

# vacad: комплексный подход к проектированию вакуумных систем

СОЗДАВАЕМАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВАКУУМНЫХ СИСТЕМ VACAD СОДЕРЖИТ ИНФОРМАЦИЮ И ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОТ НАЧАЛЬНЫХ ЭТАПОВ ДО СОЗДАНИЯ РАБОЧЕЙ ДОКУМЕНТАЦИИ. ПОДСИСТЕМЫ И МОДУЛИ VACAD ПОЗВОЛЯЮТ СИНТЕЗИРОВАТЬ ПРИНЦИПИАЛЬНУЮ СХЕМУ, ПРОВОДИТЬ РАСЧЕТЫ И МОДЕЛИРОВАНИЕ, СОЗДАВАТЬ РАБОЧУЮ ДОКУМЕНТАЦИЮ.

**А.А. Войтеховский, В.А. Ветров**  
**voitalex85@gmail.com**

При традиционном проектировании работоспособность и функциональные характеристики вакуумного оборудования, вакуумных систем (ВС) и их элементов, как правило, определяются на стадии испытаний макетных образцов. Выявленные при этом дефекты и влияние конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов на функционирование и показатели качества в дальнейшем учитываются при корректировке рабочей документации.

Современная тенденция повышения сложности вакуумного оборудования, наряду с возрастающими требованиями к качеству и срокам проектирования, создает ситуацию, в которой инженеру необходимо быстро производить расчеты на всех этапах проектирования. Однако присутствующие на рынке программные продукты [1-4] и ведущиеся разработки [5-6] затрагивают отдельные аспекты проектирования ВС, не охватывая процесс в целом. Использование инженером разных программных продуктов, онлайн сервисов и методик ведет к дополнительным временным затратам. Этот факт, в совокупности с разрозненностью и противоречивостью информационных данных в литературе, обуславливает низкую эффективность проектирования ВС.

Целью создания системы автоматизированного проектирования VaCAD является повышение производительности труда проектировщика посредством программной среды, содержащей информацию и инструменты для проектирования ВС от начальных этапов до создания рабочей документации. VaCAD состоит из трех основных подсистем – информационной, графической и подсистемы моделирования, позволяющих синтезировать принципиальную схему ВС, проводить расчеты и моделирование ВС, создавать рабочую документацию. Подсистемы связаны между собой и используют информацию, содержащуюся в каждой из них.

В современном мире значительный рост объемов научнотехнической информации создает ситуацию, в которой инженер вынужден все больше времени уделять ее поиску. При этом, отдельные части искомого материала могут находиться в разных источниках, что усложняет проектирование. Проектировщику ВС приходится иметь дело с большим количеством материалов, газов, элементов вакуумных систем, данные по которым не всегда доступны и систематизированы.

Информационная подсистема VaCAD [7] представляет собой систему управления базами данных (СУБД) и содержит характеристики объектов вакуумной техники (рис. 1). Подсистема позволяет быстро найти информацию по самому широкому

кругу параметров объектов вакуумной техники. Пользователю предоставляется возможность добавлять новые объекты, классы объектов и их характеристики, редактировать и удалять старые.

Для работы с системой нескольких пользователей предусмотрена возможность создания индивидуально настраиваемых баз данных (БД), при этом организована удобная передача данных между различными БД. Разделение на исходные и пользовательские позволяет проектировщику настраивать БД в соответствии со своими предпочтениями. Исходная БД остается неизменной и позволяет, в случае потери данных в пользовательских базах, восстановить их.

Удобный пользовательский интерфейс, снабженный системой подсказок, позволяет легко ориентироваться в информационной подсистеме (рис. 2). Возможность сортировки по различным характеристикам делает наглядными преимущества тех или иных объектов, перед другими. Организация поиска минимизирует время получения инженером интересующей его информации. Предусматривается вывод на печать выбранных отдельных фрагментов баз данных.

Информационная подсистема, кроме основных действий, присущих любой СУБД, позволяет просматривать статистику, контролировать версию БД, создавать и восстанавливать резервную копию, печатать запрашиваемую информацию. Помимо информационного обеспечения, информационная подсистема представляет собой справочник, который избавляет инженера от дополнительного поиска информации.

