

Автоматизированная оптимизация проектных решений на основе интеграции разнородных программных продуктов с САПР

Кретинин О.В., Сизов А.Ю., Туманов А.А.

Институт промышленных технологий машиностроения

Нижегородский Государственный Технический Университет имени Р.Е.Алексеева, Нижний Новгород, Россия

kretinin@list.ru, sizov_ost_vk@mail.ru, lexa240391@mail.ru

Аннотация

Рассмотрен процесс создания системы автоматизированной оптимизации проектных решений на основе программной интеграции САПР со специализированными программными продуктами. Предложена классификация информационных моделей системы оптимизации. Предложен вариант создания системы автоматической оптимизации виртуальных моделей в среде Autodesk Inventor на основе интеграции среды с программными приложениями на VBA и Python

Ключевые слова: параметрический синтез, проектное решение, оптимизация, программная интеграция, Autodesk Inventor.

1. ПРОЕКТНЫЕ ПРОЦЕДУРЫ СИНТЕЗА И АНАЛИЗА

Процесс проектирования в машиностроении является сложным и многоуровневым, по этой причине он носит итерационный характер. В проектировании принято выделять стадии, этапы и процедуры. Разделение процесса проектирования по этапам закреплено в [ГОСТ]

Разделение процесса проектирования на процедуры отражает принцип решаемых задач и является наиболее частным и конкретизированным – каждая процедура занимается решением определенной задачи. Проектная процедура является частью процесса проектирования, заканчивающаяся получением конкретного проектного решения. Примерами процедур структурного и параметрического синтеза устройства, оптимизация параметров функционального узла, трассировка соединений на печатной плате и т.п.

Принято подразделять процедуры проектирования на два основных типа: процедуры анализа и процедуры синтеза. Процедуры синтеза заключаются в создании описаний проектируемых объектов. В таких описаниях отображаются структура и параметры объекта и соответственно существуют процедуры структурного и параметрического синтеза. Под структурой объекта понимают состав его элементов и способы связи элементов друг с другом. Параметр объекта – величина, характеризующая некоторое свойство объекта или режим его функционирования. Примерами процедур структурного синтеза служат синтез структурной схемы с корректирующими устройствами или синтез алгоритма (его структура определяется составом и последовательностью операторов). Процедура параметрического синтеза заключается в расчете значений параметров элементов при заданной структуре объекта, например коэффициентов корректирующих устройств [НОРЕНКОВ].

Процедуры анализа заключаются в исследовании проектируемого объекта или его описания, направленном на получение полезной информации о свойствах объекта. Цель анализа – проверка работоспособности объекта.

Задачи синтеза являются более сложными и трудоемкими по сравнению с аналитическими, поскольку требуют от проектировщика не только применения особых знаний, но и определенного творчества. Целесообразно и оправдано применение для их решения средств автоматизации и вычислительной техники. Современные системы автоматизации проектных работ (САПР) представляют собой мощные сложные среды с большим набором инструментов и средств конструкторского и технологического проектирования. Однако, как показывает практика, в машиностроении задачи синтеза наиболее успешно решаются именно на этапе технологического проектирования, тогда как для конструкторского проектирования большей частью решены задачи анализа и верификации. Актуальной задачей является изучение возможностей САПР с целью расширения функционала для решения проектных задач синтеза и оптимизации структурно-параметрических моделей на основе заданных условий и диапазонов технико-экономических параметров, таких как размер, масса, материал, выдерживаемые нагрузки, коэффициент запаса прочности, стоимость материала и производства изделия [СТАТЬЯ].

Задачи синтеза проектных решений являются комплексными, и для их решения с помощью САПР требуются определенные ресурсы в виде видов обеспечения САПР. Задачи синтеза проектных решений рассматриваются как массовые, то есть как набор класса индивидуальных задач, различающихся вариантами исходных данных и типом проводимых над этими данными операций. Следовательно, и решение этих задач должно осуществляться последовательно, каждый класс подзадач должен решаться на своем уровне и с использованием соответствующего инструментария. Таким образом, для создания элементов систем автоматизации процедур параметрического синтеза и оптимизации в рамках САПР в полной мере применим основной принцип системного подхода – декомпозиция задачи параметрической оптимизации проектируемых объектов по видам обеспечения САПР. Декомпозиция в данном случае заключается в выделении в задаче оптимизации участков и подзадач, решаемых конкретным видом обеспечения САПР, выбор критериев и методики оптимизации, структурной схемы системы оптимизации, отражающей взаимосвязи между ее различными блоками. Другими словами, решение задач оптимизации проектных решений осуществляется путем их функциональной декомпозиции по видам обеспечения САПР.

