

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа __ ИШНПТ
 Направление подготовки _15.04.01/Машиностроение
 Отделение школы (НОЦ) _Материаловедение

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка алгоритма автоматизации технологического размерного анализа

УДК 621.713.3-5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM82	Измаилов Руслан Алиханович		05.06.20

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Коротков В. С.	К.Т.Н.		05.06.20

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мухолзоев А. В.			05.06.20

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Якимова Т. Б.	К.Э.Н.		03.06.20

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Сечин А. И.	Д.Т.Н.		04.06.20

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
15.04.01 «Машиностроение»	Арляпов А. Ю.	К.Т.Н.		

Планируемые результаты обучения по ООП 15.04.01 «Автоматизация технологических процессов и производств в машиностроении»

Код	Результат обучения
Универсальные компетенции	
P1	Способность применять глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания при создании новых конкурентоспособных технологий изготовления деталей и сборки машин.
P2	Способность выполнять и обосновывать инженерные проекты для создания сложных конкурентоспособных изделий машиностроения и технологий их производства, в том числе с использованием современных CAD/CAM/CAE продуктов.
P3	Способность ставить и решать инновационные инженерные задачи с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов машиностроения.
P4	Способность разрабатывать методики и организовывать проведение теоретических и экспериментальных исследований в области технологии машиностроения с использованием новейших достижений науки и техники.
P5	Готовность обеспечивать прогрессивную эксплуатацию оборудования и других средств технологического оснащения автоматизированного производства изделий машиностроения, осваивать и совершенствовать технологические процессы изготовления новых конкурентоспособных изделий, обеспечивать их технологичность.
P6	Способность проводить маркетинговые исследования, используя знания проектного менеджмента, участвовать в создании или совершенствовании системы менеджмента в качестве предприятия.
Профессиональные компетенции	
P7	Готовность следовать кодексу профессиональной этики и социальным нормам ведения инженерной деятельности.
P8	Готовность к непрерывному самосовершенствованию в инженерной педагогической и исследовательской деятельности и способность критически переосмысливать накопленный опыт.
P9	Способность организовывать и эффективно управлять работой коллектива, состоящего из специалистов различных направлений и квалификаций, а также готовность нести ответственность за результаты выполненной работы

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа __ ИШНПТ
 Направление подготовки __ 15.04.01/Машиностроение
 Отделение школы (НОЦ) __ Материаловедение

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Арляпов А. Ю.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации <small>(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)</small>
--

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ82	Измаилов Руслан Алиханович

Тема работы:

Разработка алгоритма автоматизации технологического размерного анализа	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	28.02.2020, №59-118/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	05.06.2020
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Существующие алгоритмы расчета технологических размерных цепей.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обзор научно-технической литературы. 2. Совершенствование алгоритма расчета технологических размерных цепей.

Перечень графического материала	Демонстрационный материал (презентация в MS PowerPoint)
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Исследовательский	Мухолзоев А. В.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Якимова Т. Б.
Социальная ответственность	Сечин А. И.
Исследовательский (на англ. яз.)	Кобзева Н. А.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
2.3 Алгоритм расчета допусков; 2.6 Алгоритм округления	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.10.2018г.
---	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Коротков В. С.	к.т.н.		01.10.2018

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ82	Измаилов Руслан Алиханович		01.10.2018

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 121 с., 77 рис., 17 табл., 20 источников, 2 прил.

Ключевые слова: размерный анализ, алгоритм, автоматизация, теория графов, размерная цепь.

Объектом исследования являются методы автоматизированного анализа технологических размерных цепей.

Целью работы является повышение эффективности технологических размерных расчетов путем разработки алгоритма для автоматизации технологического размерного анализа.

Актуальность алгоритма заключается в автоматизации расчетов, что подходит для размерного анализа технологических процессов как простых деталей, так и более сложных, уменьшает количество времени на анализ технологических процессов, снижает вероятность возникновения ошибок.

Научная новизна заключается в следующем: усовершенствованный алгоритм автоматизации технологического размерного анализа.

В процессе исследования проводился анализ существующих решений для автоматизации размерного анализа.

В результате исследования создан и численно проверен алгоритм автоматизации технологического размерного анализа.

Работа представлена введением, двумя разделами и заключением.

В первом разделе «Методы исследования» были проанализированы уже существующие методы автоматизации размерного анализа.

Во втором разделе «Формирование методики расчета» создан и численно проверен алгоритм для размерного анализа технологических процессов.

В заключении изложены выводы о проделанной работе.

Оглавление

Введение.....	8
1 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ.....	10
1.1 Обзор литературы по теме исследования	10
1.2 Объект и Методы исследования	11
1.2.1 Метод И. А. Иващенко.....	11
1.2.2 Метод В. В. Матвеева	20
1.2.3 Модуль технологического размерного анализа Grakon 7 О. Н. Калачева	28
1.2.4 Модуль технологического размерного анализа компании «АСКОН».....	30
1.2.5 Программа для технологического размерного анализа «NORMAL».....	31
1.2.6 Размерный анализ технологических процессов за рубежом.....	34
Вывод по разделу	41
2.1 Формирование методики расчета размеров.....	42
2.2 Адаптация алгоритма для расчета размерных структур	46
2.2.1 Назначение допусков на технологические размеры	49
2.2.2 Расчет минимальных припусков на линейные технологические размеры	50
2.2.3 Расчет технологических размеров в осевом направлении	50
2.3 Алгоритм для расчета допусков	53
2.4 Алгоритм расчета средних размеров.....	58
2.6 Алгоритм округления	62
2.5 Работа алгоритма в общем виде.....	68
2.6 Работа алгоритма.....	73
Вывод по разделу	77
3 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	79
3.1 Планирование процесса управления НТИ.....	79
3.2 Продолжительность этапов работ	80
3.3 Расчет материальных затрат НТИ	85
3.4 Расчет затрат на материалы.....	85
3.5 Расчет заработной платы	86
3.6 Расчет затрат на отчисления во внебюджетные фонды	87
3.7 Расчет затрат на электроэнергию	87
3.8 Расчет амортизационных расходов	88
3.9 Расчет прочих расходов.....	89
3.10 Расчет общей себестоимости разработки	89
3.11 Расчет прибыли	90
3.12 Расчет НДС	90

3.13 Цена разработки НИР	90
Оценка экономической эффективности проекта.....	91
4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	93
4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	93
4.2 Производственная безопасность.....	94
4.2.1 Анализ вредных и опасных факторов объекта исследования.....	94
4.2.2 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	95
4.2.3 Анализ показателей микроклимата	95
4.2.4 Анализ показателей шума	96
4.2.5 Анализ освещенности рабочей зоны	97
4.2.6 Эмоциональные нагрузки.....	100
4.2.7 Электробезопасность	100
4.3 Экологическая безопасность.....	102
4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	103
4.4.1 Анализ пожарной безопасности.....	104
Вывод по разделу	106
Заключение	107
Список использованной литературы.....	108
Приложение А	110

Введение

Объектом исследования являются методы автоматизированного анализа технологических размерных цепей.

Предметом исследования является алгоритм расчета технологических размерных цепей.

Целью работы является повышение эффективности технологических размерных расчетов путем разработки алгоритма для автоматизированного размерного анализа технологических процессов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ существующих решений для автоматизации размерного анализа технологических процессов.
2. Создать и численно проверить алгоритм для размерного анализа технологических процессов

Актуальность работы: существующие математические модели технологических размерных схем уменьшают время расчетов и повышают их качество. Основной недостаток – большая трудоемкость подготовки и ввода исходных данных. В связи с этим возникает необходимость в разработке нового алгоритма, где будет использоваться более гибкий и эффективный метод расчета.

Научная новизна заключается в следующем: усовершенствованный алгоритм автоматизации технологического размерного анализа.

Практическая ценность: алгоритм подходит для размерного анализа технологических процессов как простых деталей, так и более сложных, уменьшает количество времени на анализ технологических процессов, снижает вероятность возникновения ошибок.

Область применения: для автоматизации размерного анализа необходимо создать программного обеспечение, основой которого является алгоритм. Создание программного обеспечения на основе созданного

алгоритма и дальнейшее его внедрение при размерном анализе, позволит сократить время на расчеты, улучшить их качество.

1 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Обзор литературы по теме исследования

Одними из первых работ по автоматизации размерного анализа технологических процессов в России являются работа И. А. Иващенко с соавторами [1], в которых изложен метод автоматизированного построения размерных цепей и расчета линейных и диаметральных технологических размеров.

Метод, предложенный В. В. Матвеевым с соавторами [2], включает преобразование и проверку чертежей детали и заготовки для выполнения размерного анализа. Размерный анализ начинают с преобразования чертежа и его проверки. В настоящее время при автоматизированном размерном анализе по методу В. В. Матвеева с соавторами используется программа В. Ю. Шамина с соавторами Visual KursAR [3].

Метод автоматизации размерного анализа технологических процессов О. Н. Калачева [4] основывается на применении размерной схемы и графа, но все построения ведутся на ЭВМ в диалоговом режиме в системе AutoCAD.

Автоматизированный расчет технологических размерных цепей в специализированном модуле программы КОМПАС-АВТОПРОЕКТ имеет следующие особенности (И. Хармац [5]). В окне модуля пользователем формируется маршрут изготовления детали в виде операционных эскизов. В окне модуля в виде дерева показывается перечень всех операций сформированного маршрута.

Повышение степени автоматизации размерного анализа технологических процессов обеспечивают разработанные В. Б. Масыгиным программы для ЭВМ «NORMAL» [6], и алгоритм, предложенный А. В. Мухолзоевым [8]. Характеристика программы: применение матрицы смежности графа для непосредственного расчета размеров и допусков.

1.2 Объект и Методы исследования

Объектом исследования являются методы автоматизированного анализа технологических размерных цепей.

Были проанализированы уже существующие методы автоматизации размерного анализа: метод И. А. Иващенко, метод В. В. Матвеева, метод О. Н. Калачева, метод И. Хармац, метод В. Б. Масагина и алгоритм А. В. Мухолзоева.

1.2.1 Метод И. А. Иващенко

Работа «Технологические размерные расчеты и способы их автоматизации» внесла значительный вклад в развитие автоматизации размерных расчетов.

Иващенко предоставил алгоритмы автоматизации не только размерных расчетов, но и проектирования технологических процессов. В своей методике Иващенко использует так называемый модульный тип технологического проектирования. Его суть состоит в следующем: каждая деталь представляет собой набор элементарных обрабатываемых поверхностей, и на каждую такую поверхность составляется собственный технологический процесс. Технологический процесс для каждой поверхности называется модулем.

Процесс составления технологического процесса обработки детали по модулям производится по алгоритму, общая схема которого представлена на рисунке 1 и 2. Блок схема состоит из нескольких частных алгоритмов. Наибольший интерес представляют алгоритмы 4, 5, 6, 7, 8 и 9.

В алгоритме 4 происходит первоначальное создание маршрутной технологии. Алгоритм формирует только те операции, которые были выбраны. Последовательность маршрутной технологии анализируется и формируется по заданными признакам: свойства материала, параметры заготовки, надобности в термической обработке. После чего выбирается оборудование и оснастка.

В алгоритме 5 происходит формирование переходов. Если имеется некоторое совмещение размеров, производится выбор тех размеров, которые заданы в чертеже.

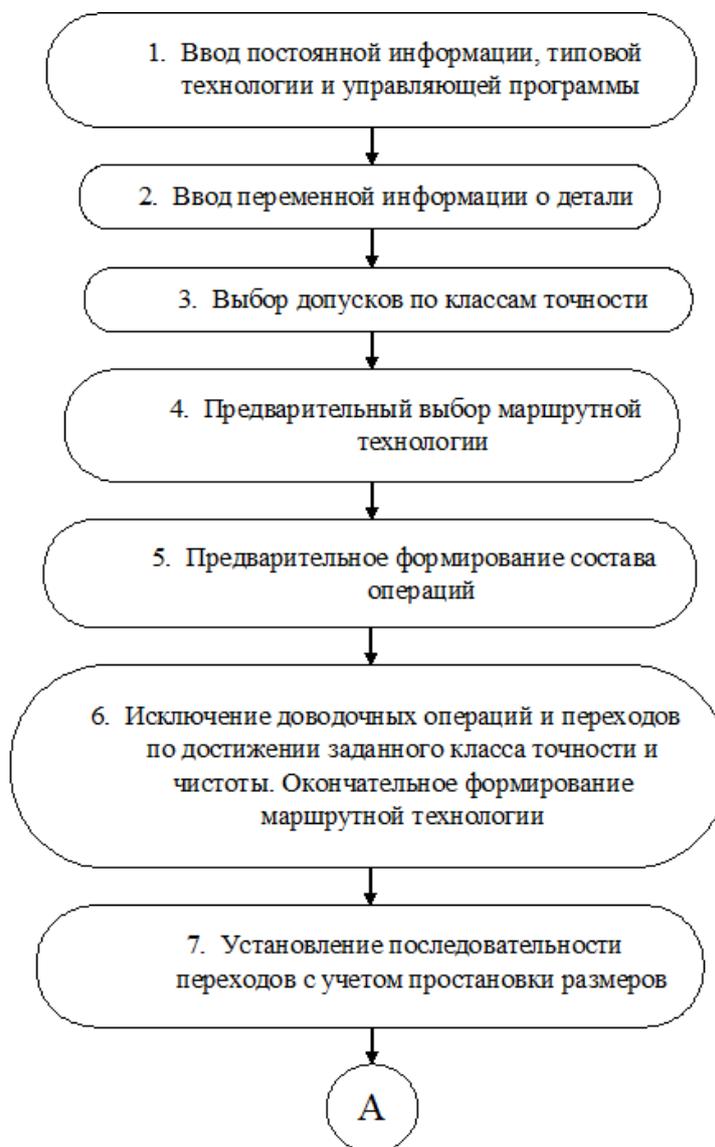


Рисунок 1 - Блок схема алгоритмов 1 - 7

В алгоритме 6 происходит изъятие операций и переходов, с последующим созданием маршрутной технологии.

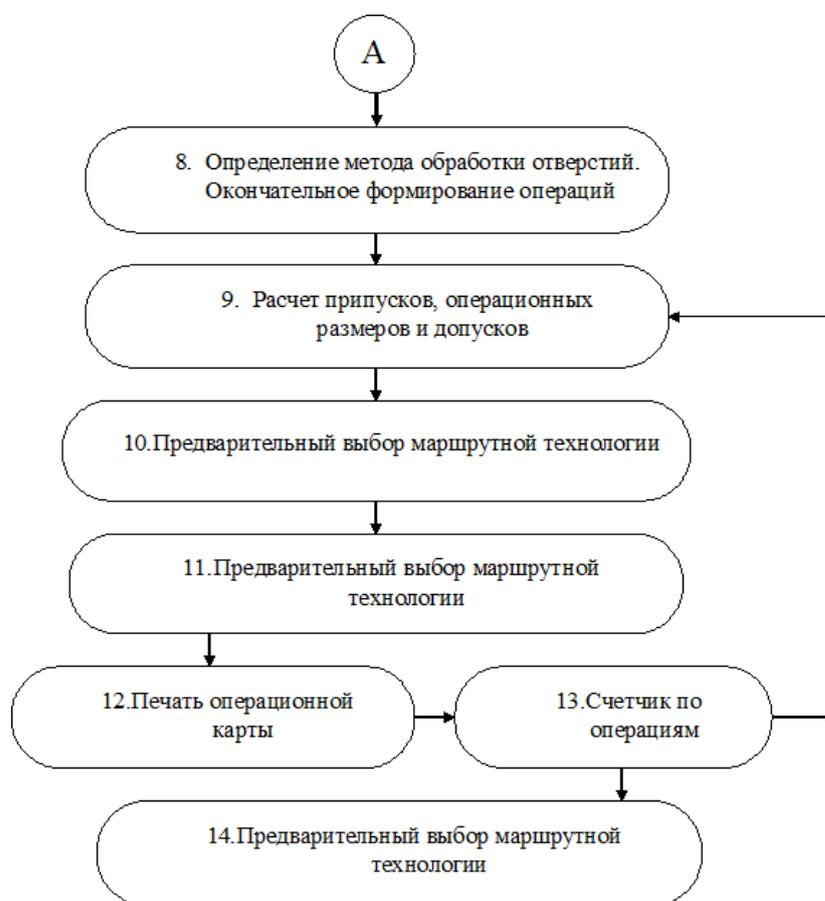


Рисунок 2 - Блок схема алгоритмов 8 - 14

В алгоритме 7 устанавливается последовательность переходов с учетом простановки размеров, а именно те, где выдерживаются линейные размеры.

Алгоритм 8 определяет метод обработки отверстий.

В алгоритме 9 в первую очередь происходит расчет припусков, после чего определяются операционные размеры и допуски.

Представленный алгоритм служит для автоматизированного проектирования типовых технологических маршрутов. Спроектированный таким образом маршрут обработки детали служит исходными данными для размерного расчета. Для иллюстрации работы алгоритма используем размерную схему обработки обоймы подшипника, изображенную на рисунке 3.

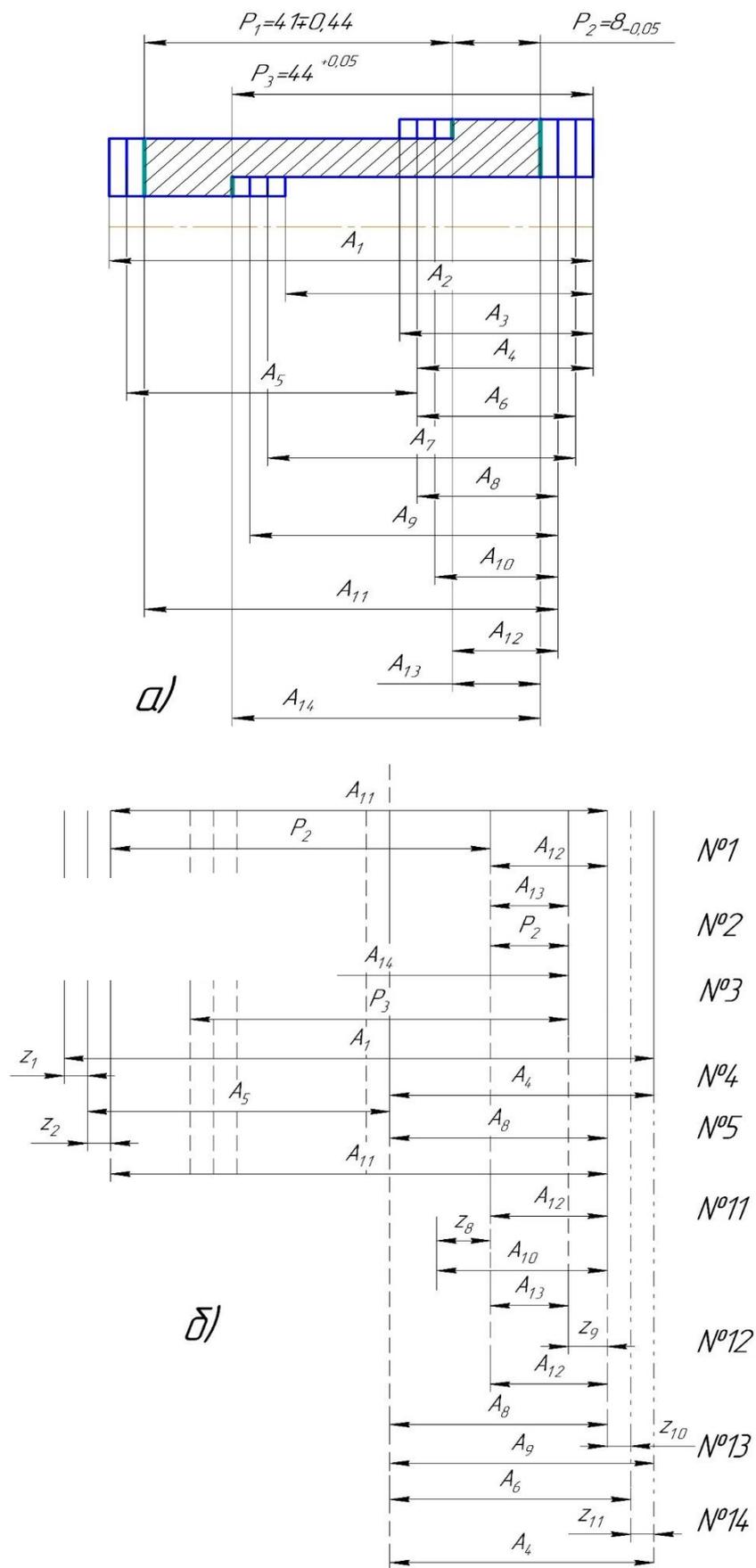


Рисунок 3 - Размерная схема (а) и размерные цепи (б)

Каждый размер кодируется индексами поверхностей, между которыми он расположен и содержит два индекса: левый и правый. Например, размер A_1 лежит между поверхностями с индексами 01 и 15 и кодируется как 0115.

Рассмотрим алгоритм на примере припуска z_9 , код звена которого 1213:

1. В первую колонку записать коды всех операционных размеров;
2. В последней строке первой колонки записать код замыкающего звена 1213 (z_9);
3. Каждый размер колонки проверяется на связанность: если хотя бы один из индексов не встречается у других размеров, то он исключается. В примере на рисунке 4 осталось 4 размера;
4. Оставшиеся размеры записываются в следующую колонку;
5. Пункты 3 и 4 повторяется до тех пор, пока все несвязанные размеры не будут исключены из колонки;
6. Оставшиеся в колонке размеры являются звеньями размерной цепи. В примере на рисунке 4 уже на втором повторе цикл завершается и звенья с кодами 1311 и 1112 являются составляющими звеньями размерной цепи с замыкающим звеном 1213 (z_9).

Следующим шагом будет составление уравнения размерной цепи:

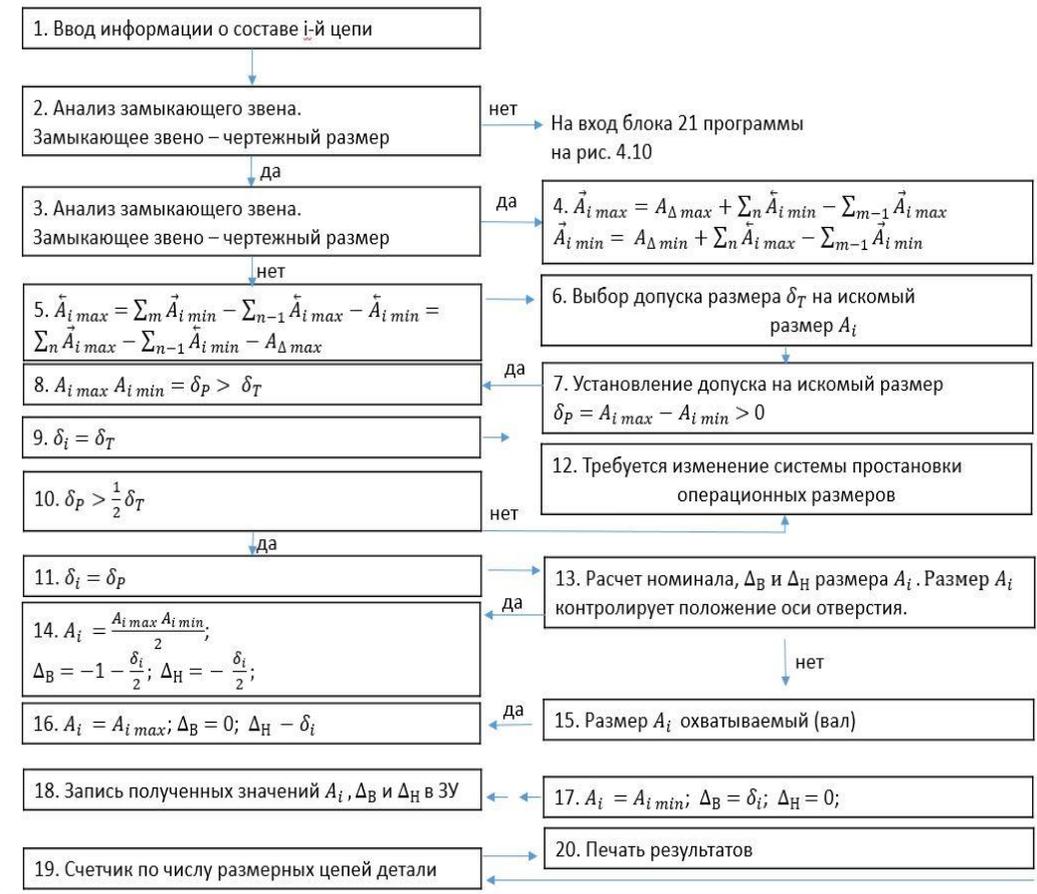
1. Коды составляющих звеньев размерной цепи выписываются в следующем порядке:
 - 1.1. Первым записывается код замыкающего звена (1213);
 - 1.2. Следующим записывается размер, левый индекс которого совпадает с правым индексом предыдущего. При необходимости индексы в коде можно поменять местами. Для рассматриваемого примера $1213 \rightarrow 1311$;
 - 1.3 Пункт 1.2 повторяется для всех размеров цепи. Для рассматриваемого примера $1213 \rightarrow 1311 \rightarrow 1112$;

<i>0115</i>	–	–
<i>0715</i>	–	–
<i>0815</i>	–	–
<i>1509</i>	–	–
<i>0902</i>	–	–
<i>0914</i>	<i>0914</i>	–
<i>1406</i>	–	–
<i>0913</i>	–	–
<i>1305</i>	–	–
<i>1310</i>	–	–
<i>1303</i>	–	–
<i>1311</i>	<i>1311</i>	<i>1311</i>
<i>1112</i>	<i>1112</i>	<i>1112</i>
<i>1213</i>	<i>1213</i>	<i>1213</i>

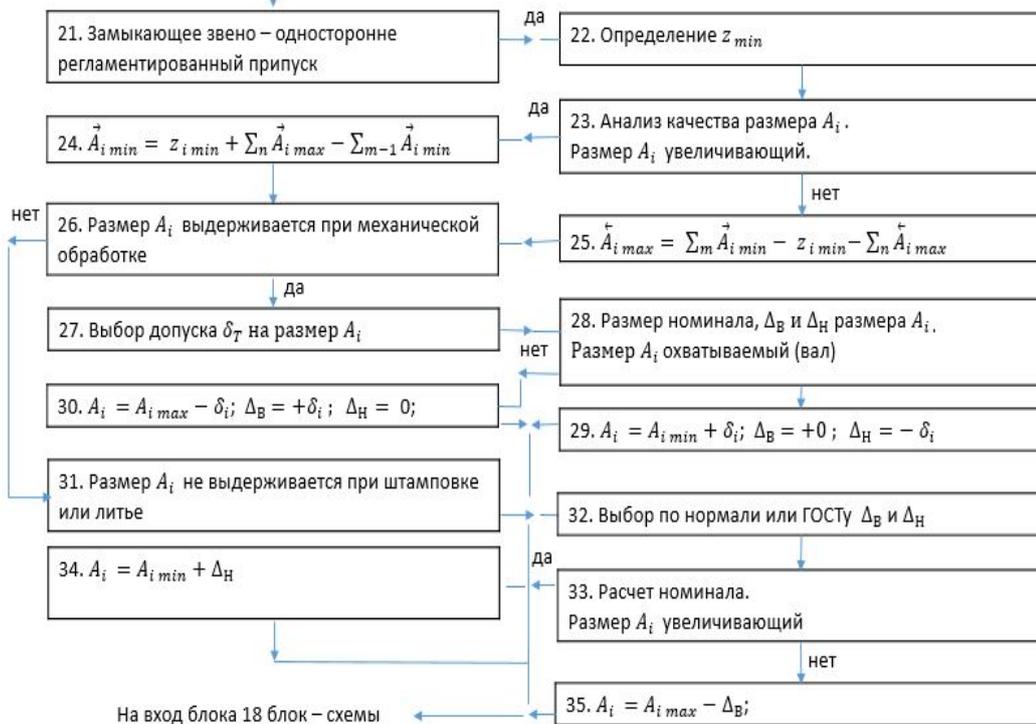
Рисунок 4 - Алгоритм выявления замыкающих звеньев размерной цепи

2. Если замыкающее звено проставлено с возрастанием индекса, то размеры, проставленные с возрастанием индекса, будут уменьшающими, а с уменьшением – увеличивающими. Таким образом, в рассматриваемом примере, уравнение размерной цепи: $1213 = 1311 - 1112$.

Таким же образом строятся остальные уравнения. Блок-схема общего алгоритма представлена на рисунке 5.



С выхода «нет» блока 2 блок – схемы (рис. 4.9)



На вход блока 18 блок – схемы
Рис. 4.9

Рисунок 5 – Блок - схема расчета линейных операционных размеров

Работы Иващенко не ограничивались программами для ЭВМ. Так же им были сконструированы и изготовлены устройства для размерных расчетов, вид этих устройств представлен на рисунке 6 и рисунке 7.

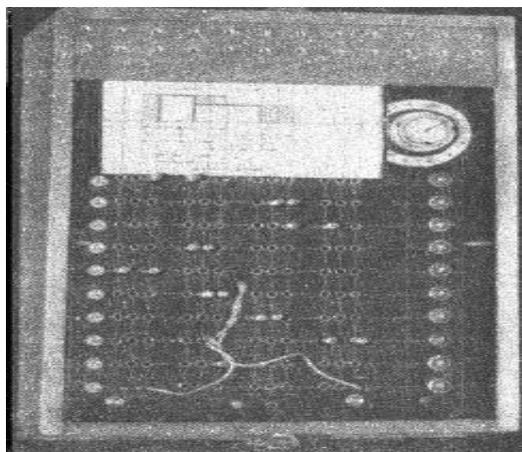


Рисунок 6 - Прибор моделирования размерных цепей

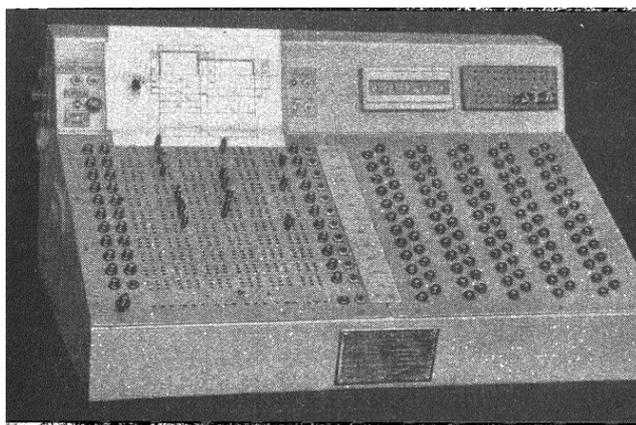


Рисунок 7 - Устройство Иващенко для расчета размерных цепей

Эти устройства используют способ электрического моделирования размерных цепей. Сущность способа заключается в следующем. Линейные операционные размеры представляют параллельно расположенными этим размерам отрезками токопроводов, присоединенными на концах к шинам перпендикулярного направления. Торцы, оси и плоскости обрабатываемой детали, между которыми расположены операционные размеры (или точнее, которые координируются линейными операционными размерами), представляются на модели шинами. Замыкающее звено цепи (чертежный размер, непосредственно не выдерживаемый при обработке или

операционный припуск) выполняют в виде источника постоянного тока, полюса которого подключены к шинам; между шинами расположено замыкающее звено данной размерной цепи. При подключении источника тока автоматически образуется замкнутый электрический контур, геометрически подобный контуру моделируемой размерной цепи. В этот контур войдут только те отрезки токопроводов, которые представляют составляющие размеры данной размерной цепи. О качестве составляющих размеров можно судить по направлению тока в соответствующих отрезках токопроводов. Принципиальная схема представлена на рисунке 8.

