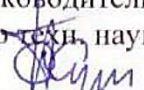


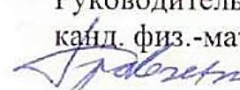
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)
Институт прикладной математики и компьютерных наук

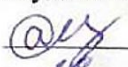
ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ В ГЭК
Руководитель ОПОП
д-р техн. наук, профессор
 С.П. Сущенко
« 03 » июня 2022 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА
ПРОГРАММА ДЛЯ РАСЧЕТА РАЗМЕЩЕНИЯ ГРУЗА В КОНТЕЙНЕРЕ НА ОСНОВЕ
ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

по направлению подготовки 09.03.03 Прикладная информатика,
направленность (профиль) «Прикладная информатика»

Горбатюк Анастасия Андреевна

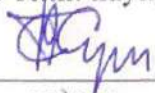
Руководитель ВКР
канд. физ.-мат. наук, доцент
 Ф.Г. Кравченко
« 28 » 05 2023 г.

Автор работы
студент группы № 931903
 А.А. Горбатюк
« 28 » 05 2023 г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)
Институт прикладной математики и компьютерных наук

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ОПОП
д-р техн. наук, профессор

 С.П. Сущенко

подпись
« 14 » ноября 20 2020 г.

ЗАДАНИЕ

по выполнению выпускной квалификационной работы бакалавра обучающегося

Горбатьюк Анастасии Андреевны

Фамилия Имя Отчество обучающегося

по направлению подготовки 09.03.03 Прикладная информатика, направленность (профиль)
«Прикладная информатика»

1 Тема выпускной квалификационной работы

Программа для расчета размещения груза в контейнере на основе генетического алгоритма

2 Срок сдачи обучающимся выполненной выпускной квалификационной работы:

а) в учебный офис / деканат – 28.05.23г. б) в ГЭК – 07.06.23г.

3 Исходные данные к работе:

Объект исследования – Трёхмерная задача упаковки параллелепипедов в контейнер

Предмет исследования – Алгоритм и программа решения задачи упаковки грузов в полуприцеп фуры при наличии весовых ограничений на оси

Цель исследования – Разработать пригодную для практического использования программу оптимального размещения груза в полуприцеп фуры при наличии весовых ограничений на ось

Задачи: изучить предметную область, составить математическую модель задачи, определить ограничения задачи, определить входные данные для решения задачи, изучить существующие методы последовательного размещения параллелепипедов в контейнер, модифицировать метод под специфику задачи, создать интерфейс программы, создать программу, составить руководство пользования программой.

Методы исследования:

Теоретическое исследование, проектирование, практическая реализация

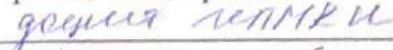
Организация или отрасль, по тематике которой выполняется работа, –

Национальный исследовательский Томский государственный университет

4 Краткое содержание работы

Анализ предметной области и разработка математической модели расчета нагрузки на оси грузового ТС. Реализация программы расчета размещения груза в полуприцеп грузового ТС без осевого перевеса.

Руководитель выпускной
квалификационной работы


должность, место работы

Задание принял к исполнению

студентка гр 931903
должность, место работы


подпись


И.О. Фамилия


подпись


И.О. Фамилия

АННОТАЦИЯ

Актуальность: Размещение груза в полуприцеп грузового транспортного средства является NP-трудной, и не представляется возможным получить для нее детерминированный алгоритм, который бы позволил находить точное решение этой задачи за приемлемое время. При этом решение данной задачи позволит улучшить процесс перевозки груза с помощью грузовых транспортных средств, избежать проблемы превышения осевой нагрузки. Что в свою очередь позволит избежать штрафов, увеличить безопасность перевозок и сохранить дорожное покрытие. Данная работа имеет практическую значимость для транспортных компаний и логистических центров, которые могут использовать разработанную программу для оптимизации процесса размещения груза в контейнере.

Объект исследования: Трёхмерная задача упаковки параллелепипедов в контейнер.

Предмет исследования: Алгоритм и программа решения задачи упаковки грузов в полуприцеп фуры при наличии весовых ограничений на оси.

Ключевые слова: жадные алгоритмы, генетический алгоритм, трехмерное размещение, осевая нагрузка, полуприцеп грузового ТС.

Цель работы: Разработать пригодную для практического использования программу оптимального размещения груза в полуприцеп фуры при наличии весовых ограничений на ось

Задачи:

- Изучить предметную область;
- Составить математическую модель задачи;
- Определить ограничения задачи;
- Определить входные данные для решения задачи;
- Изучить существующие методы последовательного размещения параллелепипедов в контейнер;
- Модифицировать метод под специфику задачи;
- Создать интерфейс программы;
- Создать программу;
- Составить руководство пользования программой.

Результат работы: Программа для расчета оптимального размещения груза в контейнер на основе генетического алгоритма.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 Постановка задачи	4
1.1 Описание задачи.....	4
1.2 Описание предметной области	4
1.3 Математическая модель задачи	6
2 Методы решения задачи	20
2.1 Метод размещения прямоугольников на плоскость	21
2.2 Модификация метода размещения прямоугольников на плоскость.....	26
2.3 Метод, основанный на применении генетического алгоритма.....	32
2.3.1 Начальный этап работы алгоритма	33
2.3.2 Одноточечный кроссовер порядка	34
2.3.3 Одноточечная мутация порядка.....	37
2.3.4 Селекция.....	37
3 Разработка программы, предназначенной для решения задачи оптимальной упаковки груза в контейнер.....	39
3.1 Средства разработки программы.....	39
3.2 Выбор алгоритма нахождения решения задачи	39
3.3 Алгоритм последовательного размещения параллелепипедов в контейнер	40
3.4 Генетический алгоритм нахождения наилучшего порядка размещения параллелепипедов.....	42
3.5 Архитектура программы.....	43
3.5.1 Общий принцип работы программы	43
3.5.2 Описание основных структур данных.....	44
3.5.3 Описание основных переменных.....	47
3.5.4 Описание основных функций.....	48
3.5.5 Правила ввода-вывода	49
3.5.6 Обработка ошибок.....	50
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	54
ЛИТЕРАТУРА	55
ПРИЛОЖЕНИЕ А	58
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	61

ВВЕДЕНИЕ

Работа посвящена созданию программы, которая позволит решить задачу трехмерного размещения набора параллелепипедов в контейнер при наличии ограничений. Реальным примером такого размещения является оптимальное размещение груза в прицеп фуры. Эта задача является важной и актуальной в логистике и транспортной отрасли. Для эффективного ведения транспортного бизнеса необходимо перевозить максимальное количество товара с минимальными издержками. Благодаря алгоритму размещения, пользователь получит возможность оптимально упаковать нужный груз в контейнер для транспортировки, избежать перевеса транспортного средства, потери его устойчивости на дороге. Это позволит уменьшить износ транспортного средства, избежать штрафов за перевес, снизить расходы на транспортировку грузов, а также увеличить безопасность участников дорожного движения.

Решение задачи оптимального размещения груза в прицепе фуры может быть достигнуто с помощью математических моделей и сочетание принципов работы генетических и жадных алгоритмов. Такие модели могут учитывать множество факторов, таких как размеры грузов, вес, форму, характеристики прицепа и дороги.

Актуальность исследования данной темы обуславливается тем, что задача трехмерной упаковки параллелепипедов в контейнер является NP-трудной, и не представляется возможным получить для нее детерминированный алгоритм, который бы позволил находить точное решение этой задачи за приемлемое время.

Цель данной работы заключается в разработке прикладной компьютерной программы, предназначенной для получения решения задачи трехмерной упаковки параллелепипедов в контейнер.

Задачами данной работы являются:

1. Изучить предметную область;
2. Составить математическую модель задачи;
3. Определить ограничения задачи;
4. Определить входные данные для решения задачи;
5. Изучить существующие методы последовательного размещения параллелепипедов в контейнер;
6. Модифицировать метод под специфику задачи;
7. Создать интерфейс программы;
8. Создать программу;
9. Составить руководство пользования программой.

1 Постановка задачи

1.1 Описание задачи

Задача о размещении параллелепипедов в контейнеры — NP-трудная. Она заключается в размещении объектов предопределённой формы и массы в контейнер предопределённой формы, весовым ограничением и с осями таким способом, чтобы нагрузка на оси не превышала заданного весового ограничения контейнера, а объекты не выходили за рамки контейнера.

Ограничения нагрузки на оси означают, что масса груза, которая воздействует на определенную ось, не должна превышать максимально допустимую массу на ось по законодательству РФ или характеристикам тягача и полуприцепа. Также мы будем учитывать вертикальную ось, проходящую вдоль полуприцепа для балансировки транспортного средства.

Необходимо разработать решение, которое будет отвечать данным ограничениям, а также позволит минимизировать вычислительные ресурсы для поиска оптимального варианта размещения.

NP-трудные задачи подразумевают под собой, что применение на практике детерминированных методов решения данной задачи не представляется возможным, ввиду высоких временных затрат на поиск решения в случае, если число прямоугольников велико. Определим NP класс как класс задач, которые можно решить недетерминированными алгоритмами, работающими в течение полиномиального времени. [2].

1.2 Описание предметной области

Для решения задачи размещения параллелепипедов в контейнер необходимо изучить физические и прикладные аспекты данной предметной области. Так как задача является практически значимой, для ее решения необходимо учитывать физические законы.

Физические понятия, используемые при решении задачи

В механике существуют два типа величин: **векторные** и **скалярные**. Векторные величины, такие как сила, имеют значение и направление, а скалярные величины, такие как длина, имеют только значение. Классические законы механики формулируются в терминах векторных величин, поскольку они могут описывать движение тела в трехмерном пространстве и учитывать направление силы, приложенной к телу.

Момент силы — это векторное произведение радиус-вектора от оси вращения до точки приложения силы на вектор этой силы. Однако, в нашей задаче мы можем упростить определение момента силы до скалярной величины, которая равна произведению модуля

силы на плечо силы, измеряемое от точки приложения силы до оси вращения. Знак момента силы зависит от направления вращения: если сила вращает тело по часовой стрелке, то момент силы положительный, а если против часовой стрелки, то отрицательный. Важно понимать, что мы можем выбирать ось вращения произвольным образом, и если тело не вращается, то сумма моментов сил относительно любой оси равна нулю. Если же сила приложена к точке, через которую проходит ось вращения, то момент этой силы относительно этой оси равен нулю.

Центр тяжести — это точка, в которой суммарный момент сил тяжести, действующих на систему, равен нулю. Другими словами, это точка, в которой тело находится в равновесии и не имеет никакого ускорения под воздействием гравитационной силы. Если мы подвесим механическую систему за центр тяжести, то она будет висеть в равновесии, без какого-либо уклона в любом направлении. Центр тяжести может находиться внутри тела или за его пределами, и его положение зависит от распределения массы в системе.

Прикладной аспект

Тягач — это автомобиль, который предназначен для перевозки сцепленного с ним грузового прицепа. Тягач имеет мощный двигатель и специальное устройство для сцепки с прицепом, обычно расположенное на задней части автомобиля. Грузовой прицеп, сцепленный с тягачом, может быть использован для перевозки различных грузов, таких как контейнеры, сыпучие и жидкие грузы и другие. Тягачи часто используются в логистических компаниях, на строительных площадках, в грузоперевозках и других отраслях промышленности, где требуется перевозка больших грузов на дальние расстояния.

Грузовой полуприцеп — это вид грузового прицепа, который соединяется с тягачом с помощью седла и образует единое транспортное средство. Он имеет одну или более осей, которые не имеют своих собственных колес и зависят от колес тягача для передвижения. Полуприцеп используется для перевозки грузов на большие расстояния и может быть использован с различными типами тягачей. Он может быть использован для перевозки большинства видов грузов, включая контейнеры, сыпучие и жидкие материалы, стальные конструкции, строительные материалы и другие. Полуприцепы могут быть различных размеров и конфигураций в зависимости от требований к грузоподъемности и типа груза, который будет перевозиться.

Отметим, что мы будем предполагать, что рама полуприцепа не деформируется при наличии груза и распределяет нагрузку равномерно на каждый метр своей длины. Для целей нашего рассмотрения мы будем считать, что рама полуприцепа является идеально жесткой.

Груз — это предметы, материалы или товары, которые переносятся или перевозятся из одного места в другое в целях продажи, использования или других целей. Груз может быть различной природы и формы, включая коробки, контейнеры, палеты, сыпучие и жидкие материалы и многие другие.

В рамках данной задачи будем считать, что груз обладает однородной плотностью, имеет форму параллелепипеда, а центр тяжести находится в центре нижней грани, которая расположена параллельно раме прицепа.

Оси механического транспортного средства — это линии, проходящие через центры колес или других опорных точек, на которые устанавливаются колеса и другие элементы подвески. Количество осей в механическом ТС зависит от типа и назначения транспортного средства.

Грузовое транспортное средство может иметь различное количество осей в зависимости от своего назначения и грузоподъемности.

Одна из распространенных конструкций грузовых ТС — это ТС с двумя основными осями и одной передней ведущей осью. Такие ТС могут использоваться для перевозки грузов на средние и дальние расстояния.

Грузовые ТС, предназначенные для перевозки тяжелых грузов или работ на строительных площадках, могут иметь три или более осей. Такие ТС могут быть оснащены подъемными осевыми системами, которые позволяют увеличить грузоподъемность и обеспечить более равномерное распределение веса на оси.

Расположение и конструкция осей грузовых ТС могут влиять на их управляемость, устойчивость и проходимость, поэтому при проектировании и эксплуатации грузовых ТС важно правильно выбрать количество и расположение осей.

В рамках задачи будет рассмотрена вертикальная ось, проходящая вдоль транспортного средства в целях балансировки ТС.

Седло тягача — это часть грузового транспортного средства, которая соединяется с полуприцепом для транспортировки грузов. Седло тягача обычно расположено на задней части кабины.

1.3 Математическая модель задачи

В рамках решения задачи размещения параллелепипедов в контейнер необходимо построить математическую модель для расчета нагрузки на оси ТС и рассмотреть формулу нахождения центра тяжести груза.

Стоит отметить, что расчеты будут проводиться для состояния покоя ТС. Объекты мы будем рассматривать в системе отсчёта, в которой ось Y представляет собой глубину

полуприцепа, ось Z — высоту, а ось X — ширину. Начало отсчёта совпадает со внутренней стенкой полуприцепа по глубине, с рамой полуприцепа по высоте и с боковой левой стенкой полуприцепа по ширине. При таком выборе проекции всех сил, действующих на тягач, полуприцеп и груз, на ось Y равны 0 (поскольку все эти силы перпендикулярны оси Y). А проекции всех сил на ось Z — равны по модулю величине этой силы, а знак зависит от направления действия силы (если направление совпадает с направлением оси, то знак плюс, если не совпадает — минус). То есть если где-либо в тексте встречается символ \vec{F} , значит речь идёт о силе — векторной величине. Если же в уравнении встречается символ F , то речь идёт о величине проекции силы \vec{F} на ось X . Это скалярная величина.

Вычисление центра тяжести груза

Для решения задачи нам необходимо найти центр тяжести однородного параллелепипеда. Центр тяжести однородного параллелепипеда находится в точке пересечения диагоналей его противоположных вершин (рисунок 1).

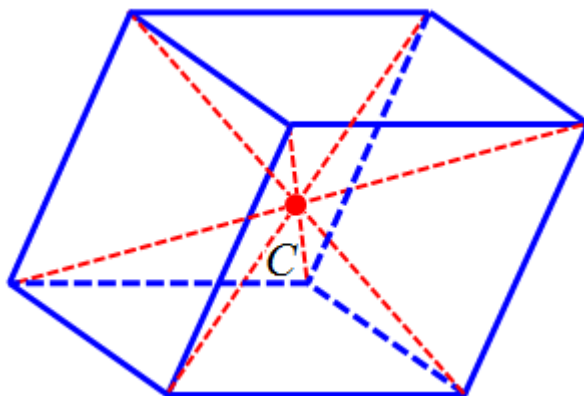


Рисунок 1 – Центр тяжести однородного параллелепипеда

Своей массой груз будет воздействовать на раму полуприцепа, то есть на плоскость XY . В этом случае центр тяжести относительно грани, на которой «лежит» параллелепипед на плоскости, будет располагаться в точке пересечения диагоналей прямоугольника, как показано на рисунке 2.

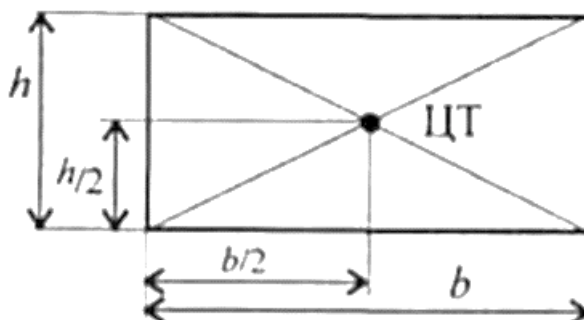


Рисунок 2 – Центр тяжести прямоугольника

Обозначим:

h – высоту прямоугольника;

b – ширину прямоугольника.

Тогда координаты центра тяжести относительно прямоугольника будут иметь вид:

$$\left(\frac{b}{2}, \frac{h}{2} \right) \quad (1)$$

Обозначим (x, y) – координаты расположения левой верхней вершины грани параллелепипеда (ближней в начале координат), на которой «лежит» параллелепипед на плоскости. Тогда координаты центра тяжести груза относительно рамы полуприцепа будут иметь вид:

$$\left(x + \frac{b}{2}, y + \frac{h}{2} \right) \quad (2)$$

Математическая модель расчета нагрузки на оси ТС

Построение математической модели расчета нагрузки на оси ТС разделим на 4 пункта:

1. Расчет нагрузки тягача;
2. Расчет нагрузки прицепа;
3. Расчет нагрузки груза;
4. Расчет нагрузки на вертикальную ось.

Для наглядности будут рассмотрены двусосный тягач и трехосный полуприцеп. Будем считать, что тягач имеет 2 оси, а прицеп 3. В случае, если полуприцеп имеет 2 задних оси, то расчет нагрузок на них будет рассчитан с уточнением.

Тягач

Для обозначения параметров, которые будут относиться к тягачу, в индексе будет стоять буква Т. На Рисунке 3 представлена схему тягача и действующих на него сил в проекции на плоскость XZ.

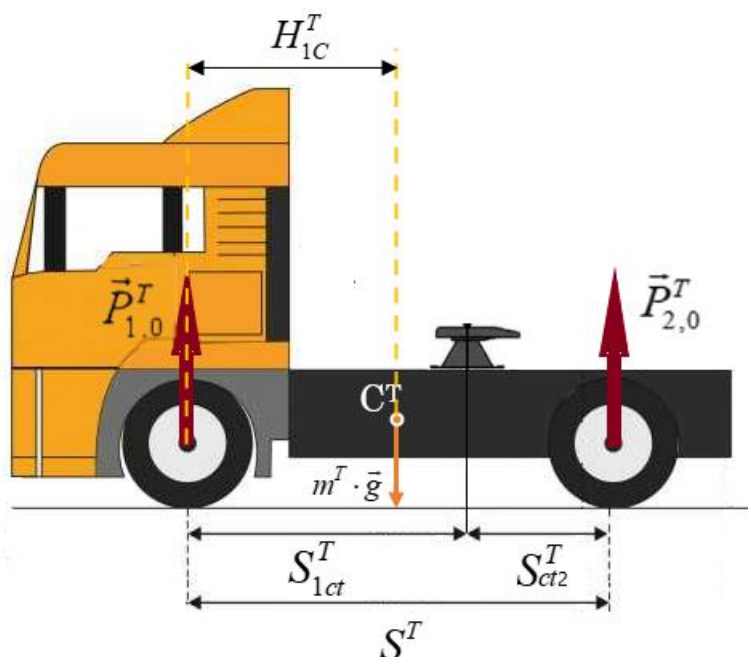


Рисунок 3 – Схема тягача

Обозначим:

$\vec{P}_{1,0}^T$ - сила реакции опоры передней оси тягача (0 в индексе – тягач без прицепа);

$\vec{P}_{2,0}^T$ - сила реакции опоры задней оси тягача (0 в индексе – тягач без прицепа);

S^T - расстояние между осями тягача;

$m^T \cdot \vec{g}$ - сила тяжести тягача;

S_{1ct}^T - расстояние от передней оси тягача до седла;

S_{ct2}^T - расстояние от седла до задней оси тягача;

C^T - точка центра тяжести тягача;

H_{1C}^T - расстояние от передней оси до центра тяжести тягача.

На рисунке 1 показано, что на тягач действует 3 силы: силы реакции опоры передней и задней оси тягача и сила тяжести тягача. В состоянии механического равновесия сумма всех сил, действующих на тело равна нулю. Тогда можно утверждать, что сумма сил реакций опор передней и задней осей и сила тяжесть тягача равны, или:

$$P_{1,0}^T + P_{2,0}^T - m^T \cdot g = 0 \quad (3)$$

По условию равенства моментов силы это уравнение является следствием того, что грузовик находится в состоянии покоя и не вращается вокруг любой выбранной оси, включая ось, проходящую через переднюю ось грузовика. Таким образом, сумма всех

моментов сил, действующих на тело, равна нулю. Следовательно, произведение силы тяжести и расстояния от передней оси тягача до центра тяжести тягача равно произведению силы реакции опоры задней оси и расстояния между осями тягача. Или:

$$m^T \cdot g \cdot H_{1c}^T - P_{2,0}^T \cdot S^T = 0 \quad (4)$$

Рассмотрим уравнение 4 относительно H_{1c}^T . Если нам известны масса тягача, нагрузка на заднюю ось и расстояние между осями, мы можем найти расстояние от передней оси до центра тяжести тягача:

$$H_{1c}^T = \frac{P_{2,0}^T \cdot S^T}{m^T \cdot g} \quad (5)$$

Если тягач имеет не одну, а две задние оси, тогда нагрузка на каждую заднюю ось будет равна половине. А расстояние $\bar{P}_{2,0}^T$ между осями тягача S^T и расстояние от седла до задней оси тягача S_{ct2}^T будут считаться он средней точки между осями, как это показано на рисунке 4.