Поскольку оптимизация заключается в поиске оптимальных соотношений управляемых параметров, то для ее осуществления достаточно изменять входные параметры и анализировать реакцию проектируемого объекта на изменения. Но в любом случае процессу параметрического синтеза и оптимизации предшествует процедура структурного синтеза. Однако эти процедуры также взаимосвязаны между собой, и от качества выполнения структурного синтеза во многом будет зависеть качество и

вообще возможность проведения оптимизации проектного решения (Рисунок 1):

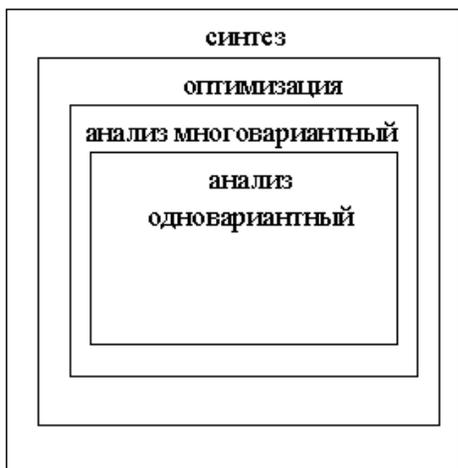


Рисунок 1 – Взаимосвязь проектных процедур

Взаимосвязь проектных процедур анализа и синтеза имеет характер вложенности процедуры анализа в процедуру оптимизации, а процедуры оптимизации в процедуру синтеза, объединяющую синтез структурный и параметрический, то есть анализ входит как составная часть в оптимизацию, а оптимизация - в синтез. В связи с этим, однократное выполнение процедуры оптимизации требует многократного выполнения процедуры анализа, а однократное решение задачи синтеза - многократного решения задачи оптимизации. Возможно, что путем параметрического синтеза не удастся добиться приемлемой степени выполнения условий работоспособности. Тогда используют другой путь, связанный с модификацией структуры. Новый вариант структуры синтезируется, и для него повторяются процедуры формирования модели и параметрического синтеза.

2. ВИДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Процесс создания системы автоматизированной оптимизации заключается в разработке отдельных видов ее обеспечения:

Математическое обеспечение – математические методы и алгоритмы одновариантного анализа и поиска экстремума целевой функции

Информационное обеспечение – информационная модель системы, отображающая потоки информации

Программное обеспечение – программная реализация алгоритмов математического обеспечения и интеграции программных средств

Лингвистическое обеспечение – интерфейсные средства «общения» проектировщика с системой оптимизации

Первым шагом в создании обеспечения системы автоматизированной оптимизации является разработка математического обеспечения. Поскольку многовариантный анализ состоит из многократно повторяемого одновариантного анализа с изменением вектора управляемых параметров, то математическое обеспечение системы оптимизации будет включать несколько компонентов

- математическое обеспечение одновариантного анализа, заключающееся в проведении исследования одного отдельно взятого варианта конструкции в соответствии с принятой целевой функцией;

- математическое обеспечение многовариантного анализа, необходимое для определения направления дальнейшего поиска оптимума и критерия нахождения последнего, а также шага изменения управляемых параметров.

Информационное обеспечение системы оптимизации описывает ее информационную модель. В информационной модели отражаются все потоки информации, структурно-информационные связи между блоками системы, а также состав и иерархию блоков в системе. Набор блоков будет зависеть от конкретной целевой функции. В общем виде информационные модели системы оптимизации можно классифицировать следующим образом:

Локальная модель – система оптимизации строится внутри САПР и только с использованием средств САПР, не прибегая к сторонним приложениям.

Интегрированная модель – система оптимизации задействует для определенных операций дополнительные программные средства и приложения, но базируется на одной САПР без привлечения крупных программных продуктов.