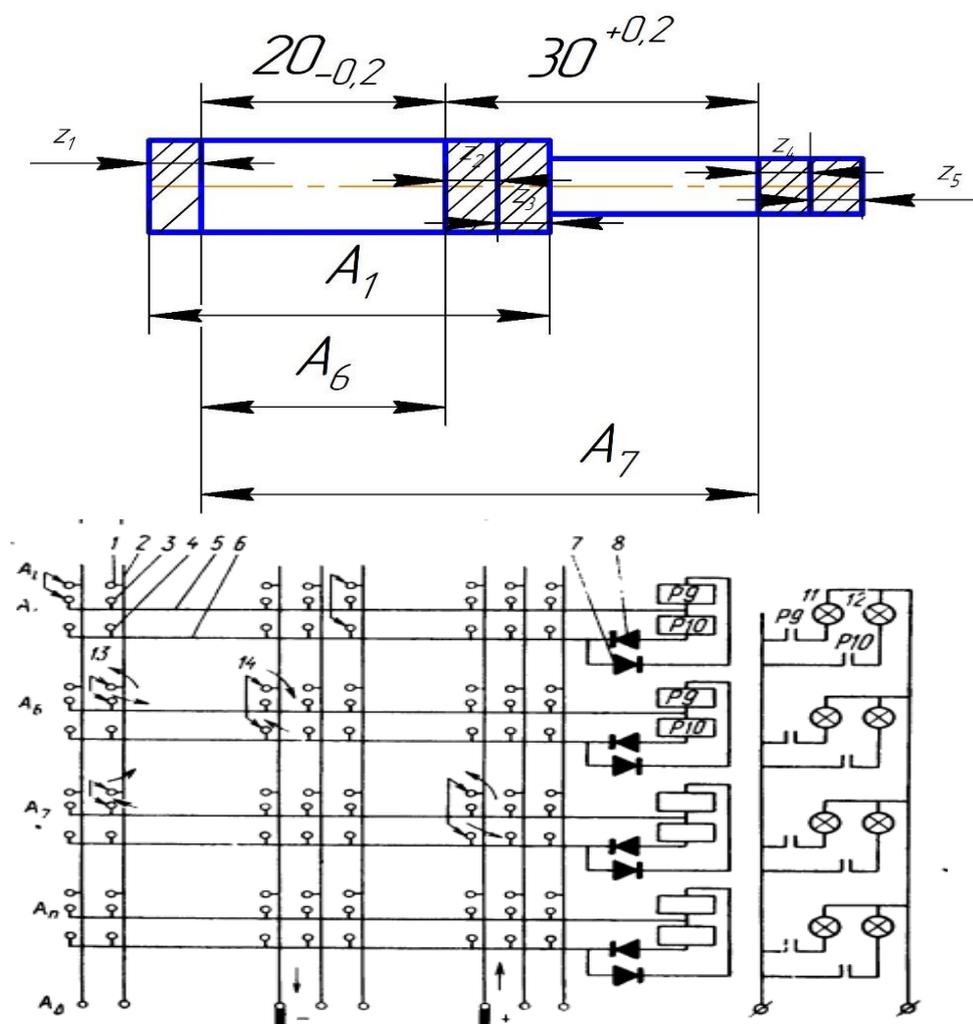


Рисунок 8 - Принципиальная схема прибора для электрического моделирования размерных цепей

1.2.2 Метод В. В. Матвеева

В. В. Матвеев в работе «Размерный анализ технологических процессов» описывает алгоритмы расчета технологических размерных цепей на совместимых ЭВМ общего назначения в том числе и на программируемых микрокалькуляторах.

В. В. Матвеев формирует размерную схему в виде таблицы для обратной задачи таблица 1, таблица 2 для прямой.

Рассмотрим пример работы программы В. В. Матвеева на примере размерного расчета детали «Вал с пазом», чертеж которого представлен на рисунке 9.

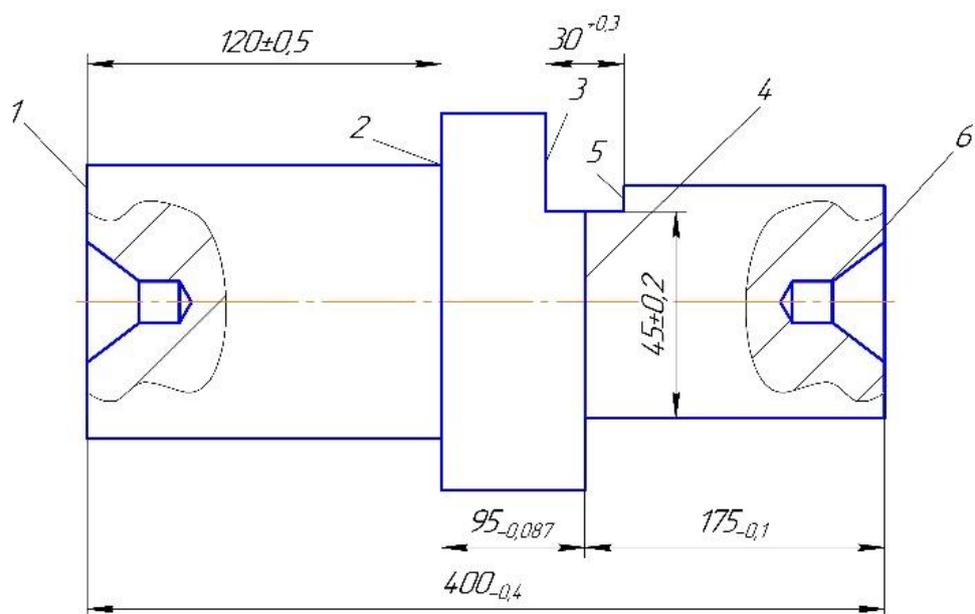


Рисунок 9 - Чертеж вала с пазом

Таблица 1 - Исходные данные для решения обратной задачи

Обозначение	Группа	Код	Признак		A	Δ_B	Δ_H	Δ_ω	A_{cp}	$\frac{\omega}{2}$	A_{min}	A_{max}	t, 2	Код округления	Применение
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$A_{\Delta\Phi}$ A_Δ A_1 A_2 A_3	1≠ 8 + 8 + 7 +	00-00 — — —	пров изо изо изп	 +1 -1 -1	 50 30 19,1	 +0,2 +0,5 +0,2	 -0 -0,5 -0,4	 +0,1 0 -0,1	 50,1 30 19	 0,9 0,1 0,5 0,3	 0,2 0,15	 2,0 2,05		 00 — —	 $V_H = 0,05$ $V_B = 0,05$ $e = 0$
$B_{\Delta\Phi}$ B_Δ B_1 B_2 B_3	1≠ 8 + 8 + 7 +	— — — —	пров изо изо изп	 +1 -1 -1	 50 30 19,1	 +0,2 +0,5 +0,2	 -0 -0,5 -0,4	 +0,1 0 -0,1	 50,1 30 19	 0,59 0,1 0,5 0,3	 0,51 0,15	 1,69 2,05	 3,0 0,111 0,111 0,111	 — — —	 $V_H = 0,36$ $V_B = 0,36$ $e = 0$
$B_{\Delta\Phi}$ B_Δ B_1 B_2 B_3 $B_{заз}$	1≠ 8 + 8 + 7 +	— — — —	пров изо изо изп заз	 +1 -1 -1	 50 30 19,1	 +0,2 +0,5 +0,2	 -0 -0,5 -0,4	 +0,1 0 -0,1	 50,1 30 19	 0,7 (0,1) (0,5) (0,3)	 0,4 0,15	 1,8 2,05		 — — —	 $V_H = 0,25$ $V_B = 0,25$ $e = 0$

Таблица 2 - Исходные данные для решения прямой задачи

Обозначение	Группа	Код	Признак		A	Δ_B	Δ_H	Δ_ω	$A_{ср}$	$\frac{\omega}{2}$	A_{min}	A_{max}	t, л	Код округления	Применение
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$A_{\Delta\Phi}$ A_Δ A_1 A_2 A_0	2 = 6 - 6 +	21-20 10-20 10-21 10-20	мин опр опр	+1 -1	22,5 23	+1,3 +1,3	-0,7 -0,7	+0,3 -0,2	2,2 1,7 22,8 21,1 23,3	1,2 1,2 1 0,2 1	1 0,5	3,4 5		990	$V_H = 0,5$ $V_B = 1,6$ В (5)
$B_{\Delta\Phi}$ B_Δ B_1 B_2 B_3 B_0	2 = 6 - 6 + 6 +	31-30 10-30 10-21 21-31 10-30	мин опр опр опр	+1 -1 -1	52,1 53	+1,5 +1,5	-0,7 -0,7	+0,4 -0,2 -0,1	2,8 1,9 52,5 21,1 29,5 53,4	1,4 1,4 1,1 0,2 0,1 1,1	1,4 0,5	4,2 5		990	$V_H = 0,9$ $V_B = 0,8$ Д (4)
$V_{\Delta\Phi}$ V_Δ V_1 V_2 V_0	2 = 6 + 6 -	10-11 11-21 11-22 11-21	мин опр опр	-1 +1	21,3 21,3	+0 +0	-0 -0,4	-0,1 -0,2	0,8 0,8 20,3 21,1 21,1	0,3 0,3 0,1 0,2 0,2	0,5 0,5	1,1 5		100	$V_H = 0$ $V_B = 3,9$ Г (3)
$\Gamma_{\Delta\Phi}$ Γ_Δ Γ_1 Γ_2 Γ_0	2 = 6 - 6 +	20-21 11-21 11-22 11-21	мин опр изо	+1 -1	20,32 20 20,4	+0 +0 +0	-0,2 -0,1 -0,2	-0,1 -0,05	0,35 0,27 20,22 19,95 20,3	0,15 0,15 0,1 0,05 0,1	0,2 0,12	0,5 1		100	$V_H = 0,68$ $V_B = 0,5$ (1)
$D_{\Delta\Phi}$ D_Δ D_1 D_2 D_0	3 = 6 - 6 +	11-31 21-31 11-21 21-31	сред опр опр	+1 +1	29,6 29,6	+0 +0	-0,2 -0,2	-0,1 -0,1	49,8 49,8 29,5 20,3 29,5	0,2 0,2 0,1 0,1 0,1	49,6 49,6	50 50		100	$V_H = 0$ $V_B = 0$ Г (2)

Технологический маршрут обработки представлен в таблице 3.

Таблица 3 - Технологический маршрут изготовления детали

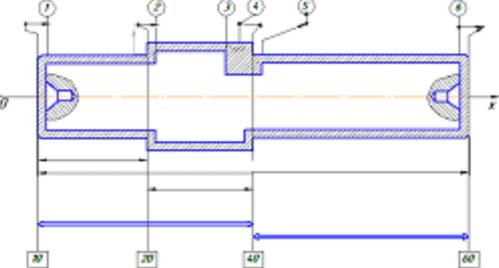
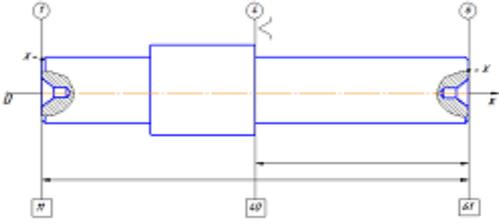
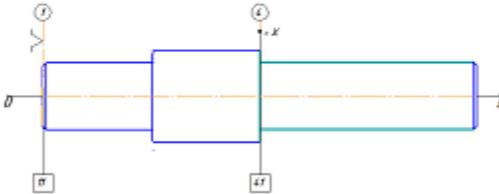
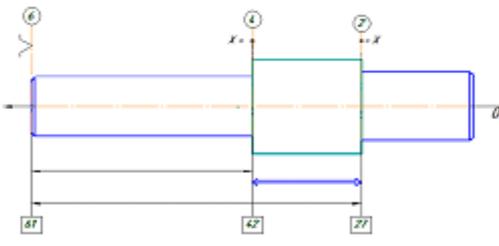
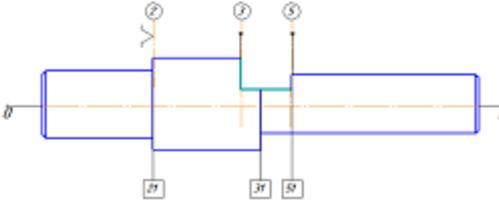
№ операции	Эскиз	Размеры
0 Заготови- тельная		<p>6 – 10 – 20 опр + 0,7 – 0,3 6 – 10 – 60 опр + 1,7 – 0,3 6 – 20 – 40 опр + 1,3 – 0,7 Размеры для справок: 5 = 10 – 40 заз ± 1,1 5 = 40 – 60 заз ± 1,25</p>
10 Фрезерно- центральная		<p>2 = 61 – 60 мин 0,2 ... 4,0 6 – 40 – 61 опр + 0 – 1,15 2 = 10 – 11 мин 0,2 ... 4,0 8 + 11 – 61 изо 400 + 0 - 0,4</p>
20 Токарная		<p>2 = 41 – 40 мин 0,2 ... 2,5 6 – 11 – опр + 0 – 0,29</p>
30 Токарная		<p>2 = 20 – 21 мин 0,2 ... 4,0 6 – 21 – 61 опр + 0 – 0,32 2 = 42 – 41 мин 0,05 ... 1,15 6 = 42 – 61 опр + 0 – 0,29 Размеры для справок 5 = 21 – 42 заз ± 0,05</p>
40 Фрезерная		<p>6 – 21 – 31 опр + 0 – 0,30 7 + 31 – 51 изп + 30 + 0,2 – 0</p>

Таблица 3 – Продолжение

№ операции	Эскиз	Размеры
50 Электрохимическая		Расправливание поверхностей 3 и 5. 7 + 35 – 31 изп 0 + 0,05 – 0 7 + 51 – 52 изп 0 + 0,05 – 0
60 Шлифовальная		2 = 21 – 22 мин 0,05 ... 0,5 8 + 22 – 42 изп 95 + 0 – 0,087

На основе спроектированного технологического процесса составляется размерная схема на рисунке 10.

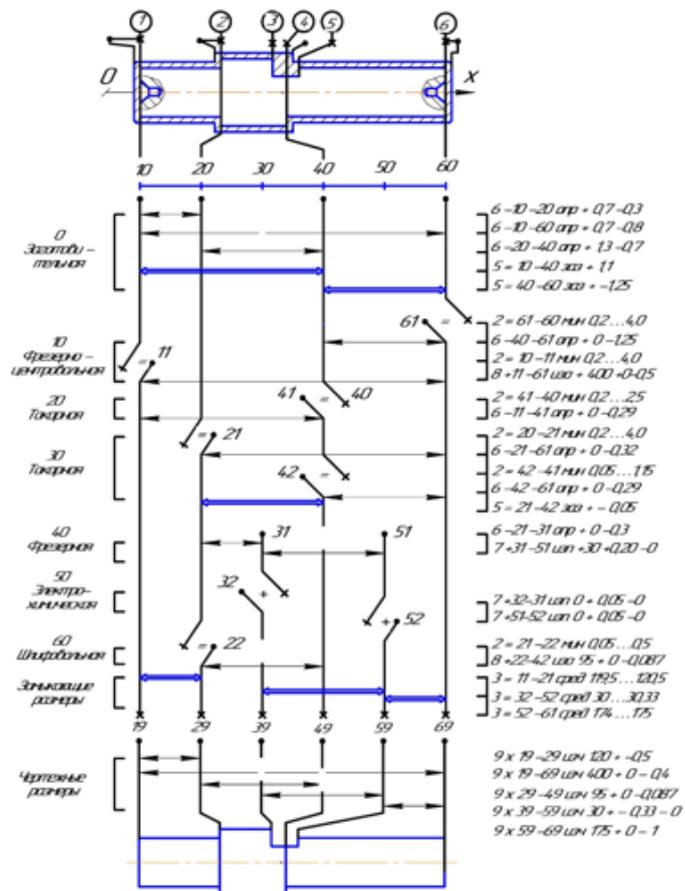


Рисунок 10 - Размерная схема и кодирование информации для ЭВМ

Программа автоматически формирует размерные цепи и выводит результат на печать. Для рассматриваемого примера результат будет напечатан в виде рисунка 11.

Цепь

$$3 = 52 = 61 \leftarrow 21 \rightarrow 31 \rightarrow 51 \rightarrow 52$$

$$3 = 11 = 22 \rightarrow 42 \rightarrow 61 \leftarrow 11$$

$$2 = 21 = 22 \rightarrow 42 \rightarrow 61 \leftarrow 21$$

$$2 = 41 = 40 \rightarrow 61 \leftarrow 40 \leftarrow 20 \leftarrow 10$$

$$2 = 61 = 60 \leftarrow 10 \rightarrow 20 \rightarrow 40 \rightarrow 61$$

$$5 = 21 = 42 \rightarrow 61 \leftarrow 21$$

$$5 = 10 = 40 \leftarrow 20 \leftarrow 10$$

Конец

Рисунок 11 - Размерные цепи, сформированные программой

Ввод и вывод данных производится через текстовые файлы, содержание файлов, имеет условные обозначения:

- (18_48) — составляющее звено размерной цепи (РЦ);
- (18) — код (номер) левой границы звена (число цифр не более пяти);
- (48) — код (номер) правой границы звена (число цифр не более пяти);
- 2(3_4) — диаметральный размер звена или полное радиальное биение;
- (3_4) ном — номинальное значение звена РЦ;
- (3_4) ср — среднее значение звена РЦ;
- (3+4) — известное составляющее звено РЦ;
- (1-4) — определяемое составляющее звено РЦ;
- (5~6) — заменяющее звено с известными предельными отклонениями;
- [1_2] — замыкающее звено РЦ;
- [1#2] — замыкающее звено обратной (проверочной) задачи;
- [1=2] — замыкающее звено при решении прямой (проектной) задачи;
- {5~6} — заменяющее-замыкающее звено;
- T (3_4) — поле допуска исходного или составляющего звена;
- T (3_4)/2 — полуколебание поля допуска составляющего звена;

$W [1_2]$ — поле рассеяния замыкающего звена;

$W [1_2]/2$ — полуколебание поля рассеяния замыкающего звена;

$T (5\sim 6)$ — поле допуска заменяющего звена;

$W \{5\sim 6\}$ — поле рассеяния заменяющего-замыкающего звена;

Зап по \min — запас по наименьшему предельному значению замыкающего звена;

Зап по \max — запас по наибольшему предельному значению замыкающего звена.

При подготовке исходной информации, запись размеров осуществляется с помощью цифровых кодов, которые предусматривают возможность ввода в ЭВМ всех разновидностей звеньев цепей, причем каждое замыкающее и составляющее звено относится к одной из десяти групп, указанных в таблице 4 и таблице 5.

Таблица 4 - Группы замыкающих звеньев

0	#	Расч	Звено, исходные параметры которого не заданы, но могут быть установлены в результате расчета его предельные значения
1	#	Пров	Звено с заданными для проверки предельными значениями
2	=	Мин	Звено с заданным наименьшим предельным значением
3	=	Сред	Звено с заданным средним значением
4	=	Макс	Звено с заданным наибольшим предельным значением
5	~	3-3	Звено, с помощью которого заменяются составляющие звенья в цепи с компенсирующимися погрешностями

Таблица 5 - Группы составляющих звеньев

6	-	Опр	Звено с заданными предельными отклонениями, номинальное значение которого определяется расчетом
7	+	ИзвП	Звено - промежуточный операционный размер с известным номинальным значением и предельными отклонениями
8	+	ИзвО	Звено - окончательный операционный размер с известным номинальным значением и предельными отклонениями
9	+	ИзвЧ	Исходный чертежный размер

После формирования цепей, программа производит их расчет и выводит результаты в виде на рисунке 12.

Решение

цель 3 = 52 = 61 ← 21 → 31 ↔ 51 ↔ 52
 6 = 21 - 31 75*468(0*000 - 0*300) 75*318 (+-0*150)
 3 = 52 - 61 174*065 *** 174*935 174*500 (+-0*435)
 запас = 0*065 в запас = 0*065

цель 3

цель 3 = 11 = 22 ↔ 42 → 61 ← 11
 6 = 42 - 61 184*988 (0*000 - 0*290) 184*843 (+-0*145)
 3 = 11 - 22 119*611 *** 120*388 120*000 (+-0*388)
 запас = 0*111 в запас = 0*111

цель 2

цель 2 = 21 = 22 ↔ 42 → 61 ← 21
 6 = 21 - 61 280*103 (0*000 - 0*320) 279*943 (+-0*160)
 2 = 21 - 22 0*050 *** 000*237 0*143 (+-0*093)
 запас = 0*000 в запас = 0*263

цель 2

цель 2 = 41 = 40 → 61 ← 11 → 41
 6 = 40 - 61 183*758 (0*000 - 1*150) 183*183 (+-0*575)
 2 = 41 - 40 0*200 *** 2*040 0*120 (+-0*920)
 запас = 0*000 в запас = 0*460

цель 5

цель 5 = 21 = 42 → 61 ← 21
 6 = 21 - 61 280*103 (0*000 - 0*320) 279*943 (+-0*160)
 5 = 21 - 22 0*050 *** 000*237 0*143 (+-0*093)
 запас = 0*000 в запас = 0*263

цель 5

цель 5 = 10 = 40 ← 20 ← 10
 6 = 10 - 20 119*796 (0*700 - 0*800) 403*900 (+-1*250)
 5 = 61 - 60 0*200 *** 3*850 2*025 (+-1*825)
 запас = 0*000 в запас = 0*150

Рисунок 12 - Результаты расчета

Алгоритмы, полученные в результате исследований Матвеева использованы для создания пакета прикладных программ (ППП) «Visual KursAR» [4].

В программе Автоматизированного Расчета размерных цепей ППП «КурсАР» используется цифровая форма записи от левой границы размерной связи или выносной линии отсчета размера до правой.

Размерная цепь фиксируется только тогда, когда в контур из составляющих размеров включено замыкающее звено. Результаты расчетов выводятся в виде текстового файла.

Несомненным достоинством ППП «КурсАР» являются широкие возможности выбора заготовки, задания и редактирования конструкторских и операционных размеров, редактирования технологического процесса.

1.2.3 Модуль технологического размерного анализа Grakon 7 О. Н. Калачева

Grakon 7 является модулем программы AutoCAD, который моделирует заготовку на стадии проектирования. Применяет теорию размерных цепей совместно с теорией графов [3].

Работа в программе происходит в несколько этапов:

- Производится загрузка чертежа, который анализируется, определяются поверхности, где имеется связь с конструкторскими размерами. После чего вводятся значения предельных размеров, и программа создается список, содержащий наибольшие и наименьшие значения размеров, а также информацию о расположении поверхностей, рисунок 13.

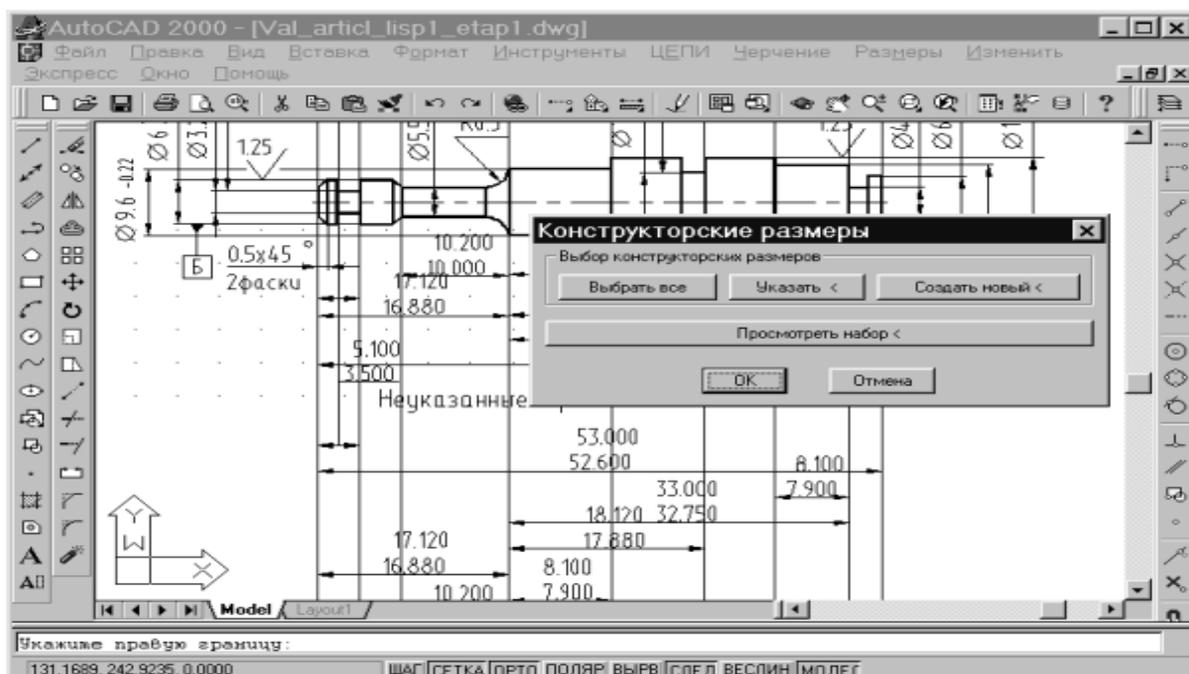


Рисунок 13 - Ввод конструкторских размеров

- Производится ввод припусков, рисунок 14.

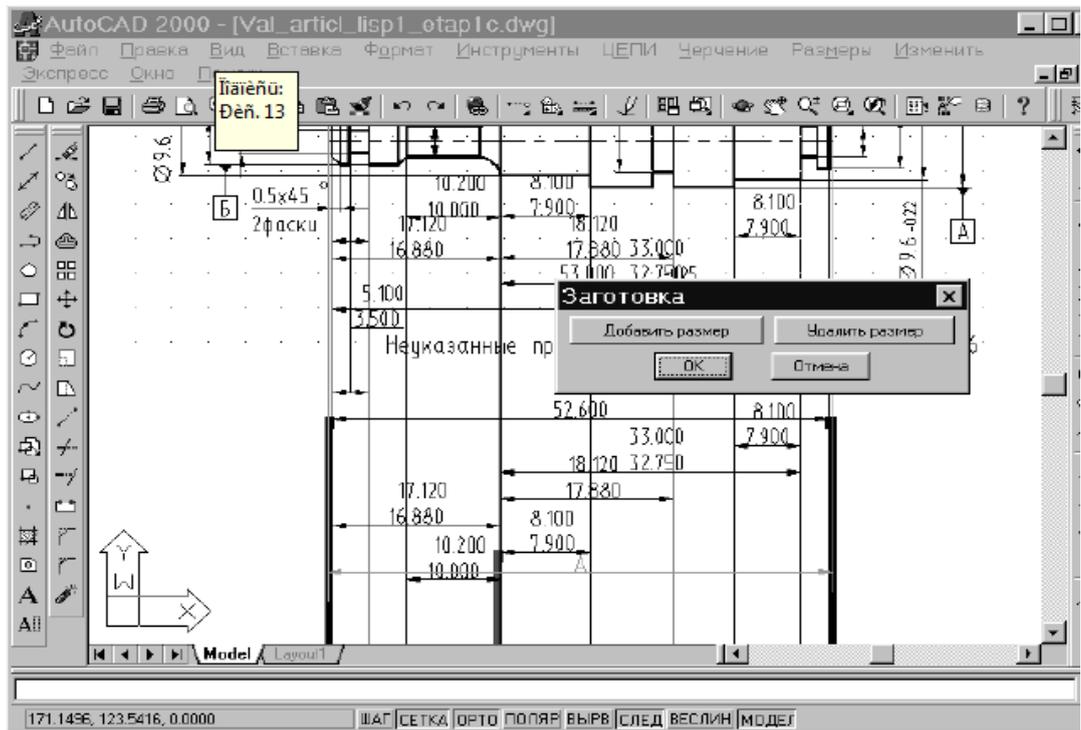


Рисунок 14 - Ввод припусков

- Производится назначение размеров заготовки, рисунок 15.

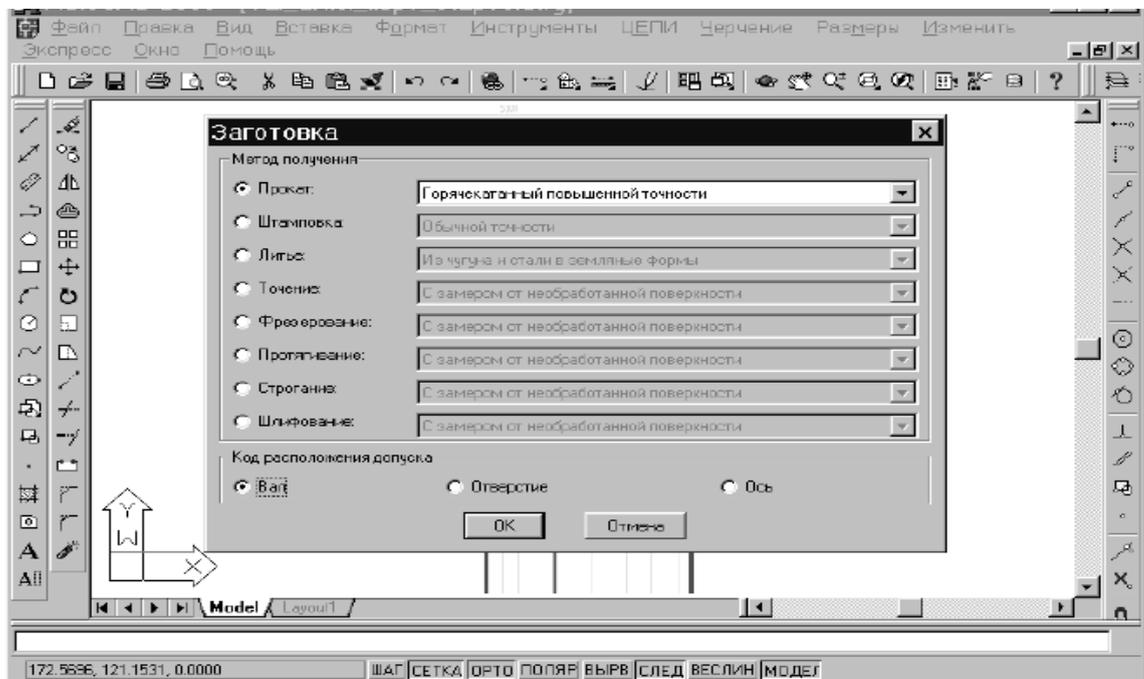


Рисунок 15 - Параметры заготовки

- Выбирается положения и метод получения технологических размеров, выдерживаемых при обработке.

