

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2020, №4, Том 12 / 2020, No 4, Vol 12 <https://esj.today/issue-4-2020.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/26ECVN420.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Максимов В.Е., Резникова К.М. Оптимизация выбора судостроительной системы автоматизированного проектирования с применением метода анализа иерархий // Вестник Евразийской науки, 2020 №4, <https://esj.today/PDF/26ECVN420.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Maximov V.E., Reznikova K.M. (2020). Optimization shipbuilding computer-aided design choice by using analytic hierarchy process. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 4(12). Available at: <https://esj.today/PDF/26ECVN420.pdf> (in Russian)

УДК 519.85

ГРНТИ 82.05.21

Максимов Валерий Евгеньевич

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия
Студент-магистрант
E-mail: valep199778@gmail.com

Резникова Ксения Михайловна

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия
Студент-магистрант
E-mail: a-da_97@mail.ru

Оптимизация выбора судостроительной системы автоматизированного проектирования с применением метода анализа иерархий

Аннотация. В данной статье рассматривается проблема выбора судостроительной системы автоматизированного проектирования. Судостроение – это масштабное производство с крупнейшим финансовым оборотом, поэтому крайне важно сделать правильный выбор в пользу той системы, которая будет подходить по всем предъявленным к ней требованиям с максимальной экономической выгодой.

В работе приведен минимальный список задач, которые должна решать судостроительная система, а также рассмотрены технологии автоматизированного проектирования, автоматизированного производства и автоматизированной разработки или конструирования. Системы автоматизированного проектирования иерархически делятся на три уровня: нижний, средний и верхний. Авторами представлены актуальные в использовании судостроительные системы автоматизированного проектирования для каждого соответствующего иерархического уровня.

Также обсуждается, по мнению авторов, ненаглядность метода сравнительного анализа в качестве возможного пути решения задачи выбора системы. Для нахождения оптимального решения в выборе судостроительной системы автоматизированного проектирования авторы предлагают применить метод анализ иерархий. Данный метод позволяет эффективно решать задачи многокритериальной оптимизации путем построения иерархической структуры в виде дерева критериев и альтернатив для достижения установленной цели и попарного сравнения элементов этой структуры.

В статье приводится поэтапное решение задачи по выбору судостроительной системы автоматизированного проектирования с применением метода анализа иерархий. В рамках решения небольшого примера получены весовые коэффициенты критериев системы, которые позволяют определить значимость одних критериев над другими, и непосредственно результаты субъективной оценки каждой системы в матрицах попарного сравнения. Установленная цель достигнута, метод анализа иерархий доказал свою эффективность.

Ключевые слова: метод анализа иерархий; многокритериальная оптимизация; оптимизация выбора; система автоматизированного проектирования; система автоматизированного производства; система автоматизированного конструирования; судостроение

Введение

Современный уровень развития промышленного производства характеризуется использованием различных технологий, позволяющих автоматизировать и упрощать производственное управление. От тенденции развития не отстает и такая отрасль тяжелой промышленности, как судостроение, где системы автоматизированного проектирования (САПР) играют важнейшую роль, поскольку строительство судов начинается непосредственно с проектирования.

Система автоматизированного проектирования представляет собой программный комплекс средств для автоматизированного проектирования, взаимосвязанный с необходимыми подразделениями проектной организации¹. В судостроении процесс проектирования на каждой его стадии требует высокопроизводительных САПР, оснащенных широким спектром различных специализированных модулей. Инженеры-конструкторы должны быть обеспечены всем необходимым программным обеспечением для эффективной разработки комплексных решений по построению судов, начиная от их проектирования и заканчивая спуском на воду.

Рынок судостроительных САПР обладает целым множеством multifunctional программных решений, отчего возникает неопределенность в вопросах выбора соответствующей нуждам конкретной судостроительной верфи системы. Проблема выбора системы автоматизированного проектирования влечет за собой снижение эффективности ИТ-политики организации, а также препятствует внедрению современных методов конструкторско-технологической подготовки производства и организации работ по построению судов в целом.