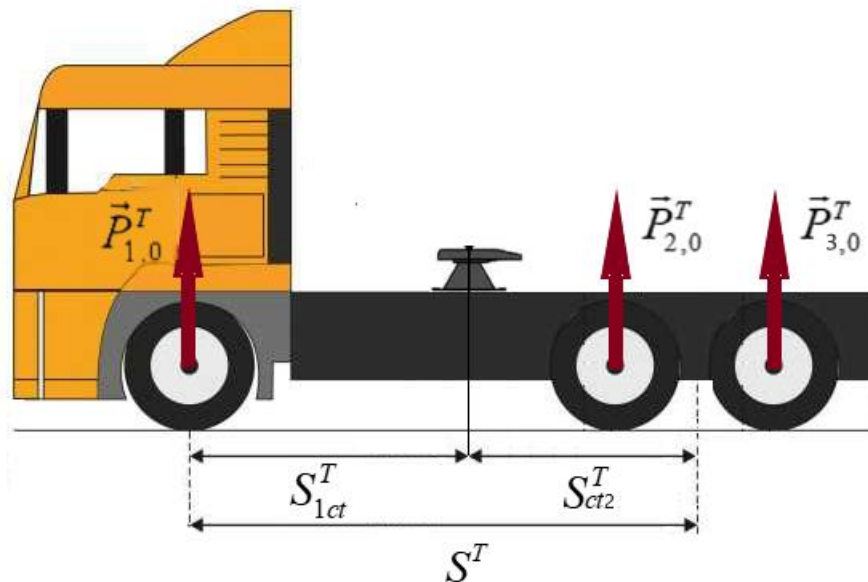


Рисунок 4 – Схема трехосного тягача

Полуприцеп

Для обозначения параметров, которые будут относиться к полуприцепу, в индексе будет стоять буква пр. На Рисунке 5 представлена схему полуприцепа и действующих на него сил в проекции на плоскость XZ.

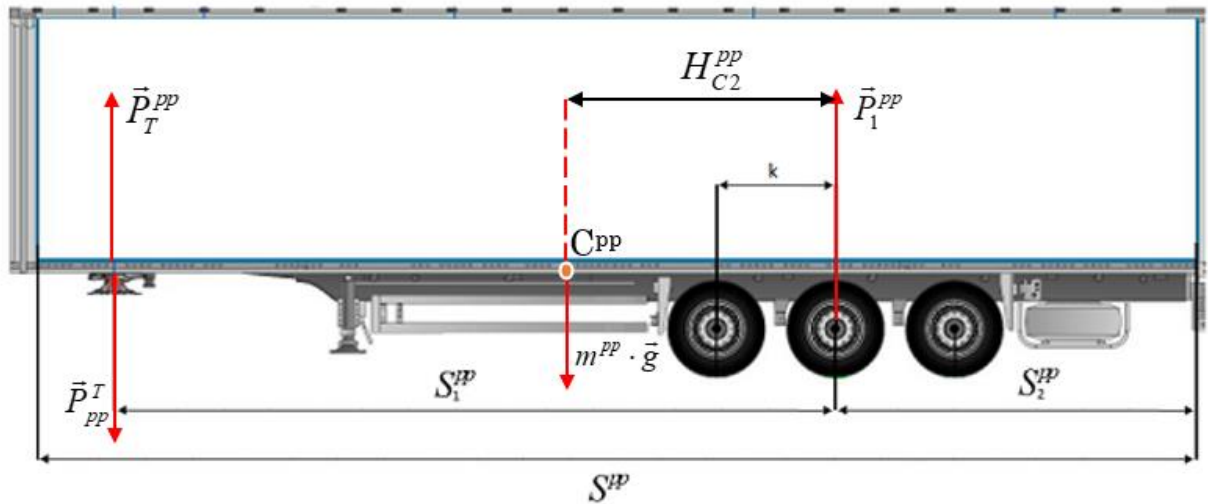


Рисунок 5 – Схема трехосного полуприцепа

Обозначим:

S^{pp} - полезная глубина полуприцепа;

S_1^{pp} - расстояние от седла до оси полуприцепа;

S_2^{pp} - расстояние от оси до задней стенки полуприцепа;

$m^{pp} \cdot \vec{g}$ - сила тяжести полуприцепа;

\vec{P}_1^{pp} - сила реакции опоры оси полуприцепа;

\vec{P}_{pp}^T - сила, с которой полуприцеп воздействует на тягач;

\vec{P}_T^{pp} - сила, с которой тягач воздействует на полуприцеп;

C^{pp} - точка центра тяжести полуприцепа;

H_{C2}^{pp} - расстояние от точки центра тяжести до оси полуприцепа;

k - расстояние между осями полуприцепа.

На рисунке 5 показано, что на пустой полуприцеп действуют 4 силы: сила, с которой полуприцеп воздействует на тягач, сила, с которой тягач воздействует на полуприцеп, сила опоры оси полуприцепа и сила тяжести полуприцепа.

Согласно третьему закону Ньютона, полуприцеп воздействует на тягач, а тягач воздействует на полуприцеп:

$$\vec{P}_{pp}^T = -\vec{P}_T^{pp} \quad (6)$$

Найдем центр тяжести полуприцепа. Условие равенства моментов сил, действующих на полуприцеп, относительно оси, проходящей через заднюю ось полуприцепа, заключается в том, что сумма моментов сил, действующих на полуприцеп вокруг этой оси, должна быть равна нулю. Это означает, что при расчете равновесия и устойчивости полуприцепа необходимо учитывать моменты сил, действующие на различные части полуприцепа относительно его задней оси, и обеспечивать баланс этих моментов для обеспечения устойчивого и безопасного движения.

Аналогично с выражением (4), произведение силы тяжести и расстояния от задней оси полуприцепа до центра тяжести равно произведению силы реакции опоры задней оси по модулю и расстояния между задней осью полуприцепа и седлом тягача. Или:

$$m^{pp} \cdot g \cdot H_{C2}^{pp} - |P_1^{pp}| \cdot S_1^{pp} = 0 \quad (7)$$

Рассмотрим уравнение 7 относительно H_{C2}^{pp} . Если нам известны масса полуприцепа, нагрузка на заднюю ось и расстояние между седлом и осью полуприцепа, мы можем найти расстояние от задней оси до центра тяжести тягача:

$$H_{C2}^{pp} = \frac{|P_T^{pp}| \cdot S_1^{pp}}{m^{pp} \cdot g} \quad (8)$$

Далее выделим формулу для расчета нагрузки на заднюю ось полуприцепа. Она будет равна разности силы тяжести полуприцепа и силы, с которой полуприцеп воздействует на тягач, по модулю.

$$P_1^{pp} = m^{pp} \cdot g - |P_{pp}^T| \quad (9)$$

В случае, если полуприцеп имеет две оси, то расстояние от центра тяжести до оси полуприцепа H_{C2}^{pp} и расстояние от оси до задней стенки полуприцепа будут вычисляться от центра между осями полуприцепа, как показано на Рисунке 6. Однако нагрузки на каждую ось мы будем вычислять ниже.

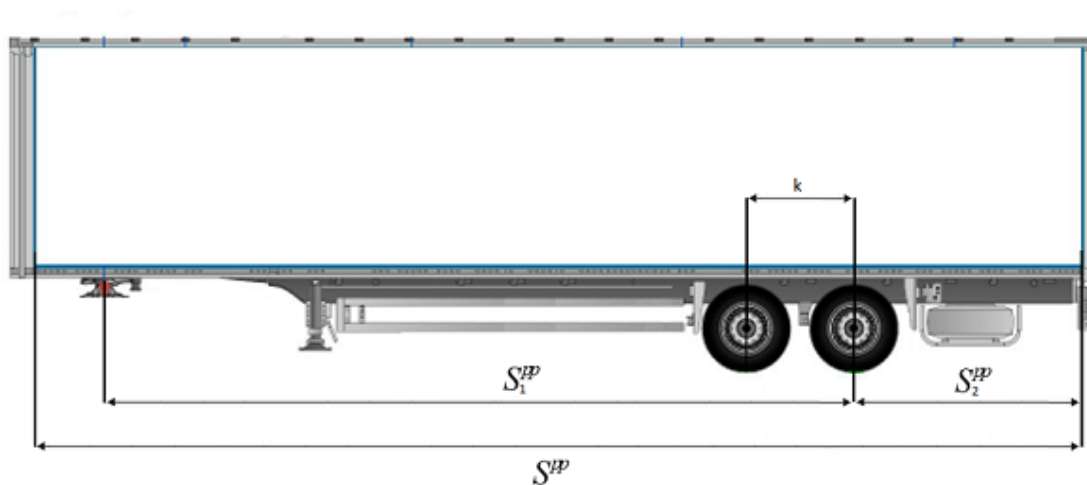


Рисунок 6 – Схема двухосного полуприцепа

Тягач с полуприцепом и грузом

Для обозначения параметров, которые будут относиться к грузу, в индексе будет стоять буква gr. На Рисунке 7 представлена схема полуприцепа с грузом и действующих на него сил в проекции на плоскость XZ.

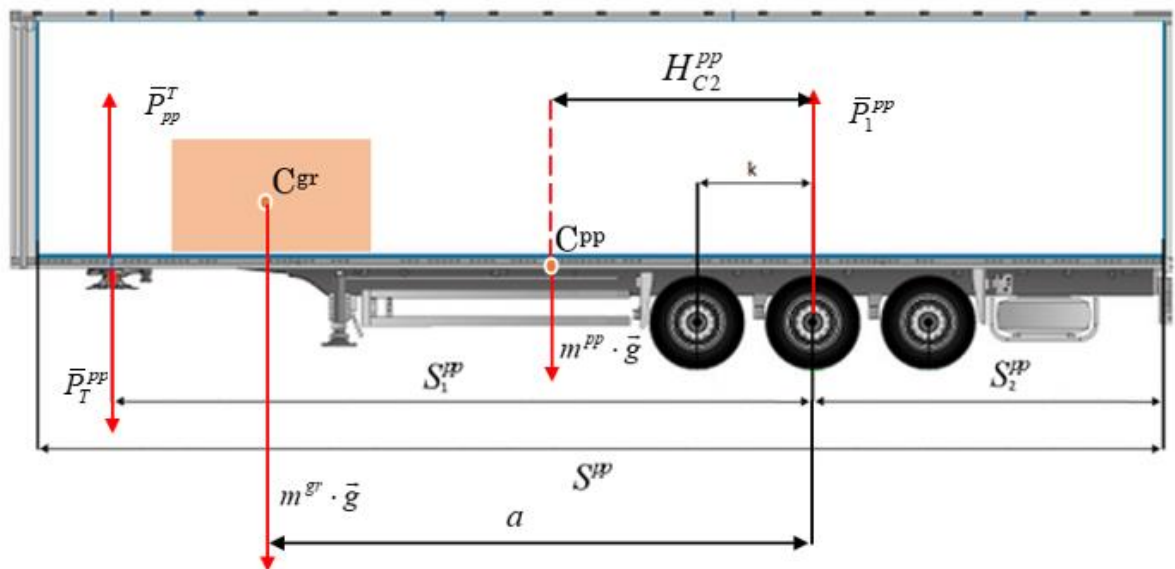


Рисунок 7 – Схема полуприцепа и груза

Обозначим

$m^{gr} \cdot \vec{g}$ - сила тяжести груза;

a - расстояние от задней оси полуприцепа до центра тяжести груза;

C^{gr} - точка центра тяжести груза.

\bar{P}_T^{pp} - нагрузка на седло с учетом груза;

\bar{P}_1^{pp} - нагрузка на ось полуприцепа с учетом груза;

Обозначим знак $(-)$ над переменной нагрузки как нагрузка на оси с учетом груза. На рисунке 7 видно, что сила тяжести груза воздействует на полуприцеп. Вычислим, как именно.

Согласно условию равенства сил, действующих на тягач:

$$\bar{P}_{1,1}^T + \bar{P}_{2,1}^T - m^T \cdot g - \bar{P}_1^{pp} = 0 \quad (10)$$

Запишем условие равенства моментов сил, действующих на тягач:

$$H_{1C}^T \cdot m^T \cdot g + \bar{P}_T^{pp} \cdot S_{1ct}^T - \bar{P}_{2,1}^T \cdot S^T = 0 \quad (11)$$

Далее запишем аналогичные равенство для полуприцепа:

$$\bar{P}_T^{pp} + \bar{P}_1^{pp} - (m^{pp} + m^{gr}) \cdot g = 0 \quad (12)$$

$$m^{gr} \cdot g \cdot a + m^{pp} \cdot g \cdot H_{C2}^{pp} - \bar{P}_T^{pp} \cdot S_1^{pp} = 0 \quad (13)$$

Вычислим силу, с которой тягач воздействует на полуприцеп, \bar{P}_T^{pp} из уравнения 13:

$$\bar{P}_T^{pp} = \frac{m^{gr} \cdot g \cdot a + m^{pp} \cdot g \cdot H_{C2}^{pp}}{S_1^{pp}} \quad (14)$$

Вычислим силу реакции опоры задней оси тягача $\bar{P}_{2,1}^T$ из уравнения 11:

$$\bar{P}_{2,1}^T = \frac{H_{1C}^T \cdot m^T \cdot g + \bar{P}_T^{pp} \cdot S_{1ct}^T}{S^T} \quad (15)$$

Вычислим силу реакции опоры задней оси полуприцепа \bar{P}_1^{pp} из уравнения 12:

$$\bar{P}_1^{pp} = (m^{pp} + m^{gr}) \cdot g - \bar{P}_T^{pp} \quad (16)$$

Вычислим силу реакции опоры передней оси тягача $\bar{P}_{1,1}^T$ из уравнения 10:

$$\bar{P}_{1,1}^T = m^T \cdot g + \bar{P}_T^{pp} - \bar{P}_{2,1}^T \quad (17)$$

Мы видим, что в формулу для расчёта параметра \bar{P}_T^{pp} входит параметр a . Величина \bar{P}_T^{pp} входит в формулу для расчёта нагрузки на каждую из осей. Таким образом, изменяя параметр, мы можем менять нагрузку на оси.

Итак, для создания модели нам необходимы следующие входные параметры:

$m^T \cdot g$ - масса тягача;

$m^{pp} \cdot g$ - масса полуприцепа;

S^T - расстояние между осями тягача;

S_{1ct}^T - расстояние от передней оси тягача до точки сцепки с полуприцепом;

S_{ct2}^T - расстояние от точки сцепки до задней оси тягача;

S^{pp} - полезная глубина полуприцепа;

S_1^{pp} - расстояние от точки сцепки до оси полуприцепа;

S_2^{pp} - расстояние от оси полуприцепа до задней стенки полуприцепа;

$\bar{P}_{1,0}^T$ - сила реакции опоры передней оси тягача (тягач без прицепа);

$\bar{P}_{2,0}^T$ - сила реакции опоры задней оси тягача (тягач без прицепа);

\bar{P}_T^{pp} - нагрузка на седло пустого полуприцепа;

\bar{P}_1^{pp} - сила реакции опоры оси полуприцепа

H^{pp} - высота полуприцепа;

W^{pp} - ширина полуприцепа;

Теперь рассмотрим случай, когда полуприцеп имеет не одну, а 2 или 3 задних оси. В этом случае найденная нагрузка равномерно распределится на заданное количество осей.

$$\begin{aligned} P_1^{pp} &= p_1 + p_2 + p_3 \\ P_1 &= P_2 = P_3 \end{aligned} \quad (18)$$

В случае, если в полуприцепе находятся несколько грузов, то параметр a будет рассчитываться как:

$$a = \frac{m_1^{gr} \cdot x_1 + m_2^{gr} \cdot x_2 + \dots + m_n^{gr} \cdot x_n}{m_1^{gr} + m_2^{gr} + \dots + m_n^{gr}} \quad (19)$$

Где m_i^{gr} - масса i -того груза, а x_i - расстояние от центра тяжести i -того груза до задней оси полуприцепа.

Рассмотрим данную модель на примере.

Имеются следующие входные данные для двухосного тягача и трехосного полуприцепа:

$$m^T \cdot g = 8180 \text{ кг} ;$$

$$m^{pp} \cdot g = 6400 \text{ кг} ;$$

$$S^T = 3600 \text{ мм} ;$$

$$S_{1Ct}^T = 3060 \text{ мм} ;$$

$$S_{ct2}^T = 540 \text{ мм} ;$$

$$S^{pp} = 13600 \text{ мм} ;$$

$$S_1^{pp} = 7710 \text{ мм} ;$$

$$S_2^{pp} = 4290 \text{ мм} ;$$

$$\vec{P}_{1,0}^T = 5700 \text{ кг} ;$$

$$\vec{P}_{2,0}^T = 2480 \text{ кг} ;$$

$$\vec{P}_T^{pp} = 1280 \text{ кг} ;$$

$$\vec{P}_1^{pp} = 5120 \text{ кг} .$$

Поместим в полуприцеп 2 груза. Первый массой 3 тонны (3000 кг) так, чтобы его центр тяжести находил от оси полуприцепа на расстоянии 350 см (3500 мм). А второй массой 2 тонны (2000 кг) и расстоянием 15 см (150 мм).

$$m_1^{gr} = 3000$$

$$x_1 = 3500$$

$$m_2^{gr} = 2000$$

$$x_2 = 150$$

Найдем общую массу пустого полуприцепа и тягача и проверим входные данные на корректность:

$$m = m^T + m^{pp} = 8180 + 6400 = 14580$$

$$P = P_{1,0}^T + P_{2,0}^T + P_T^{pp} + P_1^{pp} = 5700 + 2480 + 1280 + 5120 = 14580$$

$$m = P$$

Вычислим параметр a по формуле 24:

$$a = \frac{m_1^{gr} \cdot x_1 + m_2^{gr} \cdot x_2}{m_1^{gr} + m_2^{gr}} = \frac{3000 \cdot 3500 + 2000 \cdot 150}{3000 + 2000} = 2160$$

Вычислим, с какой силой полуприцеп с грузом воздействуем на тягач. Для этого сначала найдем параметр H_{C2}^{pp} :

$$H_{C2}^{pp} = \frac{|P_T^{pp}| \cdot S_1^{pp}}{m^{pp} \cdot g} = \frac{1280 \cdot 7710}{6400} = 1542$$

Теперь можем вычислить нагрузку на седло полуприцепа с грузом \bar{P}_T^{pp}

$$\bar{P}_T^{pp} = \frac{m^{gr} \cdot g \cdot a + m^{pp} \cdot g \cdot H_{C2}^{pp}}{S_1^{pp}} = \frac{5000 \cdot 2160 + 6400 \cdot 1542}{7710} = 2681$$

Найдем параметр H_{1C}^T :

$$H_{1C}^T = \frac{P_{2,0}^T \cdot S^T}{m^T \cdot g} = \frac{2480 \cdot 3600}{8180} = 1091$$

Вычислим силу реакции опоры задней оси тягача $\bar{P}_{2,1}^T$:

$$\bar{P}_{2,1}^T = \frac{H_{1C}^T \cdot m^T \cdot g + \bar{P}_T^{pp} \cdot S_{1ct}^T}{S^T} = \frac{1091 \cdot 8180 + 2681 \cdot 3060}{3600} = 4758$$

Вычислим силу реакции опоры задней оси полуприцепа \bar{P}_1^{pp} :

$$\bar{P}_1^{pp} = (m^{pp} + m^{gr}) \cdot g - \bar{P}_T^{pp} = 6400 + 5000 - 2681 = 8719$$

Вычислим силу реакции опоры передней оси тягача $\bar{P}_{1,1}^T$:

$$\bar{P}_{1,1}^T = m^T \cdot g + \bar{P}_T^{pp} - \bar{P}_{2,1}^T = 8180 + 2681 - 4758 = 6103$$

Проверка:

$$\bar{P} = \bar{P}_{1,1}^T + \bar{P}_{2,1}^T + \bar{P}_1^{pp} = 6103 + 4758 + 8719 = 19580$$

$$\bar{m} = m^T + m^{pp} + m^{gr} = 8180 + 6400 + 5000 = 19580$$

$$\bar{P} = \bar{m}$$

Уравнение расчета равномерного распределения нагрузки по вертикальной оси полуприцепа



Рисунок 8 – Схема полуприцепа, вид сверху

На рисунке 8 показана схема полуприцепа на плоскости XY, где w – ширина полуприцепа, k – глубина полуприцепа. Обозначим начало отсчета координат верхний левый угол прицепа. Ось представляет из себя линию, которая соединяет противоположные стороны контейнера. Для обозначения этой линии мы будем использовать две точки на противоположенных сторонах полуприцепа. Тогда координаты точек этой линии будут иметь вид:

$$\left(0, \frac{w}{2}\right), \left(k, \frac{w}{2}\right) \quad (20)$$

Теперь представим, что два груза i и j поместили в контейнер.

