

## **СТРУКТУРА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МЕХАНИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

**В. Г. Мокрозуб, А. В. Мокрозуб, А. А. Чуриков**

*ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов*

*Рецензент д-р техн. наук, профессор В. А. Немтинов*

**Ключевые слова:** база знаний; интеллектуальная автоматизированная система; механические расчеты; реляционная база данных; технологическое оборудование.

**Аннотация:** Рассмотрена автоматизированная информационная система, предназначенная для проведения механических расчетов элементов технологического оборудования. Для придания системе независимости от программной среды и устройства пользователя расчеты выполнены на сервере. Предложена система, которая автоматически определяет подлежащие расчету элементы и вид расчета на основе производственных знаний (правил) вида «ЕСЛИ..., ТО ...». Рассмотрено математическое и информационное обеспечение системы. В качестве базового математического обеспечения предложено использовать двудольный граф, связывающий элементы оборудования, условия эксплуатации и виды механических расчетов. Для хранения производственных знаний предложено использовать реляционную базу данных. Представлена структура базы данных для хранения производственных знаний.

### **Введение**

Переход экономики Российской Федерации на инновационный путь предусматривает ввод новых и модернизацию существующих обрабатывающих предприятий, в том числе химической, нефтехимической и пищевой промышленности. Основой этих предприятий является технологическое оборудование (**ТО**): емкостные, колонные, выпарные и др. аппараты.

---

Мокрозуб Владимир Григорьевич – кандидат технических наук, профессор кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении», e-mail: mokrozubv@yandex.ru; Мокрозуб Александр Владимирович – магистрант; Чуриков Александр Алексеевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Мехатроника и технологические измерения», ТамбГТУ, г. Тамбов.

Данное оборудование работает с агрессивными средами, при повышенной температуре и давлении и является опасным для человека и окружающей среды. В соответствии с этим необходимо выполнять механические (прочностные) расчеты, гарантирующие безопасность ТО, как при испытании и монтаже, так и в заданных рабочих условиях (температура, нагрузки, коррозионная активность среды, сейсмичность района установки и др.) [1].

Несмотря на различия процессов, протекающих в ТО (химические превращения, выпаривание, ректификация и др.), оно состоит из однотипных элементов: обечайки, днища, фланцы, опорные и строповые устройства и др. Основным стандартом для проведения механических расчетов элементов ТО является ГОСТ Р 52857.1–2007 «Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность». Кроме того имеются отдельные стандарты для колонных аппаратов, сильфонных и линзовых компенсаторов, валов и др.

Существующие многочисленные программы механических расчетов ТО имеют следующие недостатки:

- расчет выполняется на компьютере пользователя, что не позволяет использовать все современные клиентские средства (смартфоны, планшеты);
- не указывается для каких элементов ТО в заданных условиях эксплуатации следует проводить механические расчеты (на прочность, жесткость, устойчивость).

Цель работы:

- описание программ, предназначенных для механических расчетов элементов ТО, выполняющихся на стороне сервера;
- описание структуры программы, позволяющей определять элементы ТО, подлежащие механическим расчетам и виды этих расчетов.

В статье представлена структура программы механических расчетов виртуального кабинета «Конструирование технологического оборудования»; математическое и информационное обеспечение интеллектуальной автоматизированной системы, позволяющей для заданного типа ТО и условий его эксплуатации определять подлежащие механическим расчетам элементы и виды этих расчетов. При этом термин «интеллектуальная» используется потому, что для определения подлежащих расчету элементов ТО используются производственные знания (правила) вида «ЕСЛИ..., ТО...», которые хранятся в базе знаний [2].

### **Система механических расчетов виртуального кабинета «Конструирование технологического оборудования»**

Механические расчеты в виртуальном кабинете «Конструирование технологического оборудования» ([www.gaps.tstu.ru/kir](http://www.gaps.tstu.ru/kir)) выполняются в среде MathCAD и представляют собой электронную книгу, содержащую тексты стандартов и примеры расчетов [3].

Главное меню электронной книги представлено на рис. 1. Кроме того в интернет-составляющей виртуального кабинета имеются примеры механических расчетов ТО (рис. 2), которые можно переписать на компьютер клиента для дальнейшего использования.