Принимая решение о выборе системы автоматизированного проектирования для судостроения, необходимо изучить соответствие каждого возможного варианта возможностям выполнения следующих задач:

¹ ГОСТ 22487-77. Проектирование автоматизированное. Термины и определения [Текст]. – Введ. 1978-07-01. – М.: Издательство стандартов, 1978.

- обработка большого количества деталей и узлов;
- интеграция с другими системами;
- интеграция множества пользователей в единую среду разработки;
- синхронизация данных конструкторских элементов с проектными данными;
- управление базами данных элементов конструкторского производства [1].

Неправильно сделанный выбор может принести предприятию крупные финансовые убытки, поэтому важно отнестись к этому вопросу со всей серьезностью.

Судостроительные CAD/CAM/CAE-системы

В зарубежной технической литературе системы автоматизированного проектирования известны как системы CAD/CAM/CAE. Программный комплекс включает в себя технологии автоматизированного проектирования (CAD – computer-aided design), автоматизированного производства (CAM – computer-aided manufacturing) и автоматизированной разработки или конструирования (CAE – computer-aided engineering). Вместе эти технологии предоставляют широкий инструментарий для продуктивного решения производственных задач различной направленности. CAD/CAM/CAE-системы эффективно автоматизируют труд инженеров-конструкторов.

Основной функцией CAD служит проектирование геометрии элемента (детали, конструкции, схемы, планы и т. д.), которая служит основой для дальнейших производственных операций в системах CAM и CAE. Как правило, в качестве программного обеспечения используются системы графической обработки и геометрического моделирования.

CAM-системы осуществляют планирование, управление и контроль производственных операций с использованием компьютерных систем. На основе геометрических данных изделий система генерирует управляющую программу для станка с ЧПУ – числовым программным управлением. Согласно управляющей программе станок производит шлифовку, штамповку, резку и другие действия, превращая заготовки в готовые детали. Примером такой программы может служить карта раскроя листового металла для машины термической резки.

CAE-системы используются для проведения различных вариантов анализа. Это может быть анализ геометрии, разработанной в CAD, моделирование, изучение поведения продукта для его дальнейшего усовершенствования и оптимизации его конструкции [2].

Проектирование в CAD-системе функционально подразделяется на двумерное (2D) и трехмерное (3D). Двумерное проектирование представляет из себя черчение и непосредственно оформление конструкторской документации, трехмерное – создание трехмерных моделей, реалистичную визуализацию, проведение метрических расчетов, взаимное преобразование 2D и 3D-моделей [3].

По общепринятой иерархии CAD-системы делятся на системы нижнего, среднего и верхнего уровня (также их называют легкими, средними и тяжелыми соответственно). Нижнему уровню соответствуют простые графические редакторы, ограниченные плоским представлением объектов (2D-модели). Как правило, такие средства не сильно требовательны к вычислительным ресурсам и относительно недороги. Пример CAD-систем низкого уровня, используемых в судостроении – AutoCAD (Autodesk), nanoCAD (Нанософт), КОМПАС-График (Аскон).

Системы среднего уровня позволяют разрабатывать объемные модели объектов с определением различных характеристик, таких как прочностные, инерционно-массовые и т. д., контролировать расположение деталей и узлов (сборки). Данные системы поставляются дороже низкоуровневых и более требовательны к техническим характеристикам компьютера. К таким судостроительным системам относятся SolidWorks (Dassault Systemes), КОМПАС-3D (Аскон).

Верхнему уровню соответствуют многофункциональные интегрированные системы, ориентированные на 3D-моделирование. Они могут работать с единой структурой данных, современными узкоспециализированными системами и PLM. Такие системы обладают высокой стоимостью и требуют высокопроизводительные вычислительные ресурсы. Среди «тяжелых» судостроительных систем применяются CATIA (Dassault Systemes), Pro/Engineer Shipbuilding Solutions (Parametric Technology Corporation), CADMATIC Marine (CADMATIC), AVEVA Marine (AVEVA).