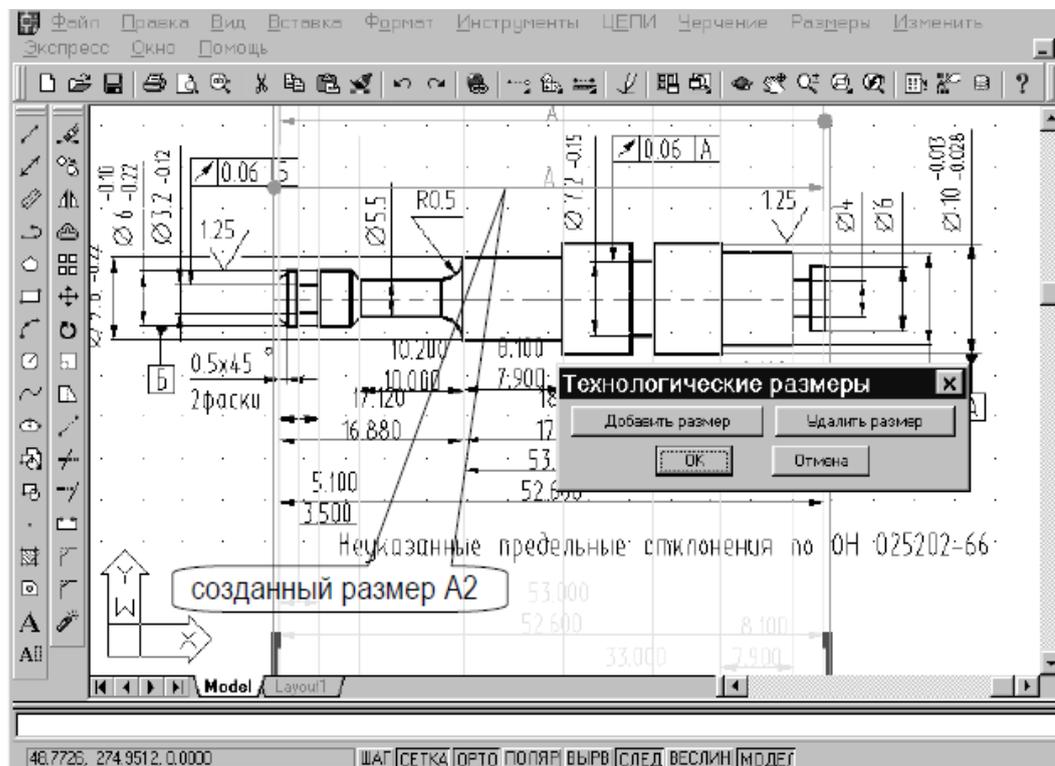


Рисунок 16 - Ввод технологических размеров

В результате создается вторичная модель, соответствующая первичной структурной модели - графу технологических размерных цепей.

1.2.4 Модуль технологического размерного анализа компании «АСКОН»

Вклад в развитие автоматизированного расчета размерных цепей внесла компания «Аскон» с модулем расчета размерных цепей программы «Компас – 3Д» [4]. Данный модуль имеет возможность решать обратную задачу, зная значения номинальных размеров, допусков и предельных отклонений. Определяется номинальный размер, допуск и предельные отклонения замыкающего звена. Цепи рассчитываются методом максимума – минимума. Недостатком является то, что графические и цифровые данные необходимо вводить в программу вручную, задействуя многочисленное количество «окон» для введения данных. Интерфейс модуля представлен на рисунке 17.

Цепь	Н	Ном.	ВО	НО	П	У.ВО	У.НО	Д.ВО	Д.НО
01.00		26,37	0,370	0,000				0,000	0,000
01.01		41,37	0,370	0,000				0,000	0,000
01.02*		15,00	0,370	-0,370				0,000	0,000

Рисунок 17 - Модуль расчета размерных цепей

Заменой модуля «Компас – 3Д», стала система технологической подготовки производства «Вертикаль», имеющая в своем арсенале модуль для расчета размерных цепей.

1.2.5 Программа для технологического размерного анализа «NORMAL»

Программа «NORMAL» использует кромочную модель [5]. Это удобно тем, что характеризуются погрешности формы, расположения и точности поверхностей. Алгоритм составляет матрицы смежности, содержащие информацию для расчета. Суть алгоритма состоит из последовательного заполнения всех пустых клеток в матрицах смежности. Недостатком является то, что для расчета программы подходят только осесимметричные детали. Расчет происходит методом максимумов – минимумов. Интерфейс программы представлен на рисунок 18.

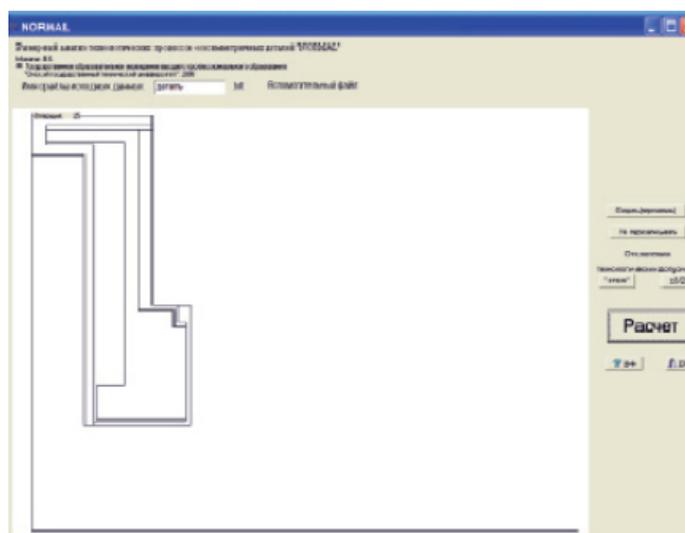


Рисунок 18 - Интерфейс программы «NORMAL»

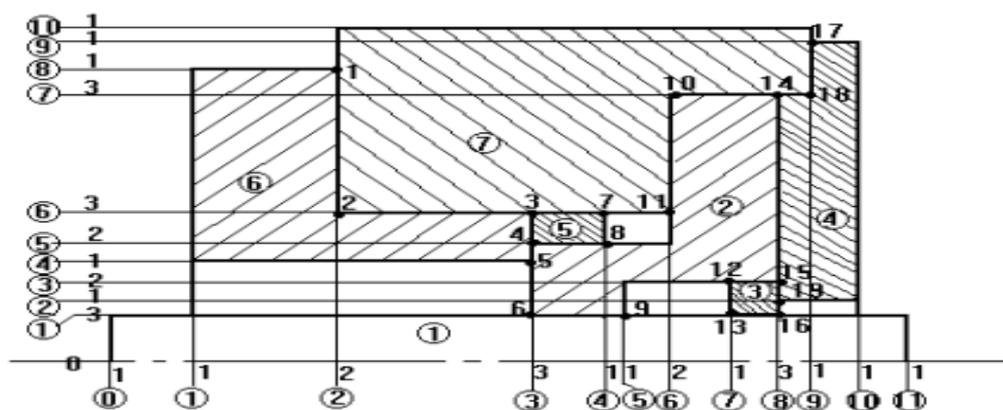


Рисунок 19 - Кромочная модель

Пример работы алгоритма рассмотрен на примере рисунке 20.

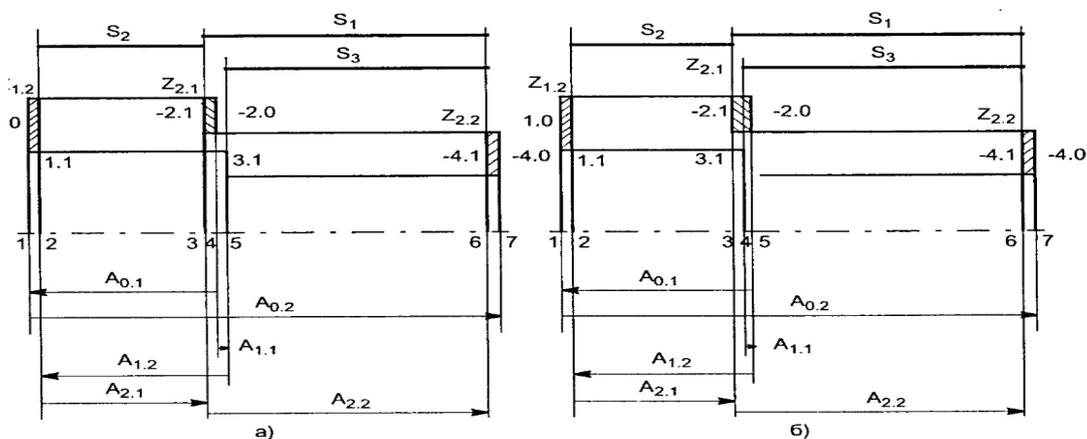


Рисунок 20 - Размерная схема технологического процесса

Границы размеров в существующих методах расчета линейных технологических размеров задаются путем обозначения всех торцов на размерной схеме последовательно возрастающими номерами слева направо возле осевой линии. Предлагаемый метод расчета линейных технологических размеров основан на применении в качестве исходных данных математической модели детали и модели технологического процесса вместо размерной схемы технологического процесса и на применении матричного представления графа. Торцы детали обозначаются последовательно возрастающими номерами. Группа торцов возникает при удалении припусков с одной поверхности. Торцы на размерной схеме обозначаются положительными и отрицательными числами с десятичными дробями, целая часть которых указывает номер торца готовой детали, а дробная часть —

ступень обработки (0 — заготовка, 1 — первая ступень и т. д.). Знак фиксирует направление — вправо (знак "-") или влево (знак "+"). Преимущество такого обозначения в том, что ряд чисел, обозначающих определенную группу торцев, всегда должен возрастать. Тем самым упрощается и автоматизируется построение исходной размерной схемы технологического процесса с последовательным расположением слева направо групп торцев, связанных с торцами готовой детали. На рисунке 21 расположение торцев слева направо будет (1.0, 1.1, -2.1,-2.0, 3.1,-4.1,-4.0).

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	Z ₁₂ CP					
2		0	S ₂ CP				
3			0	Z ₂₁ CP		S ₁ CP	
4				0			
5					0	S ₃ CP	
6						0	Z ₂₂ CP
7							0

	1	2	3	4	5	6	7
1	0			A ₀₁ CP			A ₀₂ CP
2		0	A ₂₁ CP		A ₁₂ CP		
3			0			A ₂₂ CP	
4				0	A ₁₁ CP		
5					0		
6						0	
7							0

10	11	-21	-20	31	-4.1	-4.0
----	----	-----	-----	----	------	------

10	11	-21	-20	31	-4.1	-4.0
----	----	-----	-----	----	------	------

Рисунок 21 - Матрицы смежности средних конструкторских размеров и припусков, и средних размеров

1. Проверяется первая строка в матрице смежности до момента нахождения заполненной клетки в столбце с индексом k , получая значение A_{1k} , после чего перемещается на строку с индексом k . В этой строке исследуются и находятся заполненные клетки. Если в столбце p нет заполненной клетки с индексом A_{kp} , то производится суммирование клеток A_{kp} и A_{1k} . Результат заносится в 1 строку столбца p . Далее продолжается перебор всех клеток в строке.
2. Повторяется просмотр первой строки. Если клетка A_{1k} столбца k нулевая, то происходит переход в строку k для поиска ненулевых клеток. Обнаружив известный элемент, например, в столбце p (клетка A_{kp}), проверяем, есть ли известный элемент A_{1m} в этом же столбце p в 1 строке. Если нет, то продолжается перебор элементов строки k . Если есть известный элемент S_{1p} в этом же столбце p в 1 строке, то отнимаем

от элемента первой строки S_{1p} элемент строки S_{kp} и помещается результат на место исходного неизвестного элемента S_{1k} .

3. 1 и 2 пункт повторяются до тех пор, пока не будут заполнены все клетки.

1.2.6 Размерный анализ технологических процессов за рубежом

Автоматизация размерного анализа за рубежом представлена диаграммой допусков, основанной на теории графов. Работа Грэма А. Бриттона, Кенета Вайбрю, Йонгюв Сермсьютюиануват (Graeme A. Britton, Kenneth Whybrew, Yongyooth Sermsutianuwat) описывает алгоритмы расчета номинальных размеров и допусков [6].

Пример алгоритма основан на технологическом процессе производства изделия, эскиз которого представлен на рисунке 22, так же представлен чертеж заготовки на рисунке 23 и технологический процесс обработки на рисунке 24.

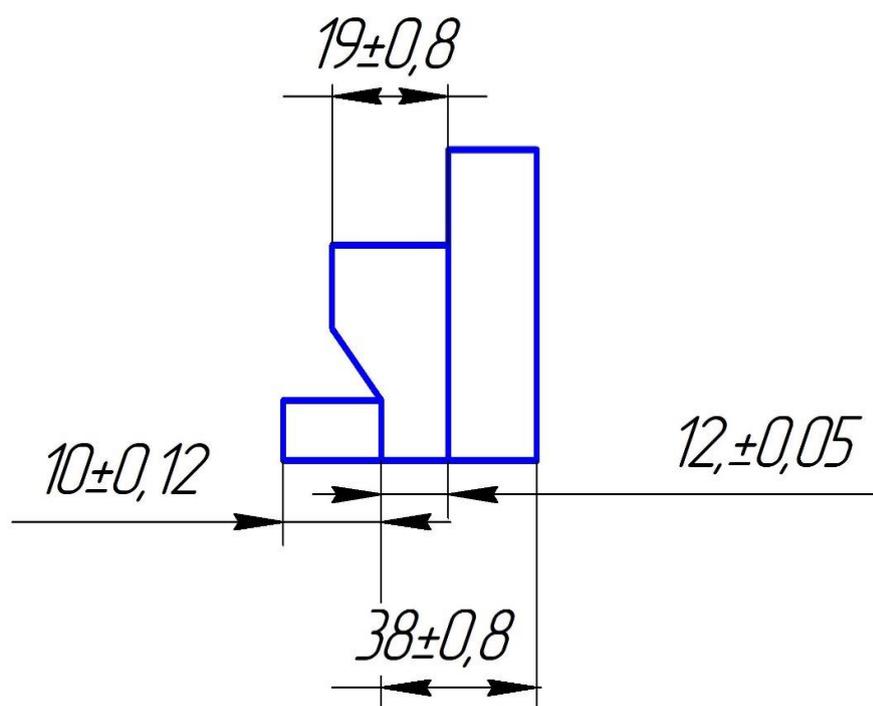


Рисунок 22 - Эскиз изделия

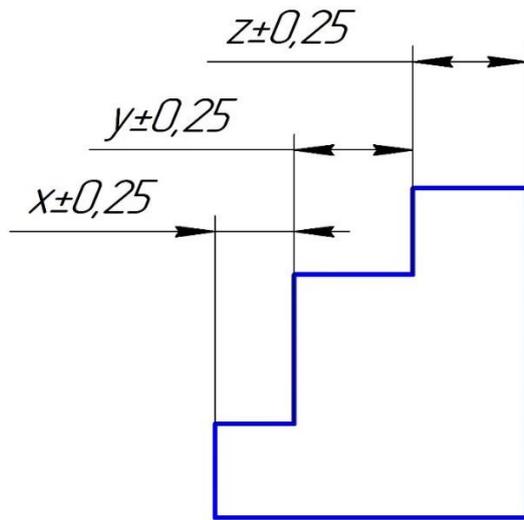


Рисунок 23 - Эскиз заготовки

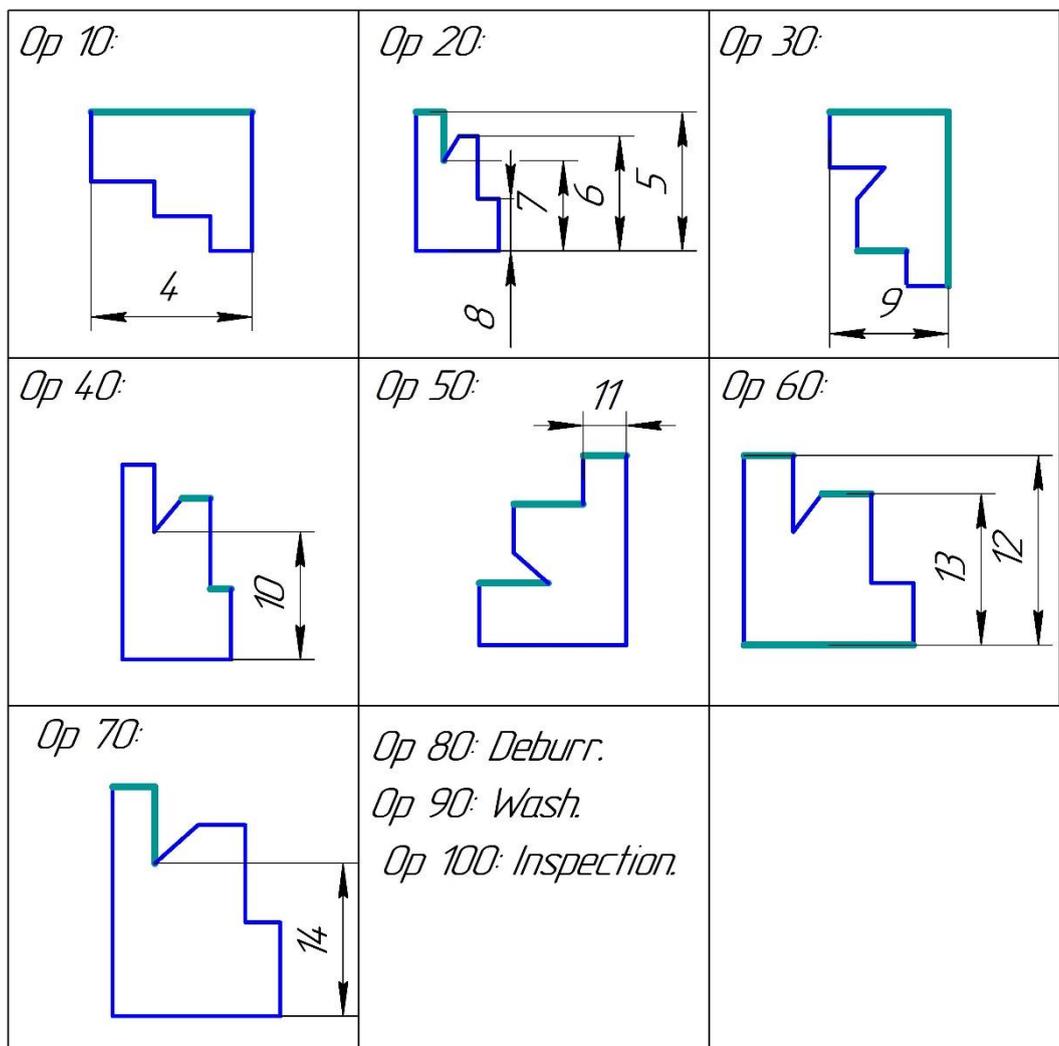


Рисунок 24 - Технологический процесс обработки

Алгоритм состоит из 12 шагов:

1. Построить размерную схему технологического процесса обработки.
Пример представлен на рисунке 25.
2. Сгруппировать поверхности, связанные припуском. Например, поверхность С в строке 7 рисунок 26, является результатом обработки поверхности С1.

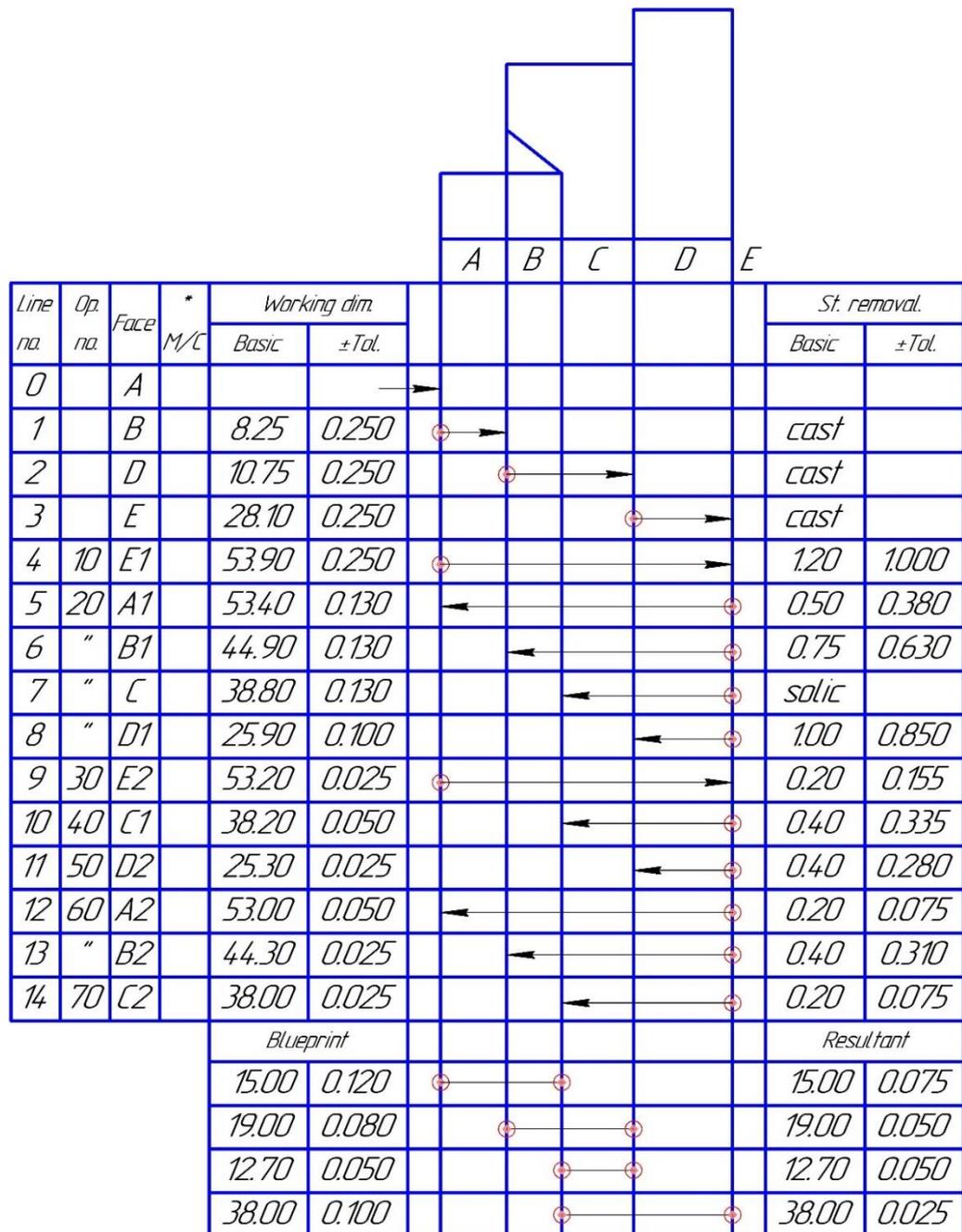


Рисунок 25 - Размерная схема технологического процесса.

3. Рассчитать неизвестные операционные размеры. Исходные данные и результаты расчета записываются в соответствующую матрицу, представленную на рисунке 25, так же на рисунке приведены исходные размеры и основные уравнения для расчета.

Blueprint dimensions

AC 15.00

BD 19.00

CD 12.70

CE 38.00

	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
<i>A</i>		<i>8.70</i>	<i>15.00</i>	<i>27.70</i>	<i>53.00</i>
<i>B</i>			<i>6.30</i>	<i>19.00</i>	<i>44.30</i>
<i>C</i>				<i>12.70</i>	<i>38.00</i>
<i>D</i>					<i>25.30</i>
<i>E</i>					

$$DE = CE - CD = 38.00 - 12.70 = 25.30$$

$$BE = BD + DE = 19.00 + 25.30 = 44.30$$

$$BC = BD - CD = 19.00 - 12.70 = 6.30$$

$$AE = AC + CE = 15.00 + 38.00 = 53.00$$

$$AD = AC + CD = 15.00 + 12.70 = 27.70$$

$$AB = AC - BC = 15.00 - 6.30 = 8.70$$

Рисунок 26 - Исходные размеры, матрица размеров, основные уравнения

4. Назначить операционные допуски.
5. Рассчитать допуски замыкающих звеньев.
6. Провести припусков на содержание гарантированного запаса материала на обработку.
7. Рассчитать операционные допуски.

Работы по автоматизации размерного анализа продолжил и дополнил В. К. А. Ngoi. Эта методика так же предполагает построение размерной схемы технологического процесса (представлена на рисунке 27, 28, 29) и, на ее основе, граф-дерева (представлено на рисунке 30).

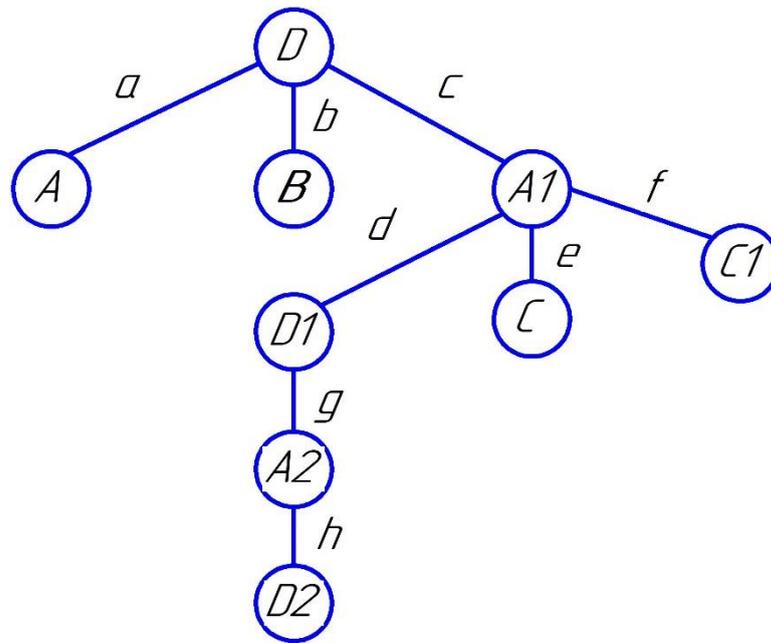


Рисунок 30 - Граф дерево технологического процесса

На основе графа составляется матрица инцидентности. На основе графа на рисунке 30, составлена матрица, рисунок 31.

	<i>D</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>A1</i>	<i>D1</i>	<i>C</i>	<i>C1</i>	<i>A2</i>	<i>D2</i>
<i>D</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>A</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>B</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>A1</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>D1</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>C</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>C1</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>A2</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>D2</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0

Рисунок 31 - Матрица инцидентности

На основе матрицы формируются линейные уравнения на рисунке 32.

$$A2 B = -b + g - d + c = 20,00$$

$$C1 D1 = h - f - g + d = 30,00$$

$$A2 D2 = h = 60,00$$

$$C C1 = e - f = 0,5$$

$$A A1 = -c + a = 0,5$$

$$D D1 = -d + c = 0,5$$

$$A1 A1 = -g + d = 0,1$$

$$D1 D1 = -h + g = 0,1$$

Рисунок 32 - Уравнения, составленные на основе матрицы инцидентности

При помощи составленных уравнений, производится расчет операционных размеров и проверка назначенных допусков.

Вывод по разделу

Вышеописанное программное обеспечение снижает время расчетов и улучшает их качество. У одних программ и модулей используется прием составления и решения уравнений размерных цепей (Visual KursAR, АСКОН, GRAKON), у других изображение размерных цепей в виде матриц смежности (NORMAL). Составление матриц смежности более алгоритмизируемым, сводя размерные расчеты к простейшим математических операциям.

Основной недостаток – большая трудоемкость подготовки и ввода исходных данных [7]:

- Visual KursAR требует предварительного построения размерных схем и их кодирования вручную;
- GRAKON требует предварительного нанесения припусков на чертеж изделия, что усложняет исходные графические данные;
- АСКОН имеет сложный интерфейс ввода технологического маршрута и требует дополнительных эскизов в качестве исходных параметров;
- NORMAL требует предварительного построения геометрической модели детали, заготовки и технологического процесса с табличным представлением информации.

За рубежом автоматизация представлена преимущественно диаграммой допусков. Эта методика ограничивается применением для прямоугольных форм изделий.

2.1 Формирование методики расчета размеров

Размерный анализ является важной составляющей в технологическом процессе, вместе с тем представляет сложную в решении задачу, которую можно упростить с появлением ЭВМ.

Современные ЭВМ, при помощи ПО значительно уменьшают затрачиваемое время на расчеты, снижают количество ошибок в расчетах, что улучшает их качество. Недостатком является проблематичность ввода начальных данных.

Следовательно, качественное программное обеспечение для расчета размерного анализа приобретает значимость.

Таковому программному обеспечению необходим алгоритм, который будет использовать конструкторские размеры, допуски конструкторских размеров и операционные размеры, в итоге выдавая средние значения технологических размеров. Изображение размерной схемы, используя граф, позволяет применить теорию графов. Это упрощает исследование размерных цепей, образуя все поверхности в матрице.

Начальные данные создаются при помощи ориентированного графа, так как простой граф размерных цепей не использует данные о расположении поверхностей. Ребрам ориентированного графа присвоено как положительное значение, так и отрицательное.

Немаловажным требованием является экономичность – объем памяти, который занимают исходные данные должен быть минимальным. С целью соблюдения этого требования, заменим, вместо номиналов и предельных отклонений, средние значения размеров и их допуски.

Таким образом, для достаточного математического описания размерной схемы следует использовать две матрицы: допусков и средних размеров. Для более точного математического описания с возможностью используются еще две матрицы: припусков и минимальных размеров.

И так, в разрабатываемом алгоритме используются матрицы: две основные (допусков и средних размеров), а также для возможности

округления – две дополнительные (минимальных размеров и припусков). Определение среднего размера сводится к нахождению наименьшей дистанции между двумя точками, используя ориентированный граф, нахождение допуска как путь, пройденный из одной точки в другую. Математический алгоритм позволяет использовать данный путь решения, ведь значения составляющих средних размеров и замыкающих средних размеров имеют координатную связь друг с другом.

Математика предлагает множество алгоритмов для решения задач путем представления данных в виде матриц смежности и инцидентности, но большинство из них направлены на решения так называемых «деревьев» - связанных ациклических графов.

Рассматривая размерные цепи, можем заключить, что:

- граф размерных структур – связанный граф, так как любые две поверхности размерной структуры связаны между собой через один или несколько звеньев размерной цепи;
- граф ацикличесен – любое количество составляющих звеньев никогда не образует замкнутый контур.

Главным преимуществом такого представления, является то, что граф и значения его путей могут быть представлены в виде матрицы инцидентности, заполненной таким образом, что содержимое ячейки матрицы соответствует пути между вершинами, номера которых, соответствуют адресу ячейки, а самое главное – для расчета есть несколько различных алгоритмов, где за точку принимается вершина графа:

- Использование алгоритма поиска позволяет находить наименьшее расстояние от одной точки к другой по наиболее благоприятному сходству на графе.
- Использование алгоритма Ли учитывает расстояние между точками, к примеру a и b , учитывая наименьшее число ребер. При этом, эти точки не должны быть равны друг другу. Часто применяется в электротехнике и электротехнике.

- Использование алгоритма Дейкстры производится расчет наименьшего расстояния из одной точки графа до других точек.
- Использование алгоритма Джонсона определяет наименьшее расстояние между парами точек ориентированного графа.
- Использование алгоритма Флойда – Уоршелла позволяет определять наименьшее расстояние между всеми точками ориентированного графа.
- Использование алгоритма Беллмана – Форда позволяет производить расчет наименьшего расстояния от точки графа до множества других, при этом ребра могут быть как отрицательными, так и положительными.

Наиболее подходящим для расчета допусков размеров является алгоритм Флойда – Уоршела, этот алгоритм поочередно перебирает вершины графа и определяет путь от текущей вершины до всех остальных. Для графа размерных цепей это будет означать расчет значений допусков всех возможных комбинаций замыкающих звеньев.

Суть алгоритма заключается в том, что нахождения наименьшего расстояния разбивается на фазы.

В общем случае, алгоритм Флойда - Уоршела выглядит следующим образом:

Пусть вершины графа, пронумерованы от 1 до n и введено обозначение для длины кратчайшего пути от i до j , который кроме самих вершин i, j проходит только через вершины $1 \dots k$. Очевидно, что — длина (вес) ребра (i, j) , если таковое существует (в противном случае его длина может быть обозначена как ∞). Существует два варианта значения:

1. Кратчайший путь между i, j не проходит через вершину k , тогда;
2. Существует более короткий путь между i, j , проходящий через k , тогда он сначала идёт от i до k , а потом от k до j . В этом случае, очевидно.

Таким образом, для нахождения значения функции достаточно выбрать минимум из двух обозначенных значений.

Алгоритм Флойда-Уоршелла последовательно вычисляет все значения, $\forall i, j$ для k от 1 до n . Полученные значения являются длинами кратчайших путей между вершинами i, j .