Рис. 1. Главное меню электронной книги механических расчетов

При всей привлекательности существующих программ механических расчетов технологических аппаратов, они выполняются на стороне клиента, и не являются кросс-платформенными (работают только под управлением Windows), что в современных условиях, когда имеются многочисленные типы компьютерных устройств и операционных систем, является существенным недостатком.

В связи с этим одним из направлений развития виртуального кабинета «Конструирование технологического оборудования» является разработка программного обеспечения, выполняющегося на стороне сервера. На рисунке 3. представлено главное меню расчета на прочность обечаек и днищ, на рис. 4 пример расчета толщины стенки цилиндрической обечайки, на-

груженной внутренним избыточным давлением. При этом сам расчет выполняется на стороне сервера, поэтому у клиента могут быть кроме традиционных компьютеров с системой Windows, другие устройства (планшет, смартфон, нетбук). Расчет проводится по ГОСТ Р 52857.2–2007 «Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек выпуклых и плоских днищ и крышек».

Разработанный модуль установлен на Linux-платформе, веб-сервер – Apache HTTP-сервер. Язык программирования PHP.

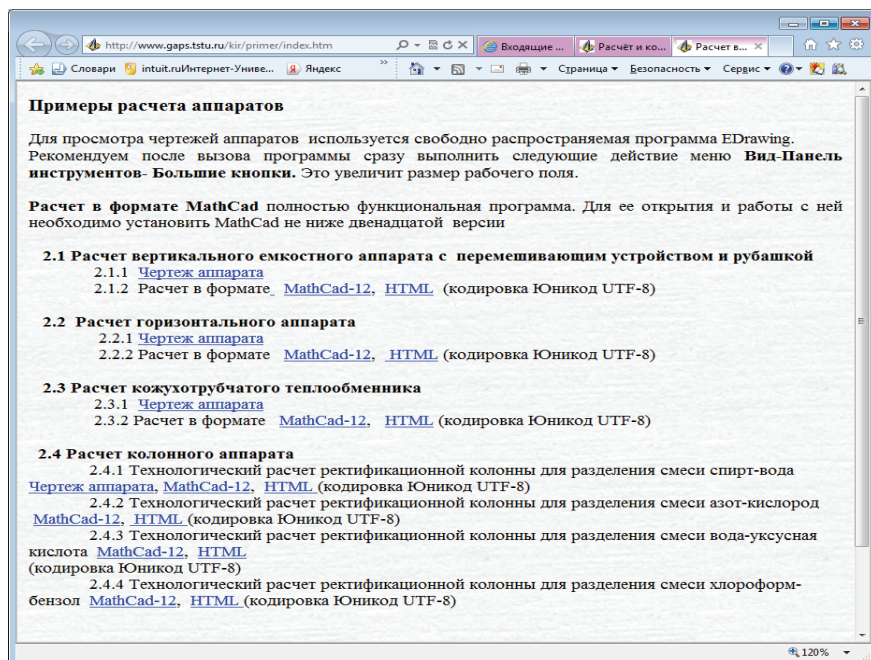


Рис. 2. Меню примеров механических расчетов ТО

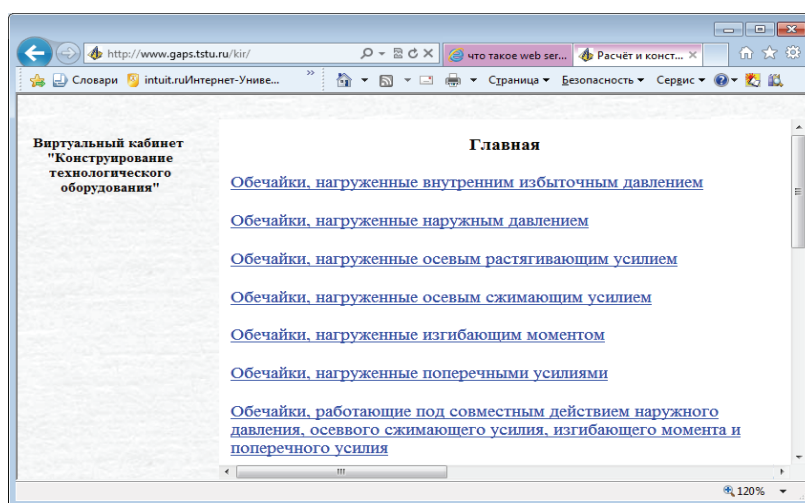


Рис. 3. Главное меню расчета на прочность обечаек и днищ

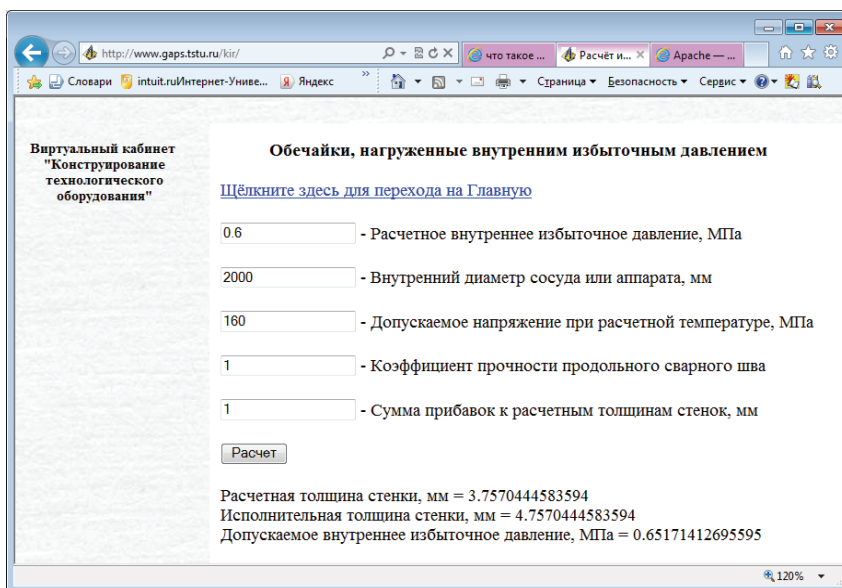


