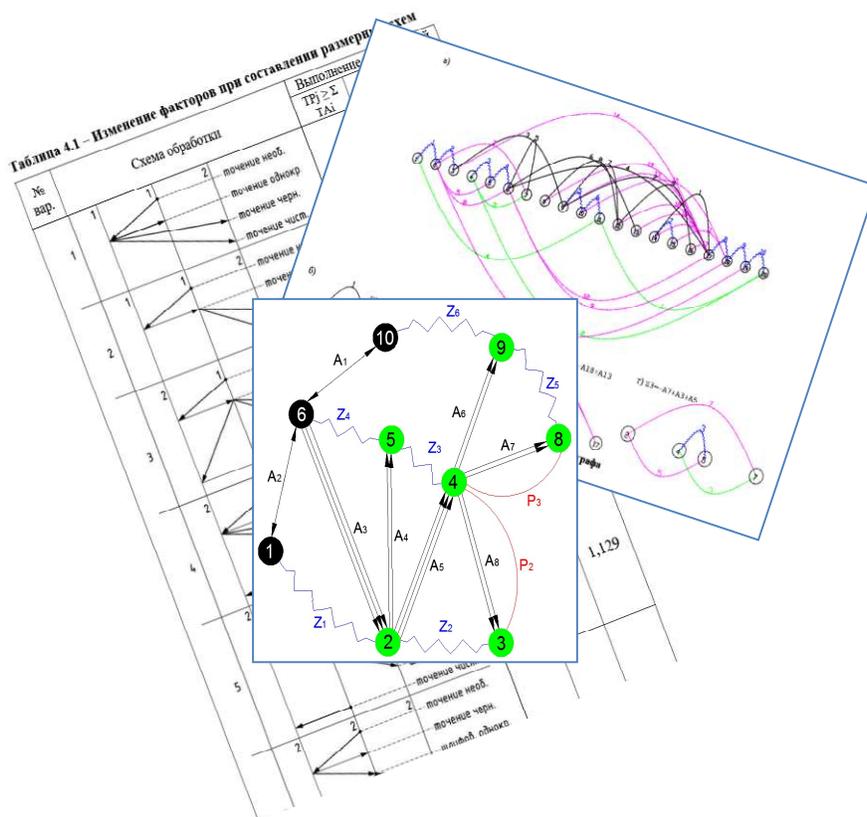


О. Н. Калачев, Д. А. Калачева

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСОВ
РАЗМЕРНОГО АНАЛИЗА
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
МЕХАНООБРАБОТКИ С УЧЕТОМ
ОСОБЕННОСТЕЙ РАСЧЕТА ПРИПУСКОВ**



Ярославль
2022

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Ярославский государственный технический университет»

О. Н. Калачев, Д. А. Калачева

Исследование вопросов размерного анализа
технологического процесса механообработки
с учетом особенностей расчета припусков

Монография

Ярославль
Издательство ЯГТУ
2022

УДК 621.9.014.001.24:631.3
ББК 34.6я73
К17

Калачев, О. Н.

К17 Исследование вопросов размерного анализа технологического процесса механообработки с учетом особенностей расчета припусков: монография / О. Н. Калачев, Д. А. Калачева. – Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2022. – 256 с.

ISBN 978-5-9914-0982-7

Монография посвящена совершенствованию методики автоматизированного расчета технологических размеров при проектировании механообработки. Используется графовая модель размерной структуры технологического процесса. Научно обосновывается введение критерия минимизации суммарного колебания припусков на заключительных этапах обработки. Проанализировано влияние частоты вхождения технологических звеньев в размерные цепи на величину колебания припуска. Исследованы ситуации, возникающие при расчете наименьшего значения припуска в условиях несоблюдения «принципа единства баз», что позволяет избежать некорректности расчета припуска при размерном анализе.

Рассмотренные теоретические положения реализованы в расчетной программе KON7 плюс. Предложена методика практического применения этой программы при технологической подготовке механообрабатывающего производства.

Монография адресована научно-техническим работникам машиностроительных предприятий, а также студентам и аспирантам направлений 15.03.05 и 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

Ил. 138. Библиогр. 42.

Рецензенты: О. М. Епархин, д-р техн. наук, профессор, директор Ярославского филиала ФГБОУ ВО ПГУПС; В. Б. Масыгин, канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры «Технология машиностроения» ФГАОУ ВО «Омский государственный технический университет».