Расширенная модель – система оптимизации строится на нескольких САПР или программных продуктах, реализующих отдельные этапы задач синтеза или оптимизации.

Программное обеспечение системы оптимизации реализует функции информационного и математического. По назначению программное обеспечение подразделяется на общее и специальное. Общее программное обеспечение системы автоматизированной оптимизации должно обеспечить подготовку запуска непосредственно алгоритма многовариантного анализа объекта. Подготовка заключается в организации доступа к управляемым параметрам объекта, заданию граничных условий (функций-ограничений) задачи оптимизации и ряда специальных процедур, относящихся к конкретному варианту исполнения системы. В соответствии с алгоритмом математического обеспечения разрабатываемой в данном исследовании системы оптимизации, первоначальной задачей для старта процедуры оптимизации является получение имен и значений входных (управляемых) параметров, подлежащих варьированию в процессе многовариантного анализа. Специальное программное обеспечение реализует основные функции системы оптимизации: процедуры перебора вариантов в соответствии с математическим методом определения направления поиска экстремума, постановки экспериментальных исследований вариантов, анализа экспериментальных данных, принятия решений о продолжении оптимизации. Решение названных задач должно осуществляться в автоматическом режиме без участия человека. При этом в ходе реализации должны быть разработаны программные методы анализа данных эксперимента с целью получения значений целевой функции и количественных характеристик функций-ограничений.

3. ПРИМЕР СИСТЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ

Примером реализации является система автоматизированной оптимизации моделей изделий машиностроительных производств по критерию прочности. Математическая модель данной системы выглядит следующим образом. Как известно, основными прочностными характеристиками материала являются предел прочности и предел текучести. Возникающие в детали при нагружении механические напряжения зависят от геометрии детали, причем как от

формы, так и от размеров. В свою очередь, форма и размеры будут влиять на количество использованного металла (материала), массу и, в конечном итоге, на ее стоимость. Таким образом, изменяя размеры и массу (и, следовательно, стоимость), можно достигнуть минимально допустимых геометрических параметров детали, при которых будут сохраняться прочностные характеристики детали. Следовательно, масса детали в такой системе будет являться целевой функцией:

$$M(d_1, d_2, \dots, d_n) \rightarrow \min,$$

где M – масса детали, d_1, d_2, \dots, d_n – геометрические размеры детали. При этом необходимо на каждой итерации проводить проверку выполнения условий сохранения прочности детали. Следовательно, величины предельных прочностных характеристик детали будут являться функцией-ограничением, а текущее механическое напряжение в детали – исследуемой величиной:

$$\sigma_k(d_1, d_2, \dots, d_n) < \sigma_T,$$

где $k = 1, 2, \dots, m$ – номер итерации, σ_T (или σ_B) – предел текучести (или прочности) материала детали. Выбор ограничивающей характеристики зависит от конкретной целевой функции.

Как правило, прочностные расчеты являются достаточно громоздкими. Однако создавать отдельную математическую модель для их реализации не требуется: большинство процедур расчета механических напряжений в модели детали автоматизировано в САПР и представляет собой отдельные модули CAE или подпрограммы САПР.

Таким образом, исходя из требований (2.12) и (2.13), целевая функция оптимизации будет определяться следующим образом: необходимо стремиться к уменьшению массы детали за счет изменения ее геометрической формы и размеров до тех пор, пока выполняются условия сохранения прочностных характеристик данной детали. Запись будет иметь вид

$$\begin{cases} M(d_1, d_2, \dots, d_n) \rightarrow \min \\ \sigma_k(d_1, d_2, \dots, d_n) < \sigma_T, \\ d_n = d_n - h \end{cases}$$

где h – шаг изменения параметра.

Определение достижения оптимума осуществляется по методу планирования эксперимента. Первая точка берется произвольно. Это может быть начальная конфигурация модели. В зависимости от количества изменяемых параметров у точки будет набор координат, определяющий размерность эксперимента. Далее вокруг нее строится симметричная окрестность в соответствии с выбранными шагами по каждой из координат (параметров), после чего каждому значению присваивается уровень +1 или -1. В случае если размерность эксперимента n не превышает 3, проводится полный факторный эксперимент, и на каждую точку приходится 2^n опытов. При количестве факторов 4 и более имеет место дробный факторный эксперимент.