Рис. 4. Пример расчета толщины стенки цилиндрической обечайки

### Интеллектуализация механических расчетов технологического оборудования

Схема существующей системы выполнения механических расчетов ТО показана на рис. 5.

Очевидно, что исходными данными для расчета являются вид оборудования (емкостный аппарат с мешалкой, теплообменник, выпарной аппарат и др.) и условия эксплуатации аппарата (температура, давление, коррозионные свойства среды и др.). На основании этих данных лицо, принимающее решение (конструктор), выполняет следующие действия:

- определяет элементы оборудования, которые подлежат механическому расчету;
- определяет вид самого расчета (расчет на прочность, жесткость, устойчивость и др.);
- вызывает программу, выполняющую соответствующий расчет;
- вводит для этой программы исходные данные и проводит анализ результатов расчета.

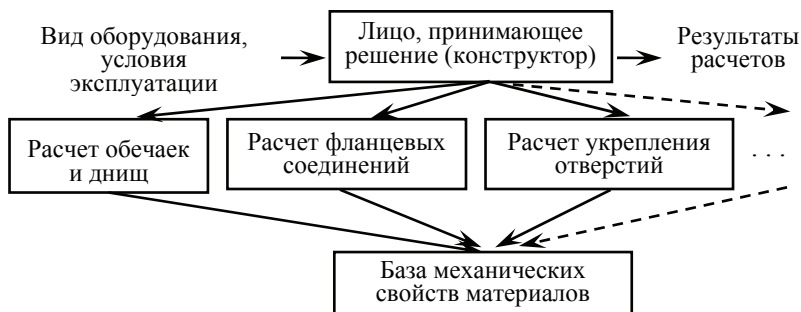


Рис. 5. Схема существующей системы выполнения механических расчетов ТО

Предложена новая схема механических расчетов ТО (рис. 6), в которой элементы, подлежащие расчету, и виды этих расчетов, определяются автоматически с использованием базы знаний. В этом случае участие в расчете конструктора минимальное, практически все действия выполняются управляющей программой. Определения элементов, из которых состоит ТО, осуществляется с помощью базы оборудования и его элементов [4, 5].

Для практической реализации предлагаемой схемы необходимо разработать соответствующее математическое и программное обеспечение.