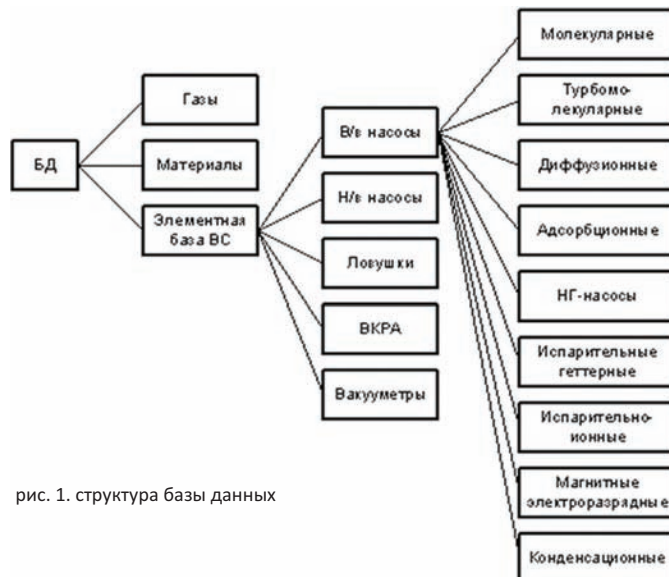


рис. 1. структура базы данных

Информационная вакуумная система

База данных Раздел Элемент Помощь

База данных: VaCad Master

Название	Q возд	P пред	P раб	P зап	Масса
АВДМС-900	1,20E+4	6,65E-05	0,13	0,13	2370,00
АВП100-100	120,00	6,00E-05	27,00	27,00	40,00
АВП160-250	300,00	6,00E-05	33,00	33,00	65,00
АВП250-630	840,00	6,60E-05	27,00	27,00	140,00
АВП400-1600	2150,00	6,60E-05	27,00	27,00	294,00
АВП639-4000	550,00	6,60E-05	27,00	27,00	870,00
ДЕМЗ.321.004	3500,00	5,00E-05	40,00	40,00	50,00
ДЕМЗ.321.010	3500,00	5,00E-05	40,00	40,00	50,00
ДЕМЗ.321.011	4000,00	0,0066	26,60	26,60	128,00
Н-0,15-С	15,00	0,0002	40,00	40,00	7,50
Н-0,25-2	10,00	1,00E-05	92,00	92,00	4,60
Н-0,5	500,00	6,60E-05	33,00	33,00	15,00
Н-100/350	310,00	6,60E-05	27,00	27,00	8,00
Н-160/700	640,00	6,50E-05	27,00	27,00	15,00
Н-1С-2	100,00	6,60E-05	53,00	53,00	10,00
Н-250/2500	2150,00	6,60E-05	27,00	27,00	43,00

рис. 2. пользовательский интерфейс информационной подсистемы

Графическая подсистема предназначена для создания изображения принципиальной схемы ВС, которая является основой для формирования математической модели функционирования ВС. Построение изображения происходит в экранной форме, включающей в себя рабочее поле и инструментальные панели. Рабочее поле, представленное на рис. 3, снабжено координатной сеткой и линейками, предусмотрено изменение его размеров, масштаба и настройка цветовой гаммы. При выводе на печать рабочее поле дополняется титульным штампом, содержащим информацию о проекте.

Набор инструментальных панелей включает в себя стандартную и специальные панели, произвольно размещаемые в экранной форме. Стандартная панель содержит команды загрузки и сохранения проекта, вывод схемы на печать. Специальные панели состоят из команд формирования изображения вакуумной схемы: добавления и редактирования элементов ВС, коммуникационных устройств, текстовой информации.