УДК 621.9.014.001.24:631.3
ББК 34.6я73

ISBN 978-5-9914-0982-7

© Ярославский государственный технический университет, 2022

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	6
1 ОБЗОР СЛОЖИВШИХСЯ ПОДХОДОВ К НАЗНАЧЕНИЮ ДОПУСКОВ И ПРИПУСКОВ.....	9
1.1 Назначение технологических допусков по методам отечественных ученых-основоположников размерных расчетов	9
1.1.1 Методика В.В. Матвеева	10
1.1.2 Методика Б.С. Мордвинова	13
1.1.3 Методика И.А. Иващенко	16
1.1.4 Методика А.П. Соколовского	19
1.2 Методы расчета припусков, применяемые в машиностроении.....	20
Выводы.....	27
2 ТЕОРИЯ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ И ИХ РАСЧЕТ	28
2.1 Теория размерных цепей в технологии машиностроения.....	28
2.2 Последовательность расчета технологических размеров	32
2.2.1 Составление маршрута обработки	32
2.2.2 Построение размерной схемы.....	32
2.2.3 Выявление технологических размерных цепей с помощью структурной графовой модели	35
2.2.4 Расчет технологических размерных цепей «вручную».....	38
Выводы.....	43
3 АВТОМАТИЗАЦИЯ РАЗМЕРНЫХ РАСЧЕТОВ	44
3.1 Обзор отечественных САТ-систем	46
3.1.1 Программа KON7 (ЯГТУ, Ярославль).....	46
3.1.2 Программа «КурсАР» (ЮУрГУ, Челябинск).....	55
3.1.3 Система «ТИС-Цепь» (ИТМО, Санкт-Петербург)	59
3.1.4 Программы «DIAMOND», «OPTIMAL» (ОмГТУ, Омск).....	62
3.1.5 Размерный анализ средствами RTP2000 (ПГУ, Пенза).....	65
3.2 Обзор зарубежных исследований по автоматизации размерного анализа	68
3.2.1 Исследование китайских ученых	69
3.2.2 Исследование румынских ученых.....	72

3.2.3 Исследование шведских ученых	75
Выводы.....	78
Задачи исследования	79
4 ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ КОЛЕБАНИЯ ПРИПУСКОВ НА ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ РАЗМЕРНОЙ СТРУКТУРЫ	80
4.1 Математическая модель оценки рациональной размерной структуры	80
4.2 Влияние факторов технологического процесса на колебание припусков...	81
Выводы.....	108
5 ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ЗАПАСА ТОЧНОСТИ НА ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ РАЗМЕРНОЙ СТРУКТУРЫ	109
Выводы.....	128
6 ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАСЧЕТА НАИМЕНЬШЕГО ЗНАЧЕНИЯ ПРИПУСКА	129
6.1 Ситуации, возникающие при расчете припусков с точки зрения соблюдения «принципа единства баз»	129
6.2 Разработка алгоритма расчета наименьшего значения припуска	133
6.3 Описание блоков алгоритма расчета минимального значения припуска..	136
6.4 Примеры схем определения операционных размеров и припусков для трех- и четырехзвенных размерных цепей	146
Выводы.....	151
7 РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ И ПРОГРАММНЫХ МОДУЛЕЙ «KON7 ПЛЮС»	152
7.1 Алгоритм расчета колебания припуска последней обработки каждой поверхности детали	152
7.2 Алгоритм расчета частоты использования звеньев в уравнениях размерных цепей	156
Выводы.....	158
8 МЕТОДИКА ВЫЯВЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ВАРИАНТА РАЗМЕРНОЙ СТРУКТУРЫ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ «KON7 ПЛЮС»	158
Выводы.....	176
9 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОСТРОЕНИЯ «ЛИНЕЙНОГО» ГРАФА	177
9.1 Обоснование необходимости автоматического построения графовых структур.....	177

9.2 Разработка блок-схемы предлагаемой программы GrafKON.....	178
9.3 Программная реализация алгоритма автоматического построения графа на языке AutoLISP в среде AutoCAD.....	184
9.4 Пример использования программы GrafKON.....	187
Выводы.....	191
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	192
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	193
Приложение А – Распечатка результатов расчета тестовой детали «тело вращения» по программе KON7.....	197
Приложение Б – Чертеж детали «Шкив».....	215
Приложение В – Программный код системы «KON7 плюс».....	216
Приложение Г – Распечатка результатов расчета детали «Шкив» по программе «KON7 плюс».....	234