Элементы, подлежащие расчету, и виды расчетов зависят от условий эксплуатации ТО. Эти зависимости представляют собой двудольный граф (рис.7),  $G = (V, R)$  где  $V = VU \cup VE$  – множество вершин графа,  $VU = \{vi_i, i = 1, \dots, I\}$  – множество условий эксплуатации представляет собой нагрузки, действующие на ТО (внутреннее давление, наружное давление, вес, давление в рубашке и др.),  $VE = \{ve_j, j = 1, \dots, J\}$  – множество элементов, подлежащих расчету (обечайка, днище, опора и др.),  $R = \{r_{ij}, i \in 1, \dots, I, j \in 1, \dots, J\}$  – ребра графа. Таким образом, ребра графа определяют элементы, подлежащие расчету в зависимости от условий эксплуатации.

Зависимость вида расчета элемента от совокупности нагрузок будем задавать правилами вида «ЕСЛИ..., ТО...». Примеры правил приведены ниже.

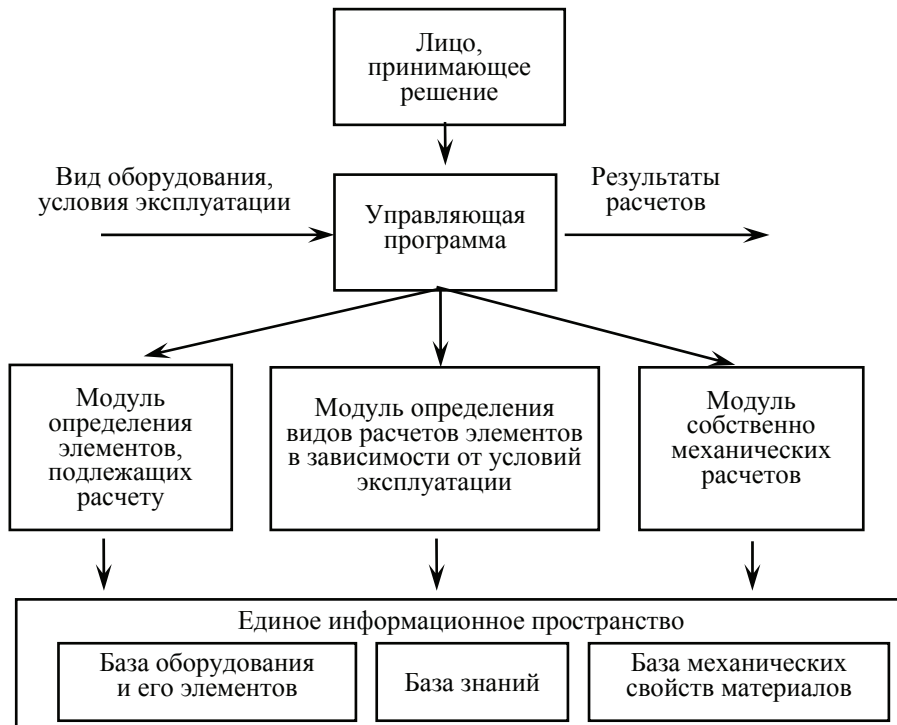


Рис. 6. Модернизированная схема выполнения механических расчетов ТО



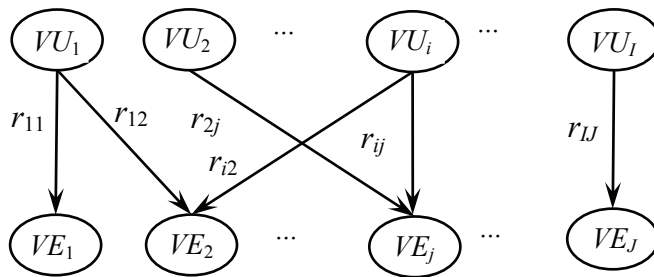


Рис. 7. Граф, связывающий условия эксплуатации и элементы, подлежащие расчету

*Правило 1.* Если в аппарате внутреннее давление, то обечайка корпуса рассчитывается на прочность.

*Правило 2.* Если имеется рубашка, то обечайка корпуса рассчитывается на прочность и устойчивость.

В качестве базового программного обеспечения для реализации представляемой системы механических расчетов используется система управления реляционными базами данных (РДБ). Возможность использования РДБ для хранения продукционных знаний (правил) доказана в [6, 7].

На рисунке 8 представлена схема базы данных, позволяющая по типу аппарата (емкость, теплообменник и др.) и видам нагрузки (внутреннее давление, внешнее давление и др.) определить элементы (обечайка, фланец, днище и др.), подлежащие механическому расчету, и виды этих расчетов (прочность, жесткость, устойчивость и др.).

