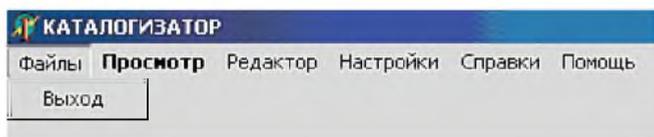


Рис. 3. Главное меню.

Назначение слов-регистров в главном меню:

“Просмотр” – поиск и выбор необходимой информации из всех таблиц;

“Редактор” – редактирование характеристик материалов;

“Настройки” – наполнение списков данных: например, вводятся новая марка материала, новый класс материалов и т.п.

“Справки” – работа с литературными источниками и получение различных справок: например, по системе химических элементов, условным обозначениям и т.п.

“Помощь” – информация о системе, включая действительный текст.

Полный путь управления к задаче поиска необходимых характеристик металлического материала представлен на рис. 4–6. Это – “Просмотр”; “Материалы”; “Металлические материалы”; “Марка материала”; “Выберите марку”.

После выбора марки материала можно перейти к просмотру файлов первого раздела банка, содержащих общие сведения о данной марке материала: “Общие данные” (назначение, вид поставки); “Химический состав”; “Физические свойства”; “Общие механические свойства”. На рис. 7 приведен фрагмент файла, содержащего общие механические свойства выбранной марки материала. Под общими механическими свойствами понимаются следующие стандартные характеристики: предел прочности ( $\sigma_b$ ); предел текучести ( $\sigma_{0,2}$ ); относительное удлинение ( $\delta$ ) и сужение ( $\psi$ ) при разрыве; ударная вязкость ( $KCU$ ) и твердость по шкале Роквелла ( $HRC$ ) и Бринелля ( $HB$ ).

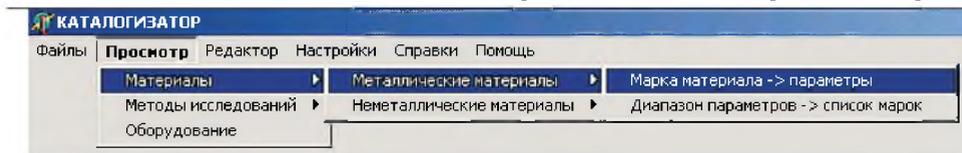


Рис. 4. Меню просмотра.



Рис. 5. Меню марки материала.

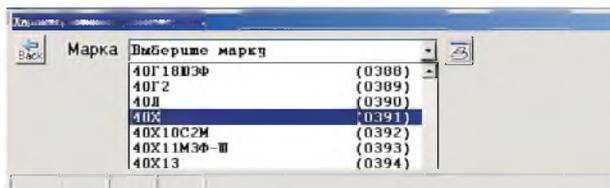


Рис. 6. Меню выбора марки материала.

НД	Режим термообработки		Сечение, мм	$\sigma_{0,2}$ , $\sigma_{\text{в}}$		$\delta$ , $\psi$ , КСЦ			НРСНВ	
	Операция	T, °C		Нмм <sup>2</sup>	Нмм <sup>2</sup>	%	%	Дис/сл		
ГОСТ 4543-71	Отжиг	820...840	Более 5 до 250	Не определяются						≤217
	Закалка	845...875	До 80	785	980	10	45	59	-	
	Отпуск	450...550	80...150 150...250	785	980	8	40	54	-	
ГОСТ 8479-70	Закалка	840...860	До 100	490	555	16	45	59	212...248	
	Отпуск	550...650	100...300	490	555	13	40	54	218...248	
			300...500	395	515	13	35	49	187...229	
			500...300	315	370	11	30	29	167...207	

Рис. 7. Фрагмент файла, содержащего общие механические свойства.

В первый раздел банка данных включено 1065 марок конструкционных материалов. Это – металлы (химически чистые, чистые, технически чистые), углеродистые стали (обыкновенного качества, качественные), легированные стали (низколегированные, легированные, высоколегированные), чугуны (серые, высокопрочные, специальные), сплавы на железоникелевой и никелевой основе, алюминиевые, титановые и магниевые сплавы, сплавы на основе меди, цинка, ниобия, марганца и молибдена.

После выбора марки материала также можно перейти к просмотру перечня специальных механических свойств материала, соответствующего структуре банка данных (рис. 8), а, выбрав необходимый раздел специальных механических свойств, – к просмотру характеристик, содержащихся в этом разделе.

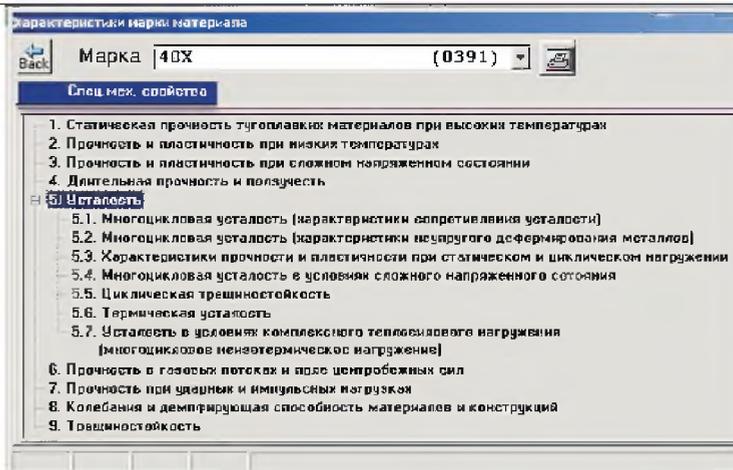


Рис. 8. Перечень специальных механических свойств материалов.