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение требуемого качества деталей машин при минимальном расходе ресурсов является одной из основных задач, решаемых в рамках науки о технологии машиностроения. Непосредственное влияние на экономическую эффективность проектирования и изготовления изделий оказывает высокая стоимость материалов [1]. Поэтому проблема снижения материалоемкости производства представляется весьма актуальной. Одним из путей снижения материалоемкости является рациональный выбор заготовки и припусков на обработку. Припуск – это слой материала, удаляемый с поверхности заготовки в целях достижения заданных свойств обрабатываемой поверхности.

Завышенный припуск увеличивает расход материала, режущего инструмента, затраты труда, электроэнергии. При этом заниженный припуск требует применения более дорогостоящих способов получения заготовки, усложняет установку заготовки на станке, требует более высокой квалификации рабочего. Нерационально назначенный припуск приводит к снижению эффективности использования оборудования, в особенности станков с ЧПУ, что существенно влияет на себестоимость изготовления детали. В то же время многие технологические факторы, такие как упругие и тепловые деформации технологической системы, износ инструмента, рассчитываются на основе режимов обработки, зависящих в свою очередь от величины удаляемого припуска.

Назначение припусков непосредственно связано с расчетами промежуточных (операционных) размеров и технологических допусков на этапе проектирования технологии механической обработки. От выбранных значений технологических допусков и припусков зависят трудоемкость и качество обработки, затраты на расход металла, на настройку станков, на изготовление приспособлений соответствующей точности и выверку заготовки, на переточку инструментов.

Проблема рационального выбора припусков и допусков должна быть решена на этапе конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП) в ходе размерного анализа процессов механообработки, связанного со служебным назначением детали, проектированием чертежей и технологической документации, с выполнением размеров, обеспечением требуемой точности и качества поверхности, назначением режимов резания [2, 7].

В свою очередь, автоматизация КТПП, в частности размерного анализа, помогает ускоренно провести расчет операционных разме-

ров, припусков и допусков, оценить большое количество вариантов размерных структур и выбрать из них наиболее рациональную, что приведет к минимизации затрат при обеспечении качества изделий машиностроения.

К настоящему времени у нас и на Западе выполнено большое количество исследований, посвященных поиску методик, их компьютерному воплощению для выбора наилучших размерных структур технологического процесса (ТП) механообработки. Свой вклад в теорию размерных расчетов и анализ технологических размерных цепей внесли А.П. Соколовский, В.М. Кован, Б.С. Балакшин, Б.С. Мордвинов, В.В. Матвеев, И.А. Иващенко, Д.Д. Куликов, В.Б. Масыгин и другие советские и российские ученые. Однако, несмотря на достигнутые теоретические и практические результаты, рассматриваемая задача рационального расчета технологических размеров при механообработке далека от своего окончательного решения.

Исследование вопросов компьютерных расчетов технологических размерных цепей на кафедре КИ ТМС ЯГТУ началось в 1982 г., сначала с применением ЕС ЭВМ [14], а затем, в 1990-х годах – на персональной компьютерной технике. Мощный толчок развитию программы KON7 [15] дал хоздоговор с ПАО «Автодизель» (ЯМЗ), выполненный в 2000 г. Опыт, приобретенный при анализе проблемных деталей ЯМЗ, жесткие требования завода к интерфейсу, период опытной эксплуатации – все это способствовало углублению в специфику технологических РЦ и появлению графического модуля GraKON7 [28] для экранного построения размерной схемы технологического процесса в среде базовой для ЯМЗ системы AutoCAD.

Целью данной работы является систематизация опыта применения программы для повышения эффективности КТПП и развитие методики расчета технологических размерных цепей, реализованное в программе KON7 плюс [30].

В главе 1 проведен обзор существующих методик назначения операционных припусков и допусков при проектировании ТП механической обработки без использования аппарата размерных цепей и на основе расчета технологических размерных цепей.