Также активное развитие облачных вычислений привело к появлению технологии облачных систем автоматизированного проектирования. Однако, им еще предстоит решить немало проблем касательно размещения в облаке, обеспечения сохранности данных и безопасности облачных САПР в целом [4–5].

Метод сравнительного анализа

Перед ответственным за выбор системы автоматизированного проектирования встает серьезная задача по поиску оптимального решения, удовлетворяющего предъявленным требованиям. Как правило, в таких случаях выделяют основные критерии и альтернативы (возможные варианты решения) и проводят сравнительный анализ [6–7], изучая различные характеристики, как статистика пользователей, их отзывы и др., отмечая соответствие конкретному критерию знаком плюса или минуса. Другой вариант сравнительного анализа может состоять из подробного описания каждой альтернативы с предоставлением скриншотов интерфейса. По мнению авторов, метод сравнительного анализа не всегда нагляден и не позволяет учитывать важность одних критериев над другими. Исследование операций [8] предоставляет огромное количество математических методов для решения задач по оптимизации выбора. В данной работе рассматривается метода анализа иерархий.

Метод анализа иерархий

Метод анализа иерархий (МАИ) разработан в 1970 году Томасом Саати и представляет собой обоснованный путь решения многокритериальных задач в условиях сложной обстановки с иерархическими структурами, представляющими цели, критерии и альтернативы, участвующие в принятии решения. Суть решения задачи методом МАИ – в построении иерархической или сетевой структуры и попарного сравнения элементов этой структуры для определения доминирующих матриц [9–10].

Далее представлено поэтапное решение задачи многокритериальной оптимизации по выбору судостроительной системы автоматизированного проектирования методом анализа иерархий.

Этап 1. Постановка проблемы и установка цели. Выделение альтернатив (возможных вариантов) и основных критериев.

Цель: судостроительная САД-система.

Основные критерии:

- удобство интерфейса;
- специализированные встроенные модули;
- легкость создания базовых элементов;
- высокая производительность с крупными сборками;
- простота внедрения на предприятие.

Основные альтернативы: AVEVA Marine, CATIA, Sea Solution, NUPAS-CADMATIC.

Данные критерии и альтернативы выбраны в качестве примера. В задаче могут рассматриваться и такие критерии, как стоимость программного решения, интегрируемость с другими автоматизированными системами, работа с различными форматами данных и др.

Этап 2. Построение иерархической структуры.

На рисунке 1 представлена иерархия в виде дерева критериев и альтернатив. Она представляет собой связь между ее элементами – целью, критериями и альтернативами. Каждый элемент находится на определенном уровне.

1 уровень – цель. В контексте данной статьи это выбор судостроительной САПР.

2 уровень – критерии, подлежащие оценке эксперта, ответственного за выбор САПР.

3 уровень – альтернативы, т. е. потенциальные САПР.



Рисунок 1. Иерархическая структура задачи выбора судостроительной CAD-системы (составлена авторами)

Этап 3. Построение матрицы попарных сравнений.

Необходимо попарно сравнить критерии по качественной шкале, отображающей предпочтение оценивающего эксперта. Степень предпочтения выражается субъективно следующим образом:

- 1 = равно, безразлично;
- 3 (1/3) = немного лучше (хуже);
- 5 (1/5) = лучше (хуже);
- 7 (1/7) = значительно лучше (хуже);
- 9 (1/9) = принципиально лучше (хуже);
- 2, 4, 6, 8 – при промежуточном мнении.

Во время проведения ранжирования критериев, как правило, руководствуются вопросами по типу «Какой из них важнее?» или «Какой из них более вероятен?».