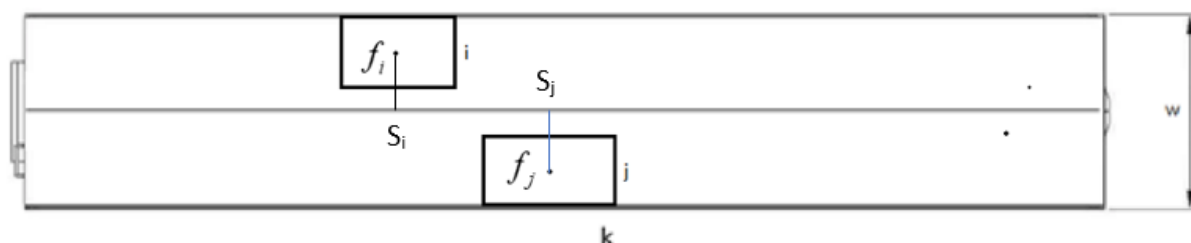


Рисунок 9 – Схема полуприцепа с грузом, вид сверху

Точки f_i и f_j являются точками центра тяжести соответствующих грузов. Обозначим m_i и m_j как массу грузов, а S_i и S_j как расстояние от центра тяжести до оси полуприцепа соответствующего груза. На рисунке 9 видно, что, расстояние груза друг от друга по глубине контейнера никак не будет сказываться на вычисление моментов сил, действующих вертикальную ось полуприцепа, так как S_i и S_j от этого никак не изменятся.

Условия равенства моментов сил будет выглядеть следующим образом:

$$m_i \cdot S_i - m_j \cdot S_j = q, \quad q \rightarrow 0 \quad (21)$$

Где q – величина соотношения равновесия массы грузов по вертикальной оси. Если $q > 0$, то перевес находится на стороне i -того груза, если $q < 0$, то перевес находится на стороне j -того груза, если $q = 0$, то перевес нет. При решении задачи мы будем стремиться к приближению q к 0.

Вывод

В данной главе были обозначены прикладные и физические аспекты предметной области, даны определения основным понятиям, построена математическая модель для расчета нагрузки на седло тягача.

В ходе разработки модели было выявлено, какие входные данные необходимы для корректной работы программы, выведены формы для расчета нагрузки на оси ТС, учтена нагрузка на вертикальные оси.

На основе анализа предметной области и существующих решений можно сделать вывод о том, что задача размещения груза в полуприцепе является сложной и важной задачей, которая требует комбинаторного подхода и применения различных методов оптимизации.

Однако, несмотря на сложность задачи, существуют различные алгоритмы и программные решения, которые позволяют достаточно эффективно решать данную задачу и оптимизировать распределение груза в полуприцепе.

2 Методы решения задачи

Было установлено, что данная задача является NP-полной, поэтому классические алгоритмы нецелесообразно применять на практике из-за дополнительных ограничений на расстановку блоков в объеме. Это говорит о том, что даже при сравнительно небольшом количестве грузов, время работы алгоритма будет слишком велико, даже при использовании современных суперкомпьютеров [11].

Классические алгоритмы могут быть нецелесообразны при решении задач расстановки блоков в объеме из-за дополнительных ограничений, которые могут быть свойственны различным сферам применения. Эти ограничения и условия могут быть очень разнообразны, поэтому точные алгоритмы, которые предлагают решения без учета дополнительных ограничений, могут быть сложно адаптированы для решения задач с дополнительными ограничениями.

Критерием оптимальности будет считаться распределение нагрузки на оси полуприцепа и тягача. Отметим, что под понятием «критерий оптимальности» понимают показатель, который выражает предельную меру эффекта, искомого решения для сравнительной оценки возможных альтернатив и выбора из них наилучшей [18].

Ситуация осложняется отсутствием математических моделей и алгоритмов, гарантирующих получение оптимального решения для большинства задач упаковки. В связи с этим, одним из наиболее перспективных направлений исследований являются разработка и совершенствование различных приближенных, в том числе эвристических методов решения задач упаковки, позволяющих получать квазиоптимальные решения за полиномиальное время. Наиболее эффективными и хорошо зарекомендовавшими себя при решении таких задач являются эволюционные алгоритмы, в частности генетические [13], [22], [5].

При использовании генетического алгоритма для решения задачи расстановки блоков в объеме, необходимо задать кодировку генов для определения пригодности полученного решения. Однако для получения графического представления решения необходимо использовать декодер - специальный оператор, который позволяет получить координаты блоков и определить значение целевой функции для данного решения. Декодер работает по приоритетному списку и позволяет получить графическое представление решения задачи, что облегчает анализ и оценку его эффективности. Будем использовать модифицированный метод последовательного размещения блоков в контейнер как наиболее подходящий по причине своей универсальности.

Метод последовательного размещения блоков в контейнер относится к жадным алгоритмам. Это метод решения оптимизационных задач, когда на каждом шаге выбирается локально наилучшее решение. Такой алгоритм не гарантирует нахождения глобального оптимума, но зачастую позволяет быстро найти достаточно хорошее решение.

В жадном алгоритме (greedy algorithm) всегда делается выбор, который кажется самым лучшим в данный момент — т.е. производится локально оптимальный выбор в надежде, что он приведет к оптимальному решению глобальной задачи [7].

Применительно к размещению прямоугольников, жадный алгоритм может заключаться в том, что на каждом шаге выбирается узел, который занимает наименьшую площадь и может вместить следующий прямоугольник. Этот алгоритм не гарантирует нахождения оптимального размещения всех прямоугольников, но может дать достаточно хороший результат за короткое время.

Жадный алгоритм может быть полезен в ситуациях, когда требуется быстрый результат и необходимо сделать выбор на каждом шаге. Однако в случае сложных задач или когда необходимо достичь глобального оптимума, более сложные алгоритмы могут быть более эффективными.

2.1 Метод размещения прямоугольников на плоскость

Рассмотрим математическую постановку задачи двумерной упаковки набора прямоугольников в контейнер. Пусть задано множество прямоугольников D , которое состоит из n прямоугольников. Прямоугольник имеет параметры (w_i, h_i) - ширину и высоту прямоугольника. Также имеется прямоугольник K , который имеет параметры (w, h) - ширину и высоту максимального покрывающего прямоугольника. Необходимо найти такой способ размещения множества прямоугольников D в прямоугольник K , чтобы площадь покрывающего прямоугольника была минимальна.

В качестве решения будет приниматься вектор (\bar{x}) , который будет состоять из точек (координат). (x_i) - точка размещения левого верхнего угла прямоугольника i -того, при $i=1..n$. Размещение прямоугольников будет осуществляется в первой четверти декартовой системы координат. Ось абсцисс и ось ординат будут параллельны или перпендикулярны сторонам прямоугольников. Ограничениями размещения прямоугольников будут являться условие непересекаемости прямоугольников и условия ограничения покрывающего прямоугольника.

Для математического отображения условия непересекаемости прямоугольников введем функцию $v(d_i, x_i, d_j, x_j)$, которая будет равна площади пересечений прямоугольника

d_i , размещенного в точке x_i , с прямоугольником d_j , размещенного в точке x_j . Тогда ограничение будет иметь вид:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n v(d_i, x_i, d_j, x_j) = 0, i \neq j \quad (22)$$

Определим ширину ($X^1(\bar{x})$) и высоту ($X^2(\bar{x})$) наименьшего покрывающего прямоугольника.

$$X^1(\bar{x}) = \max_{1 \leq i \leq n} (x_i^1 + w_i) \quad (23)$$

$$X^2(\bar{x}) = \max_{1 \leq i \leq n} (x_i^2 + h_i) \quad (24)$$

Тогда условие ограничения покрывающего прямоугольника будет иметь вид:

$$\begin{cases} X^1(\bar{x}) \leq w \\ X^2(\bar{x}) \leq h \end{cases} \quad (25)$$

Таким образом, отношение суммы площадей всех заданных прямоугольников к площади покрывающего прямоугольника будем называть коэффициентом эффективности решения \bar{x} . Тогда функция цели будет иметь вид:

$$\frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot h_i}{X^1(\bar{x}) \cdot X^2(\bar{x})} \rightarrow \max \quad (26)$$

Данный способ представлен в [20].

Алгоритм метода:

Входные данные: 1) параметры задачи; 2) упорядоченная последовательность прямоугольников.

Перебрать все прямоугольники в указанном порядке. Для каждого прямоугольника:

1. При помощи стратегии поиска узлов сформировать множество узлов для размещения.

2. Лучший узел не задан.

3. Перебрать все узлы размещения. Для каждого узла:

3.1. Сохранить частично построенное размещение.

- 3.2. Поместить прямоугольник в узел согласно стратегии размещения.
- 3.3. Проверить ограничения (22), (23), (24).
- 3.4. Если ограничения нарушены – переход к п. 3.8.
- 3.5. Рассчитать значение критерия (3).
- 3.6. Если лучший узел не задан, то текущий узел считать лучшим.
- 3.7. Если значение критерия лучшего узла меньше значения критерия текущего узла, то текущий узел считать лучшим.
- 3.8. Восстановить сохраненное в п. 3.1 частично построенное размещение и перейти к следующему узлу.

4. Если лучший узел найден, то поместить прямоугольник в лучший узел согласно стратегии размещения.

5. Перейти к следующему прямоугольнику [21].

Первым делом помещаем первый в очереди прямоугольник в начало координат. Подразумеваем, что площадь, ширина и высота покрывающего прямоугольника (ППП) равны площади, высоте и ширине первого в очереди прямоугольника.

Алгоритм в начале каждой итерации имеет вектор узлов – точек возможных размещений прямоугольника в контейнер.

Базовая стратегия поиска узлов выглядит следующим образом:

Входные данные:

- 1) параметры задачи;
- 2) частично построенное размещение;
- 3) размещаемый прямоугольник p_i .

1. Список узлов размещения пуст.
2. Добавить в список узлов размещения точку начала координат.
3. Перебрать все размещенные прямоугольники в частично построенном решении. Для каждого прямоугольника:

3.1. Добавить в список узлов размещения точки (если они ранее не были добавлены):

$$\left(x_i^1, x_i^2\right), \left(x_i^1 + w_i, x_i^2\right), \left(x_i^1, x_i^2 + h_i\right), \left(x_i^1 + w_i, x_i^2 + h_i\right) \quad (27)$$

- 3.2. Перейти к следующему прямоугольнику.
4. Список узлов сформирован.

Далее формируется вектор адаптивных узлов размещения. Адаптивные узлы дополняют вектор базовых узлов, а точнее увеличивают его в 4 раза, благодаря размещению каждой вершины следующего прямоугольника в каждую базовую точку. **Алгоритм поиска адаптивных узлов** размещения выглядит следующим образом:

Входные данные:

- 1) параметры задачи;
- 2) частично построенное размещение;
- 3) размещаемый прямоугольник p_j с размерами (w_j, h_j) .

1. Сформировать список узлов размещения при помощи базовой стратегии поиска узлов.

2. Адаптивный список узлов размещения пуст.

3. Перебрать все узлы размещения из списка узлов. Для каждого узла (x_j^1, x_j^2) добавить в расширенный список узлов размещения точки (если они ранее не были добавлены и если не выходят за границы области размещения):

$$(x_j^1, x_j^2), (x_j^1 - w_j, x_j^2), (x_j^1, x_j^2 + h_j), (x_j^1 + w_j, x_j^2 + h_j) \quad (28)$$

4. Адаптивный список узлов сформирован.

Далее происходит отбор узлов, в которых не будут нарушены ограничение непересекаемости и ограничение выхода за границы области размещения. Это описание простейшей стратегии размещения прямоугольников, когда каждый прямоугольник размещается в узле с координатами (x_1, x_2) , не учитывая положение и изменения положения других прямоугольников.

Для этого используется обычный алгоритм перебора узлов и проверки каждого из них на соответствие требованиям задачи и соблюдение ограничений (22), (23), (24).

Затем оцениваем каждый узел размещения. Описанные алгоритмы размещения прямоугольников не содержат детального описания критерия качества, по которому можно было бы сравнивать качество узлов при размещении в них конкретного прямоугольника. Для решения этой проблемы предлагается использовать схему расчета качества размещения прямоугольника в узел, которая учитывает плотность уже частично построенного размещения.

Схема выбора узла для размещения прямоугольника заключается в том, что при выборе узла учитывается, насколько сильно его занимает текущее размещение, и насколько сильно его ограничивает ограничивающий прямоугольник. Чем меньше узел занят текущим

размещением и чем меньше он расширяет ограничивающий прямоугольник, тем выше его качество размещения.

Например, на рисунке 10 представлены два варианта размещения, где вариант слева предпочтительнее, так как он занимает меньше места и меньше расширяет границы ограничивающего прямоугольника. Это означает, что узел, в котором размещен прямоугольник слева, имеет более высокое качество размещения, чем узел, в котором размещен прямоугольник справа.

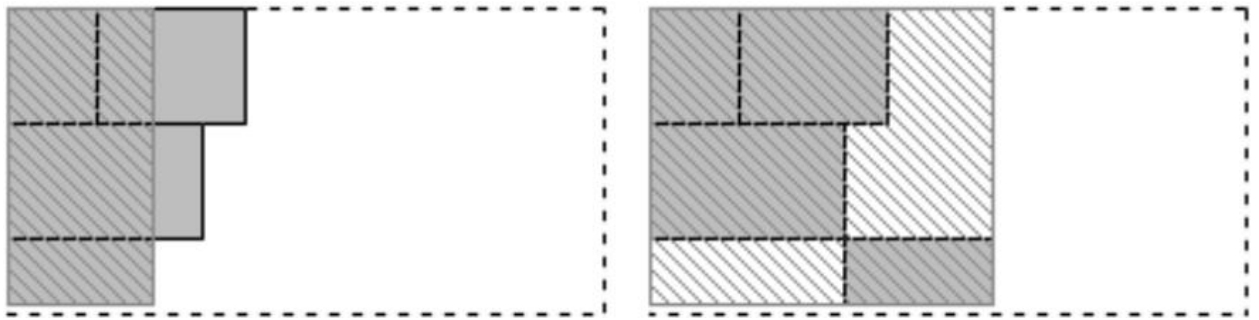


Рисунок 10 – Варианты размещения нижнего прямоугольника [21]

Рассмотрим алгоритм оценки качества узлов размещения подробно.

Входные данные:

- 1) Параметры задачи;
- 2) Частично построенное размещение;
- 3) Текущее множество узлов $Q = \{q_j = (x_j, y_j), j \in 1, m\}$;
- 4) Множество прямоугольников, размещенных в контейнере $P = \{p_k, k \in 1, t\}$;
- 5) Размещаемый прямоугольник $r_i \notin P$ с шириной w_i и высотой h_i .

Для каждого узла q_j размещаем в нем прямоугольник r_i . Обозначим размещенный в узле q_j прямоугольник r_i как $r_i^{q_j}$. Проверим на ограничение непересекаемости. Для этого используется функция Sr , которая возвращает общую площадь пересечения двух размещенных на плоскости прямоугольников p_k и $r_i^{q_j}$. Алгоритм:

Для каждого прямоугольника, размещенного в контейнере p_k находим с помощью функции Sr площадь пересечения.

Из всех узлов выбираем тот узел, в котором площадь пересечения с прямоугольниками, расположенными в контейнере, равна 0, а ППП наименьшая.

Таким образом, метод размещения прямоугольников на плоскости позволяет расположить упорядоченные прямоугольники на плоскости так, чтобы ППП была наименьше. Жадный алгоритм принимает локальное наилучшее решение. Но данный

алгоритм не соответствует целям задачи работы, поэтому нуждается в создании модификации.

2.2 Модификация метода размещения прямоугольников на плоскость

Для решения задачи размещения груза в контейнер с учетом осевой нагрузки появляется необходимость в создании модификации метода размещения прямоугольников на плоскость.

Введем обозначения и ограничения.

Данный способ представлен в [21].

Обозначим параметры трехмерного пространства контейнера:

W - ширина контейнера в сантиметрах (ось x);

D - глубина контейнера в сантиметрах (ось y);

H - высота контейнера в сантиметрах (ось z);

V - объем контейнера в сантиметрах кубических;

Имеем N блоков. Обозначим блок как набор его параметров:

x_0 - расстояние от начала координат до самого близкого к нему угла блока по ширине в сантиметрах;

y_0 - расстояние от начала координат до самого близкого к нему угла блока по глубине в сантиметрах;

z_0 - расстояние от начала координат до самого близкого к нему угла блока по высоте в сантиметрах;

$\{x_0, y_0, z_0\}$ - координаты самого близкого к началу координат угла блока;

w_i - ширина i -того блока в сантиметрах;

d_i - глубина i -того блока в сантиметрах;

h_i - высота i -того блока в сантиметрах;

Применим ограничения из [3]:

— Блоки не могут находиться за пределами контейнера. Составим систему неравенств для координат блока:

$$\begin{cases} x_{0i} \geq 0, \\ y_{0i} \geq 0, \\ z_{0i} \geq 0, \\ x_{0i} + w_i \leq W, \\ y_{0i} + d_i \leq D, \\ z_{0i} + h_i \leq H \end{cases} \quad (29)$$

Где x_{0i}, y_{0i}, z_{0i} – координаты угла самого близкого к началу осей координат блока, а $x_{0i} + w_i, y_{0i} + d_i, z_{0i} + h_i$ – координаты угла самого удаленного от начала осей координат блока.

– Сумма объемов всех блоков не должна быть больше объема контейнера:

$$\sum_{i=1}^N (w_i \cdot d_i \cdot h_i) \leq W \cdot D \cdot H \quad (30)$$

– Блоки не должны накладываться друг на друга:

$$\begin{aligned} & \left[(x_{0i} + w_i \geq x_{0j}) \wedge (y_{0i} + d_i \geq y_{0j}) \wedge (z_{0i} + h_i \geq z_{0j}) \right] \vee \\ & \left[(x_{0i} + w_i \leq x_{0j}) \wedge (y_{0i} + d_i \geq y_{0j}) \wedge (z_{0i} + h_i \geq z_{0j}) \right] \vee \\ & \left[(x_{0i} + w_i \geq x_{0j}) \wedge (y_{0i} + d_i \leq y_{0j}) \wedge (z_{0i} + h_i \geq z_{0j}) \right] \vee \\ & \left[(x_{0i} + w_i \geq x_{0j}) \wedge (y_{0i} + d_i \geq y_{0j}) \wedge (z_{0i} + h_i \leq z_{0j}) \right] \vee \\ & \left[(x_{0i} + w_i \leq x_{0j}) \wedge (y_{0i} + d_i \leq y_{0j}) \wedge (z_{0i} + h_i \geq z_{0j}) \right] \vee \\ & \left[(x_{0i} + w_i \geq x_{0j}) \wedge (y_{0i} + d_i \leq y_{0j}) \wedge (z_{0i} + h_i \leq z_{0j}) \right] \vee \\ & \left[(x_{0i} + w_i \leq x_{0j}) \wedge (y_{0i} + d_i \geq y_{0j}) \wedge (z_{0i} + h_i \leq z_{0j}) \right]; \\ & \forall i \leq N, j \leq N (i \neq j) \end{aligned} \quad (31)$$

В условиях данной задачи необходимо разместить параллелепипеды в контейнер заданной формы и ограничением осевой нагрузки. Будем рассматривать контейнеры в двух плоскостях: XZ и XY. Метод размещения прямоугольников на плоскость будет применяться на плоскости XY. Однако, если на каком-либо параллелепипед не сможет встать в контейнер из-за ограничений габаритов контейнера, применим дополнительный алгоритм размещения параллелепипедов в контейнер на верхних уровнях.

Рассмотрим аспект ограничения размера контейнера.

Центр осей координат по оси Z будет расположен на раме полуприцепа ($z=0$), по оси X – левая стенка полуприцепа, по оси Y – на передней стенке полуприцепа.

Так, ограничения контейнера по осям координат будут иметь вид:

$$\begin{aligned} x &\in [0, W] \\ y &\in [0, D] \\ z &\in [0, H] \end{aligned} \quad (32)$$

Рассмотрим принцип размещения первого груза в контейнер.

Метод размещения прямоугольников на плоскость предполагает, что первый блок будет помещен в начало координат, который соответствует левому нижнему дальнему углу контейнера. Однако, применяя этот алгоритм относительно данной задачи, поместим первый контейнер в точку, в которой общий центр тяжести груза будет максимально возможным без перегрузки на оси ТС. Стоит учесть, что для увеличения количества размещенного груза в контейнер, первый груз рациональней расположить вплотную к боковой стенке полуприцепа.

Найдем координаты наилучшей точки центра суммарной тяжести груза.

Для оси Y:

Вычислим координаты этой точки с помощью уравнений 14, 15, 16, 17. Подставив в них параметры тягача и полуприцепа, мы сможем построить график максимальной нагрузки. Условимся, что расчет будет происходить каждые 10 см полуприцепа относительно его глубины, а проверяться будет груз с разницей 100 кг. Это обусловлено тем, что такие параметры являются оптимальными для работы вычислительного устройства, но при этом позволят с необходимой точностью вычислить необходимые данные.