В главе 2 рассмотрены основы теории размерных цепей, особенности построения размерной схемы и выявления технологических размерных цепей с использованием графовой (по Мордвинову) модели размерной структуры технологического процесса. Рассмотрен пример «ручного» расчета технологических размеров, допусков и припусков.

В главе 3 дан обзор некоторых характерных отечественных и зарубежных САТ-систем (Computer Aided Tolerancing), предназначенных для диалоговой подготовки исходных данных и последующего анализа размерной структуры ТП.

В главе 4 на основе численных экспериментов исследовано влияние колебания величины припусков на выбор рациональной размерной структуры ТП и предложена целевая функция суммарного колебания припусков на заключительных этапах обработки каждой поверхности детали. При этом естественным критерием оптимальности при анализе размерной структуры ТП является минимальное суммарное колебание припусков.

В главе 5 с целью выбора более «дешевого» варианта размерной структуры ТП рассмотрена возможность уменьшения запаса точности по технологическим размерам путем расширения допуска на них с учетом частоты вхождения в размерные цепи «критических» звеньев.

В главе 6 проанализированы различные возможные ситуации, возникающие в ходе решения технологических размерных цепей, и проведена их классификация для корректного расчета припуска. Предложен универсальный алгоритм расчета значения припуска для любых случаев, возникающих при проведении расчетов; при этом учтена возможность неправильного ввода границ припуска пользователем.

В главе 7 представлены алгоритмы поиска и расчета значений припуска Z_{\min} по звену, которое входит в другую размерную цепь, Z_{\max} , их отношения Z_{\max} и Z_{\min} , допусков (колебаний) припусков, суммы колебаний припусков на последних стадиях обработки, поиска частоты вхождения звеньев в размерные цепи, а также реализация в программе «KON7 плюс».

В главе 8 на основе проведенного исследования предложена методика поиска рационального варианта размерной структуры при размерном анализе посредством программы «KON7 плюс» с учетом особенностей расчета припуска, влияния колебания припуска, запаса точности и частоты вхождения звеньев в размерные цепи.

В главе 9 рассмотрен алгоритм и программная реализация на языке LISP в среде AutoCAD автоматического построения «линейного» графа размерных изменений заготовки, позволяющего визуально оценить качество предложенной размерной структуры варианта ТП.

Авторы выражают искреннюю признательность профессору Омского ГТУ В.Б. Масыгину (ученику Б.С. Мордвинова), который весной 2020 г. уделил время изучению рукописи и сделал ряд ценных замечаний по существу работы и по ее оформлению.

1 ОБЗОР СЛОЖИВШИХСЯ ПОДХОДОВ К НАЗНАЧЕНИЮ ДОПУСКОВ И ПРИПУСКОВ

Проведем обзор различных методов назначения операционных допусков и припусков при проектировании ТП механической обработки, которые применяются в машиностроении, в основном они отличаются точностью получаемых результатов и методикой учета возможных погрешностей [3].

1.1 Назначение технологических допусков по методам отечественных ученых - основоположников размерных расчетов

Расчету операционных размеров предшествует назначение полей допусков по промежуточным переходам и для исходной заготовки.

Допуск на размер исходной заготовки определяется точностью метода получения заготовки и назначается в соответствии с действующими стандартами.

Точность размера готовой детали и требуемый характер поля допуска, получаемые на последнем переходе, определяются требованиями рабочего чертежа, если их не приходится ужесточать из технологических соображений.

Допуски на промежуточные операционные размеры назначаются технологом исходя из следующих соображений [1]:

а) должен соблюдаться принцип постепенности повышения точности, очередной переход должен повышать достигнутую точность. Равенство допусков смежных переходов – это предельный случай;

б) промежуточные операционные размеры, выдерживаемые от необработанной поверхности (от «черновой» базы), должны иметь симметричное поле допуска; прочие промежуточные операционные размеры должны быть расположены «в тело» детали и иметь отклонение «в минус» (поле допуска h) для охватываемых поверхностей и отклонение «в плюс» (поле допуска H) для охватывающих поверхностей.

Выбирая допуски по таблицам статистической точности [4], следует иметь в виду, что они составлены на основании опытных данных операций, когда установочные базы совпадали с измерительными и последние имели минимальные пространственные погрешности [3].

Между тем на практике возникает множество случаев, когда необходимо учитывать погрешности, возникающие в процессе обработки детали.

