

И.А. Харин, М.В. Раскатова

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАСЧЕТОВ ДИНАМИЧЕСКОЙ АЭРОУПРУГОСТИ САМОЛЕТОВ

Аннотация. В статье рассматриваются алгоритмические методы, направленные на оптимизацию расчетов в области динамической аэроупругости самолетов. Этот процесс является сложным и включает в себя взаимодействие между аэродинамическими силами, упругими деформациями и инерционными эффектами, что требует использования высокоэффективных вычислительных методов. Основная цель исследования заключается в разработке интегрированного подхода, сочетающего современные оптимизационные техники, такие как замена алгоритмов, распараллеливание, векторизация и оптимизация флагов. Проводится анализ существующих алгоритмических решений и их воздействия на производительность расчетов, а также предлагаются инновационные предложения по их комбинированию с целью повышения вычислительной эффективности. Результаты показывают, что использование предложенных алгоритмов может значительно уменьшить время расчетов и улучшить их точность в области динамической аэроупругости. Полученные выводы полезны как для теоретических исследований, так и для практического применения в аэрокосмической промышленности. Статья будет интересна специалистам в области математических и программных решений для вычислительных систем, а также ученым, работающим на пересечении аэроупругости и оптимизации. Также приведены примеры успешного применения этих алгоритмов на реальных моделях самолетов. Кроме того, обсуждаются возможности будущих исследований, включая интеграцию с современными вычислительными платформами и применение методов машинного обучения для улучшения предсказаний.

Ключевые слова: динамическая аэроупругость, алгоритмические решения, оптимизация расчетов, распараллеливание, векторизация, математическое моделирование.

I.A. Kharin, M.V. Raskatova

DEVELOPMENT OF ALGORITHMIC SOLUTIONS FOR OPTIMIZING CALCULATIONS OF DYNAMIC AEROELASTICITY OF AIRCRAFT

Abstract. The article discusses algorithmic methods aimed at optimizing calculations in the field of dynamic aeroelasticity of aircraft. This process is complex and involves the interaction between aerodynamic forces, elastic deformations, and inertial effects, which necessitates the use of highly efficient computational methods. The main objective of the research is to develop an integrated approach that combines modern optimization techniques such as algorithm replacement, parallelization, vectorization, and flag optimization. The paper analyzes existing algorithmic solutions and their impact on calculation performance, as well as presents innovative proposals for their combination to enhance computational efficiency. The results show that the use of the proposed algorithms can significantly reduce calculation time and improve accuracy in the field of dynamic aeroelasticity. The findings are relevant for both theoretical research and practical applications in the aerospace industry. The article will be of interest to specialists in mathematical and software solutions for computational systems, as well as researchers working at the intersection of aeroelasticity and optimization. Additionally, examples of successful applications of these algorithms on real aircraft models are provided. Furthermore, future research opportunities are discussed, including integration with modern computing platforms and the application of machine learning methods to improve predictions.

Keywords: dynamic aeroelasticity, algorithmic solutions, calculation optimization, parallelization, vectorization, mathematical modeling.

Харин Илья Андреевич

аспирант, ассистент кафедры вычислительных машин, систем и сетей, Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва. Сфера научных интересов: разработка, оптимизация программ. Автор девяти опубликованных научных работ. ORCID: 0009-0001-8627-2829, SPIN-код: 4523-4235, AuthorID: 1227306.

Электронный адрес: harin.ilya@bk.ru

Раскатова Марина Викторовна

кандидат технических наук, доцент, Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва. Сфера научных интересов: анализ данных, разработка программных приложений. Автор более 100 опубликованных научных работ. ORCID: 0000-0001-7671-3312, SPIN-код: 8053-5041, AuthorID: 609945.

Электронный адрес: marvp@yandex.ru

Введение

Динамическая аэроупругость является важной областью науки в аэродинамике и авиационной инженерии, связанной с взаимодействием аэродинамических сил, деформаций конструкций и инерционными эффектами. Эти взаимодействия критически важны для безопасности и эффективности летательных аппаратов, особенно при маневрах и изменении нагрузок. Динамическая аэроупругость охватывает различные аспекты, включая изменение формы крыла под воздействием воздушного потока, что может спровоцировать такие явления, как флаттер и дивергенция. Эти эффекты могут значительно повлиять на устойчивость и управляемость самолета, поэтому их детальное изучение необходимо для создания безопасных и эффективных воздушных судов.