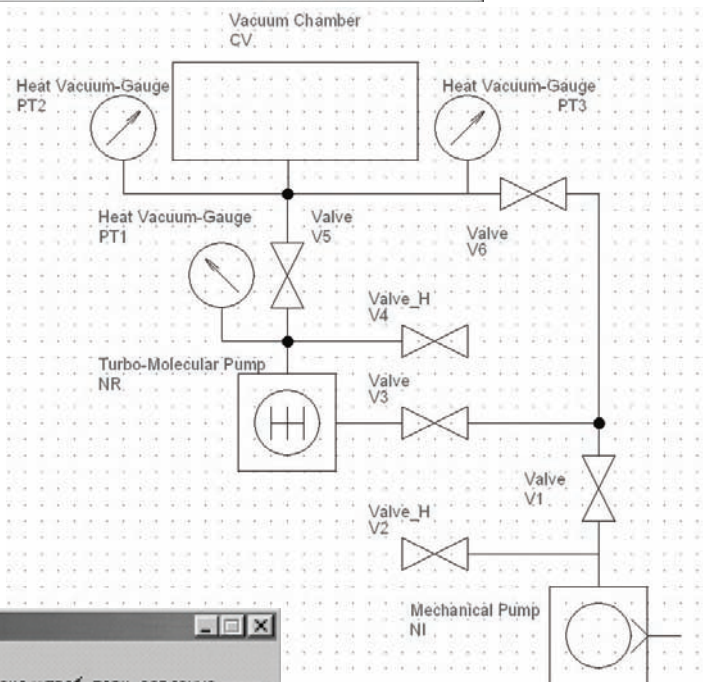


рис. 3. рабочее поле

Определение газовой нагрузки

Расчет Помощь

Рабочая камера

Материал	S, кв.м
Железо	3,5

Рабочее давление, Па

Поток напуска и треб. парщ. давление

Газ	Q	P, Па
Водород	1E-02	1E-03
Азот	1,5E-02	1E-03

Обрабатываемые изделия

Известно:  Масса изделия  Площадь поверхн.

Число обработыв. изделий: 2

Время обработки, с: 7

Материал: Молибден

Температура техн. процесса, К: 500

Площадь поверхности одного изделия, кв. м: [ ]

Масса одного изделия, кг: 0,5

Расплав:

Другое

Остальные потоки, л/с: [ ]

Расчет

рис. 4. пользовательский интерфейс модуля определения газовой нагрузки

Графическая подсистема позволяет изменять размер рабочего поля от формата А4 до А0, допускается задание пользовательского размера. Для удобства просмотра изображения принципиальной схемы ВС предусмотрено масштабирование рабочего поля. Пользователь имеет возможность настроить цветовую гамму в соответствии со своими предпочтениями.

В процессе проектирования, особенно, когда имеет место неопределенность исходных данных, а проведение реальных экспериментов требует больших материальных и временных затрат, целесообразным является применение методов математического моделирования, позволяющих без изготовления узлов и проведения экспериментов установить работоспособность предлагаемых структурных и конструктивных схем и требования к их составляющим.

Анализ отечественного рынка программных продуктов показал, что на сегодняшний день системы автоматизированного проектирования ВС на нем отсутствуют. Существующие системы, такие как "VacMaster", проводят часть необходимых проектных вакуумных расчетов. Среди зарубежных программных пакетов моделирования работы ВС можно выделить "Vactran" (Professional Engineering Computations, США) [1] и "VacSim Multi" (Softsim Ltd., Великобритания) [2]. Однако они обладают общими недостатками: неудобным графическим интерфейсом создания изображения принципиальной вакуумной схемы, отсутствием поддержки системы отечественных стандартов в области вакуумной техники и ограниченным выбором вакуумного оборудования.

С учетом указанных недостатков в системе VaCAD создана подсистема моделирования, объектом моделирования в которой являются потоки газа [8]. После формирования при помощи графической подсистемы принципиальной схемы ВС, предполагается проведение общей проверки на наличие случайных ошибок составления схемы (отсутствие сопряжения и назначенных параметров элементов ВС) и проверки на совместимость элементов между собой.

Характерной особенностью подсистемы моделирования является использование встроенного набора команд, имитирующих поведение оператора или системы управления вакуумного оборудования (включение насоса, открытие клапанов и т.д.).