При расчете средних размеров встает задача расчета ориентированного графа с отрицательными весами ребер. Для решения поставленной задачи, выберем алгоритм Белмана-Форда, для применения которого, любой граф средних значений операционных размеров технологического процесса должен удовлетворять критерий отсутствия циклов с суммарным отрицательным весом. Этот критерий выполняется – сумма средних значений замкнутой размерной цепи, с учетом знака каждого звена, равна нулю.

В общем случае, алгоритм Белмана-Форда выглядит следующим образом:

Основными вычисляемыми величинами этого алгоритма являются величины $\lambda_j(k)$, где $i = 1, 2, \dots, n$ (n – число вершин графа); $k = 1, 2, \dots, n - 1$. Для фиксированных i и k величина $\lambda_j(k)$ равна длине минимального пути, ведущего из заданной начальной вершины x_1 в вершину x_i и содержащего не более k дуг.

Построим матрицу A_{ij} , элементы которой будут обозначать следующее: A_{ij} — это длина кратчайшего пути из s в i , содержащего не более j ребер. Требуется найти кратчайшие пути от выделенной вершины s до всех вершин графа.

Путь, содержащий 0 ребер, существует только до вершины s . Таким образом, A_{i0} равно 0 при $i = s$, и $+\infty$ в противном случае.

Теперь рассмотрим все пути из s в i , содержащие ровно j ребер. Каждый такой путь есть путь из $j-1$ ребра, к которому добавлено последнее ребро. Если про пути длины $j-1$ все данные уже подсчитаны, то определить j -й столбец матрицы не составляет труда.

Под релаксацией дуги понимается поиск минимально возможной суммы весов дуг, соединяющих две вершины. Теория графов предусматривает возможность появления положительных циклов – замкнутых контуров дуг,

сумма весов которых больше нуля. Так как средние размеры координатно связаны, то сумма средних значений любой замкнутой размерной цепи (цикла) равна нулю. В этом случае отпадает необходимость в релаксации дуг.

2.2 Адаптация алгоритма для расчета размерных структур

Для примера алгоритмов расчета взята технология обработки шатуна (Таблица 6).

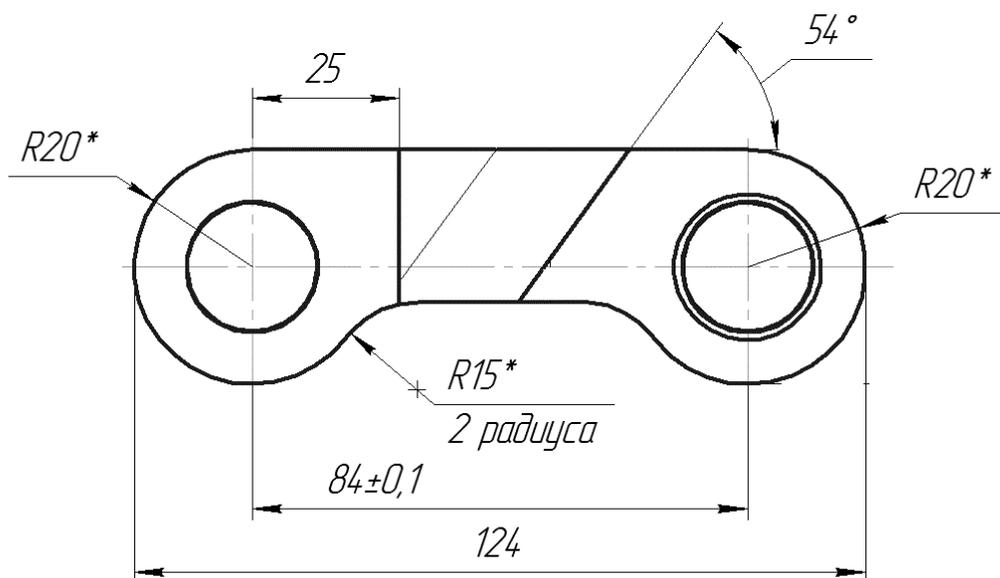


Рисунок 33 - Эскиз шатуна

Таблица 6 - Технология обработки шатуна

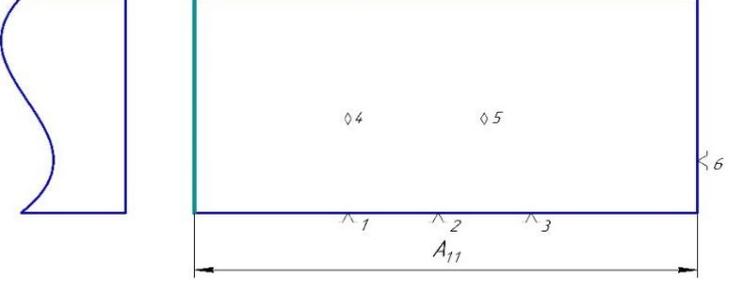
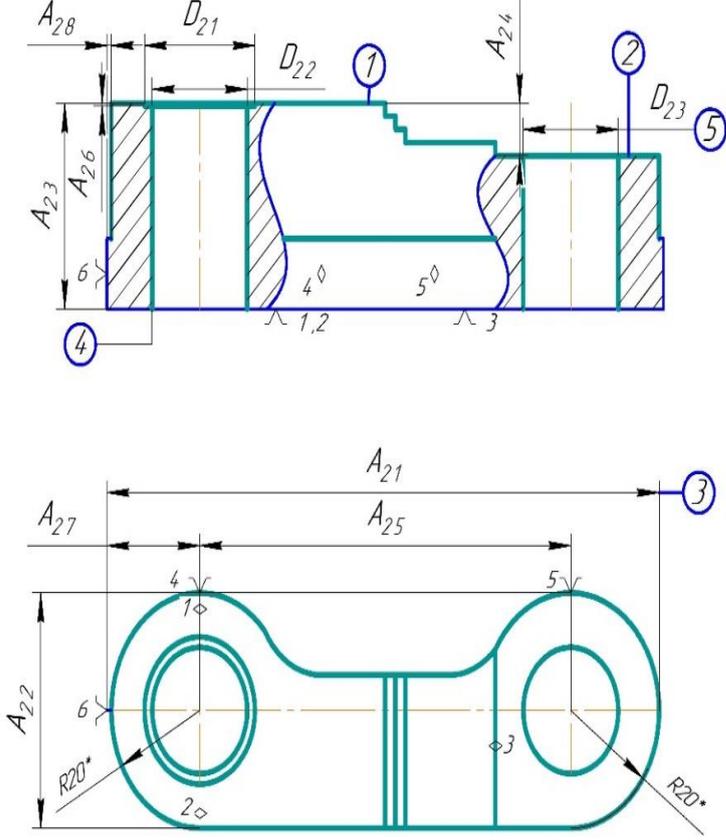
Оп	Переход	Эскиз
1	<p><u>Заготовительная</u></p> <p>Отрезать плиту, выдерживая размер A_{11}. Снять заусенцы.</p>	
	<p><u>Фрезерная с ЧПУ</u></p> <p>0. Установить и закрепить заготовку.</p> <p>1. Фрезеровать поверхность 1, выдерживая размер A_{23}.</p> <p>2. Фрезеровать поверхность 2 по программе, выдерживая размер A_{24}.</p> <p>3. Фрезеровать поверхность 3 по программе, выдерживая размер A_{21}.</p> <p>4. Сверлить отверстие 4, выдерживая размер D_{22}.</p> <p>5. Расфрезеровать отверстие 4, выдерживая размер D_{21} и A_{26}.</p> <p>6. Сверлить отверстие 5, выдерживая размер D_{23}.</p>	

Таблица 6 – Продолжение

Оп	Переход	Эскиз
3	<p><u>Фрезерная с ЧПУ</u></p> <p>0. Установить и закрепить заготовку.</p> <p>1. Фрезеровать поверхность 1, выдерживая размер A_{31}.</p> <p>2. Фрезеровать поверхность 2, выдерживая размер A_{32}.</p> <p>3. Фрезеровать поверхность 6 по программе.</p>	
4	<p><u>Фрезерная с ЧПУ</u></p> <p>0. Установить и закрепить заготовку.</p> <p>1. Фрезеровать поверхность 1, выдерживая размеры A_{41}, A_{43}.</p> <p>2. Фрезеровать поверхность 2, выдерживая размеры A_{41}, A_{43}.</p>	
5	<p><u>Фрезерная с ЧПУ</u></p> <p>0. Установить и закрепить заготовку.</p> <p>1. Фрезеровать паз, выдерживая размеры A_{52}, A_{53}.</p> <p>2. Расфрезеровать паз 2, выдерживая размеры A_{51}.</p>	

Таблица 6 – Продолжение

Оп	Переход	Эскиз
6	<u>Слесарная</u> Снять заусенцы, острые кромки притупить радиусом 0,05...0,2мм.	
7	<u>Термическая</u> Калить 36...41 НРС. В паз А ₅₁ установить вкладыш и заневолить уши.	
8	<u>Фрезерная с ЧПУ</u> 0. Установить и закрепить заготовку. 1. Фрезеровать отверстие 1, выдерживая размер D ₈₁ . 2. Фрезеровать отверстие 1, выдерживая размер D ₈₃ . 3. Фрезеровать отверстие 2, выдерживая размер D ₂₃ .	<p>The drawing shows a mechanical part with two circular features. The left feature has a diameter of D₈₁ and a chamfer of 4√. The right feature has a diameter of D₈₂ and a chamfer of 5√. A central feature has a diameter of D₈₃ and a chamfer of 6√. The drawing also shows a radius of 10 and a chamfer of 2√. The part is labeled with 1 and 2, corresponding to the operations in the text.</p>
9	<u>Гальваническая</u> Покрытие Цб.	
10	<u>Контрольная</u> Контроль ОТК	

2.2.1 Назначение допусков на технологические размеры

По ГОСТ 7505–89 назначаем основные отклонения от формы исходной заготовки: $\rho = 0,12$ мм.

Назначение допусков на осевые технологические размеры:

1) Размеры A₁₁ :

$$TA_{11} = \omega_c + \rho + \varepsilon_6 = 0,04 + 0,12 + 0,2 = 0,36 \text{ мм};$$

где ω_c – статистическая погрешность обработки; ρ_0 – погрешность формы, полученная на предыдущей операции, ε_6 – погрешность базирования заготовки;

2) Размер A_{28} :

$$TA_{28} = \omega_c + \rho + \varepsilon_6 = 0,04 + 0,12 + 0,2 = 0,36 \text{ мм};$$

3) Размер A_{21} :

$$TA_{21} = \omega_c + \rho + \varepsilon_6 = 0,04 + 0,12 + 0,2 = 0,36 \text{ мм};$$

4) Размер A_{25} :

$$TA_{21} = TK_2 = 0,2 \text{ мм};$$

5) Размер A_{27} :

$$TA_{27} = \omega_c + \rho + \varepsilon_6 = 0,04 + 0,12 + 0,2 = 0,36 \text{ мм};$$

6) Размер A_{20} :

$$TA_{20} = TK_4 = 0,52 \text{ мм};$$

7) Размер A_{43} :

$$TA_{43} = TK_3 = 0,52 \text{ мм};$$

2.2.2 Расчет минимальных припусков на линейные технологические размеры

1) Припуск Z_{21min} :

$$Z_{21min} := R_z + h + \rho = 0,08 + 0,08 + 1,2 = 1,36 \text{ мм};$$

где R_z – roughness, полученная на заготовительной операции;

ρ – точность геометрической формы при точении.

2) Припуск Z_{20min} :

$$Z_{20min} = R_z + h + \rho = 0,02 + 0,04 + 1,2 = 1,26 \text{ мм};$$

2.2.3 Расчет технологических размеров в осевом направлении

Расчет ведется методом среднего значения поля допуска (рис. 34).

1) Размер A_{43} :

$$A_{43} = K_3 = 25_{-0,52} \text{ мм};$$

2) Размер A_{20} :

$$A_{20} = K_4 = 20_{-0,52} \text{ мм};$$

3) Размер A_{25} :

$$A_{25} = K_2 = 84_{-0,1}^{+0,1} \text{ мм};$$

4) Размер A_{27} :

Рассчитываем среднее значение припуска Z_{20} :

$$z_{20cp} = z_{20min} + \frac{TA_{27} + TA_{20}}{2} = 1,26 + \frac{0,36 + 0,52}{2} = 1,7 \text{ мм},$$

Рассчитываем среднее значение технологического размера A_{27} :

$$A_{27cp} = A_{20cp} + z_{20cp} = 19,74 + 1,7 = 21,44 \text{ мм},$$

$$A_{27} = 21,44 + 0,36 = 21,8_{-0,36} \text{ мм},$$

Вычисляем номинальное значение припуска z_{20} :

$$z_{20} = A_{27} - A_{20} = 21,8_{-0,36} - 20_{-0,52} = 1,8_{-0,36}^{+0,52} \text{ мм};$$

5) Размер A_{21} :

Рассчитываем значение технологического размера A_{21} :

$$K_1 = A_{20} + A_{21} - A_{27}; 124_{-1} = 20_{-0,52} + A_{21} - 21,8_{-0,36} = 125,8_{-0,48}^{-0,36} \text{ мм};$$

6) Размер $A_{28} = z_{28}$:

Рассчитываем минимальное значение припуска Z_{28} :

$$z_{28min} = 1,36 + 0,36 = 1,72 \text{ мм},$$

Рассчитываем значение технологического размера A_{28} :

$$A_{28} = 1,72_{-0,36} = 1,8_{-0,36} \text{ мм};$$

7) Размер A_{11} :

Рассчитываем среднее значение припуска Z_{21} :

$$z_{21cp} = z_{21min} + \frac{TA_{28} + TA_{21} + TA_{11}}{3} = 1,36 + \frac{0,36 + 0,36 + 0,36}{3} = 1,72 \text{ мм},$$

Рассчитываем среднее значение технологического размера A_{11} :

$$A_{11cp} = A_{28cp} + A_{21cp} + z_{21cp} = 1,62 + 127,62 + 1,72 = 130,96 \text{ мм},$$

$$A_{11} = 131 + 0,36 = 131_{-0,36} \text{ мм},$$

Вычисляем номинальное значение припуска z_{12} :

$$z_{21} = A_{11} - A_{28} - A_{21} = 131_{-0,36} - 1,8_{-0,36} - 127,8_{-0,36} = 1,4_{-0,36}^{+0,72} \text{ мм}.$$

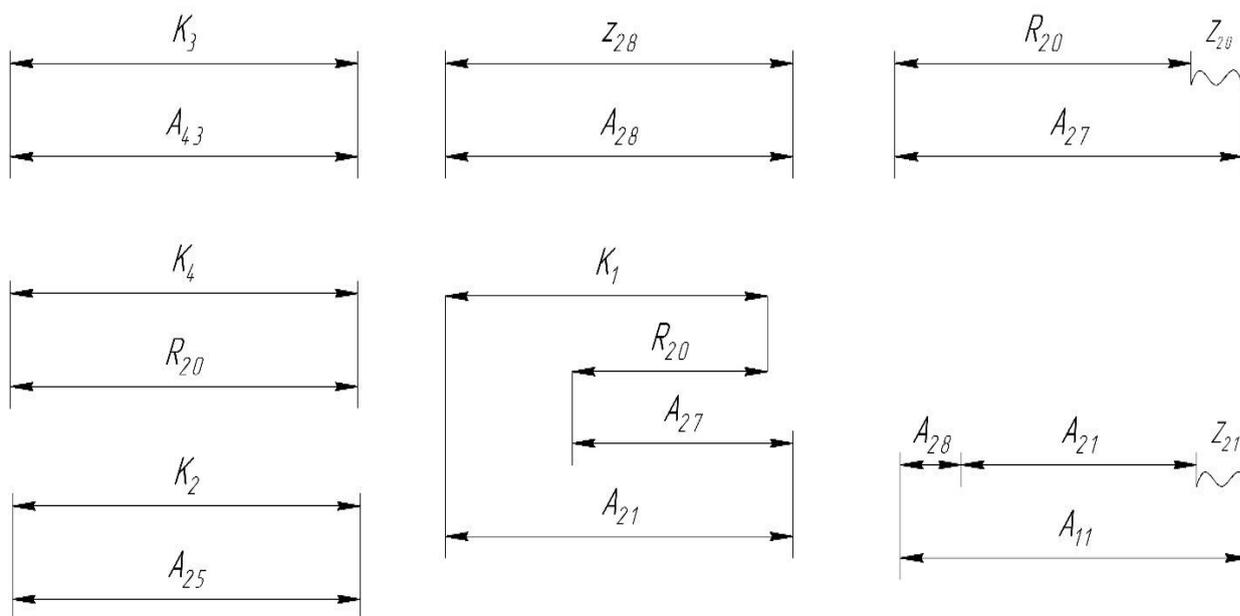


Рисунок 34 - Размерные цепи

Построим размерную схему, представленную на рисунке 35 и граф технологических размерных цепей, представленный на рисунке 36.

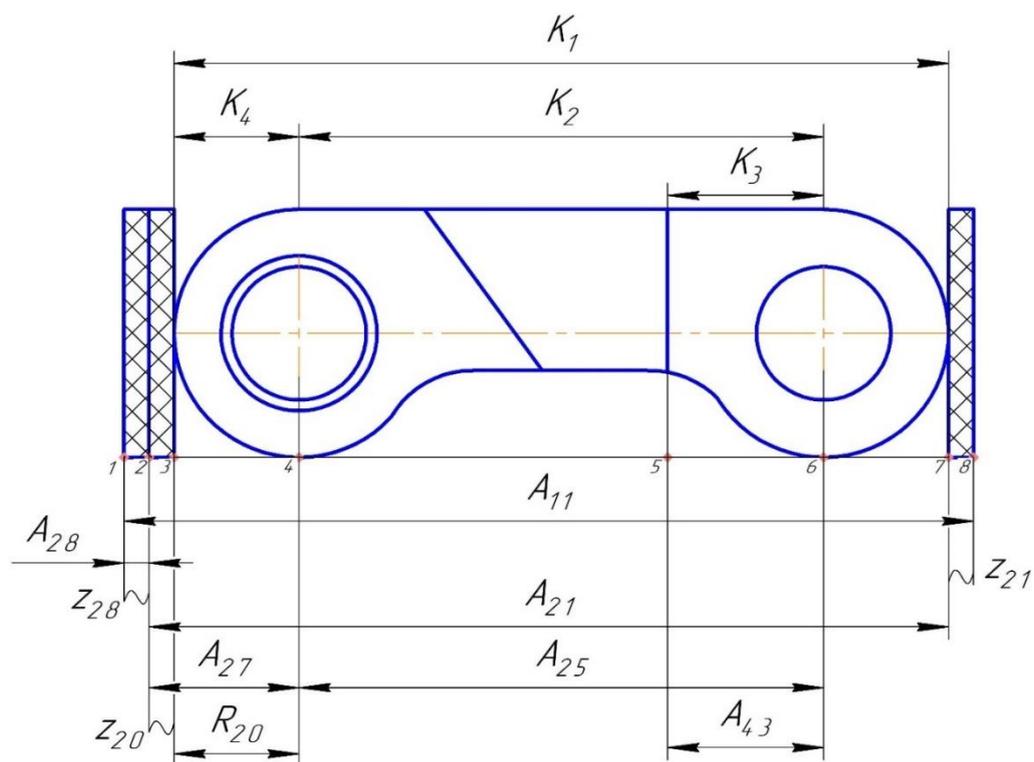


Рисунок 35 - Размерная схема технологического процесса

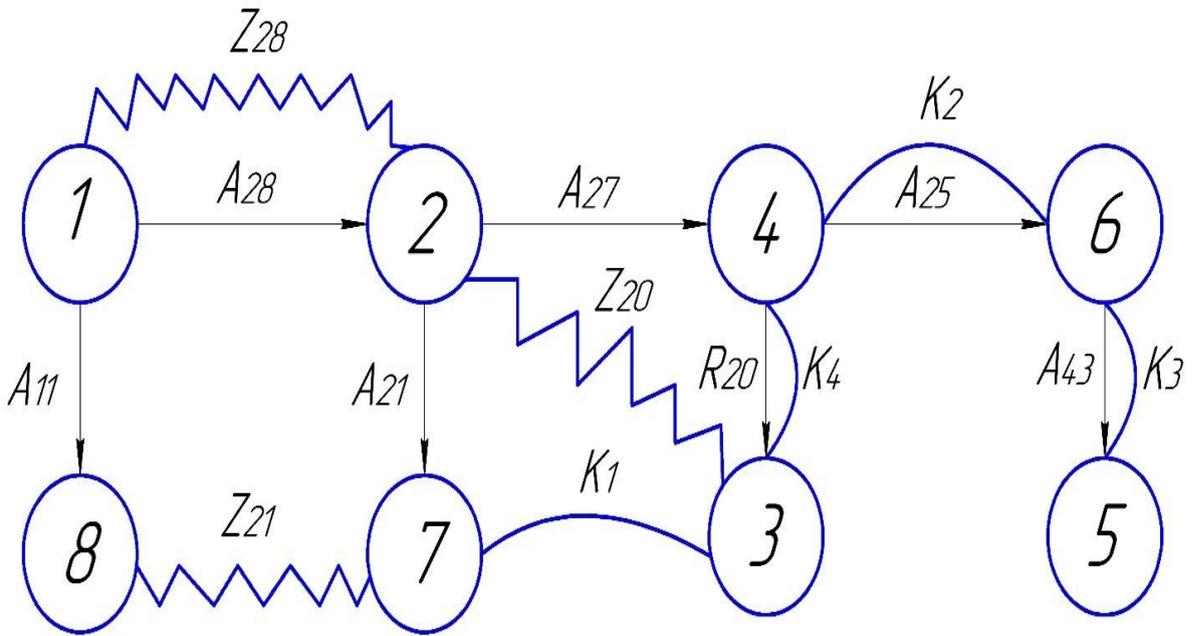


Рисунок 36 - Граф операционных размеров технологического процесса

2.3 Алгоритм для расчета допусков

Рассмотрим граф содержащий только допуски размеров на рисунке 37.

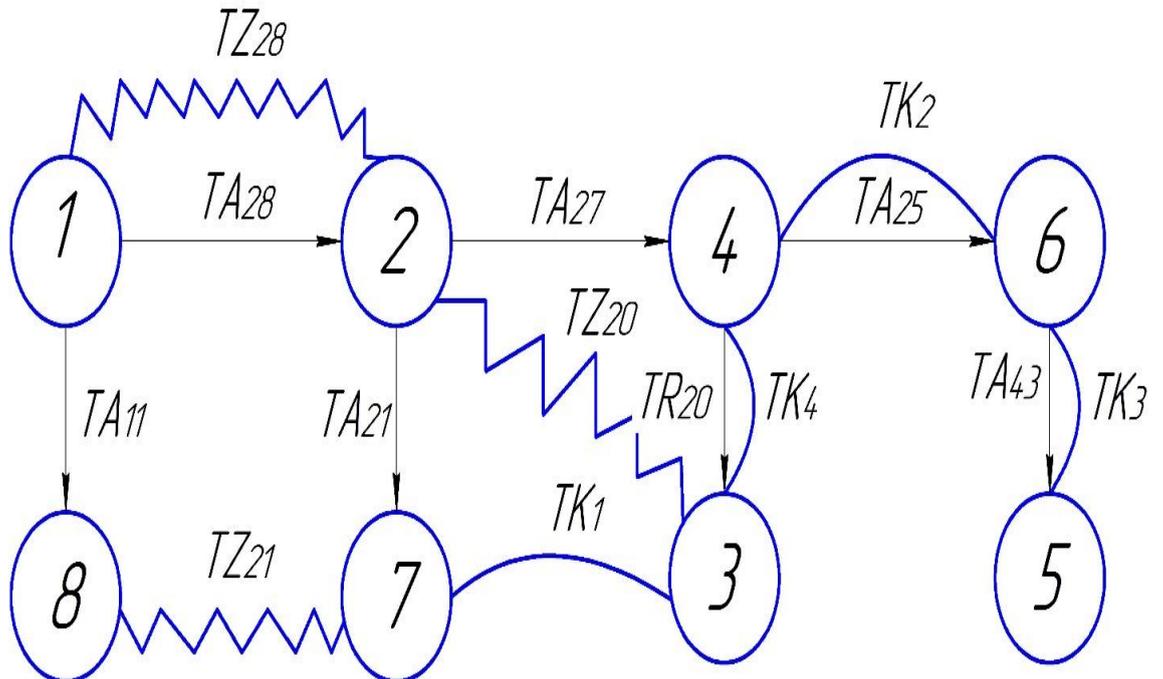


Рисунок 37 - Граф допусков размеров

Ниже приведен пример алгоритма для расчета допусков операционных размеров технологического процесса.

Матрица смежности допусков имеет нумерацию i и j . Размеру присваивается ячейка, расположенная между этими поверхностями с именем a_{ij} .

Например, размер, расположенный между поверхностями 1 и 8, представленный на рисунке 38, располагается в ячейке $a_{1,8}$. Значит, значение допуска TA_{11} заносится в ячейку $a_{1,8}$.

$i \backslash j$	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	$TZ_{2,8}=0,36;$ $TA_{2,8}=0,36$						$TA_{11}=0,36$
2	$TZ_{2,8}=0,36;$ $TA_{2,8}=0,36$	0	$TZ_{2,0} =$	$TA_{2,7}=0,36$			$TA_{2,1}=0,36$	
3		$TZ_{2,0} =$	0	$TA_{2,0}=0,52;$ K_4			TK_1	
4		$TA_{2,7}=0,36$	$TA_{2,0}=0,52;$ K_4	0		$TA_{2,5}=0,2;$ K_2		
5					0	$TA_{4,3}=0,52;$ K_3		
6				$TA_{2,5}=0,2;$ K_2	$TA_{4,3}=0,52;$ K_3	0		
7		$TA_{2,1}=0,36$	TK_1				0	$TZ_{2,1} =$
8	$TA_{11}=0,36$						$TZ_{2,1} =$	0

Рисунок 38 - Матрица смежности допусков

1. Ведем перебор строк. i – номер текущей строки;
2. В строке i находим ячейку, которая не является нулевой, запишем ее адрес как $a_{i,j}$, где j – номер столбца найденной ячейки. В примере на рис. 39 выбрана ячейка $a_{2,4}$;

3. В столбце j ищем ячейку, которая не является нулевой, запишем ее адрес как $a_{k,j}$, где k – номер строки найденной ячейки. На рисунке 39 найдена ячейка $a_{3,4}$;

$i \backslash j$	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	$TZ_{28}=0,36$ $TA_{28}=0,36$						$TA_{11}=0,36$
2	$TZ_{28}=0,36$ $TA_{28}=0,36$	0	$TZ_{70} =$	$TA_{27}=0,36$ ↓			$TA_{21}=0,36$	
3		$TZ_{70} =$	0	$TA_{20}=0,52$ K_4			TK_1	
4		$TA_{27}=0,36$	$TA_{20}=0,52$ K_4	0		$TA_{25}=0,2$ K_2		
5					0	$TA_{43}=0,52$ K_3		
6				$TA_{25}=0,2$ K_2	$TA_{43}=0,52$ K_3	0		
7		$TA_{21}=0,36$	TK_1				0	$TZ_{21} =$
8	$TA_{11}=0,36$						$TZ_{21} =$	0

Рисунок 39 - Матрица смежности допусков с найденной ячейкой

4. Если ячейка с адресом $a_{i,k}$ содержит значение, которое больше полученной суммы значений ячеек $a_{i,j}$ и $a_{k,j}$ или ячейка $a_{k,j}$ пустая, то запишем туда сумму значений ячеек $a_{i,j}$ и $a_{k,j}$. На рисунке 40 сумма ячеек $a_{2,4}$ и $a_{3,4}$ записывается в ячейку $a_{2,3}$;
5. Ячейки с адресом, когда $i=j$ не рассчитывается.
6. Цикл повторяется до тех пор, пока значения ячеек не перестанут изменяться. Этот пункт алгоритма подбирает кратчайшие пути между поверхностями, так как зачастую рассчитывается путь такого маршрута, который несколько раз проходит по одной и той же вершине графа. На рисунке 41 содержимое ячеек пронумеровано следующим образом: строчные буквы нумеруются адресом ячейки, прописные – в соответствии с технологическим процессом.

$i \backslash j$	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	$TZ_{28}=0,36,$ $TA_{28}=0,36$						$TA_{11}=0,36$
2	$TZ_{28}=0,36,$ $TA_{28}=0,36$	0	$TZ_{20}=$ $TA_{27}+TA_{20}$	$TA_{27}=0,36$ ↓			$TA_{21}=0,36$	
3		$TZ_{20}=$	0	$TA_{20}=0,52,$ K_4			TK_1	
4		$TA_{27}=0,36$	$TA_{20}=0,52,$ K_4	0		$TA_{25}=0,2,$ K_2		
5					0	$TA_{43}=0,52,$ K_3		
6				$TA_{25}=0,2,$ K_2	$TA_{43}=0,52,$ K_3	0		
7		$TA_{21}=0,36$	TK_1				0	$TZ_{21}=$
8	$TA_{11}=0,36$						$TZ_{21}=$	0



$i \backslash j$	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	$TZ_{28}=0,36,$ $TA_{28}=0,36$						$TA_{11}=0,36$
2	$TZ_{28}=0,36,$ $TA_{28}=0,36$	0	$TZ_{20}=0,88$	$TA_{27}=0,36$ ↓			$TA_{21}=0,36$	
3		$TZ_{20}=0,88$	0	$TA_{20}=0,52,$ K_4			TK_1	
4		$TA_{27}=0,36$	$TA_{20}=0,52,$ K_4	0		$TA_{25}=0,2,$ K_2		
5					0	$TA_{43}=0,52,$ K_3		
6				$TA_{25}=0,2,$ K_2	$TA_{43}=0,52,$ K_3	0		
7		$TA_{21}=0,36$	TK_1				0	$TZ_{21}=$
8	$TA_{11}=0,36$						$TZ_{21}=$	0

Рисунок 40 - Расчет матрицы

$i \backslash J$	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	$TZ_{28} = -0,36;$ $TA_{28} = -0,36$	$a_{13} = a_{14} + TA_{20}$ $= 1,24$	$a_{14} = TA_{28} + TA_{27}$ $= -0,72$	$a_{15} = a_{14} + a_{54}$ $= 1,44$	$a_{16} = a_{14} + TA_{25}$ $= -0,92$	$a_{17} = TA_{28} + TA_{21}$ $= -0,72$	$TA_{11} = 0,36$
2	$TZ_{78} = -0,36;$ $TA_{28} = -0,36$	0	$TZ_{20} =$ $TA_{77} + TA_{70} =$ $= 0,88$	$TA_{27} = -0,36$	$a_{25} = TA_{27} + a_{54}$ $= 1,08$	$a_{26} = TA_{20} + TA_{25}$ $= -0,56$	$TA_{21} = -0,36$	$a_{28} = TA_{28} + TA_{11}$ $= -0,72$
3	$a_{31} = a_{14} + TA_{20}$ $= -1,24$	$TZ_{20} =$ $TA_{27} + TA_{20} =$ $= 0,88$	0	$TA_{20} = 0,52;$ $K_4 = -0,52$	$a_{35} = TA_{20} + a_{54}$ $= 1,24$	$a_{36} = TA_{20} + TA_{25}$ $= -0,72$	$TK_1 = TA_{20} + a_{54}$ $= -1,24$	$a_{38} = TZ_{20} + a_{82}$ $= -1,6$
4	$a_{41} = TA_{28} + TA_{27}$ $= -0,72$	$TA_{27} = -0,36$	$TA_{20} = 0,52;$ $K_4 = 0,52$	0	$a_{45} = TA_{25} + TA_{43}$ $= -0,72$	$TA_{25} = 0,2;$ $K_2 = 0,2$	$a_{47} = TA_{27} + TA_{21}$ $= -0,72$	$a_{48} = TA_{27} + a_{82}$ $= 1,08$
5	$a_{51} = a_{14} + a_{54}$ $= 1,44$	$a_{52} = TA_{77} + a_{54}$ $= 1,08$	$a_{53} = TA_{20} + a_{54}$ $= 1,24$	$a_{54} = TA_{75} + TA_{43}$ $= 0,72$	0	$TA_{43} = 0,52;$ $K_3 = 0,52$	$a_{57} = a_{54} + a_{74}$ $= 1,44$	$a_{58} = a_{52} + a_{82}$ $= 1,8$
6	$a_{61} = a_{14} + TA_{25}$ $= -0,92$	$a_{62} = TA_{20} + TA_{25}$ $= -0,56$	$a_{63} = TA_{20} + TA_{25}$ $= 0,72$	$TA_{25} = 0,2;$ $K_2 = 0,2$	$TA_{43} = 0,52;$ $K_3 = 0,52$	0	$a_{67} = TA_{25} + a_{74}$ $= -0,92$	$a_{68} = TA_{25} + a_{84}$ $= 1,28$
7	$a_{71} = TA_{28} + TA_{21}$ $= -0,72$	$TA_{21} = -0,36$	$TK_1 = TA_{20} + a_{54}$ $= 1,24$	$a_{74} = TA_{77} + TA_{21}$ $= 0,72$	$a_{75} = a_{54} + a_{74}$ $= 1,44$	$a_{76} = TA_{25} + a_{74}$ $= -0,92$	0	$TZ_{21} = a_{71} + TA_{11}$ $= 1,08$
8	$TA_{11} = 0,36$	$a_{82} = TA_{28} + TA_{11}$ $= -0,72$	$a_{83} = TZ_{20} + a_{82}$ $= -1,6$	$a_{84} = TA_{27} + a_{82}$ $= 1,08$	$a_{85} = a_{52} + a_{82}$ $= 1,8$	$a_{86} = TA_{25} + a_{84}$ $= 1,28$	$TZ_{21} = a_{71} + TA_{11}$ $= 1,08$	0

Рисунок 41 - Заполненная матрица допусков

Целью расчета является определение допусков припусков и конструкторских размеров.