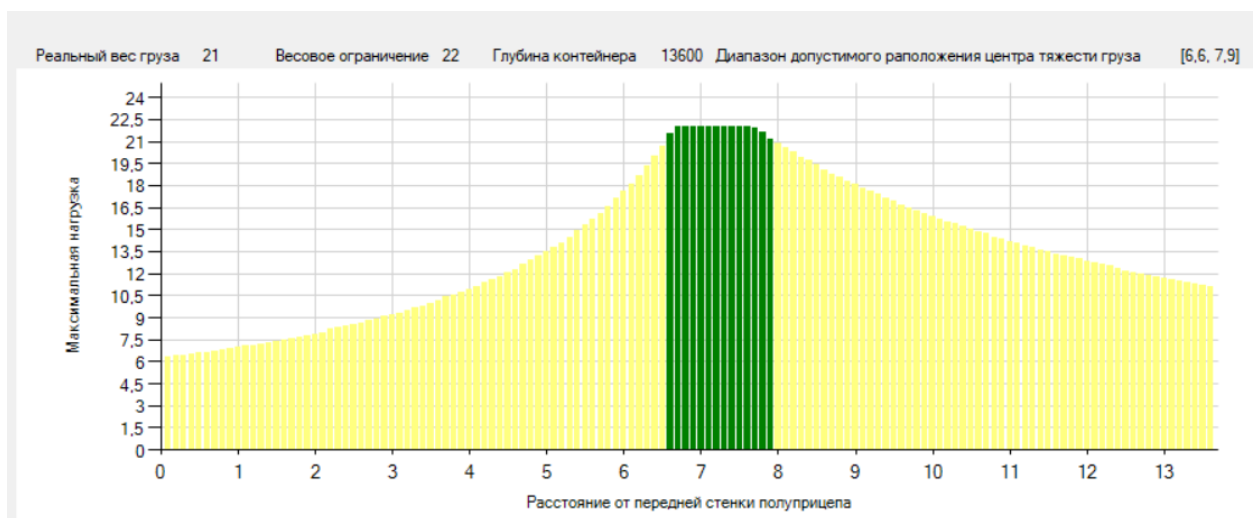


Рисунок 11 – График нагрузки на полуприцеп

На графике рисунка 11, отражающего максимальную нагрузку центра тяжести груза без перевеса по заданным параметрам, видно, что центр тяжести груза должен находиться в определенном диапазоне по оси глубины полуприцепа (зеленый диапазон).

Обозначим диапазон $[y_1, y_2]$ в плоскости YX как допустимый диапазон центра суммарной тяжести груза по оси Y. Центр тяжести будет располагаться в точке y_{opt} по оси y, равной центру диапазона, которая рассчитывается по формуле:

$$y_{opt} = y_1 + \left(\frac{y_1 + y_2}{2} \right) \quad (33)$$

Для оси X

Теперь рассмотрим плоскость XZ. Точка центра суммарной тяжести груза по оси X должна располагаться на вертикальной оси полуприцепа, которая была вычислена в формуле 20.

Для оси Z

В рамках данной задачи расположение центра тяжести по оси Z не учитывается, поэтому точка центр тяжести любого груза и точка центра суммарной тяжести груза будет находиться по оси Z в 0, то есть на раме полуприцепа.

Итак, наилучшей будет считаться точка центра суммарной тяжести груза с координатами:

$$[x_{opt}, y_{opt}, z], \text{ где } z = 0 \quad (34)$$

После того, как лучшее положение для центра суммарной тяжести груза найдено, найдем координаты точки центра тяжести первого груза в полуприцепе.

Для оси Y.

Точка центра тяжести первого груза по оси Y будет совпадать с оптимальной точкой центра суммарной тяжести груза.

Для оси X, Z

На рисунке 12 показана схема полуприцепа на плоскости XZ, на которой видно, как будет расположен первый груз относительно этих осей. По оси Z точка будет находить на раме полуприцепа, то есть 0. Будем располагать первый груз в левой части полуприцепа. Тогда центр тяжести первого в очереди груза будет рассчитываться ее по формуле:

$$x_1^{ct} = \frac{w_0}{2} \quad (35)$$

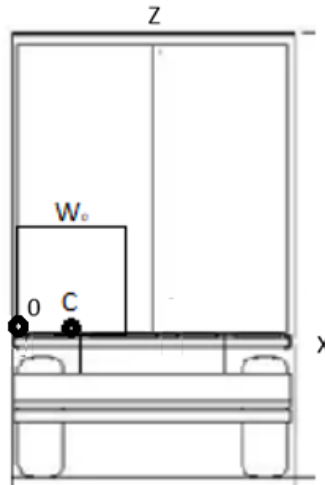


Рисунок 12 – Расположение первого в очереди груза на плоскости XZ

Итак, координаты точки центра тяжести первого в очереди груза будут иметь вид:

$$[x_1^{ct}, y_{opt}, 0] \quad (36)$$

Рассмотрим критерий оптимизации.

В данном методе вместо подсчета полезного пространства мы будем вычислять нагрузку на оси. Нам необходимо, чтобы центр тяжести груза был в пределах допустимого диапазона нагрузки по y , стремился к $\frac{W}{2}$ по x и не выходил за пределы z . Тогда критерием оптимальности будем считать расстояние от потенциального центра тяжести груза с учетом нового параллелепипеда до лучшей точки центра тяжести груза:

$$F(x_{ct}, y_{ct}) = \sqrt{(x_{opt} - x_{ct})^2 + (y_{opt} - y_{ct})^2} \quad (37)$$

Так как наша область ограничена рамой и крышей полуприцепа по оси Z , а на груз воздействует сила притяжения, мы разделим размещение груза на этапы по слоям. У первого слоя груза зафиксируем параметр z_i . Тогда расстановку груза можно вести на плоскости XY . Когда места в полуприцепе не останется (следующий груз невозможно поставить на раму полуприцепа), алгоритм подключает ось Z и начинает алгоритм расстановки для слоя $n+1$.

Рассмотрим алгоритм 1 слоя расстановки груза в полуприцеп.

Первый груз размещаем в полуприцепе согласно условию выше. Модифицированный алгоритм размещения прямоугольников на плоскости начинает обработку каждого входящего груза, интерпретируя его на ось ХУ. Критерием оптимизации будем считать расстояние до точки наилучшего центра суммарной тяжести груза.

Когда у следующего прямоугольника не будет оптимального узла размещения, начинает работать алгоритм для n+1 слоя. Рассмотрим его.

Базовые и адаптивные узлы первого слоя остаются в списке узлов на случай, если появится параллелепипед, способный встать в пустоту. Далее формирование узлов будет следовать следующим ограничениям:

1. Параллелепипед слоя выше может находиться над параллелепипедом слоя ниже тогда и только тогда, когда площадь параллелепипеда, расположенного выше по оси Z будет меньше или равна площади параллелепипеда, расположенного ниже:

$$w_i \cdot d_i \geq w_j \cdot d_j \quad (38)$$

2. Центры их тяжести на плоскости ХУ будут находиться в одной точке:

$$G = \sqrt{(x_{ct}^i - x_{ct}^j)^2 + (y_{ct}^i - y_{ct}^j)^2} = 0 \quad (39)$$

3. Суммарная высота параллелепипедов не превышает высоту контейнера:

$$h_i + h_j \leq H \quad (40)$$

Центр тяжести груза в контейнере высчитываем по формуле:

$$\left(x_i - \frac{w_i}{2}, y_i - \frac{d_i}{2} \right) \quad (41)$$

Найдем точку, в которую необходимо разместить параллелепипед во втором слое:

$$\begin{cases} x_i - \frac{w_i}{2} = x_j - \frac{w_j}{2} \\ y_i - \frac{d_i}{2} = y_j - \frac{d_j}{2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_j = x_i - \frac{w_i}{2} + \frac{w_j}{2} \\ y_j = y_i - \frac{d_i}{2} + \frac{d_j}{2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_j = x_i - \frac{w_i + w_j}{2} \\ y_j = y_i - \frac{d_i + d_j}{2} \end{cases} \quad (42)$$

Так, параллелепипеды во втором и более слое будут иметь узлы расстановки первого слоя и точки, в которых удовлетворяются первое и второе условие, а также ограничения.

Таким образом, была произведена модификация алгоритма последовательно размещения параллелепипеда в контейнер. Был изменен критерий оптимальности, которые предполагает не поиск наименьшего объема покрывающего параллелепипеда, а поиск наименьшего расстояния до точки наилучшего положения центра суммарной тяжести груза в контейнере и приближения к вертикальной оси полуприцепа. Данная модификация позволит учесть специфическое условие размещения объемного груза в контейнер.

2.3 Метод, основанный на применении генетического алгоритма

Применение генетических методов для решения NP-трудных комбинаторных задач оптимизации полезно тогда, когда необходимый объем вычислительных затрат может оказаться большим, но скорость, с которой этот объем увеличивается при экспоненциальном росте «размерности» задачи дискретной оптимизации, часто может расти лишь линейно [1].

Согласованность и эффективность работы элементов биологических организмов наводит на мысль о возможности использования принципов биологической эволюции с целью оптимизации практически важных для человека систем.

Генетический алгоритм – алгоритм, основанный на принципах естественного отбора Ч.Дарвина. Его относят к области мягких вычислений. Понятие «мягких вычислений» подразумевает под собой совокупность неточных, приближенных методов решения задач, зачастую не имеющих решение за полиномиальное время. Такие задачи возникают в области биологии, медицины, гуманитарных наук, менеджменте. Методы мягких вычислений хорошо дополняют друг друга, и часто используются совместно.

Генетический алгоритм представляет собой метод, отражающей естественную эволюцию методов решения проблем, и в первую очередь задач оптимизации. Генетические алгоритмы – это процедуры поиска, основанные на механизмах естественного отбора и наследования. В них используется эволюционный принцип выживания наиболее приспособленных особей. Они отличаются от традиционных методов оптимизации несколькими базовыми элементами. В частности, генетические алгоритмы обладают рядом отличительных свойств:

1. кодирование параметров – генетические алгоритмы обрабатывают не значения параметров самой задачи, а их закодированную форму;

2. операции на популяции – генетические алгоритмы осуществляют поиск решения исходя не из единственной точки (начальное приближение), а из некоторой популяции;

3. использование минимума информации о функции – генетические алгоритмы используют только целевую функцию, а не производные либо иную дополнительную информацию;

4. рандомизация операций – генетические алгоритмы применяют вероятностные, а не детерминированные правила выбора.

Рассмотрим метод, предложенный в [23].

Для решения задачи упаковки блоков был использован классический генетический алгоритм, который включает в себя несколько основных элементов. Хромосома, которая является основной единицей генетического алгоритма, представляет собой приоритетный список блоков, определяющий порядок их упаковки в контейнер. Каждый элемент (ген) хромосомы содержит информацию о размерах и координатах угла блока в контейнере. Генетические операции, такие как кроссинговер и мутация, производятся над набором хромосом, которые образуют популяцию.

Задаются натуральные числа N , P , M , K .

N – число особей в поколении;

P – число поколений;

M – вероятность мутации;

K – вероятность скрещивания.

Алгоритм генетического алгоритма:

а) начало;

б) инициализация начальной популяции из N решений;

в) начало цикла генетического алгоритма;

г) выбор пар для скрещивания;

д) кроссинговер с получением пар потомков с вероятностью K ;

е) проведение мутации с вероятностью M ;

ж) дополнение следующего поколения родительскими особями с лучшим показателем выживаемости до N решений

к) повтор а)- ж) P число раз.

л) конец.

2.3.1 Начальный этап работы алгоритма

Рассмотрим генетический алгоритм поиска способа упорядочивания фигур для последовательного размещения, наилучшего с точки зрения нагрузки на оси полуприцепа.

Решения задачи здесь будут кодироваться перестановками чисел от единицы до n , где n — число фигур, которые необходимо разместить на плоскости оптимальным образом. Фитнес-функцией (целевой функцией, функцией приспособленности) будет единственный для каждой перестановки чисел коэффициент эффективности решения, полученный при размещении фигур на плоскость изложенным выше алгоритмом в порядке, описываемом этой перестановкой.

Заданы некоторые натуральные числа N — число особей в поколении, P — число поколений, M — вероятность мутации, K — вероятность скрещивания. Сначала происходит заполнение начальной популяции решений случайными перестановками. И по алгоритму последовательного размещения фигур вычисляется их значения функции приспособленности. Затем запускается цикл, выполняемый P раз.

Рассмотрим состав одной итерации цикла. В начале итерации происходит случайный выбор из текущей популяции K пар решений для проведения кроссинговера турнирным отбором из 2 особей, затем происходит собственно скрещивание с вероятностью M . Поскольку решения здесь представляют собой не произвольные последовательности чисел, а ограниченные тем условием, что в одной последовательности-решении каждое число должно встречаться не менее и не более одного раза, то применение обычных методов реализации кроссинговера здесь невозможно, ввиду того, что с достаточно высокой вероятностью после применения оператора кроссинговера будут получены совершенно неадекватные поставленной задаче решения: в них какие-то прямоугольники будут размещены на плоскость более одного раза, а другие не попадут в рассмотрение алгоритмом последовательного размещения вообще. Поэтому разумным решением здесь будет применять один из описанных в [1] операторов кроссинговера для порядкового представления решений, кроссовер порядка (или кроссовер ОХ).

2.3.2 Одноточечный кроссовер порядка

Алгоритм кроссоверов для порядкового представления описаны в [1]. Рассмотрим некоторые из них.

КРОССОВЕР ОХ

Этот алгоритм обрабатывает генотипы двух родителей, заданных в виде перестановок s_p^1 и s_p^2 , и генерирует новые допустимые перестановки s_{Π}^1 и s_{Π}^2 , которые представляют генотипы потомков.

Основная идея алгоритма ОХ заключается в том, что важен порядок следования генов, а не их абсолютная позиция в перестановке.

Алгоритм кроссовера ОХ

1. В рамках исследования выбирается популяция P^t , содержащая v Гамильтоновых циклов. Для формирования новых потомков случайным образом из данной популяции выбираются две особи. Вероятность выбора конкретной особи равна $\frac{1}{v}$. Генотипе первого родителя обозначают s_p^1 и называю разрезаемой строкой, а генотип второго родителя s_p^2 – заполняемая строка.

2. Случайно выбираются 2 точки кроссовера α_1 и α_2 , которые разделят генотипы в 2 местах на 3 части.

3. Гены из разрезаемой строки, которые находятся между точками α_1 и α_2 , носят название секцией кроссовера. Они составляют центральную часть генотипа потомка s_{II}^1 .

4. Создаем блок заполнения, который состоит из генов, которых нет в центральной части потомка. Гены блока заполнения формируются из строки второго родителя, начиная с α_2 до конца строки, а далее с начала строки до точки α_1 . Далее оставшиеся гены первого ребенка добавляются из строки заполнения по следующему принципу:

- а. начальный член блока заполнения размещается в следующем после точки α_2 гене;
- б. дальнейшие члены блока заполнения размещаются по очереди в свободных генах первого потомка до конца строки;
- с. после окончания строки первого потомка, размещения происходит от начала строки до точки α_1 .

5. Формирование генотипа второго потомка отличается сменой местами разрезаемой строки и заполняемой строки.

На рисунках 13 и 14 показан пример работы алгоритма.

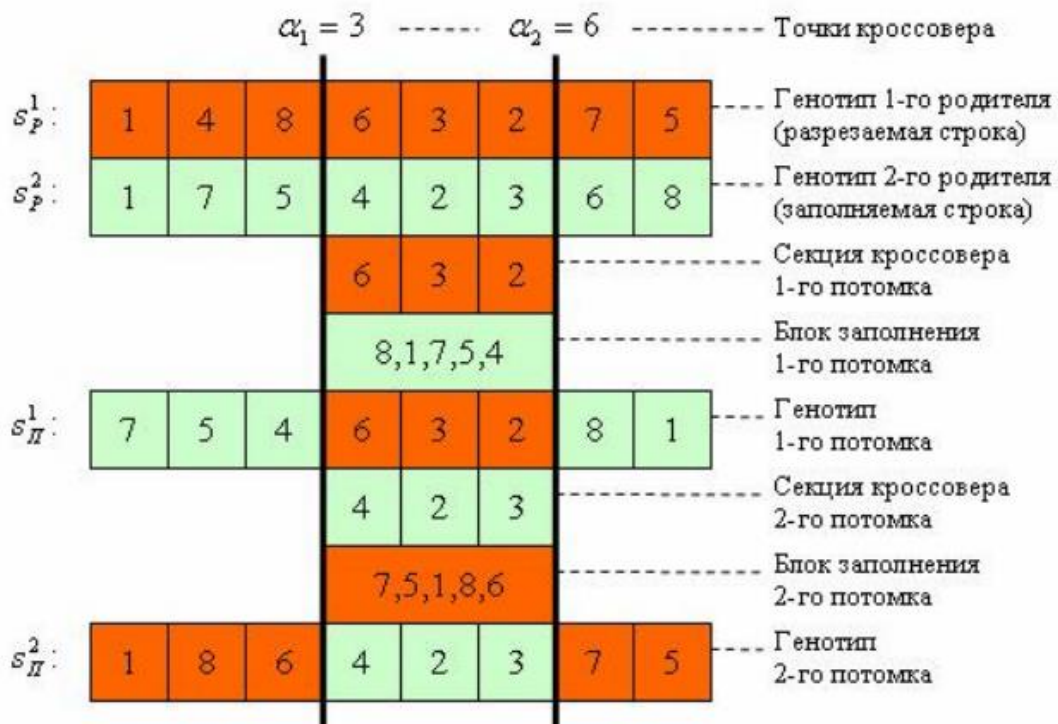


Рисунок 13 – Кроссовер ОХ. Пошаговая схема [1]

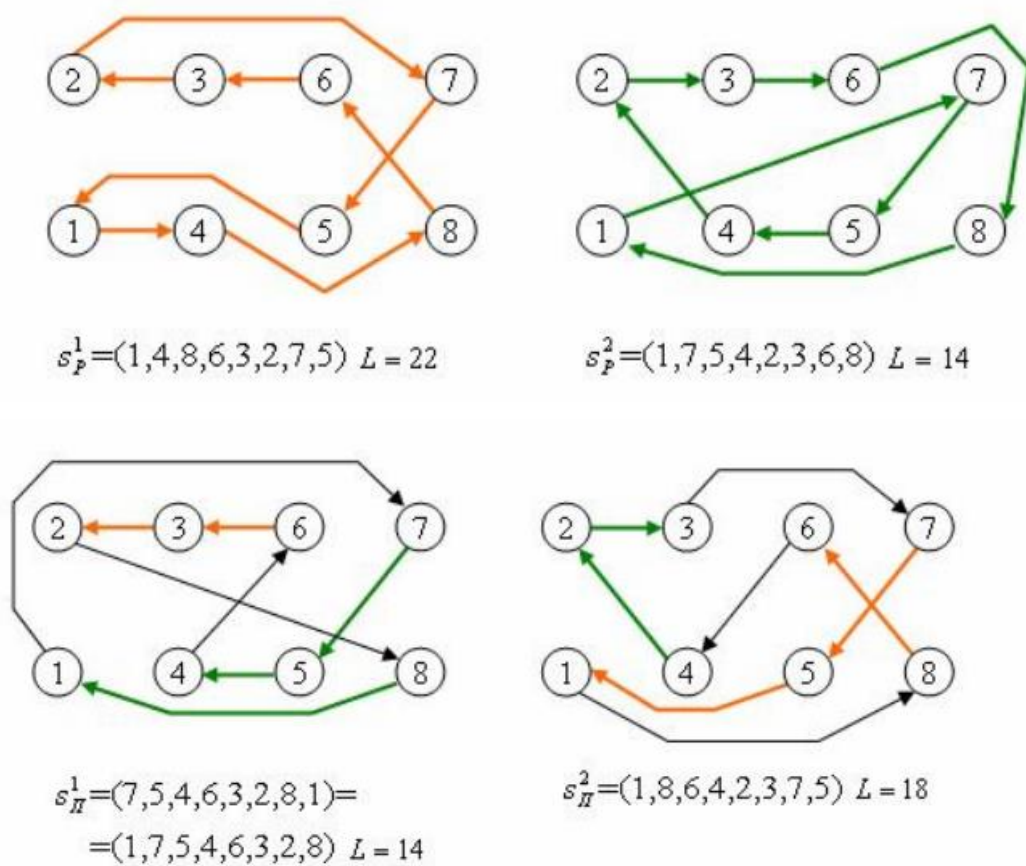


Рисунок 14 – Кроссовером ОХ. Гамильтоновы циклы [1]

2.3.3 Одноточечная мутация порядка

Для реализации мутации выбрана точечная мутация – кодировка мутанта получается путем однократной перестановки аллелей в случайно выбранном локусе и соседнем с ним.[1]

Рассмотрим принцип реализации оператора точечной мутации для перестановочного кодирования решений. Пусть выбрано некоторое решение. Выберем натуральное число T — точку мутации. Сформируем новое решение T - мутанта таким, чтобы оно полностью совпадало с выбранным для мутации решением за исключением элементов с номерами T и $T+1$. Их значения меняются местами. Для полученного таким образом решения по изложенному выше алгоритму последовательного размещения вычисляется его значение функции приспособленности, а само решение добавляется в текущую популяцию. Таким образом, посредством применения оператора точечной мутации для перестановочного кодирования решений возможно получать новые решения, основанные на полученных ранее, но отличающихся от них. Отличие зависит от случайного события, и это дает возможность в случае сходимости алгоритма к локальному оптимуму выйти из его окрестности и попасть в окрестность другого, более качественного решения.