Каждая из точек плана эксперимента соответствует определенной геометрической конфигурации модели детали. Опыт в данной системе представляет собой проведение анализа напряжений в модели под нагрузкой. Для этого создается один раз модель нагружения детали, а затем осуществляется автоматизированная процедура расчета напряжений. Результатом анализа становится величина максимального напряжения в детали и ее масса, то есть для каждой точки получаем набор из 2^n величин максимального

напряжения и массы. Чтобы получить следующую точку, необходимо получить направление дальнейшего поиска. Направление поиска получается из уравнения регрессии, рассчитываемого по методу наименьших квадратов. Полученная функция будет отражать направление вектора градиента для конкретного плана эксперимента. Давая приращение на шаг, определяем координаты новой точки, вокруг которой снова строится план эксперимента. Итерации повторяются до тех пор, пока изменение массы детали не станет меньше заданной точности, т.е. пока $M_k - M_{k-1} > \varepsilon$, где M – значения массы детали на k и $k+1$ итерациях, ε – заданный уровень точности определения экстремума, либо до тех пор, пока напряжения во всех точках плана не станут выше предельных значений.

В качестве информационной модели выбрана интегрированная модель (рисунок 2).

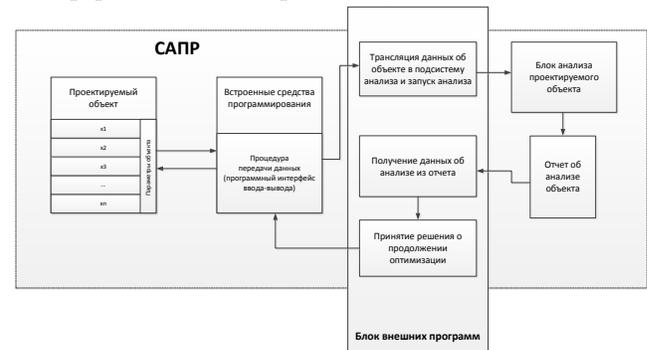


Рисунок 2 – Структурная схема интегрированной информационной модели

Данные об объекте (управляемые параметры объекта) с использованием встроенных программных средств поступают в блок внешних программ. Этот блок осуществляет преобразование и передачу данных в блок анализа, где осуществляется одновариантный анализ проектируемого объекта в соответствии с целевой функцией. Далее блок внешних программ осуществляет «чтение» отчета и передает данные о результатах одновариантного анализа в следующий блок, где осуществляется математический анализ этих результатов в соответствии с выбранным методом, на основе чего вырабатывается решение об окончании или продолжении процедуры оптимизации. В первом случае цикл завершается, текущий вариант соотношения управляемых параметров принимается оптимальным. В последнем случае происходит изменение вектора управляемых параметров в соответствии с выбранным математическим правилом, и процедура повторяется.

В качестве базовых средств создания программного обеспечения были выбраны среда проектирования Autodesk Inventor, среда разработки VBA и язык программирования Python. Доступ к параметрам и свойствам объекта осуществлялся через использование интерфейса прикладного программирования (Application Programming Interface, API) среды Inventor. API представляет собой спецификацию иерархии объектов, их свойств и методов, доступных сторонним разработчикам для создания прикладных программ. По сути API представляет собой программный доступ к функционалу Inventor и его объектам, позволяя не использовать для работы инструментальные панели. Такой подход делает возможным обращение к свойствам объектов и функциям САПР в автоматическом режиме. Подобный интерфейс существует у многих приложений: им оснащены

Microsoft Excel, SolidWorks, ОС Windows. Inventor использует такой тип API, где объекты представлены через объектную модель, или иерархию. Объектная модель представляет объекты в структурированном, организованном виде, а также определяет отношения между объектами. Чтобы получить доступ к специфичному объекту, нужно сначала получить доступ к верхнему объекту-родителю в иерархии и только потом двигаться вглубь. Участок объектной модели API Inventor представлен на рисунке 3.