2.4 Алгоритм расчета средних размеров

Алгоритм расчета средних размеров похож на предыдущий.

Знак значения ячейки определяется исходя из взаимного расположения поверхностей размера: если поверхность n расположена слева от p , то значение ячейки с адресом $a_{n,p}$ положительное, если справа, то отрицательное. В качестве исходных принимаются средние значения припусков на обработку и конструкторских размеров. Для иллюстрации алгоритма назовем минимальные припуски на обработку: исходя из минимальных значений припусков и их допусков рассчитаем средние значения и занесем в матрицу смежности средних размеров. Исходная матрица смежности средних размеров представлена на рисунке 43.

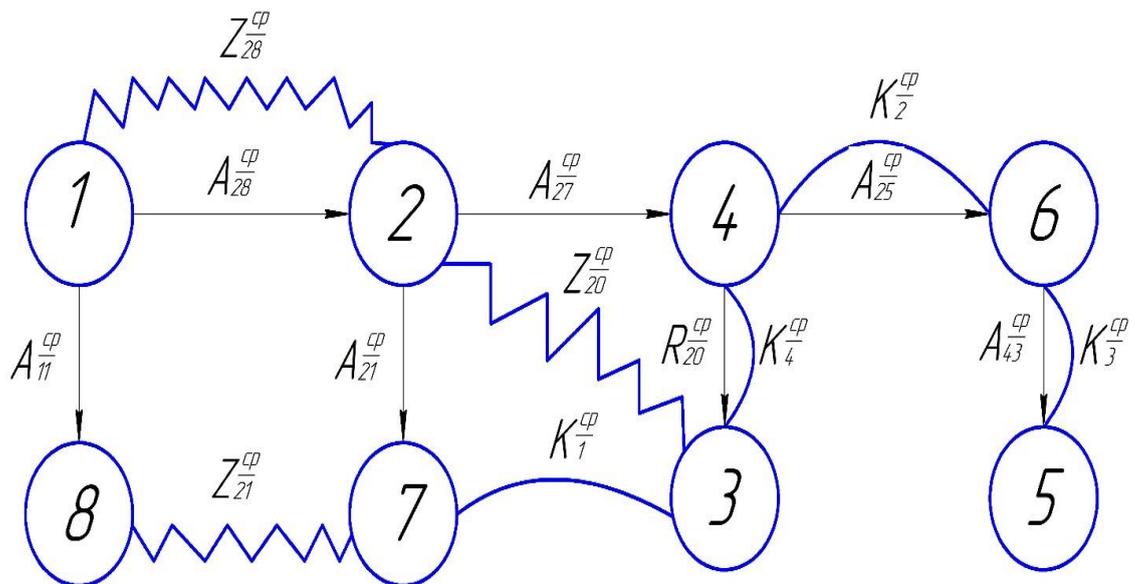


Рисунок 42 - Граф средних размеров

$i \backslash j$	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	$Z_{28}^{\text{cp}}=144;$ $A_{28}^{\text{cp}}=Z_{28}^{\text{cp}}$						$A_{11}^{\text{cp}}=130,96$
2	$Z_{28}^{\text{cp}}=-144;$ $A_{28}^{\text{cp}}=Z_{28}^{\text{cp}}$	0	$Z_{20}^{\text{cp}}=17$	$A_{27}^{\text{cp}}=2144$			$A_{21}^{\text{cp}}=124,96$	
3		$Z_{20}^{\text{cp}}=-17$	0	$A_{20}^{\text{cp}}=19,48;$ $K_4^{\text{cp}}=A_{20}^{\text{cp}}$			$K_7^{\text{cp}}=123$	
4		$A_{27}^{\text{cp}}=-2144$	$A_{20}^{\text{cp}}=-19,48;$ $K_4^{\text{cp}}=A_{20}^{\text{cp}}$	0		$A_{25}^{\text{cp}}=83,8;$ $K_2^{\text{cp}}=A_{25}^{\text{cp}}$		
5					0	$A_{43}^{\text{cp}}=24,48;$ $K_3^{\text{cp}}=A_{43}^{\text{cp}}$		
6				$A_{25}^{\text{cp}}=-83,8;$ $K_2^{\text{cp}}=A_{25}^{\text{cp}}$	$A_{43}^{\text{cp}}=-24,48;$ $K_3^{\text{cp}}=A_{43}^{\text{cp}}$	0		
7		$A_{21}^{\text{cp}}=-124,96$	$K_7^{\text{cp}}=-123$				0	$Z_{21}^{\text{cp}}=172$
8	$A_{11}^{\text{cp}}=-130,96$						$Z_{21}^{\text{cp}}=-172$	0

Рисунок 43 - Матрица смежности средних размеров с исходными данными

Например, размеру, лежащему между поверхностями 1 и 8, представленному на рисунке 43, будет присвоена ячейка $a_{1,8}$.

1. Ведем перебор строк. i – номер текущей строки;
2. В строке i находим ячейку, которая не является нулевой, запишем ее адрес как $a_{i,j}$, где j – номер столбца найденной ячейки. В примере на рис. 11 выбрана ячейка $a_{4,6}$;
3. В столбце j ищем ячейку, которая не является нулевой, запишем ее адрес как $a_{k,j}$, где k – номер строки найденной ячейки. На рисунке 44 найдена ячейка $a_{5,6}$;

$i \backslash j$	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	$Z_{28}^{cp}=144;$ $A_{28}^{cp}=Z_{28}^{cp}$						$A_{17}^{cp}=130,96$
2	$Z_{28}^{cp}=-144;$ $A_{28}^{cp}=Z_{28}^{cp}$	0	$Z_{20}^{cp}=17$	$A_{27}^{cp}=21,44$			$A_{21}^{cp}=124,96$	
3		$Z_{20}^{cp}=-17$	0	$A_{20}^{cp}=19,48;$ $K_4^{cp}=A_{20}^{cp}$			$K_7^{cp}=123$	
4		$A_{27}^{cp}=-21,44$	$A_{20}^{cp}=-19,48;$ $K_4^{cp}=A_{20}^{cp}$	0		$A_{25}^{cp}=83,8;$ $K_2^{cp}=A_{25}^{cp}$		
5					0	$A_{43}^{cp}=24,48;$ $K_3^{cp}=A_{43}^{cp}$		
6				$A_{25}^{cp}=-83,8;$ $K_2^{cp}=A_{25}^{cp}$	$A_{43}^{cp}=-24,48;$ $K_3^{cp}=A_{43}^{cp}$	0		
7		$A_{21}^{cp}=-124,96$	$K_7^{cp}=-123$				0	$Z_{21}^{cp}=172$
8	$A_{17}^{cp}=-130,96$						$Z_{21}^{cp}=-172$	0

Рисунок 44 - Матрица смежности средних размеров

4. Если ячейка с адресом $a_{i,k}$ пустая, то запишем туда разность значений ячеек $a_{i,j}$ и $a_{k,j}$. На рисунке 45 разница ячеек $a_{4,6}$ и $a_{5,6}$ записывается в ячейку $a_{4,5}$;
5. Ячейки с адресом, когда $i=j$ не рассчитывается.
6. Цикл повторяется до тех пор, пока значения ячеек не перестанут изменяться. На рисунке 46 изображена заполненная матрица (на рис. 46 содержимое ячеек пронумеровано следующим образом: строчные буквы нумеруются адресом ячейки, прописные – в соответствии с технологическим процессом).

$i \backslash j$	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	$Z_{28}^{\text{cp}}=144;$ $A_{28}^{\text{cp}}=Z_{28}^{\text{cp}}$						$A_{11}^{\text{cp}}=130,96$
2	$Z_{28}^{\text{cp}}=-144;$ $A_{28}^{\text{cp}}=Z_{28}^{\text{cp}}$	0	$Z_{20}^{\text{cp}}=17$	$A_{27}^{\text{cp}}=21,44$			$A_{21}^{\text{cp}}=124,96$	
3		$Z_{20}^{\text{cp}}=-17$	0	$A_{20}^{\text{cp}}=19,48;$ $K_4^{\text{cp}}=A_{20}^{\text{cp}}$			$K_7^{\text{cp}}=123$	
4		$A_{27}^{\text{cp}}=-21,44$	$A_{20}^{\text{cp}}=-19,48;$ $K_4^{\text{cp}}=A_{20}^{\text{cp}}$	0	$A_{45}^{\text{cp}}=A_{25}^{\text{cp}}-A_{43}^{\text{cp}}$ $=59,32$	$A_{25}^{\text{cp}}=83,8;$ $K_2^{\text{cp}}=A_{25}^{\text{cp}}$		
5					0	$A_{43}^{\text{cp}}=24,48;$ $K_3^{\text{cp}}=A_{43}^{\text{cp}}$		
6				$A_{25}^{\text{cp}}=-83,8;$ $K_2^{\text{cp}}=A_{25}^{\text{cp}}$	$A_{43}^{\text{cp}}=-24,48;$ $K_3^{\text{cp}}=A_{43}^{\text{cp}}$	0		
7		$A_{21}^{\text{cp}}=-124,96$	$K_7^{\text{cp}}=-123$				0	$Z_{21}^{\text{cp}}=1,72$
8	$A_{11}^{\text{cp}}=-130,96$						$Z_{21}^{\text{cp}}=-1,72$	0

Рисунок 45 - Матрица смежности средних размеров с рассчитанной ячейкой

$i \backslash j$	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	$Z_{28}^{\text{cp}}=144;$ $A_{28}^{\text{cp}}=Z_{28}^{\text{cp}}$	$a_{19}^{\text{cp}}=Z_{28}^{\text{cp}}-Z_{20}^{\text{cp}}$ $=3,14$	$a_{14}^{\text{cp}}=Z_{28}^{\text{cp}}-A_{27}^{\text{cp}}$ $=22,88$	$a_{15}^{\text{cp}}=a_{14}^{\text{cp}}-a_{54}^{\text{cp}}$ $=-82,2$	$a_{16}^{\text{cp}}=a_{15}^{\text{cp}}-A_{43}^{\text{cp}}$ $=-106,68$	$a_{17}^{\text{cp}}=Z_{28}^{\text{cp}}-A_{21}^{\text{cp}}$ $=126,4$	$A_{11}^{\text{cp}}=130,96$
2	$Z_{28}^{\text{cp}}=-144;$ $A_{28}^{\text{cp}}=Z_{28}^{\text{cp}}$	0	$Z_{20}^{\text{cp}}=17$	$A_{27}^{\text{cp}}=21,44$	$a_{25}^{\text{cp}}=Z_{28}^{\text{cp}}-a_{51}^{\text{cp}}$ $=-80,76$	$a_{26}^{\text{cp}}=Z_{28}^{\text{cp}}-a_{61}^{\text{cp}}$ $=-105,24$	$A_{21}^{\text{cp}}=124,96$	$a_{28}^{\text{cp}}=Z_{28}^{\text{cp}}-A_{11}^{\text{cp}}$ $=-129,52$
3	$a_{31}^{\text{cp}}=Z_{28}^{\text{cp}}-Z_{20}^{\text{cp}}$ $=-3,14$	$Z_{20}^{\text{cp}}=-17$	0	$A_{20}^{\text{cp}}=19,48;$ $K_4^{\text{cp}}=A_{20}^{\text{cp}}$	$a_{35}^{\text{cp}}=a_{31}^{\text{cp}}-a_{57}^{\text{cp}}$ $=-79,06$	$a_{36}^{\text{cp}}=a_{31}^{\text{cp}}-a_{61}^{\text{cp}}$ $=-103,54$	$K_7^{\text{cp}}=123$	$a_{38}^{\text{cp}}=a_{31}^{\text{cp}}-A_{11}^{\text{cp}}$ $=-127,82$
4	$a_{41}^{\text{cp}}=Z_{28}^{\text{cp}}-A_{27}^{\text{cp}}$ $=-22,88$	$A_{27}^{\text{cp}}=-21,44$	$A_{20}^{\text{cp}}=-19,48;$ $K_4^{\text{cp}}=A_{20}^{\text{cp}}$	0	$a_{45}^{\text{cp}}=A_{25}^{\text{cp}}-A_{43}^{\text{cp}}$ $=-59,32$	$A_{25}^{\text{cp}}=83,8;$ $K_2^{\text{cp}}=A_{25}^{\text{cp}}$	$a_{47}^{\text{cp}}=a_{41}^{\text{cp}}-A_{11}^{\text{cp}}$ $=-103,52$	$a_{48}^{\text{cp}}=a_{41}^{\text{cp}}-A_{11}^{\text{cp}}$ $=-108,08$
5	$a_{51}^{\text{cp}}=a_{14}^{\text{cp}}-a_{54}^{\text{cp}}$ $=-82,2$	$a_{52}^{\text{cp}}=Z_{28}^{\text{cp}}-a_{51}^{\text{cp}}$ $=-80,76$	$a_{53}^{\text{cp}}=a_{31}^{\text{cp}}-a_{57}^{\text{cp}}$ $=-79,06$	$a_{54}^{\text{cp}}=A_{25}^{\text{cp}}-A_{43}^{\text{cp}}$ $=-59,32$	0	$A_{43}^{\text{cp}}=24,48;$ $K_3^{\text{cp}}=A_{43}^{\text{cp}}$	$a_{57}^{\text{cp}}=a_{51}^{\text{cp}}-A_{11}^{\text{cp}}$ $=-44,2$	$a_{58}^{\text{cp}}=a_{51}^{\text{cp}}-A_{11}^{\text{cp}}$ $=-48,76$
6	$a_{61}^{\text{cp}}=a_{15}^{\text{cp}}-A_{43}^{\text{cp}}$ $=-106,68$	$a_{62}^{\text{cp}}=Z_{28}^{\text{cp}}-a_{61}^{\text{cp}}$ $=-105,24$	$a_{63}^{\text{cp}}=a_{31}^{\text{cp}}-a_{61}^{\text{cp}}$ $=-103,54$	$A_{25}^{\text{cp}}=-83,8;$ $K_2^{\text{cp}}=A_{25}^{\text{cp}}$	$A_{43}^{\text{cp}}=-24,48;$ $K_3^{\text{cp}}=A_{43}^{\text{cp}}$	0	$a_{67}^{\text{cp}}=a_{61}^{\text{cp}}-a_{71}^{\text{cp}}$ $=-19,72$	$a_{68}^{\text{cp}}=a_{61}^{\text{cp}}-A_{11}^{\text{cp}}$ $=-24,28$
7	$a_{71}^{\text{cp}}=Z_{28}^{\text{cp}}-A_{21}^{\text{cp}}$ $=-126,4$	$A_{21}^{\text{cp}}=-124,96$	$K_7^{\text{cp}}=-123$	$a_{74}^{\text{cp}}=a_{41}^{\text{cp}}-A_{11}^{\text{cp}}$ $=-103,52$	$a_{75}^{\text{cp}}=a_{51}^{\text{cp}}-A_{11}^{\text{cp}}$ $=-44,2$	$a_{76}^{\text{cp}}=a_{61}^{\text{cp}}-a_{71}^{\text{cp}}$ $=-19,72$	0	$Z_{21}^{\text{cp}}=172$
8	$A_{11}^{\text{cp}}=-130,96$	$a_{82}^{\text{cp}}=Z_{28}^{\text{cp}}-A_{11}^{\text{cp}}$ $=-129,52$	$a_{83}^{\text{cp}}=a_{31}^{\text{cp}}-A_{11}^{\text{cp}}$ $=-127,82$	$a_{84}^{\text{cp}}=a_{41}^{\text{cp}}-A_{11}^{\text{cp}}$ $=-108,08$	$a_{85}^{\text{cp}}=a_{51}^{\text{cp}}-A_{11}^{\text{cp}}$ $=-48,76$	$a_{86}^{\text{cp}}=a_{61}^{\text{cp}}-A_{11}^{\text{cp}}$ $=-24,28$	$Z_{21}^{\text{cp}}=-172$	0

Рисунок 46 - Заполненная матрица смежности средних размеров

Для возможности правильного округления размеров, принято решение по созданию дополнительной матрицы с размерной ячейкой a_{ij} . Ячейки содержат в себе примечание о том, что размер с адресом a_{ij} – припуск и его нужно округлить по номиналу, согласно алгоритму, описанному ниже.

2.6 Алгоритм округления

При решении проектных задач расчетные номинальные размеры звеньев целесообразно округлять, сопоставляя число десятичных знаков после запятой с точностью данного размера. Округление номинального размера

определяемого звена приводит к смещению всего поля допуска. Исходя из этого стандартные методы округления не подходят для решения этой задачи.

Предложенный алгоритм округления учитывает количество десятичных знаков в допуске, производит округление в сторону увеличения припуска, округляя до старшей степени в допуске. Алгоритм округления включает следующие шаги.

1. На рисунке 47 представлена матрица припусков, где отражено является ли размер припуском. Например, размер лежащий между поверхностями 1 и 2 (ячейка $a_{1,2} = 1$) является припуском, а размер, лежащий между поверхностями 3 и 1 (ячейка $a_{3,1} = 0$) им не является.

Рассмотрим средний размер, представленный на рисунке 48, лежащий между поверхностями 2 и 8 (ячейка $a_{2,8}$).

$i \backslash j$	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	1	0	0	0	0	0	0
2	1	0	1	0	0	0	0	0
3	0	1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	1
8	0	0	0	0	0	0	1	0

Рисунок 47 - Матрица припусков

$i \backslash j$	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	$Z_{28}^{cp}=144;$ $A_{28}^{cp}=Z_{28}^{cp}$	$a_{15}^{cp}=Z_{28}^{cp}-Z_{20}^{cp}$ $=3,14$	$a_{14}^{cp}=Z_{28}^{cp}-A_{27}^{cp}$ $=22,88$	$a_{15}^{cp}=a_{14}^{cp}-a_{54}^{cp}$ $=82,2$	$a_{16}^{cp}=a_{15}^{cp}-A_{43}^{cp}$ $=106,68$	$a_{17}^{cp}=Z_{28}^{cp}-A_{27}^{cp}$ $=126,4$	$A_{17}^{cp}=130,96$
2	$Z_{28}^{cp}=-144;$ $A_{28}^{cp}=Z_{28}^{cp}$	0	$Z_{20}^{cp}=17$	$A_{27}^{cp}=21,44$	$a_{25}^{cp}=Z_{28}^{cp}-a_{57}^{cp}$ $=80,76$	$a_{35}^{cp}=Z_{28}^{cp}-a_{67}^{cp}$ $=105,24$	$A_{17}^{cp}=124,96$	$a_{28}^{cp}=Z_{28}^{cp}-A_{17}^{cp}$ $=129,52$

Рисунок 48 - Средний размер $a_{2,8}$

2. Исходные значения в матрице средних размеров не округляются. Округляются только те ячейки, в расчете которых присутствует припуск. Исходные данные показаны на рисунке 43.

Исходя из вышесказанного, дополним формулу для расчета средних размеров:

$$a[k, j] = \left(a[i, j] + \left(\frac{b[i, j]}{x^y} \right) \right) - \left(a[i, k] + \left(\frac{b[i, k]}{x^y} \right) \right) \quad (1)$$

Исходные данные для формулы расчета:

- $a[k, j]$ – средний размер, ячейка которого расположена по адресу $[k, j]$;
 - $a[i, j]$ – средний размер, ячейка которого расположена по адресу $[i, j]$;
 - $b[i, j]$ – припуск, ячейка которого расположена по адресу $[i, j]$;
 - $a[k, j]$ – средний размер, ячейка которого расположена по адресу $[k, j]$;
 - $b[k, j]$ – припуск, ячейка которого расположена по адресу $[k, j]$.
 - x^y – Математическое выражение, учитывающее разрядность числа в допуске. x – основание допуска равное 10, y – разрядность допуска + 1.
3. Считываются данные из матрицы допусков, в ячейках проверяется, что целая часть равна нулю, учитывается количество знаков после нуля, как показано на примере допуска, лежащего между поверхностями 2 и 8 (ячейка a_{28}) рисунок 49, для сообщения количества знаков после нуля. Ячейка a_{28} имеет два знака, следовательно, в формуле будет: $x^y = 1000$.

$i \backslash j$	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	$TZ_{28} = -0,36$ $TA_{28} = -0,36$	$a_{13} - a_{14} + TA_{20}$ $= 124$	$a_{14} - TA_{28} + TA_{27}$ $= -0,72$	$a_{15} - a_{14} + a_{54}$ $= 144$	$a_{16} - a_{14} + TA_{25}$ $= -0,92$	$a_{17} - TA_{18} + TA_{17}$ $= -0,72$	$TA_{11} = -0,36$
2	$TZ_{28} = -0,36$ $TA_{28} = -0,36$	0	$TZ_{20} =$ $TA_{27} + TA_{20} =$ $= -0,88$	$TA_{27} = -0,36$	$a_{25} = TA_{27} + a_{54}$ $= -108$	$a_{26} = TA_{20} + TA_{25}$ $= -0,56$	$TA_{21} = -0,36$	$a_{18} = TA_{18} + TA_{11}$ $= -0,72$
3	$a_{31} - a_{14} + TA_{20}$ $= 124$	$TZ_{20} =$ $TA_{27} + TA_{20} =$ $= -0,88$	0	$TA_{20} = -0,52$ $K_4 = -0,52$	$a_{15} = TA_{20} + a_{54}$ $= 124$	$a_{16} = TA_{20} + TA_{25}$ $= -0,72$	$TK_1 = TA_{20} + a_{54}$ $= 124$	$a_{18} = TZ_{20} + a_{82}$ $= 16$
4	$a_{41} - TA_{28} + TA_{27}$ $= -0,72$	$TA_{27} = -0,36$	$TA_{20} = -0,52$ $K_4 = -0,52$	0	$a_{45} = TA_{25} + TA_{47}$ $= -0,72$	$TA_{25} = -0,2$ $K_7 = -0,2$	$a_{47} = TA_{27} + TA_{27}$ $= -0,72$	$a_{48} = TA_{27} + a_{82}$ $= -108$

Рисунок 49 - Ячейка a_{28} в матрице допусков

4. Расчет матрицы средних размеров, производится по формуле, описанной выше.

Рассмотрим пример расчета:

- $a[k, j]$ – средний размер, лежащий между поверхностями 2 и 8 (ячейка $a_{2,8}$), который подлежит округлению, рисунок 48;
- $a[i, j]$ – средний размер, лежащий между поверхностями 1 и 2 (ячейка $a_{1,2}$), рисунок 50;

$i \backslash j$	1	2	3	4
1	0	$Z_{28}^{cp} = 1,44$; $A_{28}^{cp} = Z_{28}^{cp}$	$a_{15}^{cp} = Z_{28}^{cp} - Z_{20}^{cp}$ $= 3,14$	$a_{14}^{cp} = Z_{28}^{cp} - A_{27}^{cp}$ $= 22,88$
2	$Z_{28}^{cp} = -1,44$; $A_{28}^{cp} = Z_{28}^{cp}$	0	$Z_{20}^{cp} = 1,7$	$A_{27}^{cp} = 21,44$
3	$-a_{31}^{cp} = Z_{28}^{cp} - Z_{20}^{cp}$ $= -3,14$	$Z_{20}^{cp} = -1,7$	0	$A_{20}^{cp} = 19,48$; $K_4^{cp} = A_{20}^{cp}$

Рисунок 50 - Ячейка $a_{1,2}$

- $b[i, j]$ – припуск, лежащий между поверхностями 1 и 2 (ячейка $a_{1,2} = 1$), рисунок 47;
- $c[j, k]$ – средний размер, лежащий между поверхностями 1 и 8 (ячейка $a_{1,8}$), рисунок 51;

$i \backslash j$	1	2
1	0	$Z_{28}^{cp} = 144;$ $A_{28}^{cp} = Z_{28}^{cp}$
2	$Z_{28}^{cp} = -144;$ $A_{28}^{cp} = Z_{28}^{cp}$	0
3	$-a_{37}^{cp} = Z_{28}^{cp} - Z_{25}^{cp}$ $= -3,14$	$Z_{20}^{cp} = -1,7$
4	$-a_{47}^{cp} = Z_{28}^{cp} - A_{27}^{cp}$ $= -22,88$	$A_{27}^{cp} = -21,44$
5	$-a_{57}^{cp} = a_{47}^{cp} - a_{54}^{cp}$ $= -82,2$	$-a_{57}^{cp} = Z_{28}^{cp} - a_{57}^{cp}$ $= -80,76$
6	$-a_{67}^{cp} = a_{57}^{cp} - A_{57}^{cp}$ $= -106,68$	$-a_{67}^{cp} = Z_{28}^{cp} - a_{67}^{cp}$ $= -105,24$
7	$-a_{77}^{cp} = Z_{28}^{cp} - A_{77}^{cp}$ $= -126,4$	$A_{77}^{cp} = -124,96$
8	$A_{77}^{cp} = -130,96$	$-a_{87}^{cp} = Z_{28}^{cp} - A_{77}^{cp}$ $= -129,52$

Рисунок 51 - Ячейка $a_{1,2}$

- $b[j, k]$ – припуск, лежащий между поверхностями 1 и 8 (ячейка $a_{1,8} = 0$), рисунок 47;

$$a[k, j] = \left(a[i, j] + \left(\frac{b[i, j]}{xy} \right) \right) - \left(c[j, k] + \left(\frac{b[j, k]}{xy} \right) \right);$$

$$a[2,8] = \left(a[1,2] + \left(\frac{b[1,2]}{10^3} \right) \right) - \left(c[j,k] + \left(\frac{b[j,k]}{10^3} \right) \right);$$

$$a[2,8] = \left((-1,44) + \left(\frac{1}{1000} \right) \right) - \left((-130,96) + \left(\frac{0}{1000} \right) \right);$$

$$a[2,8] = (-1,4) + (130,96) = 129,56.$$

После расчета матриц, происходит округление:

- Рассчитанный размер округляется до старшей степени в допуске;
- Размер округляется в сторону увеличения припуска.

После округления получаем: $a_{2,8} = 129,6$.

В результате получается матрица средних размеров с округлением рисунок 52.

$\begin{matrix} J \\ i \end{matrix}$	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	$Z_{28}^{cp}=1,44$	$a_{16}^{cp}=Z_{28}^{cp}-Z_{20}^{cp}=3$	$a_{14}^{cp}=Z_{28}^{cp}-A_{27}^{cp}=23$	$a_{15}^{cp}=a_{14}^{cp}-a_{54}^{cp}=82$	$a_{16}^{cp}=a_{15}^{cp}-A_{43}^{cp}=106,8$	$a_{17}^{cp}=Z_{28}^{cp}-A_{27}^{cp}=126,4$	$A_{11}^{cp}=130,96$
2	$Z_{28}^{cp}=-1,44$	0	$Z_{20}^{cp}=1,7$	$A_{27}^{cp}=-21,44$	$a_{25}^{cp}=Z_{28}^{cp}-a_{51}^{cp}=81$	$a_{26}^{cp}=Z_{28}^{cp}-a_{61}^{cp}=105,2$	$A_{27}^{cp}=124,96$	$a_{28}^{cp}=Z_{28}^{cp}-A_{11}^{cp}=129,6$
3	$a_{31}^{cp}=Z_{28}^{cp}-Z_{20}^{cp}=-3$	$Z_{20}^{cp}=-1,7$	0	$A_{20}^{cp}=19,48$	$a_{35}^{cp}=a_{31}^{cp}-a_{51}^{cp}=79$	$a_{36}^{cp}=a_{31}^{cp}-a_{61}^{cp}=103,3$	$K_7^{cp}=123$	$a_{38}^{cp}=a_{31}^{cp}-A_{11}^{cp}=129$
4	$a_{41}^{cp}=Z_{28}^{cp}-A_{27}^{cp}=-23$	$A_{27}^{cp}=-21,44$	$A_{20}^{cp}=-19,48$	0	$a_{45}^{cp}=A_{25}^{cp}-A_{43}^{cp}=59,3$	$A_{25}^{cp}=83,8$	$a_{47}^{cp}=a_{41}^{cp}-A_{11}^{cp}=103,5$	$a_{48}^{cp}=a_{41}^{cp}-A_{11}^{cp}=108$
5	$a_{51}^{cp}=a_{14}^{cp}-a_{54}^{cp}=-82$	$a_{52}^{cp}=Z_{28}^{cp}-a_{51}^{cp}=-81$	$a_{53}^{cp}=a_{31}^{cp}-a_{51}^{cp}=-79$	$a_{54}^{cp}=A_{25}^{cp}-A_{43}^{cp}=-59,3$	0	$A_{43}^{cp}=24,48$; $K_3^{cp}=A_{43}^{cp}$	$a_{57}^{cp}=a_{51}^{cp}-A_{11}^{cp}=44$	$a_{58}^{cp}=a_{51}^{cp}-A_{11}^{cp}=48$
6	$a_{61}^{cp}=a_{15}^{cp}-A_{43}^{cp}=-106,8$	$a_{62}^{cp}=Z_{28}^{cp}-a_{61}^{cp}=-105,2$	$a_{63}^{cp}=a_{31}^{cp}-a_{61}^{cp}=-103,3$	$A_{25}^{cp}=-83,8$; $K_2^{cp}=A_{25}^{cp}$	$A_{43}^{cp}=-24,48$; $K_3^{cp}=A_{43}^{cp}$	0	$a_{67}^{cp}=a_{61}^{cp}-a_{71}^{cp}=19,7$	$a_{68}^{cp}=a_{61}^{cp}-A_{11}^{cp}=24$
7	$a_{71}^{cp}=Z_{28}^{cp}-A_{27}^{cp}=-126,4$	$A_{27}^{cp}=-124,96$	$K_7^{cp}=-123$	$a_{74}^{cp}=a_{41}^{cp}-A_{11}^{cp}=-103,5$	$a_{75}^{cp}=a_{51}^{cp}-A_{11}^{cp}=-44,2$	$a_{76}^{cp}=a_{61}^{cp}-a_{71}^{cp}=-19,72$	0	$Z_{27}^{cp}=1,72$
8	$A_{11}^{cp}=-130,96$	$a_{82}^{cp}=Z_{28}^{cp}-A_{11}^{cp}=-129,6$	$a_{83}^{cp}=a_{31}^{cp}-A_{11}^{cp}=-129$	$a_{84}^{cp}=a_{41}^{cp}-A_{11}^{cp}=-108$	$a_{85}^{cp}=a_{51}^{cp}-A_{11}^{cp}=-48$	$a_{86}^{cp}=a_{61}^{cp}-A_{11}^{cp}=-24$	$Z_{27}^{cp}=-1,72$	0

Рисунок 52 - Матрицы средних размеров с округлением

2.5 Работа алгоритма в общем виде

После заполнения матриц исходными данными производится расчет пустых ячеек по алгоритму, для расчета допусков, представленный на рисунке 53.