2.3.4 Селекция

После проведения скрещивания и мутации решений, полученная популяция из $N-2j$, где j -число не скрестившихся пар, решений сортируется по убыванию значения фитнес-функции, и производится отбор решений в новую популяцию, на основе которой будут происходить все действия в следующей итерации генетического алгоритма. Отбор осуществляется посредством использования элитарной селекции.

Рассмотрим выбранный алгоритм селекции. Пусть выбрано натуральное число E — число потомков от текущей популяции. Поместим в новое поколение первые E наилучших решений из текущей популяции. Затем, если число решений в новой популяции меньше, чем N , поместим туда лучшее выбранное решение из текущей популяции. Будем повторять предыдущий шаг до тех пор, пока число решений в новой популяции не станет равно N . Получена новая популяция, которая в следующей итерации цикла генетического алгоритма будет рассмотрена как текущая. Поскольку до начала селекции текущая популяция состояла из популяции, полученной во время предыдущей итерации цикла, и решений, полученных посредством применения операторов кроссинговера и мутации к старым решениям, результат работы алгоритма со временем не будет ухудшаться. В случае, если среди новых решений окажется перестановка, дающая большее значение коэффициента эффективности решения, то она попадет в новое поколение вместе с другими

последовательностями, прошедшими элитарный отбор. Если же новые решения не будут превосходить старые по значению коэффициента эффективности, то они не займут место лучшего найденного на данный момент времени решения в новом поколении, ввиду того же принципа элитарной селекции.

Вывод

В данной главе были рассмотрены основные понятия, связанные с расстановкой груза в контейнер, была построена математическая модель задачи размещения груза в полуприцеп. Так же во второй части был изучен и модифицирован алгоритм последовательного размещения груза в контейнер, Обозначены основные принципы работы генетического алгоритма.

Так как жадные алгоритмы не способны прийти к глобальному оптимуму при решении задачи, одним из решением этой проблемы может стать использование генетического алгоритма, который способен методом отбора, мутации и скрещивания найти наиболее эффективную последовательность для работы алгоритма размещения прямоугольников в контейнер.

В результате была получена модель решения задачи размещения груза в контейнере с учетом осевых нагрузок, на основе которой в следующей главе будет создана программа для оптимизации процесса поиска решения упаковки груза формы параллелепипед в полуприцеп грузового ТС.

3 Разработка программы, предназначенной для решения задачи оптимальной упаковки груза в контейнер

Необходимо спроектировать и реализовать программу для решения задачи трехмерного размещения груза в контейнер. В качестве входных данных будут использоваться список груза (ширина, высота, глубина, масса), параметры тягача, полуприцепа, генетического алгоритма. На выходе пользователь получит трехмерную схему оптимального размещения прямоугольников в контейнер, список координат размещенного груза.

Программа должна быть сделана приложением на Windows с оконным интерфейсом. Для оптимального ввода начальных данных для работы программ будет использована таблица ввода данных и окна ввода. Для показа выходных данных будет использоваться схема контейнера, объемная модель, текстовый документ.

3.1 Средства разработки программы

Разработка программы будет осуществляться в интегрированной среде разработки Microsoft Visual Studio 2022. Разработка будет осуществляться на языке программирования C#. Данная платформа выбрана ввиду подходящего функционального оснащения, широкими возможностями для создания и отладки программы и приложения для ОС Windows, которая является самой популярной системой в мире. Для отображения результата работы программы с использованием трехмерной графики применяется спецификация OpenGL. Источниками информации о средствах разработки послужили [-1], [22].

3.2 Выбор алгоритма нахождения решения задачи

Для поиска наилучшего решения задачи размещения будем использовать генетический алгоритм [16] и модифицированный алгоритм последовательного размещения прямоугольника в контейнер, основанный на алгоритме из [21].

Модифицированный алгоритм последовательного размещения прямоугольников в контейнер будет являться фитнес-функцией для генетического алгоритма. В случае отсутствия вариантов размещения на раму полуприцепа, начинает работу алгоритм размещения параллелепипедов в контейнер на верхних уровнях. Результатом алгоритма последовательного размещения прямоугольников в контейнер будет являться коэффициент эффективности варианта последовательности груза.

Стоит отметить, что в случае, если на размещение представлен 1 груз, потребность в реализации алгоритм размещения прямоугольников в контейнер и генетического алгоритма отсутствует. В этом случае программа разместит этот груз в наилучшей точке центра суммарной тяжести груза.

3.3 Алгоритм последовательного размещения параллелепипедов в контейнер

Алгоритм размещения прямоугольников на плоскость, представленный в [21], был модифицирован.

Для поиска наилучшего размещения параллелепипедов в контейнер будет использован метод класса RectLocation – putRectangle(Form1 f1), который получает на вход экземпляр Form1, в котором находится информация и параметрах тягача, полуприцепа, найденной наилучшей точки центра суммарности тяжести груза. Суть метода заключается в присвоении вершинам каждого параллелепипеда из последовательности координат их размещения, вычисленных благодаря модификации алгоритма размещения прямоугольников на плоскость и алгоритму размещения параллелепипедов на верхних уровнях контейнера. Также метод вычисляет и присваивает значение таким переменным класса RectLocation, как bool lucky, которая отвечает за наличие размещения, PointC CentrSumMass, точка центра суммарной тяжести груза данного размещения, double kEff, которая показывает расстояние от точки центра суммарной тяжести груза данного размещения до наилучшей точки центра суммарной тяжести груза,

Создаем вспомогательные списки:

- List<PointC> BaseNode - список базовых узлов;
- List<PointC> AdaptNode - список адаптивных узлов;
- List<PointC> NodeLevel1LimitationPP - список узлов, прошедших ограничения контейнера;
- List<PointC> NodeLevel1NotIntersection - список узлов, прошедших ограничения контейнера и условие непересекаемости;
- List<RectangleC> UpGruzInPP - список груза в контейнере, на котором ничего не находится;
- List<RectangleC> UpGruzInPPMoreAreal - список груза в контейнере, на котором ничего не находится и меньшей площади, чем размещаемый груз;
- List<RectangleC> GruzInPP - список груза, помещенного в контейнер.

Ставим первый параллелепипед в контейнер. Вычислим точку центра тяжести первого прямоугольника, используя функцию searchXOneRect по X, y_{opt} по Y и 0 по Z. Добавляем вершины нижней части параллелепипеда в список базовых узлов,

параллелепипед в список груза, помещенного в контейнер и в список груза в контейнере, на котором ничего не находится.

Для каждого параллелепипеда из последовательности:

0) Формируем список адаптивных узлов по формуле (28);

1) Для каждого базового и адаптивного узла проверяем ограничения контейнера. Узлы, прошедшие ограничение контейнера, добавляются в список `NodeLevel1LimitationPP`. Если список `NodeLevel1LimitationPP` пуст, переходим к пункту 5;

2) Для каждого узла из `NodeLevel1LimitationPP` проверяем условие непересекаемости. Создаем возможный прямоугольник типа `Rectangle` с параметрами очередного параллелепипеда, интерпретированного на раму полуприцепа. Создаем прямоугольник типа `Rectangle` с параметрами груза, помещенного в контейнер из списка `GruzInPP`. Проверяем непересекаемость с помощью функции `Rectangle.Intersect`. В случае, если пересечений нет, узел добавляется в список `NodeLevel1NotIntersection`. Если список `NodeLevel1NotIntersection` пуст, переходим к пункту 5;

3) Ищем лучший узел размещения из списка `NodeLevel1NotIntersection`. Для каждого узла из списка `NodeLevel1NotIntersection` вычисляем точку центра суммарной тяжести груза с расположением очередного груза в очередном узле с помощью функции `CTSumMassGrI`;

4) Присваиваем координаты вершин, точку центра тяжести груза очередному грузу. Последовательности размещения присваиваем точку центра суммарной тяжести груза `CentrSumMass` и расстояние этой точки до наилучшей точки центра суммарной тяжести груза `kEff`. Добавляем в список базовых узлов вершины параллелепипеда, находящиеся на раме полуприцепа. Добавляем груз в список `UpGruzInPP`. Переходим к пункту 8;

5) Ищем грузы большей площади и подходящие по условию высоты. Проверяем каждый груз из списка `UpGruzInPP`. Если груз из списка `UpGruzInPP` проходит ограничения, то добавляем его в список `UpGruzInPPMoreAreal`;

6) Если список `UpGruzInPPMoreAreal` пуст, присваиваем переменной `lucky` значение `false` и останавливаем алгоритм. Данная последовательность размещения является неудачной.

Если список `UpGruzInPPMoreAreal` не пуст, для каждого груза из списка `UpGruzInPPMoreAreal` вычисляем точку центра суммарной тяжести груза с расположением очередного груза в очередном узле с помощью функции `CTSumMassGrI`. Присваиваем координаты вершин, точку центра тяжести груза очередному грузу. Последовательности размещения присваиваем точку центра суммарной тяжести груза `CentrSumMass` и расстояние этой точки до наилучшей точки центра суммарной тяжести груза `kEff`;

7) Добавляем груз в список GruzInPP. Из списка GruzInPP удаляем груз, на который встал очередной груз;

8) Очищаем списки AdaptNode, NodeLevel1LimitationPP, NodeLevel1NotIntersection, UpGruzInPPMoreAreal. Добавляем груз в список GruzInPP;

9) Конец.

Отметим, что, при присвоении точки центра суммарной тяжести груза последнего в очереди на размещение параллелепипеда, данная точка будет являться точкой центра суммарной тяжести груза всего размещения, как и расстояние этой точки до наилучшей точки центра суммарной тяжести груза.

3.4 Генетический алгоритм нахождения наилучшего порядка размещения параллелепипедов

После ввода пользователем параметров генетической алгоритма, программа считывает данные и заносит их в соответствующие глобальные переменные:

- int numpop - число особей в поколении;
- double pmutation - вероятность мутации;
- double numCrosssof – вероятность скрещивания;
- int numgen - число поколений.

Отметим, что, во избежание ошибок входных данных, ограничения на данные накладываются программой на этапе ввода. Так, переменные могут приобретать следующие значения:

- numpop – от 2 до 100;
- pmutation – от 0 до 1;
- numCrosssof – от 0 до 1;
- numgen – от 2 до 100;

Программа формирует первое поколение популяции методов Initpop(), суть которого заключается в случайном заполнении списка oldpop первым поколением.

После заполнения особями первого поколения, программа подсчитывает коэффициенты эффективности с помощью функции putRectangle. Лучшей особью считается та, у которой kEff минимальный на данный момент работы программы. По итогу заполнения в переменную BestOsob записывается лучшая особь.

Далее для каждого поколения осуществляется следующие действия.

К очередному поколению, находящемуся в списке oldpop применяется функция select(), суть которой заключается в турнирном отборе лучших особей и заполнение ими массива intpop.

После того, как массив `intror` заполнен, для каждой пары особей вызывается функция `crossover()` с вероятностью `numCrossof`, суть которой заключается в создании нового поколения популяции и записи его в массив `newror`. После создания особи-детей проходят операцию мутации `mutation()` с вероятностью `pmutation`.

Если `newror` не соответствует необходимому размеру популяции, то дополнительных особей программа переносит из массива `intror`. Это позволяет сохранить в популяции лучших особей.

После того, как новое поколение сформировано, программа переносит массив `newror` в `oldror`, очищает массивы `newror` и `intror`, производит подсчет коэффициента выживаемости, вычисляется лучшая особь в поколении и заносит ее в массив `maxmass`. Если коэффициент выживаемости у лучшей особи очередного поколения меньше коэффициента выживаемости лучшей найденной особи, то лучшей особью очередного поколения становится лучше найденная особь.

Цикл повторяется до тех пор, пока не будут пройдены все поколения, заданные пользователем.

3.5 Архитектура программы

3.5.1 Общий принцип работы программы

Программа может находиться в одном из 5 состояний. Рассмотрим состояния приложения.

- а) состояние ожидания ввода;
- б) состояние считывания данных;
- в) состояние поиска решения;
- г) состояние демонстрации и вывода найденного решения.
- д) состояние ошибки

В момент запуска приложение находится в состоянии а. Успешное задание пользователем параметров ГА, параметров груза, тягача и полуприцепа переводит приложение в состояние б. В ином случае приложение переходит в состояние д. После успешного ввода входных данных происходит считывание данных о грузе, тягаче, полуприцепе и параметров ГА, после чего приложение переходит в состояние в и начинается процесс поиска решения. Если решение, удовлетворяющее заданным условиям, найдено, то приложение переходит в состояние г, на экране появляется визуализация полученного способа размещения груза в полуприцеп и параметры найденного решения.

3.5.2 Описание основных структур данных

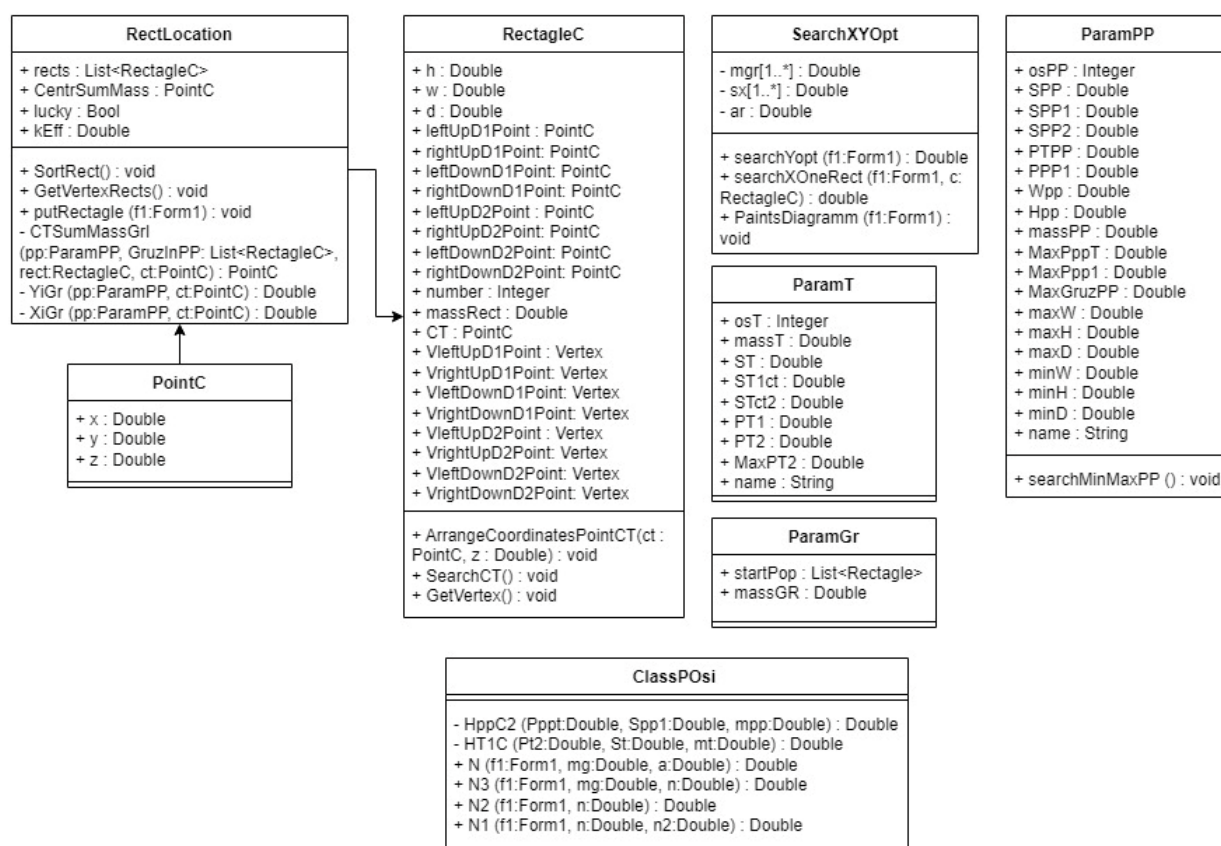


Рисунок 15 – Классы программы

Основные структуры данных представлены на рисунке 15.

Структура **PointC** предназначена для хранения координат точек. Для этой цели она имеет вещественные переменные x, y, z.

Структура **RectangleC** предназначена для хранения данных об отдельном параллелепипедах. Она имеет вещественные параметры h, w, d, определяющие высоту, ширину и глубину параллелепипеда соответственно. Номер параллелепипеда определяет целочисленная переменная number. 8 точке PointC определяют координаты вершин параллелепипеда в пространстве контейнера:

- leftUpD1Point;
- rightUpD1Point;
- leftDownD1Point;
- rightDownD1Point;
- leftUpD2Point;
- rightUpD2Point;
- leftDownD2Point;
- rightDownD2Point.

Для отрисовки груза с помощью OpenGL параллелепипед имеет дополнительные параметры типа Vertex – вершина для отрисовки.

- VleftUpD1Point;
- VrightUpD1Point;
- VleftDownD1Point;
- VrightDownD1Point;
- VleftUpD2Point;
- VrightUpD2Point;
- VleftDownD2Point;
- VrightDownD2Point.

Структура так же имеет параметр вещественный параметр massRect, определяющий массу груза, точку CT, определяющую центр тяжести груза в пространстве контейнера.

Методами класса являются метод ArrangeCoordinatesPointCT, позволяющий присвоить вершина параллелепипеда координаты в пространстве контейнера при наличии центра тяжести PointC ct и высоты нижней грани double z. Метод SearchCT() позволяет вычислить точку центра тяжести груза исходя из точки leftUpD1Point. Метод GetVertex() назначает вершины для отрисовки исходя из вершин параллелепипеда.

Структура **RectLocation** предназначена для хранения данных о варианте размещения параллелепипедов в контейнер. Экземпляр этой структуры является особью в рамках генетического алгоритма. Структура имеет список параллелепипедов rects типа List, состоящий из экземпляров структуры RectagleC. Список реализуются в программе посредством использования шаблона List стандартной библиотеки шаблонов языка программирования C#. Структура также содержит точку CentrSumMass типа PointC, которая показывает точку центра суммарной тяжести груза. Переменная lucky типа bool показывает, возможен ли такой вариант размещения. Переменная kEff типа double предназначена для хранения расстояния от точки суммарной тяжести груза данной последовательности параллелепипедов и наилучшей точки центра суммарной тяжести груза.

Метод SortRect() сортирует грузы по слою и расстоянию от начала контейнера для последовательного отображения на объемной схеме. Метод GetVertexRects() назначает вершины для отрисовки исходя из вершин параллелепипеда всего груза rects. Метод putRectagle реализует модифицированный алгоритм последовательного размещения груза в контейнер, принимая на вход форму 1 с параметра задачи. На выходе особь получает

расстановку, коэффициент эффективности, показатель успешность метода и точку центра суммарной тяжести груза. Метод CTSumMassGrI принимает на вход параметры контейнера pp типа ParamPP, список размещенного груза в контейнере GruzInPP типа List<RectagleC>, очередной параллелепипед rect и возможную точку центра тяжести очередного груза ct. Возвращает функция точку центра суммарной тяжести груза с учетом размещения очередного прямоугольника в контейнера с центром тяжести в точке ct. Суть методов YiGR и XiGr заключается в поиске параметра а для вычисления центра суммарной тяжести груза

Структура **ParamT** содержит параметры тягача:

- int osT – количество осей тягача;
- double massT – масса тягача;
- double ST – расстояние между осями тягача;
- double ST1ct – расстояние от передней оси тягача до седла;
- double STct2 – расстояние от седла до задней оси тягача;
- double PT1 – нагрузка на переднюю ось тягача;
- double PT2 – нагрузка на заднюю ось тягача;
- double MaxPT1 – максимально допустимая нагрузка на переднюю ось тягача;
- double MaxPT2 – максимально допустимая нагрузка на заднюю ось тягача;
- string name – имя тягача.

Структура **ParamPP** содержит параметры полуприцепа:

- int osPP – количество осей в полуприцепе;
- double SPP – полезная глубина полуприцепа;
- double SPP1 – расстояние от седла до оси полуприцепа;
- double SPP2 – расстояние от оси до задней стенки полуприцепа;
- double PTPP – нагрузка на седло;
- double PPP1 – нагрузка на ось полуприцепа;
- double Wpp – ширина полуприцепа;
- double Hpp – высота полуприцепа;
- double massPP – масса полуприцепа;
- double MaxPppT – максимально допустимая нагрузка на седло;
- double MaxPpp1 – максимально доступная нагрузка на ось полуприцепа;
- double MaxGruzPP – максимально допустимая нагрузка на полуприцеп;
- double maxW – верхняя граница полуприцепа по ширине;
- double minW – нижняя граница полуприцепа по ширине;
- double minH – нижняя граница полуприцепа по высоте;

- double maxH – верхняя граница полуприцепа по высоте;
- double maxD – верхняя граница полуприцепа по глубине;
- double minD – нижняя граница полуприцепа по глубине;
- string name – имя полуприцепа.

Структура **ParamGR** содержит параметры груза:

- List<RectagleC> startPop – список груза;
- double massGr – суммарная масса груза.

Структура **SearchXYOpt** предназначена для реализации метода поиска наилучшей точки центра суммарной тяжести груза. Массив sx предназначен для хранения длины полуприцепа, массив mgt для веса груза.