Матрица попарных сравнений a_{ij} представляет собой отношение критерия i к критерию j . Матрица строится в соответствии с правилами $a_{ji} = 1/a_{ij}$ и $a_{ii} = 1$ [9]. В таблице 1 представлена матрица попарных сравнений критериев по цели, а в таблицах 2–6 – матрицы попарных сравнений альтернатив по критериям (оценка субъективна).

Таблица 1

Матрица попарных сравнений критериев по цели

	удобство интерфейса	специализированные встроенные модули	легкость создания базовых элементов	высокая производительность	простота внедрения
удобство интерфейса	1	0,2	5	0,111	4
специализированные встроенные модули	5	1	7	3	5
легкость создания базовых элементов	0,2	0,143	1	0,125	5
высокая производительность	9	0,333	8	1	5
простота внедрения	0,25	0,2	0,2	0,2	1

Составлено авторами

Таблица 2

Матрица попарных сравнений критерия удобства интерфейса по альтернативам

<i>удобство интерфейса</i>	AVEVA Marine	CATIA	Sea Solution	NUPAS-CADMATIC
AVEVA Marine	1,000	0,143	5,000	0,200
CATIA	7,000	1,000	7,000	5,000
Sea Solution	0,200	0,143	1,000	0,143
NUPAS-CADMATIC	5,000	0,200	7,000	1,000

Составлено авторами

Таблица 3

Матрица попарных сравнений критерия специализированных встроенных модулей по альтернативам

<i>специализированные встроенные модули</i>	AVEVA Marine	CATIA	Sea Solution	NUPAS-CADMATIC
AVEVA Marine	1,000	7,000	9,000	1,000
CATIA	0,143	1,000	7,000	0,200
Sea Solution	0,111	0,143	1,000	0,200
NUPAS-CADMATIC	1,000	5,000	5,000	1,000

Составлено авторами

Таблица 4

Матрица попарных сравнений критерия легкости создания базовых элементов по альтернативам

<i>легкость создания базовых элементов</i>	AVEVA Marine	CATIA	Sea Solution	NUPAS-CADMATIC
AVEVA Marine	1,000	0,200	0,143	0,111
CATIA	5,000	1,000	7,000	1,000
Sea Solution	7,000	0,143	1,000	0,143
NUPAS-CADMATIC	9,000	1,000	7,000	1,000

Составлено авторами

Таблица 5

**Матрица попарных сравнений
критерия высокой производительности по альтернативам**

<i>высокая производительность</i>	AVEVA Marine	CATIA	Sea Solution	NUPAS-CADMATIC
AVEVA Marine	1,000	2,000	7,000	1,000
CATIA	0,500	1,000	5,000	0,200
Sea Solution	0,143	0,200	1,000	0,143
NUPAS-CADMATIC	1,000	5,000	7,000	1,000

Составлено авторами

Таблица 6

Матрица попарных сравнений критерия простоты внедрения по альтернативам

<i>простота внедрения</i>	AVEVA Marine	CATIA	Sea Solution	NUPAS-CADMATIC
AVEVA Marine	1,000	0,500	2,000	0,500
CATIA	2,000	1,000	3,000	0,250
Sea Solution	0,500	0,333	1,000	0,333
NUPAS-CADMATIC	2,000	4,000	3,000	1,000

Составлено авторами

Этап 4. Анализ матриц.

Для начала необходимо провести нормировку матрицы путем деления всех элементов матрицы на сумму элементов соответствующего столбца: $A_{ij} = \frac{a_{ij}}{S_j}$. Затем для каждой строки находится среднее значение, задающее вес критериям. Полученный столбец называется вектором весов критериев по цели. Таким образом, получается промежуточный вывод веса критериев, представленный в таблице 7.