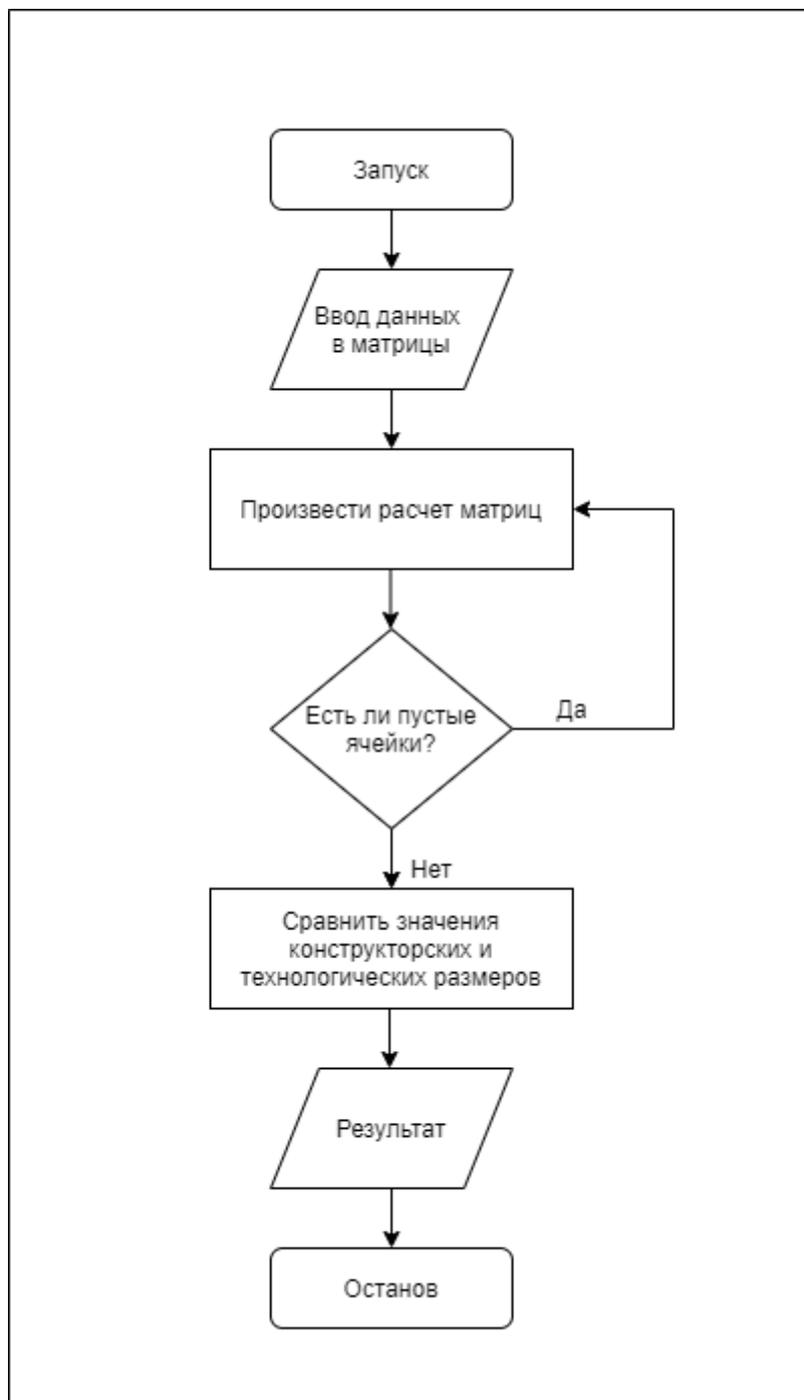


Рисунок 53 - Алгоритм в общем виде

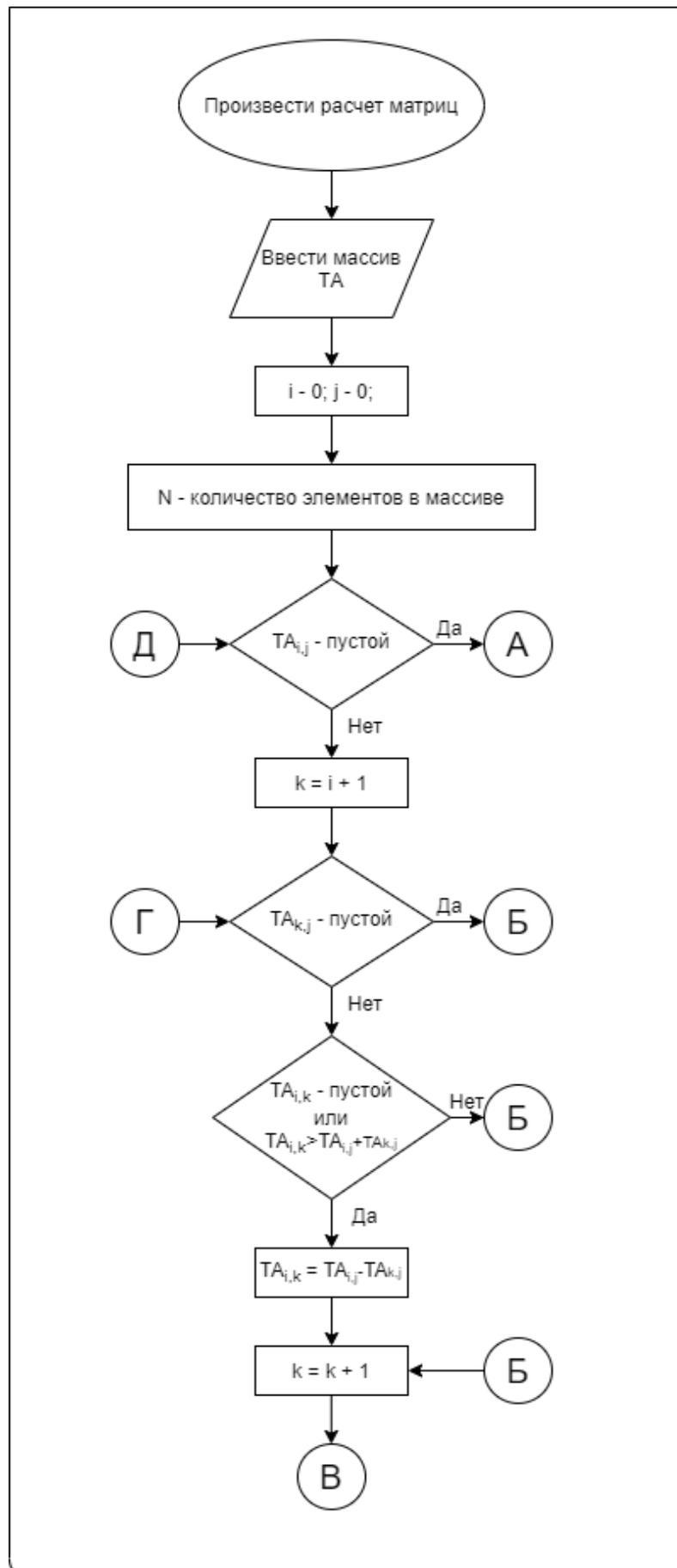


Рисунок 54 - Блок-схема алгоритма расчета допусков (начало)

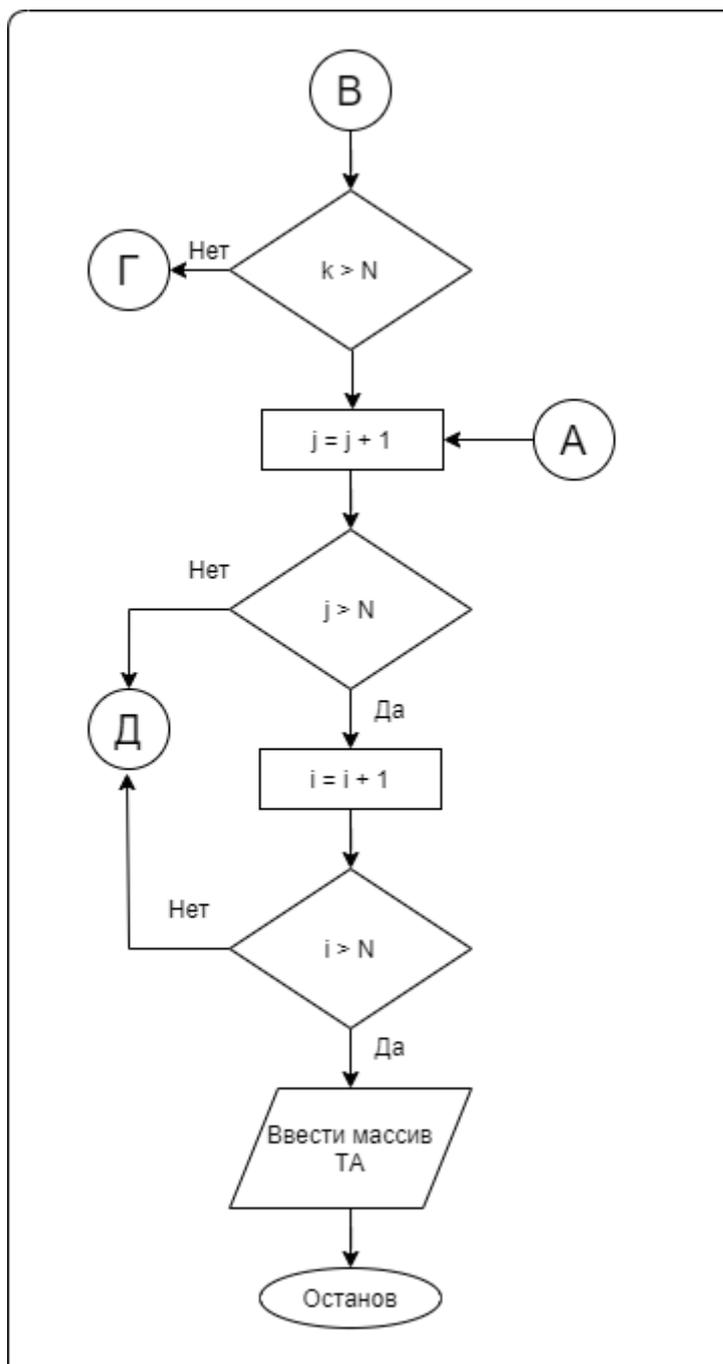


Рисунок 54 - Блок-схема алгоритма расчета допусков (конец)

Расчет пустых ячеек по алгоритму, для расчета средних размеров, представленный на рисунке 55.

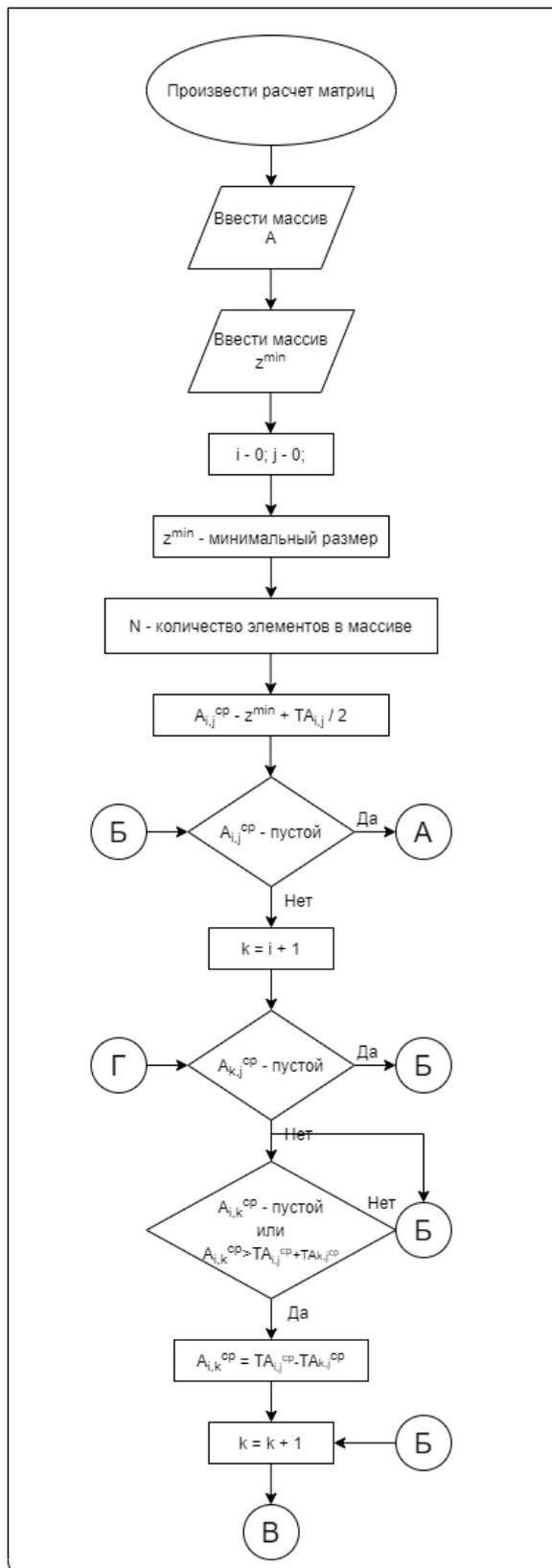


Рисунок 55 - Блок-схема алгоритма расчета средних размеров (начало)

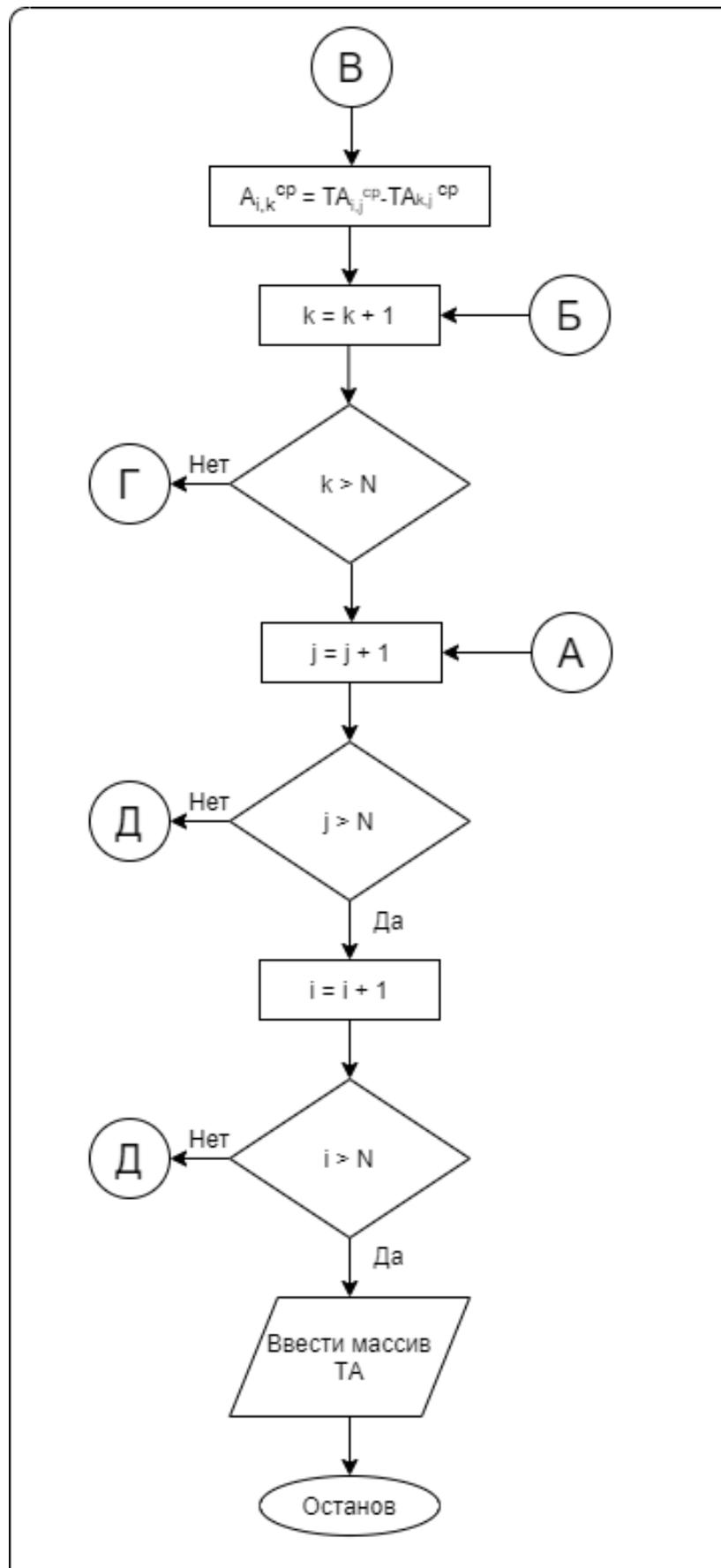


Рисунок 55 - Блок-схема алгоритма расчета средних размеров (конец)

2.6 Работа алгоритма

Пример работы алгоритма показан в программе, созданной при помощи программного обеспечения Microsoft Visual Studio, написан на языке программирования – C#.

Интерфейс программы показан на рисунке 56 и состоит из следующих составляющих:

1. Ячейка ввода размерности матриц – n (здесь и далее размерность матриц);
2. Активная кнопка для построения матриц $n*n$;
3. Активная кнопка для расчета матриц с введенными значениями;
4. Возможность загрузки предварительно введенных данных из текстового документа;

Интерфейс состоит из следующих матриц:

- Матрица средних размеров;
- Матрица допусков;
- Матрица припусков;
- Матрица минимальных размеров.

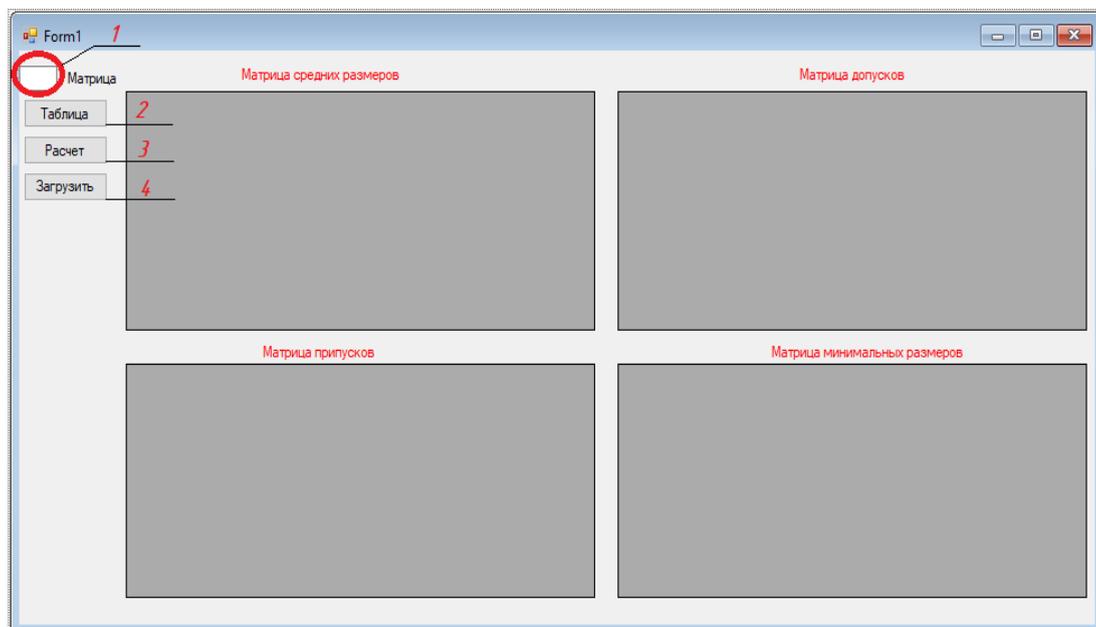


Рисунок 56 - Интерфейс программы

Работа в программе начинается с ввода размерности матриц, которая расположена под номером 1. На рисунке 57 показан пример с введением размерности матриц 8.

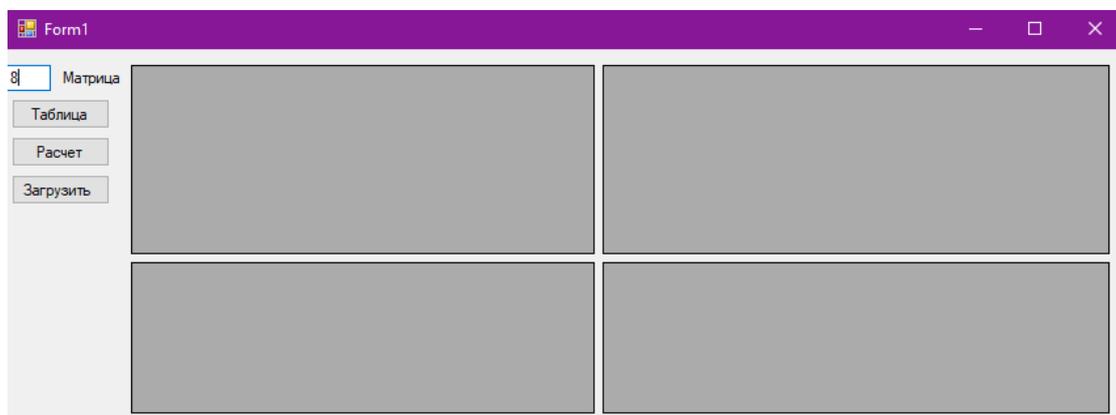


Рисунок 57 - Ввод размерности матриц

Активная кнопка *Таблица* создает матрицы заданной размерности, как показано на рисунке 58.

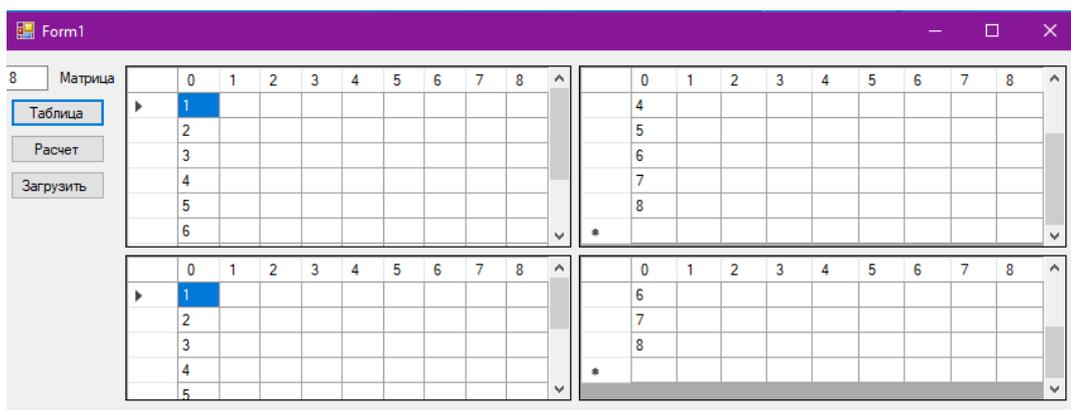


Рисунок 58 - Матрицы заданной размерности

Ввод данных в матрицы производится путем двойного нажатия на конкретную ячейку, рисунок 59. Данные в матрицы можно вводить как вручную, так и при помощи активной кнопки *Загрузить*, из заранее сохраненных данных в текстовом файле, рисунок 5. Текстовый файл содержит значения размеров. Размеры сгруппированы в строку.

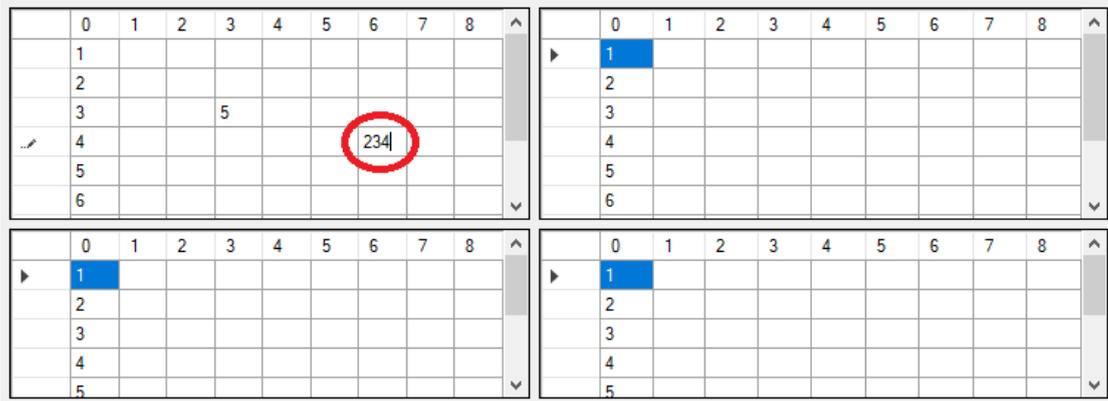


Рисунок 59 - Ввод данных в матрицу

0 -0,63 0 0 0 0 0 0,63 0 0 0 0 -90,25 0 0 0 0 -0,33 0 0 0 0 0 0,33 0 -30,3 0 0 0 0 0 30,3 0 -60,44 0 0 90,25 0

Рисунок 60 - Последовательность символов в текстовом файле

Активная кнопка *Расчет*, после заполнения матрицы средних размеров и матрицы допусков, заполняет матрицы по заданному в программе алгоритму. Для возможности округления заполняется матрица припусков. Матрица минимальных размеров дает возможность ввода минимальных размеров, которые после проведения расчета, по заданному алгоритму, пересчитываются в средние размеры и записываются в таблицу 5.1.

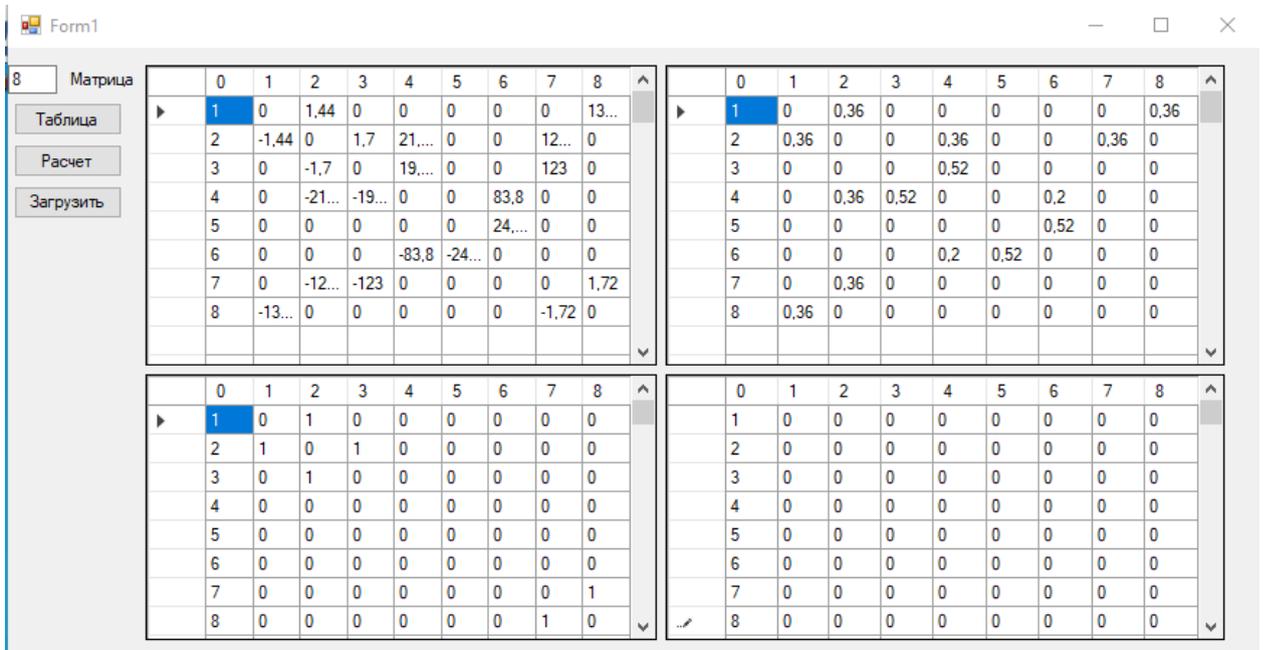


Рисунок 61 - Матрицы с исходными данными

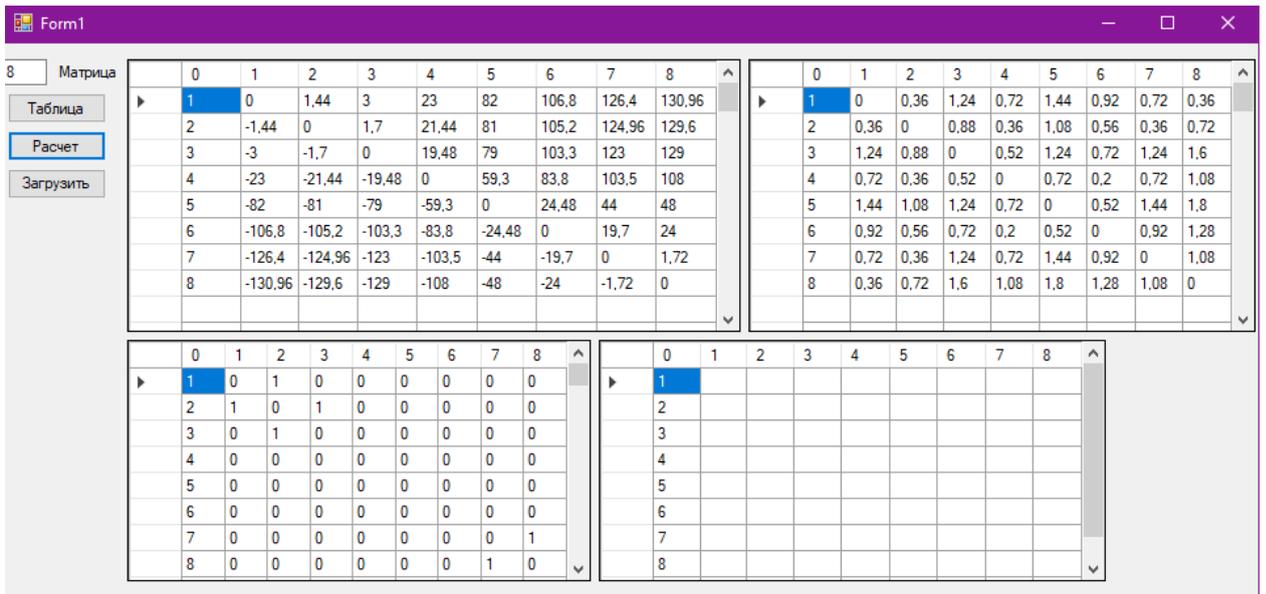


Рисунок 62 - Матрицы после проведения расчета

Вывод по разделу

При использовании данного алгоритма не требуется нахождение уменьшающих и увеличивающих звеньев, отдельных размерных цепей и расчет этих размерных цепей. Нумерация поверхностей происходит в произвольном порядке. Для нахождения всех допусков и размеров нужно заполнить всего две матрицы смежности – средних размеров и допусков. Алгоритм имеет возможность округления средних размеров, и при необходимости, расчет матриц смежности средних размеров через матрицу смежности минимальных размеров. Для этого нужно заполнить матрицу смежности припусков и матрицу смежности минимальных размеров.