Заданную точность обработки заготовки можно достигнуть одним из двух принципиально отличных методов: пробных ходов и промеров, а также методом автоматического получения размеров на настроенных станках. При этом выбор одного из методов зависит в основном от типа производства.

Для настройки станка относительно определенных поверхностей заготовки необходимо, чтобы эти поверхности занимали на станке при смене заготовок неизменное положение относительно упоров станка, определяющих конечное положение обрабатывающего инструмента.

Настроечная установочная база (НУБ) [5] – база, по отношению к которой ориентируются обрабатываемые поверхности, если они не могут быть связаны размерами непосредственно с опорной установочной базой (ОУБ). НУБ, показанная на рисунке 1.1, является технологической базой для обработки всех остальных поверхностей заготовки.

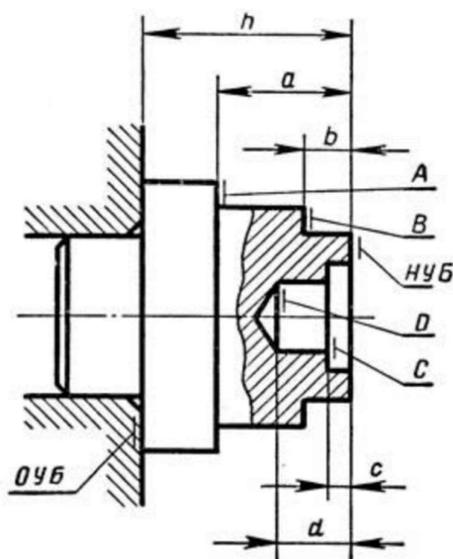


Рисунок 1.1 – Использование настроечной базы [5]

Далее рассмотрим особенности некоторых методик назначения допусков, изложенных в работах отечественных ученых.

1.1.1 Методика В.В. Матвеева

Чтобы установить, какие факторы оказывают влияние на расчет операционных размеров и допусков по данной методике, рассмотрим случаи формирования поверхностей деталей, представленные в работе [6].

Приведем пример обработки вала в центрах на токарном станке (рисунок 1.2). Здесь операционный допуск на размер A равен

$$T_{A_{оп}} = \omega_{A_{ст}},$$

где $\omega_{A_{ст}}$ – среднестатистическая величина погрешности обработки размера A . Значение пространственного отклонения $\rho_{п}$ не влияет на его точность, т.к. оно будет зависеть от колебания сил резания, которые учитываются в значении табличной статистической точности.

Аналогично пространственные отклонения не включаются в допуск на операционный размер при обработке незамкнутых поверхностей (рисунок 1.3), т.е. $T_{A_{оп}} = \omega_{A_{ст}}$, $T_{B_{оп}} = \omega_{B_{ст}}$, $T_{C_{оп}} = \omega_{C_{ст}}$.

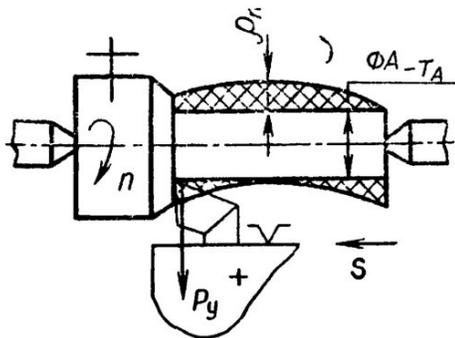


Рисунок 1.2 – Обработка вала в центрах на токарном станке [6]

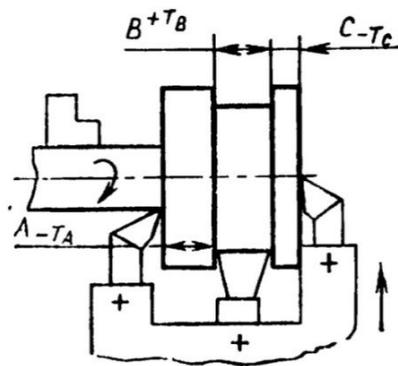


Рисунок 1.3 – Обработка незамкнутых поверхностей [6]

При рассмотрении погрешности установки, равной

$$\varepsilon_y = \varepsilon_б + \varepsilon_з + \varepsilon_{п},$$

где $\varepsilon_б$ – погрешность базирования, $\varepsilon_з$ – погрешность закрепления, $\varepsilon_{п}$ – погрешность приспособления, $\varepsilon_з$ и $\varepsilon_{п}$ учтены для незамкнутых поверхностей в значениях $\omega_{A_{ст}}$.