Помимо описанных подсистем, система VaCAD содержит модули преобразования физических единиц, определения газовой нагрузки и модуль выбора. Модуль определения газовой нагрузки [9], пользовательский интерфейс которого представлен на рис. 4, используя информационную подсистему, позволяет автоматизировать начальный этап проектирования вакуумных систем – определение полного потока газовой выделенной в вакуумной камере. Под полным потоком газовой выделенной понимается поток, включающий в себя следующие составляющие: конструктивный поток газовой выделенной со стенок вакуумной камеры, технологический поток из обрабатываемых изделий, потоки напуска технологических газов, потоки натекания через дефекты и соединения.

Первые две составляющие рассчитываются по стандартным инженерным формулам с использованием эмпирических значений удельных потоков газовой выделенной, две последние задаются пользователем. Модуль позволяет определить

конструктивный поток газовой выделенной в вакуумной камере, состоящей из элементов различной площади и выполненных из разных материалов, с учетом времени обезгаживания.

При определении технологического потока газа из обрабатываемых изделий учитывается число обрабатываемых изделий, их масса или площадь поверхности, температура технологического процесса и время обработки. Предусмотрен случай газовой выделенной из расплава.

Потоки напуска различных технологических газов и требуемое их парциальное давление задаются проектировщиком. На данном этапе работы потоки газопроницания и вероятностные потоки натекания через дефекты и соединения объединены в единый постоянный поток, без уточнения рода составляющих.

Результатами работы модуля являются значение полного потока газовой выделенной в вакуумной камере и требуемая эффективная скорость откачки камеры по воздуху и напускаемому газу, получаемые исходя из задаваемых значений рабочего давления и парциальных давлений в камере. Предусматривается документирование исходных данных и результатов.

Модуль многокритериального параметрического выбора элементов вакуумных систем, используя информационную подсистему, служит для их выбора из базы данных в соответствии с техническим заданием (ТЗ).

Создаваемый программный продукт ориентирован на проектирование различного масштаба, деятельность которых связана с проектированием вакуумного оборудования. Разрабатываемая система может использоваться в машино- и приборостроении, пищевой и металлургической промышленности, материаловедении, медицине и других сферах, использующих вакуумное оборудование.

Внедрение академической версии VaCAD в вузах позволит проводить виртуальные лабораторные работы, курсовое и дипломное проектирование студентов, обучающихся по специальностям, связанным с изучением вакуумного оборудования и техники. Создание лицензионного программного продукта, не имеющего полных отечественных и зарубежных аналогов, обновление баз данных, добавление новых модулей, выпуск обновлений может стать основой деятельности IT-компании. 🌐

- Vactran Vacuum Technology Software. Livermore, CA, USA: Professional Engineering Computations, 2006. <http://www.vactran.com>
- VacsimTM & Vacsim Multi TM. Cambridge, UK: Softsim Ltd., 2005. <http://www.softsim.com/tsl/vacsim.asp>.
- DS3V Program for General Three-Dimensional Flows. Sydney, NSW, Australia: G.A.B. Consulting Pty Ltd., 2006. <http://www.gab.com.au/>.
- On-line calculation utilities. Associazione Italiana del Vuoto, 2006. <http://www.aiv.it/eng/utilita/calcolo.asp>.
- Нестеров С.Б. Расчет сложных вакуумных систем: Учеб. пособие / С.Б. Нестеров, Ю.К. Васильев, А.В. Андросов. М.: МЭИ, 2001. 180 с.
- Печатников Ю.М., Шпарбер А. Комплекс программ по моделированию течения разреженного газа при среднем вакууме // Известия Тульского государственного университета. 2004. № 3.
- Войтеховский А.А., Ветров В.А., Львов Б.Г. Информационная вакуумная система // Матер. Второй Российской студ. науч.-тех. конф. "Вакуумная техника и техноло-гия". Казань: КГТУ, 2005. С. 38.
- Ветров В.А. Моделирование вакуумных систем // Матер. студ. науч.-тех. конф. МИЭМ. М.: МИЭМ, 2004. С. 458–459.
- Войтеховский А.А., Ветров В.А. Автоматизированное определение газовой нагрузки при расчете вакуумных систем // Матер. студ. науч.-тех. конф. МИЭМ. М.: МИЭМ, 2005. С. 390.