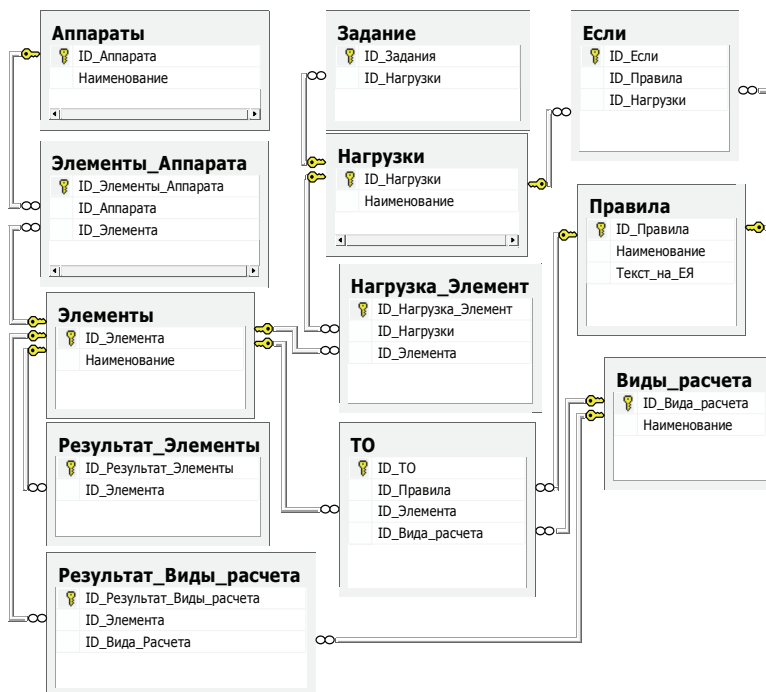


Рис. 8. Схема базы данных определения элементов, подлежащих расчету, и видов расчетов

Таблица «Аппараты» содержит список типов ТО, которое можно рассчитывать с использованием предлагаемой системы. В таблице «Элементы» находится список всех возможных элементов аппаратов, которые подлежат механическому расчету – множество вершин  $VE = \{ve_j, j = 1, \dots, J\}$  графа  $G = (V, R)$ . Таблица «Элементы\_Аппарата» позволяет для каждого типа ТО задать список его возможных элементов. Таблица «Нагрузки» содержит список возможных нагрузок, действующих на элементы ТО, – множество вершин  $VU = \{vu_i, i = 1, \dots, I\}$  графа  $G = (V, R)$ . Таблица «Нагрузка\_элемент» содержит ребра  $R = \{r_{ij}, i \in 1, \dots, I, j \in 1, \dots, J\}$  графа  $G = (V, R)$ .

### Заключение

Рассмотренная система является составной частью разрабатываемой системы автоматизированного проектирования технологического оборудования [8, 9], виртуального кабинета «Конструирование технологического оборудования» [3], прототипа виртуальной модели учебно-материальных ресурсов университета химико-технологического профиля [10].