Наличие погрешности базирования $\varepsilon_б$ делает любую операцию менее точной. Однако есть причины, которые вынуждают допускать данную погрешность: трудно осуществлять операцию при иной схеме базирования, трудно (дорого) или невозможно измерять размер от технологической базы до обрабатываемой поверхности.

Поэтому во многих случаях необходимо правильно назначать допуски на операционные размеры при погрешностях базирования.

Если рассмотреть возникновение погрешности базирования $\varepsilon_б$ при обтачивании хвостовика вала (рисунок 1.4), то она также не влияет на точность операционного размера, т.к. учитывается среднестатистической погрешностью $\omega_{A_{ст}}$.

При обработке параллельных поверхностей на револьверном станке (рисунок 1.5) погрешность установки ε_y и пространственные отклонения ρ_{Π} будут зависеть от точности настройки револьверной головки, упоров суппорта и износа инструментов. Поэтому

$$T_{A_{\text{оп}}} = \omega_{A_{\text{ст}}}, T_{B_{\text{оп}}} = \omega_{B_{\text{ст}}}, T_{C_{\text{оп}}} = \omega_{C_{\text{ст}}}.$$

В случае (рисунок 1.6), когда заготовка имеет отклонения после предварительной операции перед выполнением следующей, на колебание операционного размера будут оказывать влияние возникшие пространственные отклонения измерительной базы $\rho_{\text{и}}$.

Также встречаются случаи, когда имеют место и пространственные отклонения, и погрешность базирования (рисунок 1.7).

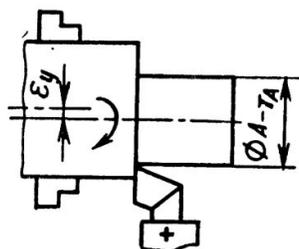


Рисунок 1.4 – Учет погрешности базирования [6]

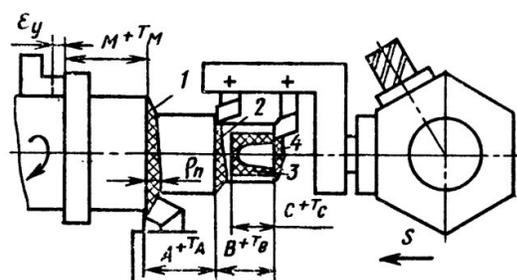


Рисунок 1.5 – Обработка параллельных поверхностей на револьверном станке [6]

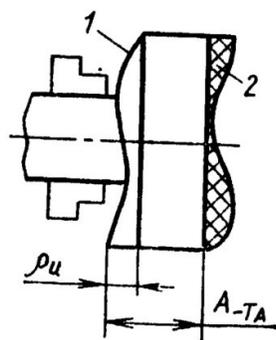


Рисунок 1.6 – Учет отклонения измерительной базы [6]

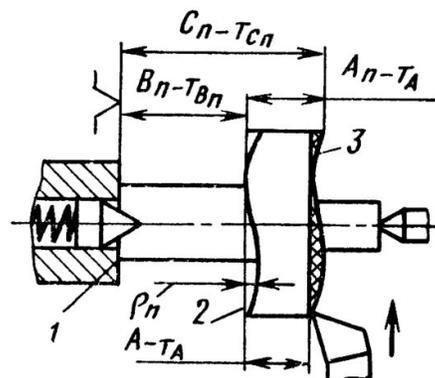


Рисунок 1.7 – Учет пространственных отклонений и погрешности базирования [6]

Таким образом, допуски по методике В.В. Матвеева назначаются по следующим правилам [6]:

1. Операционные допуски $T_{A_{\text{оп}}}$ на размеры замкнутых поверхностей (цилиндров) и на размеры между незамкну-

тыми (плоскими) поверхностями, которые обработаны с одной установки, а также замкнутых поверхностей, обработанных на настроенных станках и по методу пробных ходов, выбираются в соответствии с таблицами статистической точности для данного вида работ.