Плюсами является то, что алгоритм автоматизирует расчеты, что подходит для размерного анализа технологических процессов как простых деталей, так и более сложных. Все это уменьшает количество времени на анализ технологических процессов, снижает вероятность возникновения ошибок.

Минусами является наличие ручных операций для ввода исходных данных (построение размерных цепей или графа). Требуется построение цепей, поскольку матрицы смежности не содержат информацию о взаимном расположении поверхностей.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа 4AM82	ФИО Измаилов Руслан Алиханович
-----------------	-----------------------------------

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Материаловедение
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.01 «Машиностроение»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих:</i>	- стоимость выполняемых работ, материальных ресурсов, согласно применяемой техники и технологии, в соответствии с рыночными ценами по городу Томску; - ресурсы НИ ТПУ (аудитория); - размер окладов в соответствии с должностными окладами сотрудников НИ ТПУ.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	- районный коэффициент- 1,3; - накладные расходы – 10%; - норма амортизации – 0,4,.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления во внебюджетные фонды – 30 %; НДС – 20%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

Планирование и формирование бюджета проекта	Определение этапов работ; определение трудоемкости работ; разработка графика Ганта Определение затрат на проектирование (смета затрат)
Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Оценка экономической эффективности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Календарный план график проведения работ	
2. Бюджет проекта	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	16.03.20
---	----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Т.Б.	к.э.н.		16.03.20

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM82	Измаилов Руслан Алиханович		16.03.20

3 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Цель раздела – комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов выполненной работы.

3.1 Планирование процесса управления НИИ

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо рационально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ.

Проект разбивается на этапы выполнения, для распределения задач с целью распределения заработной платы.

Перечень работ и продолжительность их выполнения приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Перечень работ и их выполнение

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	НР – 100%
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 100% И – 20%
Поиск и анализ литературы по тематике	НР, И	НР – 20% И – 100%
Обсуждение литературы	НР, И	НР – 30% И – 100%
Планирование экспериментов	НР, И	НР – 100% И – 40%

Таблица 7 – Продолжение

Этапы работ	Исполнители	Загрузка исполнителей
Подготовка к экспериментам	НР, И	НР – 40% И – 100%
Проведение предварительных экспериментов	И	НР – 10% И – 100%
Анализ полученных данных	НР, И	НР – 80% И – 100%
Проведение основных экспериментов	НР, И	НР – 40% И – 100%
Анализ полученных данных	НР, И	НР – 80% И – 100%
Вывод по проведенной работе	НР, И	НР – 60% И – 100%
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 60% И – 100%

Для выполнения перечисленных в таблице 7 работ требуются специалисты: инженер «И» (исполнитель ВКР); научный руководитель «НР».

3.2 Продолжительность этапов работ

Определения вероятных (ожидаемых) значений продолжительности работ:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5},$$

где t_{min} – минимальная продолжительность работы, дн.;

t_{max} – максимальная продолжительность работы, дн.;

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни.

Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ($T_{РД}$) ведется по формуле:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д},$$

где $t_{ож}$ – продолжительность работы, дн.;

$K_{ВН}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, возможно $K_{ВН} = 1$;

$K_{Д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ($K_{Д} = 1-1,2$; в этих границах конкретное значение принимает сам исполнитель).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_{К},$$

где $T_{КД}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{К}$ – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, рассчитываемый по формуле:

$$T_{К} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}},$$

где $T_{КАЛ}$ – календарные дни ($T_{КАЛ} = 365$);

$T_{ВД}$ – выходные дни ($T_{ВД} = 52$);

$T_{ПД}$ – праздничные дни ($T_{ПД} = 10$).

$$T_{К} = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,205$$

Таблица 8 - Продолжительность этапов работ

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Труд-сть работ по исполнителям чел.-дн.			
		t _{min}	t _{max}	t _{ож}	T _{РД}		T _{КД}	
					НР	И	НР	И
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	2	4	2,8	3,36	-	4,05	-
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	1	3	2,8	1,8	0,36	2,6	0,52
Поиск и анализ литературы по тематике	НР, И	10	15	12	2,88	14,4	3,47	17,35
Обсуждение литературы	НР, И	2	5	3,2	1,15	3,85	1,39	4,63
Планирование разработки	НР, И	5	10	7	8,4	3,36	10,12	4,05
Подготовка к эксперименту с программой	НР, И	3	5	3,8	1,82	4,56	2,2	5,5

Таблица 8 - Продолжение

Проведение первичных эксперименто в	НР, И	2	4	2,8	0,336	3,36	0,4	4,05
Анализ полученных данных	НР, И	2	5	3,2	3,07	3,84	3,7	4,63
Проведение основных эксперименто в	НР, И	3	6	4,2	1	5,04	1,2	6,07
Анализ полученных данных	НР, И	2	5	3,2	3,07	3,84	3,7	4,63
Вывод по проведенной работе	НР, И	5	10	7	5,04	8,4	6,07	10,12
Оформление расчетно- пояснительно й записки	И	15	22	17,8	-	21,36	-	25,74
Подведение итогов	НР, И	5	10	7	5,04	8,4	6,07	10,12
Итого:					36,97	80,77	44,97	97,41

Таблица 9 - Линейный график работ

Этап	НР	И	Февраль			Март			Апрель			Май		
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
1	4,05	-	■											
2	2,6	0,52	■											
3	3,47	17,35		■	■									
4	1,39	4,63				■								
5	10,1	4,05					■							
6	2,2	5,5						■						
7	0,4	4,05							■					
8	3,7	4,63								■				
9	1,2	6,07									■			
10	3,7	4,63										■		
11	6,07	10,12											■	
12	-	25,74												■
13	6,07	10,12												■

НР - ■ И - ■

3.3 Расчет материальных затрат НТИ

В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- Отчисления во внебюджетные фонды;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления;
- оплата услуг связи;
- арендная плата за пользование имуществом;
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные расходы) расходы.

3.4 Расчет затрат на материалы

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. Сюда же относятся специально приобретенное оборудование, инструменты и прочие объекты, относимые к основным средствам, стоимостью до 40 000 руб. включительно. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам или договорам поставки. Кроме того, статья включает так называемые транспортно-заготовительные расходы, связанные с транспортировкой от поставщика к потребителю, хранением и прочими процессами, обеспечивающими движение (доставку) материальных ресурсов от поставщиков к потребителю. Сюда же включаются расходы на совершение сделки купли-продажи (т.н. транзакции). Приближенно они оцениваются в процентах к отпускной цене закупаемых материалов, как правило, это 5 - 20 %.

Таблица 10 - Затраты на материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Бумага для принтера формата А4	260	1 уп.	260
Итого:			260

Допустим, что ТЗР составляют 5% от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны

$$C_{\text{мат}} = 13478 \cdot 1,05 = 273 \text{ руб.}$$

3.5 Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера (в его роли выступает исполнитель проекта), а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

Среднедневная тарифная заработная плата (ЗП_{дн-т}) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн-т}} = \frac{МО}{25,083}$$

Таблица 11 - Заработная плата

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	35000	1395,37	37	1,699	87717,14
И	15 500	617,95	81	1,699	85041,66
Итого:					172758,80

3.6 Расчет затрат на отчисления во внебюджетные фонды

Затраты на отчисления во внебюджетные фонды, включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту, т.е. $C_{\text{соц}} = C_{\text{зп}} \cdot 0,3$.

$$C_{\text{соц}} = 172758,8 \cdot 0,3 = 51827,64 \text{ руб.}$$

3.7 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{\text{эл. об.}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot \text{ЦЭ},$$

где $P_{\text{об}}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

ЦЭ – тариф на 1 кВт·час;

$t_{\text{об}}$ – время работы оборудования, час.

Для ТПУ $\text{ЦЭ} = 5,748 \text{ руб./кВт·час}$ (с НДС).

Продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{\text{об}} = T_{\text{рД}} \cdot K_t,$$

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к $T_{\text{рД}}$, определяется исполнителем самостоятельно. В ряде случаев возможно определение $t_{\text{об}}$ путем прямого учета, особенно при ограниченном использовании соответствующего оборудования. Для ПК примем $K_t = 0,8$; для микроскопа $K_t = 0,3$.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{\text{об}} = P_{\text{ном.}} \cdot K_c,$$

где $P_{\text{ном.}}$ – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_c \leq 1$ – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой мощности $K_c = 1$.

Таблица 12 - Затраты на электроэнергию

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{об}$, час	Потребляемая мощность $P_{об}$, кВт	Затраты на электроэнергию $C_{эл. об.}$, руб.
ПК	754	1	4333,99
Итого:			4333,99

3.8 Расчет амортизационных расходов

В статье «Амортизационные отчисления» рассчитывается амортизация используемого оборудования за время выполнения проекта.

Используется формула:

$$C_{ам} = \frac{N_A \cdot C_{об} \cdot t_{рф} \cdot n}{F_D}$$

где N_A – годовая норма амортизации единицы оборудования;

$C_{об}$ – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР. При невозможности получить соответствующие данные из бухгалтерии она может быть заменена действующей ценой, содержащейся в ценниках, прейскурантах и т.п.;

F_D – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году. При этом второй вариант позволяет получить более объективную оценку $C_{ам}$. Например, для ПК в 2019 г. (298 рабочих дней при шестидневной рабочей неделе) можно принять $C_{ам} = 298 = 298 \cdot 8 = 2384$ часа;

$t_{рф}$ – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта;

n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Таблица 13 - Амортизационные расходы

Наименование оборудования	Стоимость Ц _{об} , руб.	Время работы оборудования t _{рф} , час	N _A	F _д	Амортизационные расходы, руб.
ПК	50 000	754	0,4	2384	6325,50
Итого:					6325,50

3.9 Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, т.е.

$$C_{\text{проч}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об}} + C_{\text{ам}}) \cdot 0,1$$

Для данной работы это:

$$\begin{aligned} C_{\text{проч}} &= (273 + 172758,80 + 51827,64 + 4333,99 + 6325,50) \cdot 0,1 \\ &= 23551,89 \text{ руб.} \end{aligned}$$

3.10 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта.

Таблица 14 - Общая себестоимость

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	C _{мат}	273
Основная заработная плата	C _{зп}	172758,80
Отчисления во внебюджетные фонды	C _{соц}	51827,64
Расходы на электроэнергию	C _{эл.об}	4333,99
Амортизационные отчисления	C _{ам}	6325,50
Прочие расходы	C _{проч}	23551,89
Итого:		259070,82

Таким образом, затраты на исследование составили $C = 259070,82$ руб.

3.11 Расчет прибыли

Прибыль от реализации проекта в зависимости от конкретной ситуации (масштаб и характер получаемого результата, степень его определенности и коммерциализации, специфика целевого сегмента рынка и т.д.) может определяться различными способами. Если исполнитель работы не располагает данными для применения «сложных» методов, то прибыль следует принять в размере 5 - 20% от полной себестоимости проекта. В данной работе она составляет 25907,08 руб. (10%) от расходов на разработку проекта.

3.12 Расчет НДС

НДС составляет 20% от суммы затрат на разработку и прибыли. В нашем случае это:

$$\text{НДС} = (259070,82 + 25907,08) \cdot 0,2 = 56995,58 \text{ руб.}$$

3.13 Цена разработки НИР

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС:

$$C_{\text{НИР}} = 259070,82 + 25907,08 + 56995,58 = 341973,48 \text{ руб.}$$

Таблица 15 - Бюджет затрат НИР

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Общая себестоимость	259070,82
2. Прибыль	25907,08
3. НДС	56995,58
Цена разработки НИР	341973,48

Оценка экономической эффективности проекта

Актуальным аспектом качества выполненного проекта является экономическая эффективность его реализации, т.е. соотношение обусловленного ей экономического результата (эффекта) и затрат на разработку проекта.

Качественный анализ позволяет радикально ограничить круг перспективных проектов, но зачастую его недостаточно для формирования окончательного множества, подлежащего реализации. В этом случае он дополняется количественным анализом, предполагающим использование ряда расчетных показателей, позволяющих в итоге рассчитать оставшиеся проекты с точки зрения их экономической эффективности.

Каждый из таких показателей, представляет собой количественную модель соотнесения величины инвестиций в проект с адекватным им экономическим результатом (эффектом), при этом и те, и другие могут носить распределенный в календарном времени характер.

В процессе выполнения раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» были рассчитаны материальные затраты на изготовление данного устройства, затраты на основную и дополнительную зарплату, отчисления во внебюджетные фонды, контрагентные расходы, накладные расходы, на основании которых составлен бюджет затрат на НИИ

Так как на текущий момент расчет затрат на научно-исследовательскую работу носит только научный характер, то оценка экономической эффективности проекта невозможна.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Группа	ФИО
4АМ82	Измаилов Руслан Алиханович

Школа	ИШНПТ	Отделение	Материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	«Машиностроение»

Тема ВКР:

Разработка алгоритма автоматизации технологического размерного анализа	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<i>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</i>	<i>Объект исследования: алгоритм автоматизации технологического размерного анализа Область применения: машиностроение</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	<i>1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019) 2. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. 3. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.</i>
2. Производственная безопасность <i>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</i>	<i>1. Отклонение показателей микроклимата 2. Превышение уровня шума 3. Недостаточная освещенность 4. Эмоциональные нагрузки 5. Электробезопасность</i>
3. Экологическая безопасность:	<i>Анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы) и литосферу (отходы).</i>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<i>Пожарная безопасность</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	16.03.20
---	----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Сечин Александр Иванович	Доктор технических наук		16.03.20

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ82	Измаилов Руслан Алиханович		16.03.20

4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Вопросы производственной и экологической безопасности рассматриваются с позиции исполнителя (инженера), связанного непосредственно с разработкой алгоритма.

4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В данной работе рассмотрена аудитория и находящееся в ней оборудование (ПК). Рабочее место располагается на 2 этаже в аудитории, помещение представляет собой комнату длиной 9 м. шириной 7 м., высотой 3,5 м., 2 окна, выходящих на север, в помещении находится 6 единиц ПК и 6 человек.

Согласно статье 91 Трудового кодекса Российской Федерации от 30 декабря 2001 г. N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019) рабочее время рассматривается, как время, в течение которого работник в соответствии с правилами внутреннего трудового распорядка и условиями трудового договора должен исполнять трудовые обязанности. Нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю [9].

Одним из факторов комфортности рабочей среды является организация рабочего места. Рабочее место соответствует требованиям ГОСТ 12.2.032-78 [10]. Каждый день в помещениях, в которых располагаются ПК, проводится влажная уборка, а также систематическое проветривание помещения.

Для интерьера помещений рекомендуется использовать материалы пастельных тонов. Окраска ПК и прилегающий к нему техники имеют темные цвета с высококонтрастными органами управления и надписями к ним. Аудитория, в которой проводилась работа над ВКР, имеет следующую окраску:

- потолок - белый;
- стены - сплошные, бежевого цвета;

- пол - бежевый.

Эргономические требования к рабочим местам при выполнении работ в положении сидя приведены в [10]. Рабочее место соответствует требованиям стандартов, технических условий и методических указаний по безопасности труда.

Работа над проектом предполагает использование компьютерной техники. Рабочее место с использованием ПЭВМ соответствует требованиям СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [11].

4.2 Производственная безопасность

В данном пункте рассматриваются вредные и опасные факторы, которые могут возникать при проведении исследований.

4.2.1 Анализ вредных и опасных факторов объекта исследования

Работа по разработке алгоритма проводилась на персональном компьютере.

При работе с персональным компьютером существуют ряд вредных и опасных факторов:

Таблица 16 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо	Изгото	Эксплу	
1.Отклонение показателей микроклимата;	+	+		ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования
2.Превышение уровня шума;	+	+		ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
3.Недостаточная освещенность;	+	+		ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация.

Таблица 16 – Продолжение

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо	Изгото в	Эксплу а	
4.Эмоциональные нагрузки;	+	+	+	ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
5.Электробезопасность.	+	+	+	ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.

4.2.2 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Физическим опасным фактором на рабочем месте оператора ПК является опасность поражения электрическим током, отклонение показателей микроклимата в помещении, повышенный уровень шума на рабочем месте, недостаточная освещенность рабочей зоны.

4.2.3 Анализ показателей микроклимата

Микроклимат в производственных условиях определяется следующими параметрами:

- 1) температура воздуха;
- 2) относительная влажность воздуха;
- 3) скорость движения воздуха.

При высокой температуре воздуха в помещении кровеносные сосуды кожи расширяются, происходит повышенный приток крови к поверхности тела, и выделение тепла в окружающую среду значительно увеличивается. При низкой температуре окружающего воздуха реакция человеческого организма иная: кровеносные сосуды кожи сужаются, приток крови к поверхности тела замедляется, и теплоотдача конвекцией и излучением уменьшается. Таким образом, для теплового самочувствия человека важно определенное сочетание температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне.

Повышенная влажность воздуха ($\varphi > 85\%$) затрудняет терморегуляцию организма, т.к. происходит снижения испарения пота, а пониженная влажность ($\varphi < 20\%$) вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей.

Работы делятся на три категории тяжести на основе общих энергозатрат организма. Работа, относящаяся к инженерам – разработчикам, относится к категории легких работ. Допустимые значения микроклимата для этого случая даны в таблице 2.

Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в аудитории соответствуют значениям ГОСТ 12.1.005-88, и приведены в таблице 2 [12].

Таблица 17 - Требования к микроклимату

Период года	Категория работы	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	легкая	19 – 24	15 - 75	≤ 0.1
Теплый	легкая	20 - 28	15 - 75	≤ 0.2

4.2.4 Анализ показателей шума

Длительное воздействие шума на организм человека приводит к неблагоприятным последствиям: снижается острота зрения и слуха, повышается кровяное давление, притупляется внимание.

Здание, в котором расположена аудитория, удалено от сильных источников шума, таких как центральные улицы, автомобильные и железные дороги и т.д.

Шум на рабочем месте создается внутренними источниками, такими как устройства кондиционирования воздуха и другим техническим оборудованием. Уровень шума на рабочем месте пользователя персонального

компьютера соответствует значениям, установленным СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96 (не должен превышать 50 дБА) [13].

В аудитории уровень внутренних шумов не превышает предельно допустимого значения, установленного в ГОСТ 12.1.003-2014 [14].

4.2.5 Анализ освещенности рабочей зоны

К освещенности рабочего места инженера проектировщика предъявляются следующие требования:

- освещенность должна соответствовать характеру зрительной работы;
- величина освещенности должна быть постоянна во времени;
- должны отсутствовать пульсации светового потока ИС.

В помещениях, в которых установлены компьютеры, должно быть предусмотрено как искусственное, так и естественное освещение.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения $A = 9$ м, ширина $B = 7$ м, высота = 3,5 м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 1,0$ м. Согласно СНиП 23-05-95 необходимо создать освещенность не ниже 300 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

Площадь помещения:

$$S = A \times B,$$

где A – длина, м;

B – ширина, м.

$$S = 7 \times 9 = 63 \text{ м}^2$$

Коэффициент отражения покрашенных светло-зеленых стен с окнами, без штор $\rho_c = 40\%$, свежепобеленного потолка $\rho_{II} = 70\%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $K_z = 1,2$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z = 1,1$.

Выбираем лампу дневного света ЛТБ-40, световой поток которой равен $\Phi_{\text{ЛД}} = 2200$ Лм.

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР –2-40.

Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1200 мм, ширина – 260 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем $\lambda=1,2$, расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0,5$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = h_n - h_p,$$

где h_n – высота светильника над полом, высота подвеса,

h_p – высота рабочей поверхности над полом.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухламповых светильников ОДОР: $h_n = 3,5$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 1 - 0,5 = 2,0 \text{ м.}$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,2 \cdot 2 = 2,4 \text{ м}$$

Число рядов светильников в помещении:

$$Na = \frac{A}{L} = \frac{9}{2,4} = 3,75 \approx 4$$

Число светильников в ряду:

$$Nb = \frac{B}{L} = \frac{7}{2,4} = 2,92 \approx 3$$

Общее число светильников:

$$N = Na \cdot Nb = 4 \cdot 3 = 12$$

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле:

$$l = \frac{L}{3} = \frac{2,4}{3} = 0,8 \text{ м}$$

Размещаем светильники в два ряда. На рисунке 63 изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

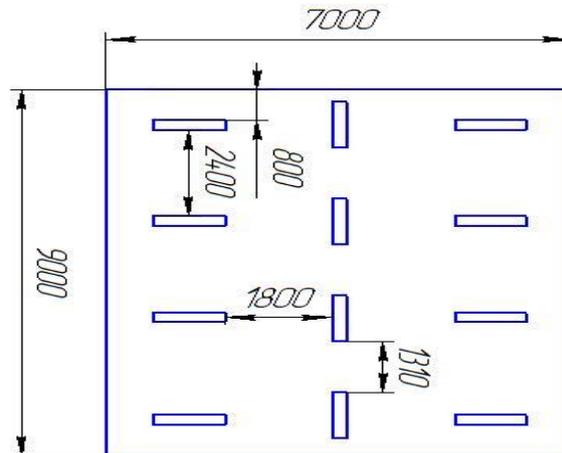


Рисунок 63 - План помещения и размещения светильников

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{9 \cdot 7}{2,0 \cdot (9 + 7)} = 1,97$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОД с люминесцентными лампами при $\rho_{\text{П}} = 70\%$, $\rho_{\text{С}} = 40\%$ и индексе помещения $i = 1,97$ равен $\eta = 0,6$.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{П}} = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{n \cdot N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 9 \cdot 7 \cdot 1,2 \cdot 1,1}{2 \cdot 12 \cdot 0,6} = 1751 \text{ лм}$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{П}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% \leq 20\%;$$

$$\frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{П}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% = \frac{2200 - 1751}{2200} \cdot 100\% = 19\%.$$

Таким образом: $-10\% \leq 19\% \leq 20\%$, необходимый световой поток.

4.2.6 Эмоциональные нагрузки

Эмоциональные нагрузки определяются тремя параметрами:

- степенью ответственности за результат собственной деятельности;
- степенью риска для собственной жизни;
- ответственностью за безопасность других лиц.

Практика аттестации рабочих мест показывает, что оценка всех трех параметров происходит в соответствии с профессией без каких-либо дополнительных измерений, что в данном случае является наилучшим выбором, чем проведение крайне субъективных оценок непрофильными специалистами. Проблема эмоциональных нагрузок не может исчерпываться тремя показателями и требует профессиональных методик оценки, которые должны разрабатываться специалистами в области социальной психологии, психологии труда, психологии мотивации и эмоций и т.д.

Степень ответственности за результат собственной деятельности, значимость ошибки указывает, в какой мере работник может влиять на результат собственного труда при различных уровнях сложности осуществляемой деятельности. С возрастанием сложности повышается степень ответственности, поскольку ошибочные действия приводят к дополнительным усилиям со стороны работника или всего коллектива, что соответственно приводит к увеличению эмоционального напряжения.

С эмоциональными нагрузками помогает справиться психолог и свести их к минимуму.

4.2.7 Электробезопасность

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока. В зависимости от индивидуальных показателей человека (масса, рост, строение тела, пол, род

занятий), его физического состояния (болезнь, наличие состояния алкогольного опьянения), параметров протекающего тока (сила тока и его частота), состояния окружающей среды зависит поражающее воздействие на организм. Одним из наиболее опасных параметров являются переменный ток с частотой от 10 до 120 Гц. Наиболее безопасным напряжением для человека является до 12 В, условно безопасным до 36 В. Опасной величиной считается ток, более 1 мА, а смертельным более 100 мА. В аудитории проходит безопасное для человека напряжение, что соответствует ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. [16]

Аудитория относится к помещению без повышенной опасности поражения электрическим током. Это сухое помещение, пол покрыт изоляционным материалом. Влажность воздуха не превышает 75%, отсутствует токопроводящая пыль, температура не превышает 35°C. В помещении применяются следующие меры защиты от поражения электрическим током: недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения, все токоведущие части изолированы и ограждены. Недоступность токоведущих частей достигается путем их надежной изоляции, применения защитных ограждений (кожухов, крышек, сеток и т.д.), расположения токоведущих частей на недоступной высоте.

Согласно требованиям «Правил устройства электроустановок», утвержденных Госэнергонадзором от 12.04.2003, аудитория оборудована следующим образом:

- на распределительном щитке имеется рубильник для отключения общей сети электропитания;
- во всех приборах имеются предохранители для защиты от перегрузок в общей сети питания и защиты сети при неисправности прибора.

Основными техническими средствами защиты человека от поражения электрическим током, используемыми отдельно или в сочетании друг с другом, являются: защитное заземление, защитное зануление, защитное отключение, электрическое разделение сети, малое напряжение,

электрозащитные средства, уравнивание потенциалов, двойная изоляция, предупредительная сигнализация, блокировка, знаки безопасности.

4.3 Экологическая безопасность

В данном подразделе рассматривается характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду.

Экологическая безопасность – это допустимый уровень негативного воздействия со стороны природных и антропогенных факторов экологической опасности на окружающую среду и человека.

Образование отходов является неотъемлемой частью производственных процессов. Отходы загрязняют окружающую среду и образуют высокие концентрации токсичных веществ.

Решения по обеспечению экологической безопасности:

1. для литосферы – вывоз твердых бытовых отходов, с последующей переработкой;
2. для атмосферы – проведение ежедневной влажной уборки на рабочем месте и проветривание помещения.

В аудитории, где проводилась основная работа над ВКР, источником загрязнения окружающей среды являются люминесцентные лампы, с помощью которых реализовано освещение. В трубках люминесцентных ламп содержится от 3 до 5 мг ртути. ЛЛ относятся к первому классу токсичных отходов и являются чрезвычайно опасными, они требуют специальной утилизации.

Для обеспечения экологической безопасности возможны пути решения проблем в соответствии с ГОСТ Р 14.01-2005. [19]

Для перехода к безотходного производства необходимо осуществлять все работы в электронном виде, без использования принтеров соответственно бумаги.

Нужно позаботиться о раздельных контейнерах для отходов бытового характера: отдельные мусорные баки для бумаги, стекла, металлических частей, пластика.

Необходимо утилизировать средства освещения. Все известные сегодня способы утилизации люминесцентных ламп очень трудоемки, опасны, энергозатратны и экономически нецелесообразны: стоимость подобной операции практически сравнима со стоимостью новой лампы. Специальный химический раствор позволяет полностью удалить все опасные компоненты люминофорного слоя со стекла, и после дальнейшей переработки, использовать их повторно, как, впрочем, и само стекло.

4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Исследование проводилось в городе Томск с континентально-циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т. д.), в данном городе отсутствуют. Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы и диверсия. [17]

В зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приведет к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди населения. В случае переморозки труб должны быть предусмотрены запасные газовые обогреватели с катализаторами. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась. В случаи обрыва линий электропередач должны быть предусмотрены электрогенераторы, которые и будем использовать для электрообогревателей и другого вида оборудования. Нужно иметь запасы воды для сотрудников и для технических нужд. Заключить договоры с транспортными компаниями, что переложит ответственность в случаи ЧС на них.

Чрезвычайные ситуации, возникающие в результате диверсий, возникают все чаще. Зачастую такие угрозы оказываются ложными. Но случаются взрывы и в действительности. Для предупреждения вероятности

осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, системах охраны, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица раз в полгода проводят тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации.

4.4.1 Анализ пожарной безопасности

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1 - В4, Г и Д. К категории Д относятся помещения, в которых находятся (обращаются) негорючие вещества и материалы в холодном состоянии. Аудитория, в которой проводилась работа над ВКР, относится к категории опасности помещений – В3.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м. Здание должно соответствовать требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, порошковых огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к эвакуационному выходу (рисунок 64).

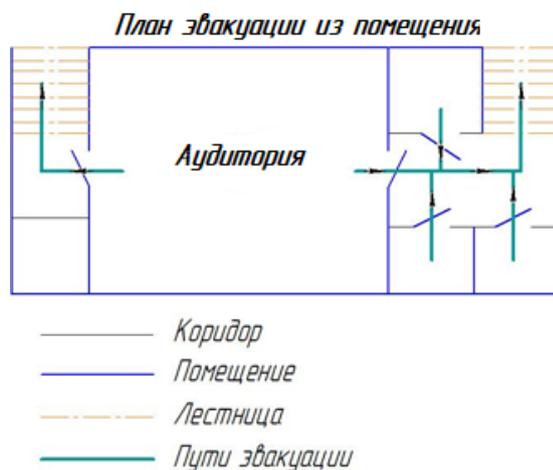


Рисунок 64 - План эвакуации

Предусмотренные средства пожаротушения (согласно требованиям противопожарной безопасности, СНиП 2.01.02-85 [18]): огнетушитель ручной углекислотный ОУ-5, пожарный кран с рукавом. Кроме того, каждое помещение оборудовано системой противопожарной сигнализации.

Алгоритм разрабатывался на ПК. Каждые 30 минут, после включение ПК, происходит сохранение всей информации в облачном сервере, при помощи интернет соединения.

Вывод по разделу

В данном разделе были рассмотрены различные виды вредного воздействия на человека и окружающую среду, способы их уменьшения.

В разделе производственная безопасность были изучены вопросы безопасности, рассмотрены вредные и опасные факторы, которые могут возникать при разработке. К таким вредным воздействиям на организм человека относятся: шум, недостаток освещённости, эмоциональные нагрузки, электробезопасность, отклонения от благоприятного микроклимата. Аудитория, в которой проводилась работа, соответствует как нормам безопасности, так вредным и опасным факторам. Так же для обеспечения безопасности при производстве проводятся мероприятия:

- постоянный контроль за состоянием воздушной среды производственных;
- регулярные медицинские осмотры;
- соблюдение требований безопасности труда к освещенности помещения, отоплению, вентиляции (система вытяжной вентиляции), кондиционированию воздуха;
- доступ к системе водоснабжения, сан.узлу;
- регламентированные перерывы в работе на обед и на отдых.

В подразделе экологическая безопасность рассмотрен характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду, указаны опасные и вредные производственные факторы, а также методы борьбы с ними. Для устранения бытовых отходов отдельные контейнеры, предложен способ утилизации люминесцентных ламп

В подразделе безопасность в чрезвычайных ситуациях приведены возможные ЧС на рабочем месте, предусмотрены мероприятия по устойчивости работы.

Заключение

В выпускной квалификационной работе представлено 4 раздела:

В первом разделе был произведен анализ существующих методов автоматизации размерного анализа. Рассмотрен принцип работы методов, а также их достоинства и недостатки.

Во втором разделе был предложен алгоритм автоматизации технологического размерного анализа. Рассмотрен принцип работы алгоритма на детали типа «Шатун», а также достоинства и недостатки алгоритма.

В экономической части посчитана цена разработки научно-исследовательской работы. Она составляет 341973,48 руб.

В социальной ответственности рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, рассмотрены вредные и опасные факторы, проанализировав которые, можно сделать вывод о соответствии требованиям рабочего места исследователем.