Метод searchYopt принимает f1 типа Form1 в качестве параметров для вычислений. Суть метода заключается в поиске значения y для наилучшей точки центра суммарной тяжести груза. Метод searchXOneRect предназначен для поиска значение x для центра тяжести первого в очереди на размещение параллелепипеда в контейнер. На вход он принимает f1 типа Form1 и параллелепипед с типа RectagleC. Метод PaintsDiagramm реализовывает отрисовку диаграммы максимальной нагрузки на полуприцеп в форме результата.

Структура **ClassPOsi** предназначена для реализации расчета нагрузки на оси полуприцепа. Суть метода HppC2 состоит в вычислении расстояние от точки центра тяжести полуприцепа до оси полуприцепа по формуле (8). Метод HT1C возвращает расстояние от точки центра тяжести тягача до передней оси тягача по формуле (5). Функции N, N1, N2, N3 реализуют вычисления нагрузки на оси и седло TC по формулам (14), (15), (16), (17). Возвращают значение типа double.

3.5.3 Описание основных переменных

К основным переменным программы относятся:

- er типа ClassError – для вывода ошибок;
- pp типа ParamPP – паромеры полуприцепа;
- t типа ParamT – параметры тягача;
- gr типа ParamGr – параметры груза;
- searchXY типа SearchXYOpt – для поиска наилучшей точки центра суммарной тяжести груза в полуприцепе;
- XYOpt типа PointC – наилучшая точка центра суммарной тяжести груза в полуприцепе;

- double[] sredmass;
- double[] maxmass;
- RectLocation BestOsob;
- Int gen.

Массив sredmass предназначен для хранения средних результатов коэффициента эффективности в поколениях, в то время как массив maxmass хранит лучшее значение коэффициента эффективности в поколениях. Оба массива динамические и имеют размер, заданный пользователем числом поколений.

Экземпляр класса RectLocation BestOsob служит для хранения лучшего найденного размещения на данный момент. Переменная gen отражает текущее поколение в генетическом алгоритме.

3.5.4 Описание основных функция

Программа имеет 7 основных функций:

- Initpop
- Generation
- Crossover
- Mutation
- Select

Функция Initpop реализует создание первого поколения для генетического алгоритма из заданных прямоугольников. Функция использует начальную особь, заданную пользователем, случайным образом переставляет груз. Формирует заданное пользователем количество особей в первом поколении. В ходе своей работы программа постепенно заполняет список oldpop, обозначающий старое поколение.

Функция select реализует турнирный отбор. Она выбирает случайным образом две особи, выбирает из них ту, у которой коэффициент эффективности меньше, и копирует особь в список intpop, в котором содержатся особи, прошедший турнирный отбор.

Функция crossover предназначена для проведения операции кроссовера для генетического алгоритма. На вход функция получает две особи, и с вероятностью, заданной пользователем, производит кроссовер ОХ, формируя 2 потомка. С вероятностью, заданной пользователем, потомки проходят процедуру мутации. По итогу работы функции в список newpop, содержащий особей нового поколения, добавляется 2 новых особи.

Функция mutation реализует мутацию. На вход функция получает особь. Случайным образом выбирается пара соседних элементов. Элементы меняются местами.

Функция `generate` предназначена для создания нового поколения популяции. В начале функция сортирует старое поколение функцией `select`. Особи, прошедшие турнирный отбор, оказываются в списке `intpop`. Далее процедуру кроссовера проходят пары особей из `intpop` функцией `crossover`. После этого новое поколение особей оказывается в списке `newpop`. Далее функция производит статистические вычисления, подсчитывает среднее и максимальное значения коэффициента эффективности, сравнивает значение максимального коэффициента эффективности и лучшего коэффициента эффективности, найденного на данный момент. В случае, если коэффициент эффективности нового варианта размещения оказывается лучше, особь с таким коэффициентом признается лучшим вариантом на данный момент.

3.5.5 Правила ввода-вывода

Для ввода параметров груза, тягача, полуприцепа и генетического алгоритма используется форма `Form1` с соответствующими полями. Ввод данных о грузе производится с помощью элемента `DataGridView` стандартной библиотеки C#. При вызове пользователем функции «Старт» происходит считывание данных параметров. Руководство пользования программой представлено в приложении Б.

Для вывода схемы размещения создается форма `FormResult`, которая отображает нагрузку на оси ТС, график нагрузки на полуприцеп, параметры ТС и груза, графическую схему размещения в 3d. В качестве параметра форма принимает экземпляр класса `RectLocation`, в котором храниться особь с наименьшим коэффициентом эффективности, форму `f1` типа `Form1` для считывания параметров ТС, информации о грузе и наилучшей точки центра суммарной тяжести груза.

При загрузке форма `FormResult` выполняют следующие действия:

6. Вычисляет нагрузки на оси ТС с помощью методов класса `ClassPOsi`;
7. Устанавливает положение `label` и изображение ТС в зависимости от выбранных параметров осей ТС;
8. Сортирует груз размещения функцией `SortRect()`;
9. Получает вершины для отрисовки типа `Vertex`, вызвав функцию `GetVertexRects()`;
10. Вывод координаты грузов;

Для сохранения готового размещения груза в контейнер нужно вызвать функцию `Save`, после чего выбрать локальную папку и сохранить. Программа создает папку с 2 документами: изображение размещения в формате JPEG и текстовый документ с координатами ближней к началу координат вершины груза. Результаты работы программы представлены в Приложении А.

3.5.6 Обработка ошибок

Были выявлены 3 категории ошибок, которые могут возникнуть при работе программы:

- Ошибки параметров тягача;
- Ошибки параметров полуприцепа;
- Ошибки параметров груза.

Для корректной работы программы необходимо устранить ошибки до начала работы основного алгоритма. В связи с этим на каждом этапе ввода данных необходимо проверить данные на корректность и сообщить пользователю о наличии некорректных параметров. Далее рассмотрим каждый тип ошибок. Данные ошибки разрешаются вводом корректных данных.

Ошибки параметров тягача

1. Ошибка параметров расстояний тягача

Сущность: сумма расстояний от передней оси тягача до седла и от седла до задней оси тягача не равна расстоянию между осями тягача.

Математическая формулировка: $S_{1ct}^T + S_{ct2}^T \neq S^T$

Функция вызова сообщения: ErrorST

2. Ошибка параметров нагрузок тягача

Сущность: сумма нагрузок на оси пустого тягача не равны массе тягача

Математическая формулировка: $P_{1,0}^T + P_{2,0}^T \neq m^T \cdot g$

Функция вызова сообщения: ErrorPT

3. Ошибка ограничения на 1 ось тягача

Сущность: Ограничение на первую ось тягача меньше нагрузки на эту ось

Математическая формулировка: $P_{1,0}^T \geq P_{1,max}^T$

Функция вызова сообщения: ErrorPT1Max

4. Ошибка ограничения на 2 ось тягача

Сущность: Ограничение на вторую ось тягача меньше нагрузки на эту ось

Математическая формулировка: $P_{2,0}^T \geq P_{2,max}^T$

Функция вызова сообщения: ErrorPT2Max

Ошибки параметров полуприцепом

1. Ошибка параметров расстояний полуприцепа

Сущность: сумма расстояний от седла до оси полуприцепа и от оси полуприцепа до задней стенки больше полезной глубины полуприцепа.

Математическая формулировка: $S_1^{pp} + S_2^{pp} > S^{pp}$

Функция вызова сообщения: ErrorSPP

2. Ошибка параметров нагрузок полуприцепа

Сущность: сумма нагрузок на ось пустого полуприцепа и нагрузки на седло не равна массе полуприцепа

Математическая формулировка: $P_1^{pp} + P_T^{pp} \neq m^{pp} \cdot g$

Функция вызова сообщения: ErrorPpp

3. Ошибка ограничения на седло

Сущность: Ограничение на седло меньше нагрузки на седло

Математическая формулировка: $P_T^{pp} \geq P_{T,\max}^{pp}$

Функция вызова сообщения: ErrorPppTMax

4. Ошибка ограничения на ось полуприцепа

Сущность: Ограничение на ось полуприцепа меньше нагрузки на эту ось

Математическая формулировка: $P_1^{pp} \geq P_{1,\max}^{pp}$

Функция вызова сообщения: ErrorPpp1Max

Ошибки параметров груза

1. Ошибка суммарной массы груза

Сущность: суммарная масса груза превышает максимальную грузоподъемность полуприцепа

Математическая формулировка: $\sum_{i=1}^N m_i^{gr} > P_{\max}^{pp}$

Функция вызова сообщения: ErrorPGrMax

2. Ошибка ширины груза

Сущность: ширина какого-либо груза превышает ширину полуприцепа

Математическая формулировка: $w_i > W^{pp}$

Функция вызова сообщения: ErrorWGr

3. Ошибка высоты груза

Сущность: высота какого-либо груза превышает высоту полуприцепа

Математическая формулировка: $h_i > H^{pp}$

Функция вызова сообщения: ErrorHGr

4. Ошибка глубины груза

Сущность: глубина какого-либо груза превышает глубину полуприцепа

Математическая формулировка: $d_i > S^{pp}$

Функция вызова сообщения: ErrorDGr

5. Ошибка объема груза

Сущность: суммарный объем груза больше объема полуприцепа

Математическая формулировка: $\sum_{i=1}^N h_i \cdot w_i \cdot d_i > H^{pp} \cdot W^{pp} \cdot S^{pp}$

Функция вызова сообщения: ErrorVGr

6. Ошибка значения параметра груза

Сущность: высота, ширина, глубина или масса груза равны 0

$$h_i \neq 0$$

$$w_i \neq 0$$

Математическая формулировка: $d_i \neq 0$

$$m_i^{gr} \neq 0$$

Функция вызова сообщения: ErrorGr0

Стоит отметить, что, так как ввод параметров груза осуществляется с помощью компонента DataGridView, при возникновении ошибки необходимо остановить считывание таблицы, обнулить накопленную массу груза (massGr) и накопленный объем груза (VGr), а также обнулить список считанных грузов (startPop). Однако в случае с параметрами тягача и полуприцепа параметры обновляются с помощью вызова функции считывания данных (btTyagach_Click и btPP_Click).

В случае, если пользователь не ввел параметры тягача, полуприцепа или груза, программа вызывает ошибку ErrorNotData(int cl), в аргумент которой входит порядковый номер раздела, в котором отсутствует данные.

Вывод

В ходе работы была разработана программа, позволяющая рассчитать размещение определенного числа груза формы параллелепипед в полуприцепе грузового ТС. Разработан интерфейс для ввода данных о ТС, грузе и параметрах генетического алгоритма, реализованы модифицированный алгоритм размещения прямоугольников в контейнере, алгоритм размещения верхнего груза и генетического алгоритма.

Для вывода результатов работы программы была создана форма вывод, которая применяет функционал OpenGL для графического интерактивного отображения размещения груза в полуприцепе. Был разработан функционал, позволяющий наблюдать размещения груза последовательно, полное размещение, сохранять полученный результат.

В ходе работы программы было выявлено, что алгоритм находит размещение, удовлетворяющее условиям, с высокой точностью, что доказывает эффективность

сочетания генетического алгоритма и алгоритма размещения прямоугольников в данной задаче.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данной работы были изучены существующие методы приближенного решения NP-трудной задачи трехмерной упаковки прямоугольников в контейнер, принципы работы генетического алгоритма, создана модификация жадного алгоритма для решения задачи расчета размещения груза в полуприцеп грузового транспортного средства. Впоследствии была спроектирована и реализована прикладная программа для получения приближенного решения этой задачи. Поскольку рассматриваемая задача является NP-трудной, исследования в области приближенных методов ее решения не теряют своей актуальности. В качестве реализуемого в программе способа поиска приближенного решения был выбран метод, основанный на сочетании алгоритма размещения прямоугольников в контейнер и генетического алгоритма поиска наилучшего порядка размещения груза в полуприцеп ТС. Выбор обоснован тем, что генетические алгоритмы дают хорошие результаты при решении оптимизационных задач с большим количеством входных данных и, в частности, стойки к сходимости к локальному оптимуму целевой функции [16].

На основе анализа предметной области и существующих решений был сделан вывод о том, что задача размещения груза в полуприцепе является сложной и важной задачей, которая требует комбинаторного подхода и применения различных методов оптимизации.

Программа предоставляет пользователю возможность ввести заранее подготовленные данные, задать различные условия задачи. Кроме того, пользователь может изменять параметры генетического алгоритма для получения наилучшего результата. Это, несомненно, расширяет возможности прикладного использования программы. После введения всех входных данных приложение осуществляет поиск решения, и в случае успеха демонстрирует пользователю найденный наилучший способ размещения груза в полуприцеп ТС, что позволяет быстро и наглядно получить представление о качестве полученного решения. Также приложение может оценивать корректность введенных пользователем данных и выдавать рекомендации по устранению ошибок в работе алгоритма, что, несомненно, упрощает использование приложения при решении прикладных задач.

Продолжение исследований в данной области однозначно имеет смысл, ввиду NP-трудности задачи трехмерного размещения параллелепипедов в контейнер, что на данный момент означает невозможность раз и навсегда получить для нее совершенный способ получения наилучшего решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Применение генетических алгоритмов к решению задач дискретной оптимизации: [Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Информационные технологии и компьютерное моделирование в прикладной математике»] / Батищев Д.И., Неймарк Е.А., Старостин Н.В. – Нижний Новгород: 2007. – 85 с.
2. Галиев Ш. И. Математическая логика и теория алгоритмов. / Ш. И. Галиев – Казань: Издательство КГТУ им. А. Н. Туполева. 2002. - 270 с.
3. Гладков Л.А. Решение задачи трехмерной упаковки разногабаритных объектов с использованием бионических методов / Л.А. Гладков, Н.В. Гладкова, Е.С. Скубриева // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 7 (144). – С. 35–41.
4. Запорожец Д.Ю., Заруба Д.В., Кравченко Ю.А. Перспективы создания интеллектуальных систем совместного решения задач кросс-докинга и оптимальной упаковки. Материалы II Международной конференции «Автоматизация управления и интеллектуальные системы и среды». Т. II. – Нальчик: Изд-во: КБНЦ РАН, 2011. – С. 21-25.
5. Заруба, Д.В. Использование методов эволюционной оптимизации для решения задач трехмерной упаковки / Д.В. Заруба, Д.Ю. Запорожец, Ю.А. Кравченко // Информатика, вычислительная техника и инженерное образование. – 2012. – № 2 (9). – С. 1–6.
6. Зотов, Л.Л. Грузоведение: Учеб. пособие/ Л.Л. Зотов. – СПб.; Изд-во СЗТУ, 2008
7. Кормен Т., Алгоритмы: построение и анализ / Т. Кормен Ч. Лейзерсон, Р. Ривест, К. Штайн ; под ред. И.В. Красикова. 2-е изд. М. : Вильямс, 2005
8. Кравченко Ю.А. Технология анализа надежности адаптивных информационных сред / Ю.А. Кравченко // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 12 (113). – С. 103-108.
9. Курейчик В.В. Гибридный алгоритм в задачах оптимизации / В.В. Курейчик, Д.Ю. Запорожец // Труды конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «AISIS'11». Научное издание в 4-х томах. Т. 3. – М.: Физматлит, 2011. – С. 4-11.
10. Курейчик В.В. Роевой алгоритм в задачах оптимизации / В.В. Курейчик, Д.Ю. Запорожец // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 7 (108). – С. 28-32.
11. Курейчик В.М. Биоинспирированные методы в оптимизации / Л.А. Гладков, В.В. Курейчик, В.М. Курейчик, П.В. Сороколетов – Биоинспирированные методы в оптимизации. – М.: Физматлит, 2009. – 384 с.

12. Курейчик В.М. Генетические алгоритмы / В.М. Курейчик, В.В. Курейчик, Л.А. Гладков – М.: Физматлит, 2010. – 368 с.
13. Курейчик, В.В. Применение генетического алгоритма решения задачи трехмерной упаковки / В.В. Курейчик, Д.В. Заруба, Д.Ю. Запорожец // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 7 (132). – С. 8–14.
14. Миротин Л.Б. Интегрированная логистика накопительно-распределительных комплексов (склады, транспортные узлы, терминалы) / Л.Б. Миротин. – М: Изд-во "Экзамен", 2003.
15. Миротин Л.Б. Логистика, технология, проектирование складов, транспортных узлов и терминалов / Л.Б. Миротин, А.В. Бульба, В.А. Демин. – М.: Феникс, 2009.
16. Панченко Т.В. Генетический алгоритм: учебно-методическое пособие / под ред. Ю.Ю.Тарасевича. – Астрахань : Издательский дом «Астраханский университет», 2007. – 87 [3] с.
17. Программирование на языке C#. Учебное пособие / И.Л. Александрова, Д.Н. Тумаков. – Издание 2-ое, исправленное и дополненное. – Казань: Казанский государственный университет, 2017. – 112 с
18. Псиола В.В. О приближенном решении 3-х мерной задачи об упаковке на основе эвристик / В.В. Псиола Интеллектуальные системы. – 2011. – Вып. 1
19. Рихтер Дж. Windows для профессионалов: создание эффективных Win32-приложений с учетом специфики 64-разрядной версии Windows / Пер. с англ. — 4-е изд. — Спб.: Питер; Издательство «Русская Редакция» – 2008. – 720 стр.: ил.
20. Руководства по Visual Studio | C# [Электронный ресурс] URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/visualstudio/get-started/csharp/?view=vs-2022> (Дата обращения 25.05.2022)
21. Старостин Н.В Многоуровневый эволюционно-генетический метод размещения прямоугольников на плоскости / Старостин Н.В., Силаев А.Н., Седых И.О. // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2009. – № 5. –С. 163-168.
22. Тимофеева, О.П. Генетический алгоритм в оптимизации упаковки контейнеров / О.П. Тимофеева, Э.С. Соколова, К.В. Милов // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2012. – № 4 (101). – С. 167–172.
23. Тимофеева О. П. Генетический алгоритм в оптимизации трехмерной упаковки блоков в контейнер / О. П. Тимофеева, Т.Ю. Чернышева, О.Н. Корелин, А.В. Волков // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева. – 2017. – №2 (117). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/geneticheskiy-algoritm-v-optimizatsii-trehmernoy-upakovki-blokov-v-konteyner> (дата обращения: 08.05.2023).].