2. Допуск на операционный размер между обработанной поверхностью на настроенном станке и измерительной базой равен $T_{A_{оп}} = \omega_{A_{ст}} + \rho_{и} + \varepsilon_{б}$, т.е. учитываются пространственные отклонения измерительной базы $\rho_{и}$ и погрешность $\varepsilon_{б}$ от несовпадения установочной и измерительной баз.

3. Допуск на операционный размер между обработанной поверхностью по методу пробных ходов на настроенном станке и измерительной базой равен $T_{A_{оп}} = \omega_{A_{ст}} + \rho_{и}$, т.е. учитываются только пространственные отклонения измерительной базы $\rho_{и}$.

1.1.2 Методика Б.С. Мордвинова

По методике Б.С. Мордвинова данные о величинах допусков из таблиц средней (экономической) точности методов изготовления и механообработки также не могут считаться окончательными. Согласно этому подходу, изложенному в работе [7], необходимо дополнительно проанализировать все операции ТП и выявить погрешности, которые не могут быть учтены в соответствующих нормативных таблицах (так называемые доминирующие погрешности).

Допуск на технологический размер в общем случае равен

$$S_A = \delta_{обр} + \delta_{домин}, \quad (1.1)$$

где $\delta_{обр}$ – допуск, определяемый по таблицам точности методов обработки;

$\delta_{домин}$ – доминирующая погрешность.

К числу основных доминирующих погрешностей, которые выделяет Б.С. Мордвинов в своей работе [7], относятся следующие.

1 Погрешность формы измерительной базы

Эта погрешность свойственна поверхностям заготовки (коробление, уступы от смещения частей штампа или литейной формы, погрешности от разрезки прутков), а также поверхностям, подвергавшимся термической обработке (коробление от деформации поверхностей). Численные значения величин всех этих погрешностей, которые

даются в [4], должны быть в обязательном порядке учтены в допуске на размер.

Правильно спроектированная операция должна иметь не более одного размера, заданного от поверхности, имеющей коробление или другие погрешности (рисунок 1.8).

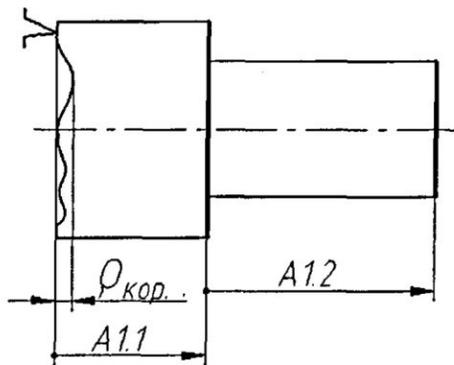


Рисунок 1.8 – Заданные технологические размеры при короблении поверхности [7]

Значительно реже (в основном на окончательных операциях) допуск приходится увеличивать на величину погрешности измерительной базы, например, такой как неплоскостность, неперпендикулярность, шероховатость.

2 Погрешности закрепления и приспособления

Эти погрешности являются доминирующими, если их величина сопоставима с точностью метода обработки, например, зазоры между установочными элементами приспособления и базирующей поверхностью детали, деформация нежесткой детали в приспособлении, смещения центрирующих элементов приспособления при закреплении детали и т.д.

Данные для расчета перечисленных погрешностей имеются в [4].

На рисунке 1.9 показан допуск на размер A , который должен включать величину зазора между установочным пальцем приспособления и базирующим отверстием.

3 Погрешность базирования

Эта погрешность возникает в том случае, если измерительная база не совмещена с технологической базой. По величине она равна допуску на размер между этими двумя базами. Если размер между базами не задан в ТП непосредственно, нужно просуммировать допуски технологических размеров между этими поверхностями по дереву.

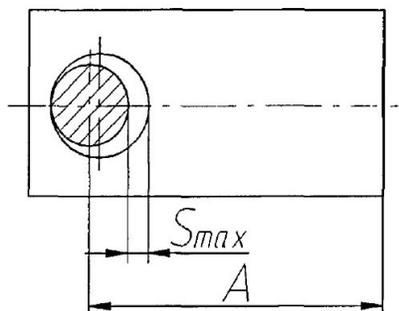


Рисунок 1.9 – Доминирующая погрешность закрепления [7]

На рисунке 1.10, *а* рассмотрен случай возникновения погрешности базирования, где допуск на размер A_2 будет зависеть от погрешности расстояния между технологической базой 1 и измерительной базой 2.