#### Список литературы

1. Попов, Н. С. Методологические основы теории безопасности / Н. С. Попов, Н. В. Лузгачева, А. Хайри // *Вопр. соврем. науки и практики*. Университет им. В. И. Вернадского. – 2010. – № 10 – 12 (31). – С. 10 – 28.
2. Попов, Н. С. Процедура передачи знаний в сфере техногенной безопасности от эксперта в компьютерную программу / Н. С. Попов, Н. В. Лузгачева, А. Хайри // *Вест. Тамб. гос. техн. ун-та*. – 2011. – Т. 17, № 2. – С. 304 – 312.
3. Мокрозуб, В. Г. Виртуальный кабинет «Конструирование технологического оборудования» [Электронный ресурс] / В. Г. Мокрозуб, А. А. Борисяк, Е. С. Егоров // *Наука и образование. МГТУ им. Н. Э. Баумана* : электрон. журн. – 2011. – № 10. – Режим доступа : <http://technomag.bmstu.ru/doc/227902.html> (дата обращения: 10.07.2014).
4. База данных стандартных и типовых элементов технических объектов / В. Г. Мокрозуб [и др.] // *Радиотехника*. – 2010. – № 12. – С. 29 – 32.
5. Мокрозуб, В. Г. Представление структуры изделий в реляционной базе данных / В. Г. Мокрозуб // *Информ. технологии*. – 2008. – № 11. – С. 11 – 13.
6. Калиниченко, Л. А. Эффективная поддержка баз данных с онтологическими зависимостями: реляционные языки вместо дескриптивных логик / Л. А. Калиниченко // *Программирование*. – 2012. – № 6. – С. 45 – 62.
7. Мокрозуб, В. Г. Графовые структуры и реляционные базы данных в автоматизированных интеллектуальных информационных системах / В. Г. Мокрозуб. – М. : Спектр, 2011. – 108 с.
8. Мокрозуб, В. Г. Интеллектуальная автоматизированная информационная система проектирования химического оборудования / В. Г. Мокрозуб, В. Е. Красильников, М. П. Мариковская // *Системы упр. и информ. технологии*. – 2007. – Т. 30, № 4.2. – С. 264 – 267.
9. Мокрозуб, В. Г. Методологические основы построения автоматизированной информационной системы проектирования технологического оборудования / В. Г. Мокрозуб, М. П. Мариковская, В. Е. Красильников // *Системы упр. и информ. технологии*. – 2007. – Т. 27, № 1.2. – С. 259 – 262.
10. Разработка прототипа виртуальной модели учебно-материальных ресурсов университета химико-технологического профиля / В. А. Немтинов, [и др.] // *Вопр. соврем. науки и практики*. Университет им. В. И. Вернадского. – 2013. – № 3 (47). – С. 321 – 330.



## References

1. Popov N.S., Luzgacheva N.V., Khairi A. *Voprosy sovremennoi nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo*, 2010, no. 10-12, pp. 10-28.
2. Popov N.S., Luzgacheva N.V., Khairi A. *Transactions of Tambov State Technical University*, 2011, vol. 17, no. 2, pp. 304-312.
3. Mokrozub V.G., Borisyak A.A., Egorov E.S. *Nauka i obrazovanie. MGTU im. N.E. Baumana.*, 2011, no. 10, available at: <http://technomag.bmstu.ru/doc/227902.html> (accessed 10 July 2014).
4. Mokrozub V.G., Nemtinov V.A., Morozov S.V., Konovalova A.S. *Radiotekhnika*, 2010, no. 12, pp. 29-32.
5. Mokrozub V.G. *Informacionnye Tehnologii*, 2008, no. 11, pp. 11-13.
6. Kalinichenko L.A. *Programming and Computer Software*, 2012, no. 6, pp. 315-326.
7. Mokrozub V.G. *Grafovye struktury i relyatsionnye bazy dannykh v avtomatizirovannykh intellektual'nykh informatsionnykh sistemakh* (Graph structure and relational databases in automated intelligent information systems), Moscow: Spektr, 2011, 108 p.
8. Mokrozub V.G., Krasil'nikov V.E., Marikovskaya M.P. *Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii*, 2007, vol. 30, no. 4.2, pp. 264-267.
9. Mokrozub V. G., Marikovskaya M.P., Krasil'nikov V.E. *Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii*, 2007, vol. 27, no. 1.2, pp. 259-262.
10. Nemtinov V.A., Yukhanov V.V., Malygin E.N., Karpushkin S.V., Egorov S.Ya., Mokrozub V.G., Borisenko A.B., Nemtinova Yu.V. *Voprosy sovremennoi nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo*, 2013, no. 3 (47), pp. 321-330.

---

## The Structure of Intelligent Automated System for Mechanical Calculations of Process Equipment

V. G. Mokrozub, A. V. Mokrozub, A. A. Churikov

*Tambov State Technical University, Tambov*

**Keywords:** intelligent automated system; knowledge base; mechanical calculations; relational database; technological equipment.

**Abstract:** We consider the automated information system for mechanical calculations of process equipment elements. The system does not depend on the software environment and the user device. Calculations are performed on the server. In the existing systems, the user determines the elements to be calculated and the type of calculations to be used. We propose a system that automatically determines the elements to be calculated and the type of calculation to be used on the basis of productive knowledge (rules) of the form "If ... then ..."

We considered the mathematical and information support system. A bipartite graph, connecting pieces of equipment, operating conditions and types of mechanical calculations, was used as basic mathematical software. A relational database was used to store productive knowledge. The structure of a database to store the productive knowledge was described.

---

© В. Г. Мокрозуб, А. В. Мокрозуб, А. А. Чуриков, 2015