24. C# 4.0: полное руководство.: Пер. с англ. — М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2011. — 1056 с.
25. Holland John H. Adaptation in natural an artificial systems. The MIT Press edition, Massachusetts, London, England, 1992.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Результаты тестирования

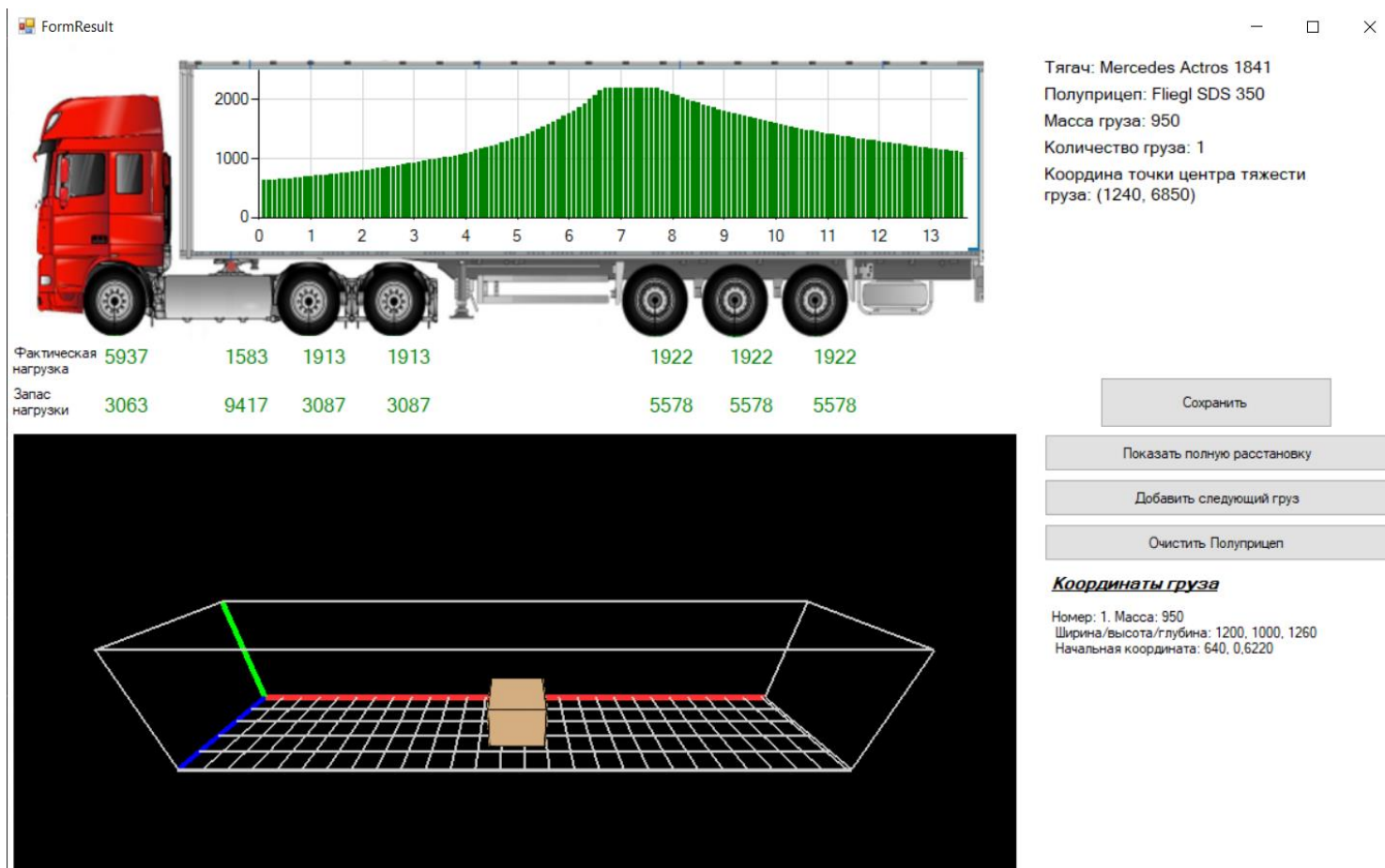


Рисунок А.1 – Результат работы программы при размещении одного груза

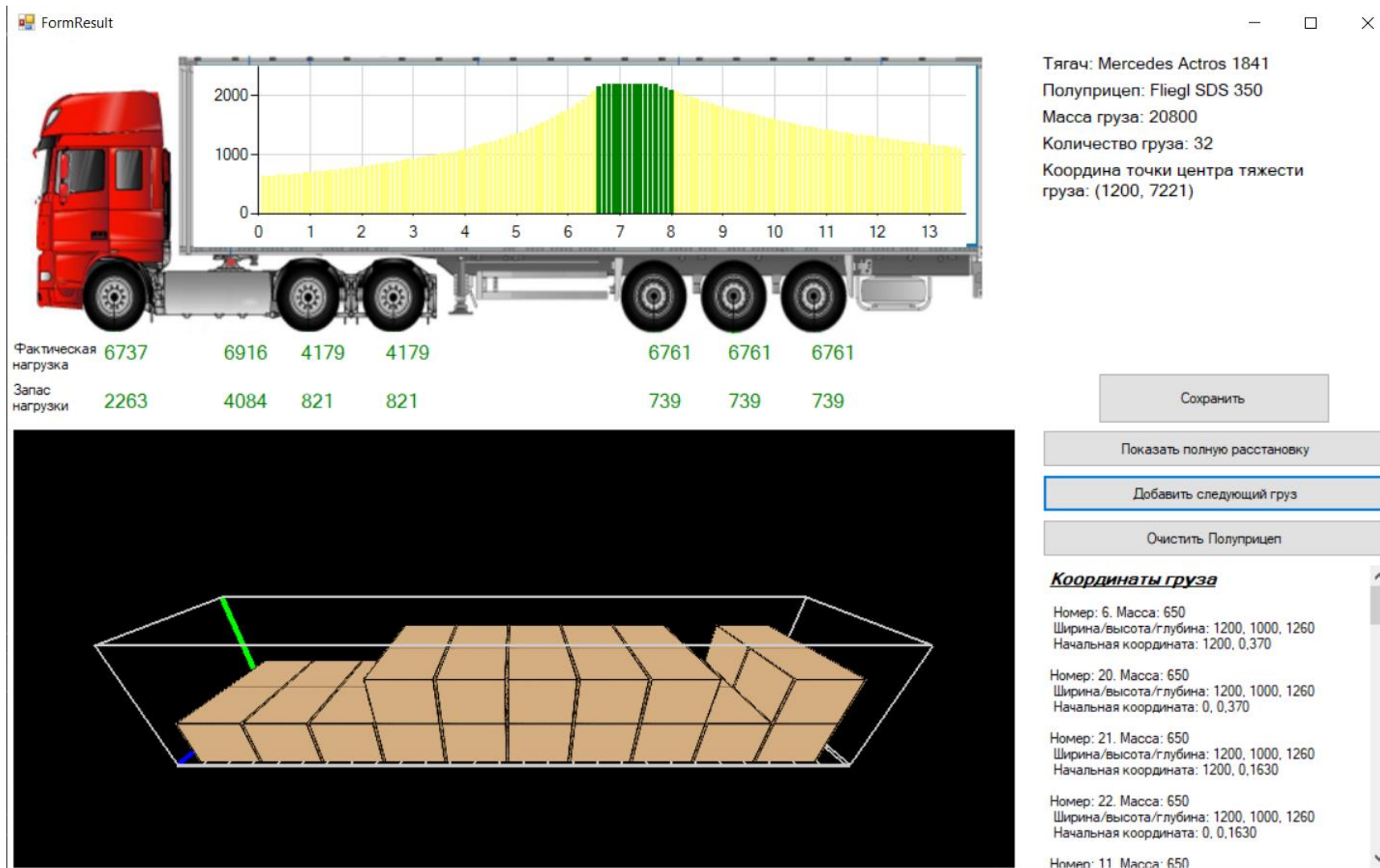


Рисунок А.2 – Результат работы программы при размещении груза с одинаковыми параметрами

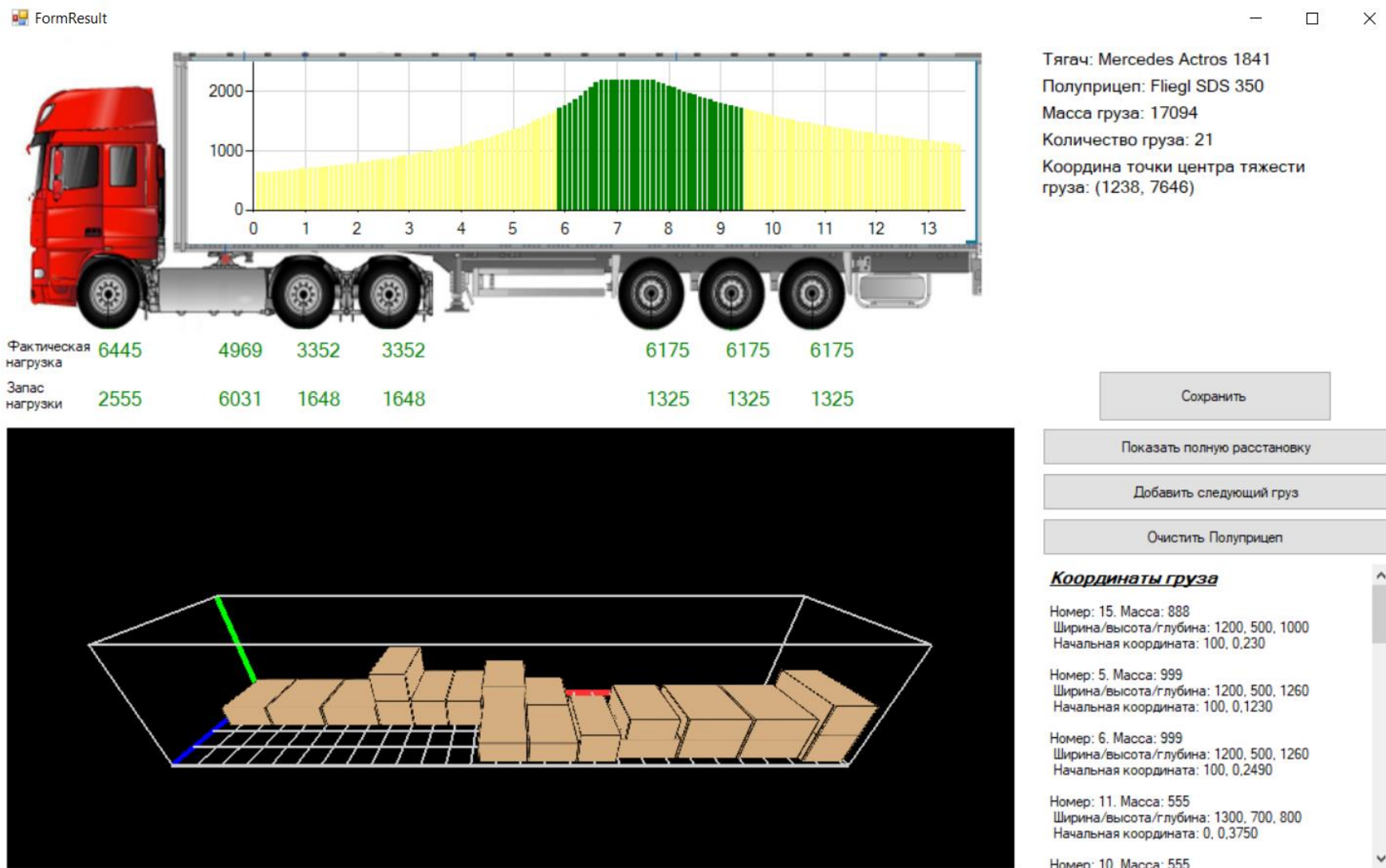


Рисунок А.3 – Результат работы программы при размещении разно габаритного груза

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Руководство пользования программой

Данная программа создана для расчета размещения груза в полуприцеп грузового ТС без осевого перевеса. Благодаря настройкам параметров генетического алгоритма вы можете сами настроить интенсивность поиска оптимального решения задачи упаковки.

Ввод данных:

1. Запустите программу.
2. В разделе «Тягач» введите параметры тягача:
 - a. Выберите количество осей тягача;
 - b. Установите массу заправленного тягача в кг;
 - c. Установите расстояние от передней оси тягача до седла тягача в мм;
 - d. Установите расстояние от седла тягача до задней оси тягача в мм;
 - e. Установите нагрузку на переднюю ось заправленного тягача в кг;
 - f. Установите нагрузку на заднюю ось заправленного тягача (если задней осей несколько, введите суммарную нагрузку);
 - g. Введите название тягача;
 - h. Введите осевые ограничения тягача (если задней осей несколько, введите суммарное ограничение);
3. Нажмите кнопку «Выбрать»;
4. В разделе «Полуприцеп» введите параметры полуприцепа:
 - a. Выберите количество осей полуприцепа;
 - b. Установите массу полуприцепа в кг;
 - c. Установите полезную длину полуприцепа в мм;
 - d. Установите расстояние от оси полуприцепа до седла в мм;
 - e. Установите расстояние от оси до задней стенки полуприцепа в мм;
 - f. Установите нагрузку пустого полуприцепа на седло тягача в кг;
 - g. Установите нагрузку на ось полуприцепа в кг (если осей несколько, введите суммарную нагрузку);
 - h. Установите высоту полуприцепа в мм;
 - i. Установите ширину полуприцепа в мм;
 - j. Установите грузоподъемность полуприцепа в кг;
 - k. Установите ограничение на седло и ось полуприцепа (если задней осей несколько, введите суммарное ограничение);
 - l. Введите название полуприцепа.
5. Нажмите кнопку «Выбрать»;

6. Если хотите изменить параметры ГА, перейдите во вкладку «Параметры ГА». Выберите:
- a. Размер популяции – количество особей в поколении (целочисленное число от 2 до 100);
 - b. Число поколений – число циклов работы ГА (целочисленное число от 2 до 100);
 - c. Вероятность мутации – вероятность того, что у особи в новом поколении будет применена операция мутации (вещественное число от 0 до 1);
 - d. Вероятность скрещивания – вероятность того, что к двум особям будет применена операция кроссовера. В противном случае место потомков займут более приспособленные особи из предыдущего поколения (вещественное число от 0 до 1).
7. В разделе «Груз» введите параметры груза. Введите в таблицу ширину, высоту, глубину груза в мм и вес в кг;
8. Нажмите кнопку «Построить схему размещения».

Результат:

В верхней части экрана представлена схема допустимой нагрузки на грузовое ТС.

Фактическая нагрузка – вычисленная программой нагрузка на оси грузового ТС.

Запас нагрузки – значение нагрузки на ось, которую ось еще способна выдержать без перевеса.

В правой верхней части окна представлена информация о грузовом ТС и грузе.

Функционал графической схемы размещения:

«Отображение полной расстановки» - позволяет отобразить на модели полуприцепа размещение всего груза. Вызывается кнопкой «Показать полную расстановку».

«Поочередное добавление груза в контейнер» - позволяет отобразить груз в порядке упаковки в полуприцеп, добавляя по одному грузу в контейнер. Вызывается кнопкой «Добавить следующий груз».

«Очищение полуприцепа» - позволяет убрать весь груз с полуприцепа. Вызывается кнопкой «Очистить Полуприцеп».

Правое нижнее текстовое поле отображает номер, массу, габариты груза и координаты его размещения в контейнере для всего груза, находящегося на данный момент в контейнере.

«Сохранение результата» - позволяет сохранить результат размещения определенного груза в определенный полуприцеп грузового ТС. Схема размещения сохраняется в формате

JPEG, а информация о грузе в формате ТХТ. Для сохранения размещения нажмите кнопку «Сохранить», выберите папку для сохранения и нажмите кнопку сохранить.

Для изменения ракурса камеры графической схемы размещения, наведите мышь на схему и отрегулируйте ракурс следующими функциями:

Клавиша «W» – движение камеры вверх;

Клавиша «S» – движение камеры вниз;

Клавиша «A» – движение камеры налево;

Клавиша «D» – движение камеры направо;

Клавиша «Z» – увеличение;

Клавиша «X» – уменьшение;

Ошибки

В некоторых случаях программа не может разместить груз в полуприцеп грузового ТС. В этом случае открывается окно с ошибкой и рекомендаций по настройке параметров. Рассмотрим их.

Ошибки параметров тягача

Ошибка параметров расстояний тягача

Сущность: сумма расстояний от передней оси тягача до седла и от седла до задней оси тягача не равна расстоянию между осями тягача.

Ошибка параметров нагрузок тягача

Сущность: сумма нагрузок на оси пустого тягача не равны массе тягача.

Ошибка ограничения на 1 ось тягача

Сущность: Ограничение на первую ось тягача меньше нагрузки на эту ось

Ошибка ограничения на 2 ось тягача

Сущность: Ограничение на вторую ось тягача меньше нагрузки на эту ось

РЕШЕНИЕ: изменить параметры тягача.

Ошибки параметров полуприцепа

Ошибка параметров расстояний полуприцепа

Сущность: сумма расстояний от седла до оси полуприцепа и от оси полуприцепа до задней стенки больше полезной глубины полуприцепа.

Ошибка параметров нагрузок полуприцепа

Сущность: сумма нагрузок на ось пустого полуприцепа и нагрузки на седло не равна массе полуприцепа

Ошибка ограничения на седло

Сущность: Ограничение на седло меньше нагрузки на седло

Ошибка ограничения на ось полуприцепа

Сущность: Ограничение на ось полуприцепа меньше нагрузки на эту ось

РЕШЕНИЕ: изменить параметры полуприцепа.

Ошибки параметров груза

Ошибка суммарной массы груза

Сущность: суммарная масса груза превышает максимальную грузоподъемность полуприцепа

Ошибка ширины груза

Сущность: ширина какого-либо груза превышает ширину полуприцепа

Ошибка высоты груза

Сущность: высота какого-либо груза превышает высоту полуприцепа

Ошибка глубины груза

Сущность: глубина какого-либо груза превышает глубину полуприцепа

Ошибка объема груза

Сущность: суммарный объем груза больше объема полуприцепа

Ошибка значения параметра груза

Сущность: высота, ширина, глубина или масса груза равны 0

РЕШЕНИЕ: изменить параметры груза.

Отчет о проверке на заимствования №1



Автор: Горбатюк Анастасия Андреевна
Проверяющий: Морозова Анна Сергеевна
Организация: Томский Государственный Университет

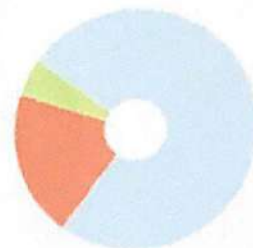
Отчет предоставлен сервисом «Антиплагиат» - <http://tsu.antiplagiat.ru>

ИНФОРМАЦИЯ О ДОКУМЕНТЕ

№ документа: 28
Начало загрузки: 04.06.2023 03:30:51
Длительность загрузки: 00:00:49
Имя исходного файла: Отредактированный диплом Горбатюк.docx
Название документа: Отредактированный диплом Горбатюк
Размер текста: 96 кБ
Символов в тексте: 98270
Слов в тексте: 12062
Число предложений: 798

ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОТЧЕТЕ

Начало проверки: 04.06.2023 03:31:41
Длительность проверки: 00:05:11
Комментарии: не указано
Поиск с учетом редактирования: да
Проверенные разделы: основная часть с. 2-3, 5-56, библиография с. 57-59
Модули поиска: ИПС Адилет, Библиография, Сводная коллекция ЭБС, Интернет Плюс*, Сводная коллекция РГБ, Цитирование, Переводные заимствования (RuEn), Переводные заимствования по eLIBRARY.RU (EnRu), Переводные заимствования по коллекции Гарант; аналитика, Переводные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте, Переводные заимствования по Интернету (EnRu), Переводные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте, Переводные заимствования издательства Wiley, eLIBRARY.RU, СПС ГАРАНТ: аналитика, СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация, Медицина, Диссертации НББ, Коллекция НБУ, Перефразирования по eLIBRARY.RU, Перефразирования по СПС ГАРАНТ: аналитика, Перефразирования по Интернету, Перефразирования по Интернету (EN), Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте, Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте, Перефразирования по коллекции издательства Wiley, Патенты СССР, РФ, СНГ, СМИ России и СНГ, Шаблонные фразы, Модуль поиска "tsu", Кольцо вузов, Издательство Wiley, Переводные заимствования



СОВПАДЕНИЯ

18,7%

САМОЦИТИРОВАНИЯ

0%

ЦИТИРОВАНИЯ

5,47%

ОРИГИНАЛЬНОСТЬ

74,66%

Совпадения — фрагменты проверяемого текста, полностью или частично сходные с найденными источниками, за исключением фрагментов, которые система отнесла к цитированию или самоцитированию. Показатель «Совпадения» — это доля фрагментов проверяемого текста, отнесенных к совпадениям, в общем объеме текста.

Самоцитирование — фрагменты проверяемого текста, совпадающие или почти совпадающие с фрагментом текста источника, автором или соавтором которого является автор проверяемого документа. Показатель «Самоцитирования» — это доля фрагментов текста, отнесенных к самоцитированию, в общем объеме текста.

Цитирование — фрагменты проверяемого текста, которые не являются авторскими, но которые система отнесла к корректно оформленным. К цитированиям относятся также шаблонные фразы: библиография; фрагменты текста, найденные модулем поиска «СПС Гарант: нормативно-правовая документация». Показатель «Цитирования» — это доля фрагментов проверяемого текста, отнесенных к цитированию, в общем объеме текста.

Текстовое пересечение — фрагмент текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника.

Источник — документ, проиндексированный в системе и содержащийся в модуле поиска, по которому проводится проверка.

Оригинальный текст — фрагменты проверяемого текста, не обнаруженные ни в одном источнике и не отмеченные ни одним из модулей поиска. Показатель «Оригинальность» — это доля фрагментов проверяемого текста, отнесенных к оригинальному тексту, в общем объеме текста.

«Совпадения», «Цитирования», «Самоцитирования», «Оригинальность» являются отдельными показателями, отображаются в процентах и в сумме дают 100%, что соответствует полному объему проверяемого документа.

Обращаем Ваше внимание, что система находит текстовые совпадения проверяемого документа с проиндексированными в системе источниками. При этом система является вспомогательным инструментом, определение корректности и правомерности совпадений или цитирований, а также авторства текстовых фрагментов проверяемого документа остается в компетенции проверяющего.