Таблица 7

Вектор весов критериев

Критерий	Вес в процентах
удобство интерфейса	12,6 %
специализированные встроенные модули	42,3 %
легкость создания базовых элементов	8,3 %
высокая производительность	32,3 %
простота внедрения	4,5 %

Составлено авторами

С точки зрения удовлетворения поставленной цели наиболее весовым критерием является наличие специализированных встроенных модулей (42,3 %), после чего следует высокая производительность (32,3 %). Удобство интерфейса, легкость создания базовых элементов и простота внедрения обладают наименьшими весовыми коэффициентами, составляющими в сумме 25,4 %.

Таблица 8

Весовые коэффициенты альтернатив по критериям

альтернатива	удобство интерфейса	специализированные встроенные модули	легкость создания базовых элементов	высокая производительность	простота внедрения
AVEVA Marine	11,3 %	45,1 %	4,7 %	35 %	18,2 %
CATIA	58,5 %	13,5 %	39 %	16,2 %	24,7 %
Sea Solution	4,6 %	4,7 %	12,7 %	4,7 %	10,5 %
NUPAS-CADMATIC	25,5 %	36,7 %	43,5 %	44,1 %	46,6 %

Данные операции необходимо провести для матриц попарного сравнения критериев по альтернативам. В таблице 8 приведены весовые коэффициенты возможных вариантов САПР с точки зрения соответствия критериям.

Этап 5. Расчет весов альтернатив по иерархической системе.

Рассчитать весовые коэффициенты альтернатив нужно матричным умножением матрицы вектора весов критериев (таблица 7) на матрицу весов альтернатив по каждому критерию (таблица 8). Результат расчета весов альтернатив с точки зрения достижения установленной цели представлен в таблице 9.

Таблица 9

Веса альтернатив

Альтернатива	Вес в процентах
AVEVA Marine	33,0 %
CATIA	22,7 %
Sea Solution	5,6 %
NUPAS-CADMATIC	38,7 %

Больше всего выделенным критериям для внедряемой на верфь судостроительной САПР соответствует NUPAS-CADMATIC (38,7 %), а также с небольшим отрывом идет AVEVA Marine (33 %). Остальные программные средства получили куда низкие оценки, поэтому их можно не рассматривать. Таким образом, поставленная цель достигнута.

Процессы внедрения системы автоматизированного проектирования занимают время, поэтому параллельно также стоит решить задачу нормативного обеспечения разработки технологической и конструкторской документации, используя для этого встроенные интеграционные механизмы [11].

Заключение

Метод анализа иерархий позволяет эффективно принимать решение в условиях неопределенности, обусловленной наличием множества критериев и альтернатив. Его основным достоинством служит простота применения и универсальность, поскольку метод применим для решения всевозможных задач касательно принятия решения. Для наглядности в статье рассмотрен небольшой пример, но, в зависимости от ситуации, может использоваться для решения крупномасштабной задачи. В таком случае выявляется главный недостаток МАИ – временные и трудовые затраты. Несмотря на то, что табличные редакторы позволяют частично автоматизировать расчеты, решение с большим количеством параметров задачи утомляет. Актуальным встает вопрос автоматизации принятия решений такого рода задач.

В рассмотренном примере представлены оценки судостроительных САПР для последующего внедрения на верфь. Результаты, полученные при помощи метода анализа иерархии, показывают, что из выбранных критериев маловажными являются удобство интерфейса, легкость создания базовых элементов и простота внедрения, поскольку для судостроительной промышленности в программном обеспечении куда более важны высокая производительность и наличие специализированных встроенных модулей. Имея высокопроизводительный программный комплекс, компания повышает эффективность работы инженеров-конструкторов, тем самым и само судостроение в целом, ведь фундамент судостроения закладывается именно с проектирования.

Безусловно важно учитывать не только технические, но и экономические показатели рассматриваемых САПР, поскольку стоимость поставки системы с самым высоким весом альтернативы может оказаться слишком большой или даже неподъемной для предприятия.