Рассмотрим файл, содержащий характеристики сопротивления усталости (на рис. 8 п. 5.1) – рис. 9. В качестве справочных характеристик сопротивления усталости металлов и сплавов приняты: предел выносливости (амплитудное значение) или среднее значение предела выносливости в случае статистических испытаний; среднеквадратическое отклонение предела выносливости или экспериментально установленный интервал его рассеяния; абсцисса точки перелома кривой усталости; показатель наклона левой ветви кривой многоциклового усталости; эффективный коэффициент концентрации напряжения; коэффициент чувствительности к концентрации напряжений.

Эти характеристики приведены с учетом влияния термообработки, уровня концентрации напряжений, размеров и формы образцов, асимметрии цикла напряжений, частоты приложения нагрузки, схемы нагружения (растяжение–сжатие, изгиб, кручение), температуры испытания, среды, технологических процессов финишной обработки рабочей поверхности образцов. В этом разделе банка данных содержится 429 наименований марок конструкционных металлических материалов, а, учитывая различные схемы и условия их испытания, – около 5500 характеристик усталостного разрушения. Это – металлы (химически чистые, чистые, технически чистые, 23 марки), углеродистые стали (низко-, средне- и высокоуглеродистые обыкновенного качества и качественные, 32), стали конструкционные легированные (низко- и высоколегированные, 230), чугуны (серые, ковкие, высокопрочные, жаропрочные, 28), сплавы на никелевой и железоникелевой основе, 29, алюминиевые сплавы (дюралюминий, ковочные, деформируемые и литейные сплавы, 40), титановые сплавы, 23, магниевые сплавы, 9, сплавы на основе меди, марганца, молибдена, ниобия и цинка, 15.

Структура файлов, содержащих характеристики неупругого деформирования металлов и сплавов при циклическом нагружении (на рис. 8 п. 5.2), прочности и пластичности при статическом и циклическом нагружении (п. 5.3), длительной прочности и ползучести (разд. 4), демпфирующей способности (разд. 8), т.е. разделов, которые разработаны на данный момент, аналогична представленной на рис. 9.

Характеристики марки материала

Марка: 40X (0391) Lstb2

Общие характеристики: Общие данные, Химический состав, Технологические свойства, Физические свойства, Эксплуатационные свойства, Общие мех. свойства, Спец. мех. свойства

5.1. Характеристики сопротивления усталости

8.144. Сталь 40X

Таблица 8.144.1. Условия испытаний и характеристики сопротивления усталости

Обозначение материала	Схема испытания	Среда	T <sub>исп</sub> , К	f, Гц	R <sub>с</sub>	σ <sub>авт</sub> , МПа	N <sub>с</sub> , циклы	Машина для испытаний	σ <sub>В</sub>	σ <sub>В</sub>	N <sub>с</sub>	σ <sub>В</sub>	σ <sub>В</sub>	K <sub>σ</sub>	q <sub>σ</sub>	Лит. источник	
									МПа	МПа							МПа
I	ПН <sup>1</sup>	Вз	293	—	-1	0	10 <sup>7</sup>	—	311	—	—	—	—	—	—	[441, 449]	
									345	—	—	—	—	—			
									—	235	—	—	—	—	1.46		0,6
	КИЧ <sup>2</sup>	Вз	293	—	-1	0	10 <sup>6</sup>	У-200	390	—	—	—	—	—	—	[341, 451]	
									365	—	—	—	—	—			
									—	195	—	—	—	—	1.87		0,7
II <sup>3</sup>	И	Вз	293	—	-1	0	5·10 <sup>6</sup>	—	332	—	—	—	—	—	[153]		
									—	—	—	—	—	—		—	—
III	НВК	Вз	293	83,3	-1	0	10 <sup>7</sup>	Веллер	625	—	—	—	—	—	[1062]		
									—	345	—	—	—	—		1.81	0,29
									—	210	—	—	—	—		2.89	0,72
									—	184	—	—	—	—		3.40	0,55
									—	115	—	—	—	—		5.43	1,01

Рис. 9. Характеристики сопротивления усталости.

## Резюме

Описується автоматизований банк даних "Міцність матеріалів", який розробляється авторами. Банк даних містить відомості про фізико-механічні характеристики численних вітчизняних конструкційних матеріалів у широкому діапазоні умов їх навантаження й експлуатації. Представлено структуру банку даних та описано його систему управління. Банк даних є багаточільовим інформаційно-обчислювальним комплексом, що призначений для розв'язання практичних задач щодо оцінки та обґрунтування ресурсу основних деталей, вузлів і агрегатів об'єктів сучасної техніки за критеріями міцності, надійності та довговічності.

1. Колосков М. М., Долбенко Е. Т., Каширский Ю. В. и др. Марочник сталей и сплавов / Под общ. ред. А. С. Зубченко. – М.: Машиностроение, 2001. – 672 с.
2. Гецов Л. Б. Информационная система по свойствам металлических материалов // Науч.-техн. ведомости СПбГТУ. – 2003. – № 3. – С. 39 – 47.
3. Bringas J. E. and Wayman M. L. CASTI Metals Black Book. North American Ferrous Data. – Edmonton: ASM International CASTI Publ., 2003. – 837 p.
4. Tsuji H., Yokoyama N., Fujita M., et al. Distributed database system for mutual usage of material information (Data-Free-Way) // Proc. of Conf. "Materials for Advanced Power Engineering". – Liege, 1998. – P. 1739 – 1745.
5. Банки данных по конструкционной прочности материалов для основных деталей ГТД. – <http://www.sonbi.ru/tsiam/research/PRO/R200/200-2.htm>.

Поступила 05. 03. 2008