№	Доля в тексте	Доля в отчете	Источник	Актуален на	Модуль поиска	Комментарии
[01]	5,48%	4,65%	МНОГОУРОВНЕВЫЙ ЭВОЛЮЦИОННО-ГЕНЕТИЧЕСК... http://elibrary.ru	30 Авг 2014	Перефразирования по eLIBRARY.RU	
[02]	5,47%	5,47%	не указано	29 Сен 2022	Библиография	
[03]	3,85%	0,27%	не указано http://unn.ru	05 Янв 2017	Перефразирования по Интернету	
[04]	3,45%	0,36%	Многоуровневый эволюционно-генетический мето... https://yandex.ru	04 Июн 2021	Интернет Плюс*	
[05]	3,39%	0,58%	МНОГОУРОВНЕВЫЙ ЭВОЛЮЦИОННО-ГЕНЕТИЧЕСК... http://elibrary.ru	30 Авг 2014	eLIBRARY.RU	
[06]	3,19%	0%	19_220_206_0_0.600_48006149 http://unn.ru	03 Июн 2023	Интернет Плюс*	
[07]	2,92%	0,32%	ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА РЕШЕ... http://elibrary.ru	30 Авг 2014	eLIBRARY.RU	
[08]	2,56%	0%	156_218_23_0_0.600_59455845 Вышел из печати очер... http://nich.tsure.ru	15 Мар 2021	Интернет Плюс*	
[09]	2,5%	1,42%	как можно посчитать нагрузки на ось грузового ав... http://vdn.ru	27 Июн 2021	Интернет Плюс*	

[10]	2,39%	2,39%	ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ В ОПТИМИЗАЦИИ ТРЕХ... http://elibrary.ru	06 Янв 2017	ПЕРЕФРАЗИРОВАНИЯ ПО eLIBRARY.RU
[11]	2,26%	1,96%	МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОПИСАН... http://elibrary.ru	06 Окт 2020	eLIBRARY.RU
[12]	2,26%	0,03%	Разработка модуля для оптимизации управления дв... http://library.eltech.ru	19 Сен 2019	Интернет Плюс*
[13]	2,14%	2,14%	диплом http://studfiles.ru	29 Янв 2017	ПЕРЕФРАЗИРОВАНИЯ ПО Интернету
[14]	2,11%	0,8%	Применение генетического алгоритма решения за... http://cyberleninka.ru	05 Фев 2023	ПЕРЕФРАЗИРОВАННЫЕ заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте
[15]	2,07%	0%	ТРУДЫ НГТУ им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА - PDF https://docplayer.ru	26 Июн 2019	Интернет Плюс*
[16]	2,06%	0%	ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ В ОПТИМИЗАЦИИ ТРЕХ... https://yandex.ru	02 Июн 2023	Интернет Плюс*
[17]	2,05%	0,04%	Федеральное агентство по образованию ТОМСКИЙ ... http://docplayer.ru	07 Окт 2021	Интернет Плюс*
[18]	2,05%	0%	Федеральное агентство по образованию ТОМСКИЙ ... http://docplayer.ru	06 Мая 2018	Интернет Плюс*
[19]	2,01%	0%	Генетический алгоритм как метод оптимизации https://knowledge.allbest.ru	14 Янв 2021	Интернет Плюс*
[20]	2,01%	0%	Генетический алгоритм как метод оптимизации https://knowledge.allbest.ru	28 Окт 2021	Интернет Плюс*
[21]	2,01%	0%	Генетический алгоритм как метод оптимизации https://knowledge.allbest.ru	04 Апр 2019	Интернет Плюс*
[22]	2,01%	0%	Генетические алгоритмы и традиционные способы ... https://revolution.allbest.ru	14 Янв 2021	Интернет Плюс*
[23]	1,97%	0%	http://www.inf.tsu.ru/library/DiplomaWorks/CompScie... http://inf.tsu.ru	13 Июн 2022	Интернет Плюс*
[24]	1,93%	0%	Генетический алгоритм как метод оптимизации https://knowledge.allbest.ru	14 Ноя 2020	Интернет Плюс*
[25]	1,65%	0%	Генетический алгоритм в оптимизации трехмерно... https://cyberleninka.ru	09 Мая 2023	Интернет Плюс*
[26]	1,62%	0,18%	Вышел из печати очередной номер журнала "Извес... http://nich.tsure.ru	29 Янв 2017	ПЕРЕФРАЗИРОВАНИЯ ПО Интернету
[27]	1,61%	0%	Та, Чунг Тхань Математические модели и алгоритм... http://dlib.rsl.ru	21 Сен 2021	Сводная коллекция РГБ
[28]	1,59%	0%	Применение генетического алгоритма решения за... https://cyberleninka.ru	02 Июн 2023	Интернет Плюс*
[29]	1,44%	0,09%	ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА РЕШЕ... http://elibrary.ru	30 Авг 2014	ПЕРЕФРАЗИРОВАНИЯ ПО eLIBRARY.RU
[30]	1,41%	0%	Расчет нагрузки на ось для грузовых автоперевозок https://rtl.uz	03 Июн 2023	Интернет Плюс*
[31]	1,41%	0%	Расчет нагрузки http://lognsk.com	10 Мар 2023	Интернет Плюс*
[32]	1,37%	0%	Мочалов, Владимир Анатольевич диссертация ... ка... http://dlib.rsl.ru	01 Янв 2011	Сводная коллекция РГБ
[33]	1,3%	0,65%	не указано http://unn.ru	07 Янв 2017	ПЕРЕФРАЗИРОВАНИЯ ПО Интернету
[34]	1,24%	0,29%	диплом.pdf	02 Июн 2022	Модуль поиска "tsu"
[35]	1,24%	0,93%	ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ПРИБЛИЖЕННОГО РЕШ... https://elibrary.ru	31 Дек 2021	eLIBRARY.RU
[36]	1,21%	0%	Эволюционный подход к игровому искусственному... http://elibrary.ru	02 Дек 2019	eLIBRARY.RU
[37]	1,21%	0%	2023_д_т_051301_Рыбак	05 Мая 2023	Кольцо вузов
[38]	1,21%	0%	Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечетк... http://ibooks.ru	09 Дек 2016	Сводная коллекция ЭБС
[39]	1,21%	0%	253603 http://biblioclub.ru	19 Апр 2016	Сводная коллекция ЭБС
[40]	1,21%	0%	Вестник Иркутского Государственного Техническог... http://bibliorossica.com	26 Мая 2016	Сводная коллекция ЭБС
[41]	1,21%	0%	Основы теории принятия решений https://elar.urfu.ru	21 Янв 2023	ПЕРЕФРАЗИРОВАННЫЕ заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте
[42]	1,21%	0%	Математическое и программное обеспечение для к... http://tekhnosfera.com	21 Окт 2014	ПЕРЕФРАЗИРОВАННЫЕ заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте
[43]	1,19%	0%	Оценка эффективности методов и алгоритмов, испо... http://elibrary.ru	27 Окт 2019	ПЕРЕФРАЗИРОВАНИЯ ПО eLIBRARY.RU
[44]	1,17%	0%	Abstract Kozlov A Decision Support System in obstetric... http://masters.donntu.edu.ua	09 Янв 2018	Переводные заимствования (RuEn)
[45]	1,1%	0%	ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ В ОПТИМИЗАЦИИ ТРЕХ... http://elibrary.ru	06 Янв 2017	eLIBRARY.RU
[46]	1,07%	0%	Информационные технологии в экономике https://book.ru	03 Июл 2017	Сводная коллекция ЭБС
[47]	1,05%	0%	Оценка эффективности методов и алгоритмов, испо... http://elibrary.ru	27 Окт 2019	eLIBRARY.RU
[48]	1,05%	0%	Обзор средств математического пакета Scilab для р... http://elibrary.ru	04 Мая 2017	ПЕРЕФРАЗИРОВАНИЯ ПО eLIBRARY.RU
[49]	1,03%	0,52%	СТРУКТУРА ЛАНДШАФТОВ И КАЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНК...	09 Июн 2022	Модуль поиска "tsu"

[50]	1,01%	0%	ВКР Субач-2.docx	16 Янв 2022	Модуль поиска "tsu"	
[51]	1,01%	0%	ВКР Субач.docx	23 Янв 2022	Модуль поиска "tsu"	
[52]	0,94%	0,04%	http://www.unn.ru/pages/e-library/aids/2007/15.pdf http://unn.ru	02 Июн 2023	Интернет Плюс*	
[53]	0,94%	0%	http://www.unn.ru/pages/e-library/aids/2007/15.pdf http://unn.ru	26 Мар 2021	Интернет Плюс*	
[54]	0,93%	0%	_26.05.05_CB_Зиферт Д. С_2022	16 Мар 2023	Кольцо вузов	
[55]	0,93%	0%	Обзор средств математического пакета Scilab для р... http://elibrary.ru	04 Мая 2017	eLIBRARY.RU	
[56]	0,89%	0,22%	Силур-девонские кораллы Горного Алтая из коллек...	05 Июн 2022	Модуль поиска "tsu"	
[57]	0,81%	0%	http://www.unn.ru/pages/e-library/aids/2007/15.pdf http://unn.ru	20 Апр 2022	Интернет Плюс*	
[58]	0,81%	0%	http://www.unn.ru/pages/e-library/aids/2007/15.pdf http://unn.ru	20 Апр 2022	Интернет Плюс*	
[59]	0,79%	0%	Тишуков, Борис Николаевич Структурное моделир... http://dlib.rsl.ru	05 Авг 2019	Сводная коллекция РГБ	
[60]	0,77%	0%	https://ictis.sfedu.ru/wp-content/uploads/2016/06/Pro... https://ictis.sfedu.ru	18 Янв 2022	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[61]	0,76%	0%	https://lib.tsu.ru/win/produkcija/metodichka/NB_Met... https://lib.tsu.ru	24 Дек 2021	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[62]	0,76%	0%	https://lib.tsu.ru/win/produkcija/metodichka/pril1.pdf https://lib.tsu.ru	06 Июн 2022	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[63]	0,75%	0%	Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечетк... http://studentlibrary.ru	20 Дек 2016	Медицина	
[64]	0,74%	0%	Гибридные и синергетические интеллектуальные с... http://bibliorossica.com	27 Мая 2016	Сводная коллекция ЭБС	
[65]	0,59%	0%	Диссертация на тему «Биоинспирированные метод... https://dissercat.com	03 Окт 2020	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[66]	0,57%	0%	не указано	29 Сен 2022	Шаблонные фразы	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[67]	0,53%	0%	Старостин, Николай Владимирович Многоуровнев... http://dlib.rsl.ru	08 Ноя 2022	Сводная коллекция РГБ	
[68]	0,53%	0%	Физика. Понятия и определения. http://vdmk.ru	09 Мая 2023	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[69]	0,48%	0,28%	РАЗРАБОТКА ПЕРЕДВИЖНОЙ УСТАНОВКИ ОЧИСТК... http://elibrary.ru	29 Апр 2017	Перефразирования по eLIBRARY.RU	
[70]	0,47%	0,1%	Д. И. Батищев, Е. А. Неймарк, Н. В. Старостин ; Федер... http://dlib.rsl.ru	01 Янв 2006	Сводная коллекция РГБ	
[71]	0,46%	0,41%	ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ-2014. http://elibrary.ru	14 Сен 2015	Перефразирования по eLIBRARY.RU	
[72]	0,45%	0,45%	https://vital.lib.tsu.ru/vital/access/services/Download/... https://vital.lib.tsu.ru	14 Мая 2023	Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте	
[73]	0,44%	0,44%	Определение нагрузки от многоосного транспорт... http://elibrary.ru	11 Фев 2019	Перефразирования по eLIBRARY.RU	
[74]	0,44%	0%	ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГИБРИДНОГО АЛ... http://elibrary.ru	18 Дек 2013	eLIBRARY.RU	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[75]	0,43%	0%	Курейчик, Владимир Владимирович Биоинспириро... http://dlib.rsl.ru	27 Дек 2019	Сводная коллекция РГБ	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[76]	0,43%	0%	Чеканин, Владислав Александрович Модифицирова... http://dlib.rsl.ru	14 Июн 2011	Сводная коллекция РГБ	
[77]	0,42%	0%	https://postgraduate.tusur.ru/system/file_copies/files/... https://postgraduate.tusur.ru	14 Июн 2022	Интернет Плюс*	
[78]	0,41%	0%	Кощеев, Иван Сергеевич Оптимизация доставки гр... http://dlib.rsl.ru	22 Авг 2019	Сводная коллекция РГБ	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[79]	0,41%	0%	Двухточечный кроссинговер. — Мегабучалка http://megaobuchalka.ru	01 Янв 2017	Перефразирования по Интернету	
[80]	0,36%	0%	Кравченко, Юрий Алексеевич Информационные м... http://dlib.rsl.ru	08 Ноя 2022	Сводная коллекция РГБ	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[81]	0,36%	0%	Луцан, Максим Васильевич Разработка и исследова... http://dlib.rsl.ru	22 Авг 2019	Сводная коллекция РГБ	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[82]	0,34%	0%	Покровская, Оксана Дмитриевна Комплексная оцен... http://dlib.rsl.ru	22 Фев 2019	Сводная коллекция РГБ	
[83]	0,32%	0,32%	Применение генетического алгоритма решения за... http://cyberleninka.ru	05 Фев 2023	Переводные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте	
[84]	0,3%	0%	Как рассчитать нагрузку на оси полуприцепа трала ... https://advomirr.ru	02 Июн 2023	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[85]	0,3%	0%	Управление и организация грузоперевозок автотра... https://e.lanbook.com	21 Янв 2020	Сводная коллекция ЭБС	
[86]	0,27%	0%	f74752_a17302_КукочкинВКР.pdf	23 Июн 2017	Кольцо вузов	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[87]	0,27%	0%	Диплом.pdf	02 Ноя 2020	Модуль поиска "tsu"	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[88]	0,27%	0%	Курсовая работа Ксения-5	27 Окт 2022	Кольцо вузов	
[89]	0,26%	0%	Диссертация на тему «Информационные модели пр... https://dissercat.com	06 Мая 2022	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.

[90]	0,26%	0%	Диссертация на тему «Информационные модели пр... https://dissercat.com	22 Мая 2023	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[91]	0,25%	0%	Программирование в компьютерных системах (спе... http://asu.ru	07 Янв 2017	Перефразирования по Интернету	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[92]	0,25%	0%	Формирование логистической системы в свеклосах... http://dep.nlb.by	16 Янв 2020	Диссертации НББ	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[93]	0,25%	0%	58752 http://e.lanbook.com	раньше 2011	Сводная коллекция ЭБС	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[94]	0,25%	0%	Минимаксный подход к структурному анализу данн... http://diss.natlib.uz	20 Фев 2017	Коллекция НБУ	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[95]	0,25%	0%	Долгова, Ольга Эдуардовна Муравьиные алгоритм... http://dlib.rsl.ru	01 Янв 2018	Сводная коллекция РГБ	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[96]	0,25%	0%	Ле Куанг Мынг Математические модели и алгоритм... http://dlib.rsl.ru	15 Июн 2020	Сводная коллекция РГБ	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[97]	0,25%	0%	~ Автореферат (08.02.16) http://nntu.ru	01 Янв 2017	Перефразирования по Интернету	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[98]	0,25%	0%	https://kpfu.ru/staff_files/F2038972514/Obzor_metodo... https://kpfu.ru	30 Мая 2023	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[99]	0,25%	0%	ПРИМЕНЕНИЕ ПЧЕЛИНОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ РАСК... https://yandex.ru	01 Дек 2014	Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[100]	0,25%	0%	не указано http://williamspublishing.com	20 Апр 2014	Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[101]	0,24%	0%	Эволюция информационных систем (современное ... http://studentlibrary.ru	20 Дек 2016	Медицина	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[102]	0,24%	0%	Жукова, Марина Николаевна диссертация ... кандид... http://dlib.rsl.ru	раньше 2011	Сводная коллекция РГБ	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[103]	0,24%	0%	Дубенко, Юрий Владимирович диссертация ... канд... http://dlib.rsl.ru	раньше 2011	Сводная коллекция РГБ	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[104]	0,24%	0%	Диссертация на тему «Разработка методов и средст... https://dissercat.com	02 Дек 2020	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[105]	0,24%	0%	Русская женщина изобрела робота-губернатора	20 Июл 2011	СМИ России и СНГ	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[106]	0,23%	0%	Моделирование и синтез оптимальной структуры с... http://studentlibrary.ru	20 Дек 2016	Медицина	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[107]	0,22%	0%	Методы и средства создания и трансляции VHDL-оп... http://dep.nlb.by	11 Ноя 2016	Диссертации НББ	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[108]	0,22%	0%	Технология программирования на C++. Win32 API -п... http://ibooks.ru	09 Дек 2016	Сводная коллекция ЭБС	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[109]	0,22%	0%	Сравнение структур по временным характеристикам http://mybiblioteka.su	09 Мая 2023	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[110]	0,22%	0%	Адаптивно-робастная дискретная система фазового... http://dep.nlb.by	20 Дек 2016	Диссертации НББ	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[111]	0,22%	0%	Головин А. В. 932126 - Реферат по дисциплине Введе... https://topuch.com	29 Мар 2023	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[112]	0,21%	0%	Бурмистрова, Ольга Николаевна Для условий Респу... http://dlib.rsl.ru	раньше 2011	Сводная коллекция РГБ	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[113]	0,21%	0%	За что я люблю ассемблер? https://pcnews.ru	22 Июл 2021	СМИ России и СНГ	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[114]	0,21%	0%	Вычислительные системы, сети и телекоммуникации http://studentlibrary.ru	19 Дек 2016	Медицина	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[115]	0,21%	0%	Антохина, Юлия Анатольевна Ситуационное управл... http://dlib.rsl.ru	12 Окт 2017	Сводная коллекция РГБ	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[116]	0,2%	0%	https://ictis.sfedu.ru/wp-content/uploads/2015/03/FAA... https://ictis.sfedu.ru	22 Мая 2023	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[117]	0,2%	0%	Разработка программно-аппаратной системы тести...	27 Янв 2023	Кольцо вузов	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[118]	0,2%	0%	https://www.rubinst.ru/sites/default/files/files/science/... https://rubinst.ru	30 Апр 2023	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[119]	0,2%	0%	Двоичное Кодирование Скачать Реферат - Сочинен... http://skachatreferat.ru	05 Янв 2017	Перефразирования по Интернету	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[120]	0,19%	0%	Биоинспирированные методы криптоанализа асим... http://elibrary.ru	29 Авг 2014	Перефразирования по eLIBRARY.RU	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[121]	0,19%	0%	Генетические алгоритмы. https://e.lanbook.com	20 Янв 2020	Сводная коллекция ЭБС	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[122]	0,18%	0%	Обоснование эксплуатационных параметров автоп... http://diss.natlib.uz	05 Мая 2017	Коллекция НБУ	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[123]	0,17%	0%	Вахрушина М.А. Управленческий учёт для менедже... http://ivo.garant.ru	09 Июн 2018	Переводные заимствования по коллекции Гарант: аналитика	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[124]	0,17%	0%	Генетический алгоритм для решения оптимизацио... http://habrahabr.ru	29 Дек 2018	СМИ России и СНГ	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[125]	0,17%	0%	Оптимизация транспортных маршрутов с использо...	06 Июл 2020	Кольцо вузов	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[126]	0,17%	0%	Оптимизация металлических конструкций путем эв... http://studentlibrary.ru	19 Дек 2016	Медицина	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.

[127]	0,17%	0%	Матренин, Павел Викторович Разработка адаптивн... http://dlib.rsl.ru	27 Дек 2019	Сводная коллекция РГБ	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[128]	0,17%	0%	Соколова Юлия ВКР (1).pdf	24 Ноя 2020	Модуль поиска "tsu"	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[129]	0,17%	0%	Курсовая работа _Лозовая А.С.	04 Мая 2021	Модуль поиска "tsu"	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[130]	0,16%	0%	ВКР ЗИНОВЬЕВ-ан	22 Мар 2023	Кольцо вузов	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[131]	0,16%	0%	В	28 Фев 2022	Модуль поиска "tsu"	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[132]	0,16%	0%	Диплом Янковская pdf.pdf	19 Июн 2020	Модуль поиска "tsu"	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[133]	0,16%	0%	Чекина	06 Июн 2019	Модуль поиска "tsu"	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[134]	0,16%	0%	пров тимофеева 07,06 испр.pdf	09 Июн 2019	Модуль поиска "tsu"	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[135]	0,16%	0%	Борисова	08 Июн 2020	Модуль поиска "tsu"	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[136]	0,16%	0%	ВКР Безгодова О.В..pdf	22 Мая 2020	Модуль поиска "tsu"	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[137]	0,16%	0%	2022 ДИПЛОМ Ламакина — копия	14 Июн 2022	Модуль поиска "tsu"	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[138]	0,16%	0%	Курсовая работа 2 курс - Факторы развития, класси...	29 Мая 2023	Модуль поиска "tsu"	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[139]	0,16%	0%	Николай малыхин (целое).docx	16 Мая 2022	Модуль поиска "tsu"	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[140]	0,16%	0%	Шнейдер	13 Мая 2022	Модуль поиска "tsu"	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[141]	0,16%	0%	курсовая.docx	09 Июн 2020	Модуль поиска "tsu"	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[142]	0,16%	0%	Койстинен_ВКР_M.pdf	28 Мая 2021	Модуль поиска "tsu"	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[143]	0,16%	0%	Учебно-методическое пособие по выполнению вы... http://bibliorossica.com	раньше 2011	Сводная коллекция ЭБС	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[144]	0,16%	0%	NP-полные и NP-трудные задачи https://studopedia.su	19 Апр 2022	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[145]	0,15%	0%	http://dspace.bsu.edu.ru/bitstream/123456789/33617/... http://dspace.bsu.edu.ru	03 Июн 2023	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[146]	0,15%	0%	Диссертация на тему «Оценка влияния технологиче... https://dissercat.com	28 Сен 2022	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[147]	0,15%	0%	http://pi.conf.donntu.ru/collection/seics2022.pdf http://pi.conf.donntu.ru	14 Мая 2023	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[148]	0,15%	0%	Транспортное право и законодательство: содержан... http://ivo.garant.ru	13 Авг 2022	СПС ГАРАНТ: аналитика	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[149]	0,15%	0%	Вагнер, Дмитрий Викторович Высокочастотные эле... http://dlib.rsl.ru	27 Дек 2019	Сводная коллекция РГБ	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[150]	0,14%	0%	Силы в автосцепках вагонов https://lektsii.org	09 Мая 2023	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[151]	0,13%	0%	https://www.frccsc.ru/sites/default/files/docs/ds/002-0... https://frccsc.ru	04 Мар 2023	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[152]	0,12%	0%	Буйанкин, Павел Владимирович Обеспечение устойч... http://dlib.rsl.ru	22 Авг 2019	Сводная коллекция РГБ	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[153]	0,1%	0%	http://www.reshaem.net/tasks/task_247133.pdf http://reshaem.net	29 Сен 2022	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[154]	0,09%	0%	http://www.spsl.nsc.ru/FullText/konfe/bio_tezis2013_t... http://spsl.nsc.ru	12 Мая 2023	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[155]	0,06%	0%	Уравнение моментов сил относительно точки опоры https://b6.cooksy.ru	09 Мая 2023	Интернет Плюс*	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.