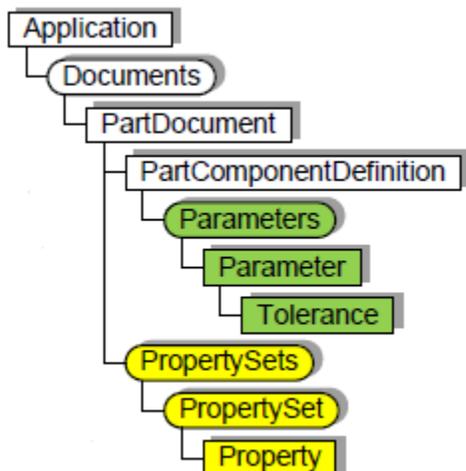


Рисунок 3 – Участок структуры объектной модели API Inventor

Доступ к API может осуществляться на любом языке программирования, поддерживающем технологию прикладного программирования приложений. Обращение к элементам API Inventor осуществляется посредством языка VBA (Visual Basic for Applications) - упрощенной прикладной версии Visual Basic, интегрированной в Inventor. VBA – один из наиболее распространенных средств прикладного программирования приложений, он является мощным инструментом для модификации виртуальной среды, а также может служить для интеграции Inventor с другими приложениями и данными.

Процедура одновариантного анализа осуществлялась посредством модуля «Анализ напряжений» среды Inventor. Однако для его запуска потребовалось создание специальных средств, поскольку программный доступ к функционалу модуля через API невозможен ввиду отсутствия объектной модели для модуля. Python-скрипт осуществляет доступ к API Windows и через него управляет положением курсора мыши через координаты экрана. Далее скрипт передвигает курсор на требуемые кнопки инструментальной панели модуля и имитирует нажатие на них, тем самым осуществляя автоматический запуск процедуры одновариантного анализа и формирования отчета.

Такое решение не является универсальным, поскольку оно зависит от параметров экрана конкретного монитора, и прописывать жесткие координаты кнопок в «точках» недопустимо. В этом случае возможны два пути решения сложившейся проблемы;

1. использование ASCII-кодов «горячих» клавиш модуля;
2. создание гибкой процедуры записи координат кнопок на панели в интерактивном режиме.

В данной работе был использован второй способ. Скрипт осуществлял в интерактивном режиме запись координат требуемых кнопок, после чего заносил их в текстовые файлы. В цикле оптимизации другой скрипт осуществлял построчное чтение и преобразование текстовых данных в числовое значение и выставлял курсор в нужные позиции, после чего происходила программная имитация клика мыши.

Таким образом, была реализована система автоматизированной оптимизации виртуальных моделей в среде Inventor по параметру массы. В качестве управляемых параметров использовались геометрические размеры детали. На данном этапе реализована двухпараметрическая оптимизация. Следующие шаги направлены на использование методологии дробного факторного эксперимента с целью увеличения количества управляемых параметров в задаче оптимизации.

На школу молодых ученых в рамках конференции ГрафиКон принимаются статьи объемом не более четырех (4) страниц длиной, с цветными иллюстрациями (Рис.1), включенными в текст статьи.

Авторы и аффилиация должны быть указаны 10 размером шрифта.

г

4. ССЫЛКИ

[1] - ГОСТ 2.103-68 Единая система конструкторской документации. Стадии проектирования

[2] - Кретинин, О.В. Система автоматизированной оптимизации структурно-параметрических моделей по технико-экономическим критериям в виртуальной среде / Кретинин О.В., Сизов А.Ю., Туманов А.А., Федосова Л.О. // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е.Алексеева / НГТУ им. Р.Е.Алексеева. – Нижний Новгород, - 2014. №5(107), специальный выпуск. - С.271-275.

[3] - Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования: учебник для вузов / И.П.Норенков. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: изд-во МГТУ им. Баумана, 2009.

Об авторах

Кретинин Олег Васильевич – д.т.н, профессор НГТУ имени Р.Е.Алексеева. Его адрес: kretinin@list.ru

Сизов Александр Юрьевич – аспирант НГТУ имени Р.Е.Алексеева. Его адрес: sizov_ost_vk@mail.ru

Туманов Алексей Анатольевич - аспирант НГТУ имени Р.Е.Алексеева. Его адрес: lexa240391@mail.ru