Анализ динамической аэроупругости сопряжен со сложными задачами, требующими высокоэффективных вычислительных методов для получения точных результатов в короткие сроки. В последние годы возрос интерес к оптимизации вычислительных процессов в этой области [1]. В статье анализируются возможности комбинирования различных методов оптимизации для повышения вычислительной эффективности, приведены их плюсы и минусы, а также рассмотрены стратегии интеграции [2].

Методика комбинирования методов оптимизации

Улучшение вычислений в области динамической аэроупругости авиационных средств требует системного подхода, охватывающего применение различных методов оптимизации. В данной статье рассмотрена оптимизация, основанная на сочетании нескольких подходов для достижения наивысшей продуктивности расчетов.

Выбор методов оптимизации. На первом этапе важно выбрать методы оптимизации, применимые к конкретной задаче. К основным подходам относятся:

- замена алгоритма – подбор более производительных алгоритмов для решения задач, например, использование методов конечных элементов или методов численного интегрирования;
- распараллеливание – деление задач на независимые подзадачи, что позволяет выполнять их одновременно на многоядерных процессорах;
- векторизация – применение векторных инструкций для ускорения обработки однотипных операций над массивами данных;

- оптимизация с помощью флагов – использование специальных компиляционных флагов и настройка параметров для повышения эффективности работы кода.

Интеграция методов. После выбора методов оптимизации необходимо разработать стратегию их интеграции [3]. Это может включать в себя следующие аспекты:

- 1) сочетание параллелизма и замены алгоритма [4]. Применение более производительного алгоритма в сочетании с параллельными вычислениями позволяет значительно сократить время обработки задач. Например, расчеты аэродинамических нагрузок могут быть распараллелены на различных участках конструкции самолета;

- 2) векторизация в соединении с оптимизацией компилятора. Использование векторных инструкций совместно с настройками компилятора может существенно повысить эффективность работы [5]. К примеру, активация оптимизаций через флаги компиляции может улучшить обработку массивов данных;

- 3) комбинирование разных программных решений. Применение специализированных программ для различных этапов анализа (например, систем Finite Element Analysis (FEA) – анализ конечных элементов для структурного анализа) предоставляет возможность эффективно решать многодисциплинарные задачи.

Оценка результатов. На заключительном этапе следует осуществить оценку результатов применения комбинированных методов оптимизации. В этот процесс могут входить следующие элементы:

- сравнительный анализ эффективности – сравнение времени, затраченного на выполнение расчетов, и точности результатов до внедрения комбинированного подхода и после него;

- оценка стабильности решений – важно проанализировать, как результаты изменяются в зависимости от вариаций входных параметров и условий моделирования;

- валидация полученных данных – предполагает сопоставление расчетных результатов с экспериментальными данными или результатами, полученными с применением традиционных методов.

Сочетание нескольких методов оптимизации способствует значительному улучшению расчетной эффективности в сфере динамической аэроупругости авиационных средств. Использование такого подхода может привести к более оперативным и точным результатам, что является крайне важным для безопасности и надежности авиасистем.

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе данного исследования была изучена эффективность одновременного применения различных методов оптимизации на примере проекта «Динамическое нагружение в неспокойном воздухе» (ДНВ), созданного для моделирования и анализа динамических нагрузок на эластичные самолеты с грузами в турбулентной среде. Наилучшие результаты были достигнуты в следующем порядке: 1) замена алгоритмов; 2) использование оптимизации через флаги; 3) применение векторизации.

Результаты исследования визуализированы на рисунках. На Рисунке 1 показано время работы программы до оптимизации; на Рисунке 2 – после внедрения оптимизационных решений. Время выполнения вычислялось с применением профилировщика, что дало возможность получить точные характеристики производительности до и после оптимизации.

Анализ показал, что замена алгоритмов значительно уменьшила время обработки данных благодаря эффективным численным методам. Оптимизация через флаги компиляции

улучшила производительность кода. Векторизация также привела к более быстрому выполнению операций с массивами данных.

Исследование показало, что использование предложенной методики значительно ускоряет процесс вычислений по сравнению с обычными методами. Достигнутый уровень эффективности от внедренной оптимизации составил 76 % (см. Рисунок 3).

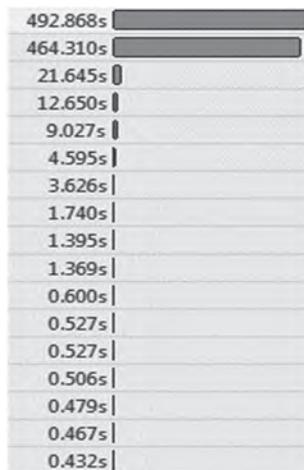


Рисунок 1. Время работы программы до оптимизации

Источник: рисунок выполнен авторами.