Поэтому ответственным за выбор системы необходимо тщательно изучить рынок и связаться с разработчиком или поставщиком каждой интересующей системы автоматизированного проектирования, чтобы узнать о всех предстоящих потенциальных финансовых затратах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чань Динь Тьен. Информационные технологии в судостроении: существующие системы, сферы и возможности их использования // Вестник АГТУ. Серия: Морская техника и технология. – 2009. – №1.
2. Ли К. Основы САПР (CAD/CAM/CAE). – СПб.: Питер, 2004. – 560 с.
3. Норенков И.П. Автоматизированное проектирование. – М.: Высшая школа, 2000. – 188 с.
4. Зорин Е.Л. Информационная безопасность САПР/PLM, применяющих облачные технологии // Вопросы кибербезопасности. – 2014. – №4(7). – с.23–29.
5. Коваленко О.С. Постановка задачи размещения данных в «облаке» // Искусственный интеллект. – 2011. – №4. – с. 54–64.
6. Губарев С.А., Абакумов Р.Г. Сравнительный анализ систем автоматизированного проектирования строительных систем, конструкций и узлов // Инновационная наука. – 2017. – №4–1. – с. 71–73.
7. Абдулин А.Я., Сенюшкин Н.С., Суханов А.В., Ямалиев Р.Р. Системы автоматизированного проектирования как инструмент решения наукоемких конструкторских задач судостроения // Вестник ВГТУ. – 2010. – №10.
8. Таха, Хэмди, А. Введение в исследование операций. 6-е издание / Перевод с английского. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 912 с.
9. Саати Т.Л. Принятие решений – Метод анализа иерархий / Перевод с английского Р. Г. Вачнадзе. – М.: Радио и связь, 1993.
10. Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. Пер. с англ. / Науч. ред. А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 360 с.
11. Минченко Л.В. Системы автоматического проектирования в судостроении / Л.В. Минченко, Т.А. Кандратова // Современные тенденции технических наук: материалы V Международ. науч. конф. (г. Казань, май 2017 г.) – Казань.: Бук, 2017. – с. 73–76.

Maximov Valery Evgenievich

Far Eastern federal university, Vladivostok, Russia
E-mail: valep199778@gmail.com

Reznikova Kseniya Mikhailovna

Far Eastern federal university, Vladivostok, Russia
E-mail: a-da_97@mail.ru

Optimization shipbuilding computer-aided design choice by using analytic hierarchy process

Abstract. This article discusses the problem of choosing a shipbuilding computer-aided design system. Shipbuilding is a large-scale production with the largest financial turnover, therefore it is extremely important to make the right choice in favor of the system that will suit all the requirements for it with maximum economic benefit.

The paper provides a minimum list of tasks that a shipbuilding system must solve, and the technologies of computer-aided design, computer-aided production and computer-aided development or design are also considered. Computer-aided design systems are hierarchically divided into three levels: lower, middle and upper. The authors present shipbuilding computer-aided design systems that are actual in use for each corresponding hierarchical level.

Also discussed, according to the authors, the inaccuracy of the method of comparative analysis as a possible way to solve the problem of choosing a system. To find the optimal solution in choosing a shipbuilding computer-aided design system, the authors propose to apply the analytic hierarchy process. This method allows to effectively solve multi-objective optimization problems by building a hierarchical structure in the form of a tree of criteria and alternatives to achieve the set goal and pairwise comparison of the elements of this structure.

The article provides a step-by-step solution to the problem of choosing a shipbuilding computer-aided design system by using the analytic hierarchy process. As part of the solution of a small example, were obtained the weights of the system criteria, which allow determining the significance of some criteria over others, and directly the results of the subjective assessment of each system in the matrices of pairwise comparison. The established goal has been achieved, the analytic hierarchy process has proven its effectiveness.

Keywords: analytic hierarchy process; multi-objective optimization; choice optimization; computer-aided design; computer-aided manufacturing; computer-aided engineering; shipbuilding