Список использованной литературы

1. Иващенко И.А. Технологические размерные расчеты и способы их автоматизации. – М.: Машиностроение, 1975. – 222 с.
2. Размерный анализ технологических процессов / В.В. Матвеев, М.М. Тверской, Ф.И. Бойков и др. – М.: Машиностроение, 1982. – 264 с.
3. Шамин, В.Ю. Теория и практика решения конструкторских и технологических размерных цепей: учеб. пособие / В.Ю. Шамин. – 5-е изд., перераб. и доп. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2012. – 530 с.
4. Калачев, О.Н. Графическое моделирование размерной структуры технологического процесса на электронном чертеже в среде AutoCAD / О.Н. Калачев, Н.В. Богоявленский, С.А. Погорелов // Вестник компьютер. и информ. технологий. – 2012. – № 5. – С. 13–19.
5. Хармац, И. КОМПАС-АВТОПРОЕКТ: точный контроль над технологической информацией. Новые модули и новые возможности системы / И. Хармац // САПР и графика. – 2004. – Июнь. – С. 17–19.
6. Масягин, В.Б. Метод расчета линейных технологических размеров на основе матричного представления графа / В.Б. Масягин, С.Г. Головченко // Омский науч. вестн. Серия «Приборы, машины и технологии». – 2003. – № 3 (24). – С. 75–78.
7. Britton, G.A. A Matrix Method for Calculating Working Dimensions and Offsets for Tolerance Charting / G.A. Britton, G. Thimm // International Journal of Computer Applications in Technology. – 2002. – P. 448–453.
8. Мухолзоев, А.В. Алгоритм модуля автоматизированного расчета технологических размерных цепей / А.В. Мухолзоев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2015. – Т. 15, № 3. – С. 48–55.
9. Скворцов В.Ф. Основы размерного анализа технологических процессов изготовления деталей, учебное пособие. - Томск.: изд-во ТПУ, 2006 - 100с.

10. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019).
11. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
12. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
13. ГОСТ 12.1.005-88. Требования к микроклимату производственных помещений.
14. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
15. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
16. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*
17. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
18. ГОСТ Р 22.0.07-95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники техногенных чрезвычайных ситуаций. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров.
19. СНиП 2.01.02-85. Противопожарные нормы.
20. ГОСТ Р 14.01-2005. Экологический менеджмент. Общие положения и объекты регулирования.

Приложение А

Automation Algorithm

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM82	Измаилов Руслан Алиханович		05.06.20

Консультант школы отделения материаловедения ИШНПТ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мухолзоев А. В.			05.06.20

Консультант – лингвист ОИЯ ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Кобзева Н. А.	к.п.н.		05.06.20

Tolerance algorithm

Construct the dimensional scheme shown in fig. 1 and the graph of technological dimensions presented in fig. 2.

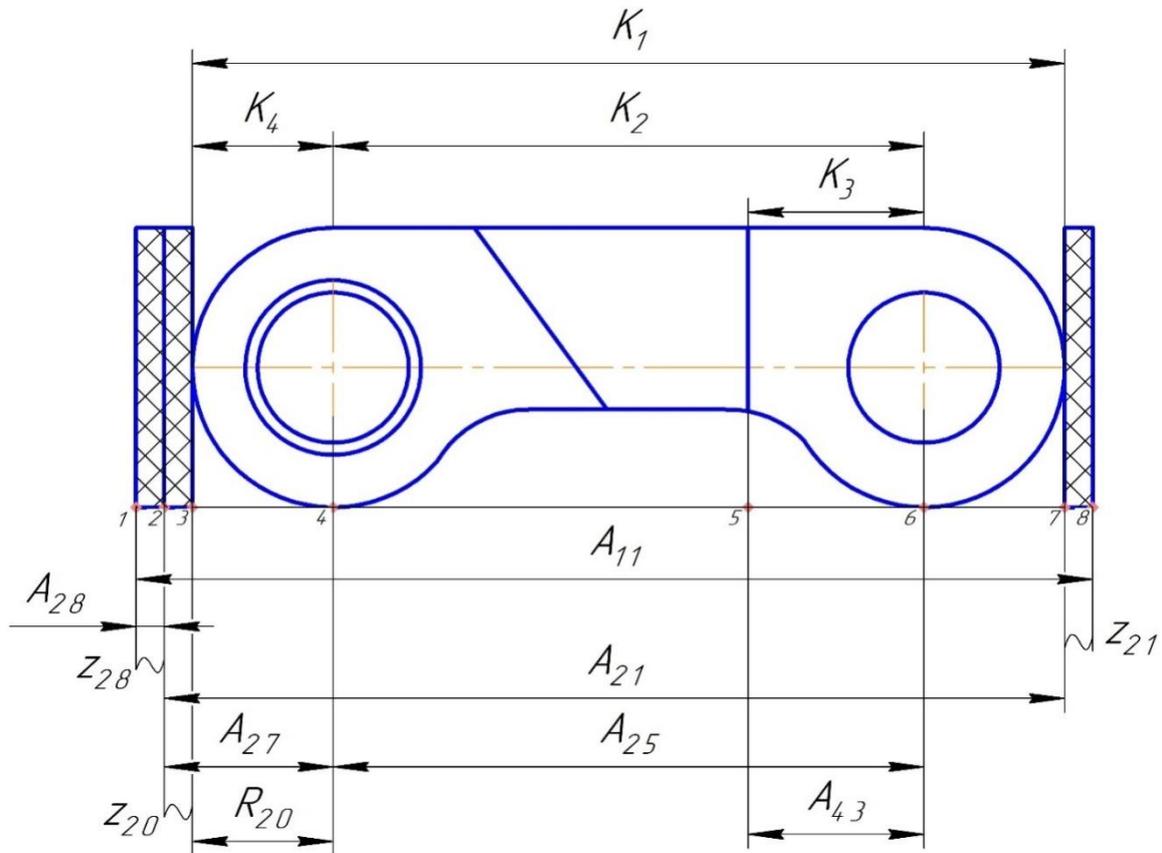


Fig. 1 - Dimensional diagram of the technological process

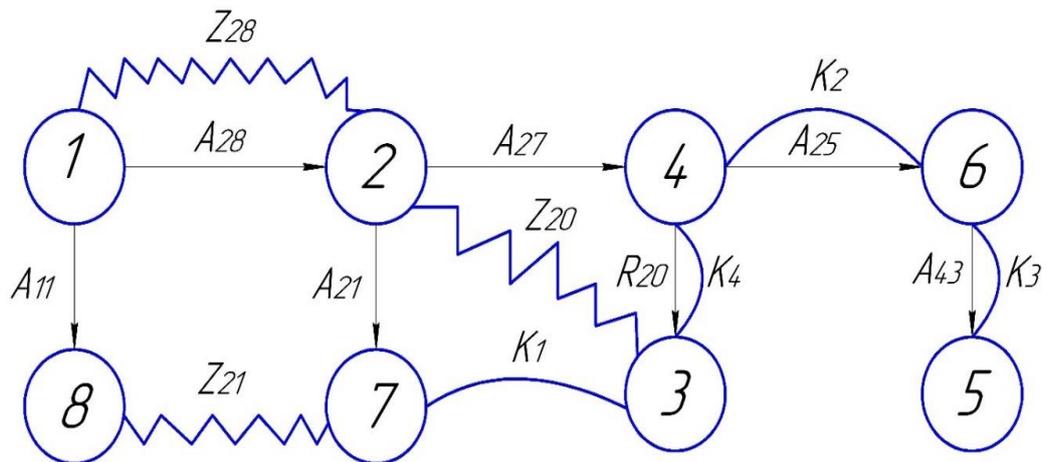


Fig. 2 - Graph of the operational dimensions of the process

Consider a graph containing only dimensional tolerances on fig. 3.

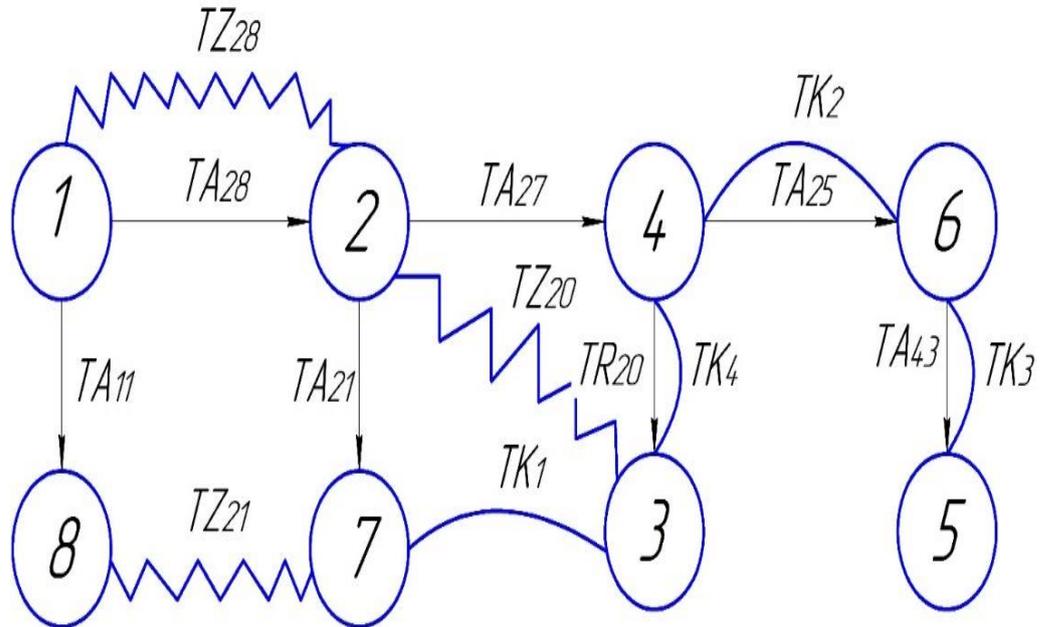


Fig. 3 - Dimension tolerance graph

The following is an example algorithm for calculating the tolerances of the operational dimensions of a process.

The adjacency matrix is numbered n and p . The size is assigned to the cell located between these surfaces with the name anp .

For example, the size located between surfaces 1 and 8, shown in fig. 4, is located in cell $A_{1,8}$. This means that the tolerance value $TA_{1,8}$ is entered in cell $A_{1,8}$.

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	$TZ_{28}=-0,36;$ $TA_{28}=-0,36$						$TA_{11}=0,36$
2	$TZ_{28}=-0,36;$ $TA_{28}=-0,36$	0	$TZ_{20} =$	$TA_{27}=-0,36$			$TA_{21}=0,36$	
3		$TZ_{20} =$	0	$TA_{28}=-0,52;$ K_4			TK_1	
4		$TA_{27}=-0,36$	$TA_{28}=-0,52;$ K_4	0		$TA_{25}=-0,2;$ K_2		
5					0	$TA_{43}=-0,52;$ K_3		
6				$TA_{25}=-0,2;$ K_2	$TA_{43}=-0,52;$ K_3	0		
7		$TA_{21}=0,36$	TK_1				0	$TZ_{21} =$
8	$TA_{11}=0,36$						$TZ_{21} =$	0

Fig. 4 - Tolerance matrix

1. We sort through the lines. i - is the number of the current line;
2. In row i we find a cell that is not zero, we write its address as $a_{i,j}$, where j is the column number of the found cell. For example, in fig. 5 cell $A_{2,4}$ selected;
3. In column j , we look for a cell that is not zero, write its address as $a_{k,j}$, where k is the row number of the cell found. In fig. 5 found cell $a_{3,4}$;

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	$TZ_{28}=-0,36;$ $TA_{28}=-0,36$						$TA_{11}=0,36$
2	$TZ_{28}=-0,36;$ $TA_{28}=-0,36$	0	$TZ_{20} =$	$TA_{27}=-0,36$			$TA_{21}=0,36$	
3		$TZ_{20} =$	0	$TA_{28}=-0,52;$ K_4			TK_1	
4		$TA_{27}=-0,36$	$TA_{28}=-0,52;$ K_4	0		$TA_{25}=-0,2;$ K_2		
5					0	$TA_{43}=-0,52;$ K_3		
6				$TA_{25}=-0,2;$ K_2	$TA_{43}=-0,52;$ K_3	0		
7		$TA_{21}=0,36$	TK_1				0	$TZ_{21} =$
8	$TA_{11}=0,36$						$TZ_{21} =$	0

Fig. 5 - Tolerance matrix with found cell

4. If the cell with the address $a_{i,k}$ contains a value that is greater than the sum of the received values of the cells $a_{i,j}$ and $a_{k,j}$ or cell $a_{i,k}$ is empty, then we write down the sum of the values of cells $a_{i,j}$ and $a_{k,j}$. In fig. 6, the sum of cells $a_{2,4}$ and $a_{3,4}$ is recorded in cell $a_{2,3}$;

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	$TZ_{28}=0.36$ $TA_{28}=0.36$						$TA_{17}=0.36$
2	$TZ_{28}=0.36$ $TA_{28}=0.36$	0	$TZ_{20}=$ $TA_{27}+TA_{28}$	$TA_{27}=0.36$				$TA_{21}=0.36$
3		$TZ_{20}=$	0	$TA_{25}=0.52$ K_4				TK_1
4		$TA_{27}=0.36$	$TA_{28}=0.52$ K_1	0		$TA_{25}=0.2$ K_2		
5					0	$TA_{13}=0.52$ K_3		
6				$TA_{25}=0.2$ K_2	$TA_{13}=0.52$ K_3	0		
7		$TA_{21}=0.36$	TK_1				0	$TZ_{21}=$
8	$TA_{11}=0.36$						$TZ_{21}=$	0

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	$TZ_{28}=0.36$ $TA_{28}=0.36$						$TA_{17}=0.36$
2	$TZ_{28}=0.36$ $TA_{28}=0.36$	0	$TZ_{28}=0.88$	$TA_{27}=0.36$				$TA_{21}=0.36$
3		$TZ_{28}=0.88$	0	$TA_{25}=0.52$ K_4				TK_1
4		$TA_{27}=0.36$	$TA_{28}=0.52$ K_1	0		$TA_{25}=0.2$ K_2		
5					0	$TA_{13}=0.52$ K_3		
6				$TA_{25}=0.2$ K_2	$TA_{13}=0.52$ K_3	0		
7		$TA_{21}=0.36$	TK_1				0	$TZ_{21}=$
8	$TA_{11}=0.36$						$TZ_{21}=$	0

Fig. 6 - Matrix calculation

5. Cells with an address when $i = j$ is not calculated;
6. The cycle repeats until the cell values cease to change. This point of the algorithm selects the shortest paths between surfaces, since the path of such a route is often calculated, which several times passes along the same vertex of the graph. The adjacency matrix with the calculated values is presented in fig. 7 (in fig. 7, the contents of the cells are numbered as follows: lowercase letters are numbered by the address of the cell, capital letters - in accordance with the technological process).

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	$TZ_{2,8} = 0,36;$ $TA_{2,8} = 0,36$	$a_{1,3} = a_{1,4} + TA_{2,0}$ $= 1,24$	$a_{1,4} = TA_{2,8} + TA_{2,7}$ $= 0,72$	$a_{1,5} = a_{1,4} + a_{5,4}$ $= 1,44$	$a_{1,6} = a_{1,4} + TA_{2,5}$ $= 0,92$	$a_{1,7} = TA_{2,8} + TA_{2,1}$ $= 0,72$	$TA_{1,1} = 0,36$
2	$TZ_{2,8} = 0,36;$ $TA_{2,8} = 0,36$	0	$TZ_{2,0} =$ $TA_{2,7} + TA_{2,0} =$ $= 0,88$	$TA_{2,7} = 0,36$	$a_{2,5} = TA_{2,7} + a_{5,4}$ $= 1,08$	$a_{2,6} = TA_{2,0} + TA_{2,5}$ $= 0,56$	$TA_{2,1} = 0,36$	$a_{2,8} = TA_{2,8} + TA_{1,1}$ $= 0,72$
3	$a_{3,1} = a_{1,4} + TA_{2,0}$ $= 1,24$	$TZ_{2,0} =$ $TA_{2,7} + TA_{2,0} =$ $= 0,88$	0	$TA_{2,0} = 0,52;$ $K_4 = 0,52$	$a_{3,5} = TA_{2,0} + a_{5,4}$ $= 1,24$	$a_{3,6} = TA_{2,0} + TA_{2,5}$ $= 0,72$	$TK_1 = TA_{2,0} + a_{5,4}$ $= 1,24$	$a_{3,8} = TZ_{2,0} + a_{8,2}$ $= 1,6$
4	$a_{4,1} = TA_{2,8} + TA_{2,7}$ $= 0,72$	$TA_{2,7} = 0,36$	$TA_{2,0} = 0,52;$ $K_4 = 0,52$	0	$a_{4,5} = TA_{2,5} + TA_{4,3}$ $= 0,72$	$TA_{2,5} = 0,2;$ $K_2 = 0,2$	$a_{4,7} = TA_{2,7} + TA_{2,1}$ $= 0,72$	$a_{4,8} = TA_{2,7} + a_{8,2}$ $= 1,08$
5	$a_{5,1} = a_{1,4} + a_{5,4}$ $= 1,44$	$a_{5,2} = TA_{2,7} + a_{5,4}$ $= 1,08$	$a_{5,3} = TA_{2,0} + a_{5,4}$ $= 1,24$	$a_{5,4} = TA_{2,5} + TA_{4,3}$ $= 0,72$	0	$TA_{4,3} = 0,52;$ $K_3 = 0,52$	$a_{5,7} = a_{5,4} + a_{7,4}$ $= 1,44$	$a_{5,8} = a_{5,2} + a_{8,2}$ $= 1,8$
6	$a_{6,1} = a_{1,4} + TA_{2,5}$ $= 0,92$	$a_{6,2} = TA_{2,0} + TA_{2,5}$ $= 0,56$	$a_{6,3} = TA_{2,0} + TA_{2,5}$ $= 0,72$	$TA_{2,5} = 0,2;$ $K_2 = 0,2$	$TA_{4,3} = 0,52;$ $K_3 = 0,52$	0	$a_{6,7} = TA_{2,5} + a_{7,4}$ $= 0,92$	$a_{6,8} = TA_{2,5} + a_{8,4}$ $= 1,28$
7	$a_{7,1} = TA_{2,8} + TA_{2,1}$ $= 0,72$	$TA_{2,1} = 0,36$	$TK_1 = TA_{2,0} + a_{5,4}$ $= 1,24$	$a_{7,4} = TA_{2,7} + TA_{2,1}$ $= 0,72$	$a_{7,5} = a_{5,4} + a_{7,4}$ $= 1,44$	$a_{7,6} = TA_{2,5} + a_{7,4}$ $= 0,92$	0	$TZ_{2,1} = a_{7,1} + TA_{1,1}$ $= 1,08$
8	$TA_{1,1} = 0,36$	$a_{8,2} = TA_{2,8} + TA_{1,1}$ $= 0,72$	$a_{8,3} = TZ_{2,0} + a_{8,2}$ $= 1,6$	$a_{8,4} = TA_{2,7} + a_{8,2}$ $= 1,08$	$a_{8,5} = a_{5,2} + a_{8,2}$ $= 1,8$	$a_{8,6} = TA_{2,5} + a_{8,4}$ $= 1,28$	$TZ_{2,1} = a_{7,1} + TA_{1,1}$ $= 1,08$	0

Fig. 7 - Completed tolerance matrix

Rounding Algorithm

1. In fig. 8 shows an allowance matrix, where the size is reflected as an allowance. For example, the size lying between surfaces 1 and 2 (cell $a_{1,2} = 1$) is an allowance, and the size lying between surfaces 3 and 1 (cell $a_{3,1} = 0$) is not it.

Consider the average size shown in fig. 9 lying between surfaces 2 and 8 (cell $a_{2,8}$).

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	1	0	0	0	0	0	0
2	1	0	1	0	0	0	0	0
3	0	1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	1
8	0	0	0	0	0	0	1	0

Fig. 8 - Matrix allowances

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	$Z_{28}^{cp}=1,44;$ $A_{28}^{cp}=Z_{28}^{cp}$	$a_{13}^{cp}=Z_{28}^{cp}-Z_{20}^{cp}$ $=3,14$	$a_{14}^{cp}=Z_{28}^{cp}-A_{27}^{cp}$ $=22,88$	$a_{15}^{cp}=a_{14}^{cp}-a_{64}^{cp}$ $=82,2$	$a_{16}^{cp}=a_{15}^{cp}-A_{43}^{cp}$ $=106,68$	$a_{17}^{cp}=Z_{28}^{cp}-A_{21}^{cp}$ $=126,4$	$A_{11}^{cp}=130,96$
2	$Z_{28}^{cp}=-1,44;$ $A_{28}^{cp}=Z_{28}^{cp}$	0	$Z_{20}^{cp}=1,7$	$A_{27}^{cp}=21,44$	$a_{25}^{cp}=Z_{28}^{cp}-a_{57}^{cp}$ $=-80,76$	$a_{35}^{cp}=Z_{28}^{cp}-a_{67}^{cp}$ $=105,24$	$A_{21}^{cp}=124,96$	$a_{28}^{cp}=Z_{28}^{cp}-A_{11}^{cp}$ $=-129,52$

Fig. 9 - Average size $a_{2,8}$

- The initial values in the matrix of average sizes are not rounded. Only those cells are calculated that have an allowance in their calculation. The initial data are shown in fig. 8.

The formula for calculating medium-sized cells:

$$a[k, j] = \left(a[i, j] + \left(\frac{b[i, j]}{xy} \right) \right) - \left(a[i, k] + \left(\frac{b[i, k]}{xy} \right) \right) \quad (1)$$

Initial data for the calculation formula:

- $a[k, j]$ - the average size lying between surfaces 2 and 8 (cell $a_{2,8}$), which is subject to rounding, fig. 9;
- $a[i, j]$ - the average size lying between surfaces 1 and 2 (cell $a_{1,2}$), fig. 10;

	1	2	3	4
1	0	$Z_{28}^{cp}=1,44;$ $A_{28}^{cp}=Z_{28}^{cp}$	$a_{13}^{cp}=Z_{28}^{cp}-Z_{20}^{cp}$ $=3,14$	$a_{14}^{cp}=Z_{28}^{cp}-A_{27}^{cp}$ $=22,88$
2	$Z_{28}^{cp}=-1,44;$ $A_{28}^{cp}=Z_{28}^{cp}$	0	$Z_{20}^{cp}=1,7$	$A_{27}^{cp}=21,44$
3	$-a_{31}^{cp}=Z_{28}^{cp}-Z_{20}^{cp}$ $=-3,14$	$Z_{20}^{cp}=-1,7$	0	$A_{20}^{cp}=19,48;$ $K_4^{cp}=A_{20}^{cp}$

Fig. 10 - Cell $a_{1,2}$

- $b[i, j]$ - allowance lying between surfaces 1 and 2 (cell $a_{1,2} = 1$), fig. 9;
- $a[i, k]$ - average size lying between surfaces 1 and 8 (cell $a_{1,8}$), fig. 11;

	1	2
1	0	$Z_{28}^{cp}=144;$ $A_{28}^{cp}=Z_{28}^{cp}$
2	$Z_{28}^{cp}=-144;$ $A_{28}^{cp}=Z_{28}^{cp}$	0
3	$-a_{31}^{cp}=Z_{28}^{cp}-Z_{28}^{cp}$ $=-3,14$	$Z_{20}^{cp}=-1,7$
4	$-a_{47}^{cp}=Z_{28}^{cp}-A_{27}^{cp}$ $=-22,88$	$A_{27}^{cp}=-21,44$
5	$-a_{57}^{cp}=a_{14}^{cp}-a_{54}^{cp}$ $=-82,2$	$-a_{52}^{cp}=Z_{28}^{cp}-a_{51}^{cp}$ $=-80,76$
6	$-a_{67}^{cp}=a_{15}^{cp}-A_{43}^{cp}$ $=-106,68$	$-a_{53}^{cp}=Z_{28}^{cp}-a_{67}^{cp}$ $=-105,24$
7	$-a_{77}^{cp}=Z_{28}^{cp}-A_{27}^{cp}$ $=-126,4$	$A_{27}^{cp}=-124,96$
8	$A_{17}^{cp}=-130,96$	$-a_{87}^{cp}=Z_{28}^{cp}-A_{17}^{cp}$ $=-129,52$

Fig. 11 - Cell a_{1,2}

- b[i, j] - allowance lying between surfaces 1 and 8 (cell a_{1,8} = 0), fig. 8;
 - x^y - A mathematical command that takes into account the number of bits in the tolerance. x - tolerance base equal to 10, y - tolerance capacity + 1.
3. Data is read from the tolerance matrix, in the cells it is checked that the integer part is zero, the number of characters after zero is taken into account, as shown in the example of the tolerance lying between surfaces 2 and 8 (cell a₂₈) fig. 12, to report the number of characters after zero. Cell a₂₈ has two signs, therefore, in the formula it will be: x^y = 1000.

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	$TZ_{28} = -0,36$ $TA_{28} = -0,36$	$a_{17} = a_{14} + TA_{20}$ $= 124$	$a_{14} = TA_{28} + TA_{27}$ $= -0,72$	$a_{15} = a_{14} + a_{54}$ $= 144$	$a_{16} = a_{14} + TA_{25}$ $= -0,92$	$a_{17} = TA_{28} + TA_{27}$ $= -0,72$	$TA_{11} = -0,36$
2	$TZ_{28} = -0,36$ $TA_{28} = -0,36$	0	$TZ_{20} =$ $TA_{27} + TA_{20} =$ $= -0,88$	$TA_{27} = -0,36$	$a_{25} = TA_{27} + a_{54}$ $= 108$	$a_{26} = TA_{20} + TA_{25}$ $= -0,56$	$TA_{21} = -0,36$	$a_{18} = TA_{28} + TA_{11}$ $= -0,72$
3	$a_{31} = a_{14} + TA_{20}$ $= 124$	$TZ_{20} =$ $TA_{27} + TA_{20} =$ $= -0,88$	0	$TA_{20} = -0,52$ $K_4 = 0,52$	$a_{35} = TA_{20} + a_{54}$ $= 124$	$a_{36} = TA_{20} + TA_{25}$ $= -0,72$	$TK_7 = TA_{20} + a_{54}$ $= 124$	$a_{38} = TZ_{20} + a_{82}$ $= 16$
4	$a_{41} = TA_{28} + TA_{27}$ $= -0,72$	$TA_{27} = -0,36$	$TA_{20} = -0,52$ $K_4 = 0,52$	0	$a_{45} = TA_{25} + TA_{43}$ $= -0,72$	$TA_{25} = -0,2$ $K_2 = 0,2$	$a_{47} = TA_{27} + TA_{27}$ $= -0,72$	$a_{48} = TA_{27} + a_{82}$ $= 108$

Fig. 12 - Cell a_{28} in the matrix of tolerances.

4. After reading the data of the third and second matrix, the matrix of average sizes is calculated according to the formula described above.

Consider an example of calculation:

$$a[k, j] = \left(a[i, j] + \left(\frac{b[i, j]}{x^y} \right) \right) - \left(a[i, k] + \left(\frac{b[i, k]}{x^y} \right) \right);$$

$$a[2, 8] = \left(a[1, 2] + \left(\frac{b[1, 2]}{10^3} \right) \right) - \left(a[i, k] + \left(\frac{b[i, k]}{10^3} \right) \right);$$

$$a[2, 8] = \left((-1,44) + \left(\frac{1}{1000} \right) \right) - \left((-130,96) + \left(\frac{0}{1000} \right) \right);$$

$$a[2, 8] = (-1,4) + (130,96) = 129,56.$$

After calculating the matrices, rounding occurs:

- The calculated size is rounded to the highest degree in tolerance;
- The size is rounded up to increase the stock.

After rounding: $a_{2,8} = 129.6$.

The result is a medium-sized matrix with rounding of fig. 13.

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	$Z_{28}^{cp}=1,44$	$a_{13}^{cp}=Z_{28}^{cp}-Z_{20}^{cp}$ =3	$a_{14}^{cp}=Z_{28}^{cp}-A_{27}^{cp}$ =23	$a_{15}^{cp}=a_{14}^{cp}-a_{64}^{cp}$ =82	$a_{16}^{cp}=a_{15}^{cp}-A_{43}^{cp}$ =106,8	$a_{17}^{cp}=Z_{28}^{cp}-A_{27}^{cp}$ =126,4	$A_{11}^{cp}=130,96$
2	$Z_{28}^{cp}=-1,44$	0	$Z_{20}^{cp}=1,7$	$A_{27}^{cp}=21,44$	$a_{25}^{cp}=Z_{28}^{cp}-a_{51}^{cp}$ =81	$a_{35}^{cp}=Z_{28}^{cp}-a_{61}^{cp}$ =105,2	$A_{77}^{cp}=124,96$	$a_{26}^{cp}=Z_{28}^{cp}-A_{11}^{cp}$ =129,6
3	$-a_{11}^{cp}=Z_{28}^{cp}-Z_{20}^{cp}$ =-3	$Z_{20}^{cp}=-1,7$	0	$A_{20}^{cp}=19,48$	$a_{35}^{cp}=a_{31}^{cp}-a_{51}^{cp}$ =79	$a_{36}^{cp}=a_{31}^{cp}-a_{61}^{cp}$ =103,3	$K_T^{cp}=123$	$a_{38}^{cp}=a_{31}^{cp}-A_{11}^{cp}$ =129
4	$-a_{17}^{cp}=Z_{28}^{cp}-A_{27}^{cp}$ =-23	$A_{27}^{cp}=-21,44$	$A_{20}^{cp}=-19,48$	0	$a_{45}^{cp}=A_{25}^{cp}-A_{43}^{cp}$ =59,3	$A_{25}^{cp}=83,8$	$a_{47}^{cp}=a_{41}^{cp}-A_{11}^{cp}$ =103,5	$a_{48}^{cp}=a_{41}^{cp}-A_{11}^{cp}$ =108
5	$-a_{51}^{cp}=a_{14}^{cp}-a_{64}^{cp}$ =-82	$-a_{57}^{cp}=Z_{28}^{cp}-a_{51}^{cp}$ =-81	$-a_{63}^{cp}=a_{31}^{cp}-a_{51}^{cp}$ =-79	$-a_{64}^{cp}=A_{25}^{cp}-A_{43}^{cp}$ =-59,3	0	$A_{43}^{cp}=24,48$	$a_{67}^{cp}=a_{51}^{cp}-A_{11}^{cp}$ =44	$a_{68}^{cp}=a_{51}^{cp}-A_{11}^{cp}$ =48
6	$-a_{61}^{cp}=a_{15}^{cp}-A_{43}^{cp}$ =-106,8	$-a_{63}^{cp}=Z_{28}^{cp}-a_{61}^{cp}$ =-105,2	$-a_{63}^{cp}=a_{31}^{cp}-a_{61}^{cp}$ =-103,3	$A_{25}^{cp}=-83,8$	$A_{43}^{cp}=-24,48$	0	$a_{67}^{cp}=a_{61}^{cp}-a_{77}^{cp}$ =19,7	$a_{68}^{cp}=a_{61}^{cp}-A_{11}^{cp}$ =24
7	$-a_{17}^{cp}=Z_{28}^{cp}-A_{27}^{cp}$ =-126,4	$A_{27}^{cp}=-124,96$	$K_T^{cp}=-123$	$-a_{74}^{cp}=a_{41}^{cp}-A_{11}^{cp}$ =-103,5	$-a_{57}^{cp}=a_{31}^{cp}-A_{11}^{cp}$ =-44,2	$-a_{67}^{cp}=a_{61}^{cp}-a_{77}^{cp}$ =-19,72	0	$Z_{27}^{cp}=1,72$
8	$A_{11}^{cp}=-130,96$	$-a_{62}^{cp}=Z_{28}^{cp}-A_{11}^{cp}$ =-129,6	$-a_{63}^{cp}=a_{31}^{cp}-A_{11}^{cp}$ =-129	$-a_{64}^{cp}=a_{41}^{cp}-A_{11}^{cp}$ =-108	$-a_{65}^{cp}=a_{51}^{cp}-A_{11}^{cp}$ =-48	$-a_{68}^{cp}=a_{61}^{cp}-A_{11}^{cp}$ =-24	$Z_{27}^{cp}=-1,72$	0

Fig. 13 - Matrices of medium size with rounding.

References

1. Muholzoev A.V. The Algorithm for Automated Calculation of Technological Dimensional Chains. Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry, 2015, vol. 15, no. 3, pp. 48–55. (in Russ.)