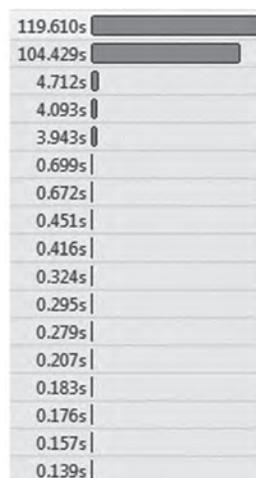


Рисунок 2. Время работы программы после оптимизации

Источник: рисунок выполнен авторами.

Таким образом, исследования подтверждают целесообразность интеграции различных методик оптимизации для повышения вычислительной эффективности в динамической аэроупругости.

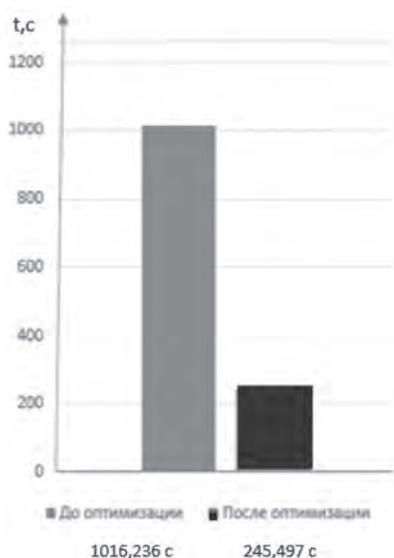


Рисунок 3. Эффективность оптимизации программы

Источник: рисунок выполнен авторами.

Заключение

Сочетание методов оптимизации играет ключевую роль в повышении эффективности расчетов в области динамической аэроупругости самолетов. В ходе исследования было выявлено, что объединение различных подходов значительно улучшает вычислительную производительность и точность получаемых данных. Применение комбинированного подхода позволяет более эффективно решать сложные задачи, сопутствующие анализу динамических нагрузок на гибкие конструкции в турбулентных условиях.

Выводы исследования подчеркивают целесообразность объединения различных методов оптимизации для улучшения вычислительных процессов в динамической аэроупругости, что критически важно для безопасности авиационных систем. В будущем дальнейшее усовершенствование алгоритмов и их интеграция с современными вычислительными платформами могут значительно повысить эффективность и надежность расчетов.

Литература

1. Гончаров В.А. Методы оптимизации : учеб. пособие для вузов. М. : Юрайт ; ИД Юрайт, 2014. 191 с. ISBN 978-5-9916-1265-4.
2. Ганшин Г.С. Методы оптимизации и решение уравнений. М. : Наука, 1987. 125 с.
3. Чемодуров В.Т., Жигна В.В. Методы теории планирования эксперимента в решении технических задач : Монография. М. : ИНФРА-М, 2018. 110 с.
4. Лавров В.В., Спирин П.А., Бондин А.Р., Лобанов В.И. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента : Учеб. пособие. Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2003. 260 с. ISBN 5-321-00319-X.
5. Ортега Дж. Введение в параллельные и векторные методы решения линейных систем / Пер. с англ. Х.Д. Икрамова, И.Е. Капорина. М. : Мир, 1991, 367 с. ISBN 5-03-001941-3.

References

1. Goncharov V.A. (2014) *Metody optimizatsii* [Optimization Methods] : Textbook for Higher Education Institutions. Moscow : Yurait Publ. 191 p. ISBN 978-5-9916-1265-4. (In Russian).
2. Ganshin G.S. (1987) *Metody optimizatsii i reshenie uravnenii* [Optimization Methods and Equation Solutions]. Moscow : Nauka Publ. 125 p. (In Russian).
3. Chemodurov V.T., Zhigna V.V. (2018) *Metody teorii planirovaniya eksperimenta v reshenii tekhnicheskikh zadach* [Methods of experimental planning theory in solving technical problems] : Monograph. Moscow : INFRA-M Publ. 110 p. (In Russian).
4. Lavrov V.V., Spirin P.A., Bondin A.R., Lobanov V.I. (2004) *Metody planirovaniya i obrabotki rezul'tatov inzhenerenogo eksperimenta* [Methods of planning and processing the results of engineering experiments] : Textbook. Ekaterinburg : Ural State Technical University Publ. 260 p. ISBN 5-321-00319-X. (In Russian).
5. Ortega J.M. (1988) *Introduction to Parallel and Vector Solution of Linear Systems*. Springer New York, NY. 305 p. (Russian edition: transl. by Kh.D. Ikramov, I.E. Kaporin. Moscow : Mir Publ., 1991. 367 p.).