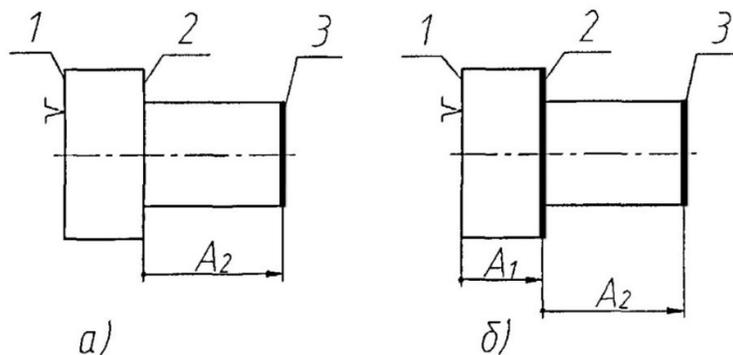


Рисунок 1.10 – Возникновение и исключение погрешности базирования [7]

В отличие от остальных погрешностей, которые трудно устранить, погрешность базирования может быть полностью ликвидирована. Для этого нужно задать размер от технологической базы. Другой способ – отказаться от работы на настроенном станке и производить обработку по пробным проходам. Наконец, на той же операции можно ввести дополнительную обработку измерительной базы (рисунок 1.10, *б*), так как при обработке двух поверхностей за одну установку точность их взаимного положения никогда не зависит от погрешности установки. За редким исключением, погрешность базирования – это брак в работе технолога.

Частный случай погрешности базирования – это погрешность от неточного (по глубине) выполнения центровых фасок, так называемая «просадка центров», которая должна учитываться в допусках на размеры. Эта величина дается в [4].

Пример просадки центров показан на рисунке 1.11. Допуск на размер A_1 от левого торца детали должен быть увеличен с учетом просадки переднего центра, а допуск на размер A_2 от правого торца – с учетом просадки того же центра, и дополнительно в него должна быть включена погрешность общей длины детали. Погрешность от просадки центров можно устранить, применив плавающий передний центр.

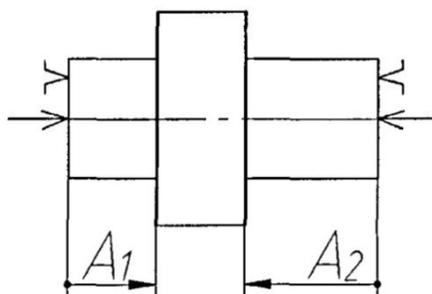


Рисунок 1.11 – Просадка центров [7]

1.1.3 Методика И.А. Иващенко

В методике Б.С. Иващенко [8] используется такое понятие, как уточнение, которое впервые было введено проф. А.П. Соколовским, а также рассмотрено в работе [9]. Уточнение – это отношение величины допуска $\delta_{\text{заг}}$ на рассматриваемую характеристику точности партии заготовок к величине допуска $\delta_{\text{дет}}$:

$$\varepsilon_{\text{п}} = \frac{\delta_{\text{заг}}}{\delta_{\text{дет}}}. \quad (1.2)$$

Такое уточнение, при соблюдении требований экономичности, невозможно получить одноразовой обработкой [8]. Превращение грубых по форме, размерам и качеству поверхностей заготовок в готовые детали экономически целесообразно осуществлять на нескольких последовательно выполняемых ступенях обработки (операциях). Каждая i -я ступень обработки характеризуется своим фактическим уточнением

$$\varepsilon_{i\text{ф}} = \frac{w_{i-1}}{w_i}, \quad (1.3)$$

где w_{i-1} – погрешность (поле рассеивания) у партии деталей после выполнения предшествующей операции, w_i – после выполнения данной операции.

При проектировании ТП используются расчетные уточнения

$$\varepsilon_i = \frac{\delta_{i-1}}{\delta_i}, \quad (1.4)$$

где δ_i – допуск, соответствующий среднеэкономической точности метода обработки.

Таким образом, уточнение всего ТП, состоящего из k операций:

$$\varepsilon_{\text{п}} = \varepsilon_2 \varepsilon_3 \dots \varepsilon_k. \quad (1.5)$$

При проектировании ТП рассчитывают операционные размеры, точность которых определяется операционными допусками. Схемы расположения операционных размеров и допусков показаны на рисунке 1.12.

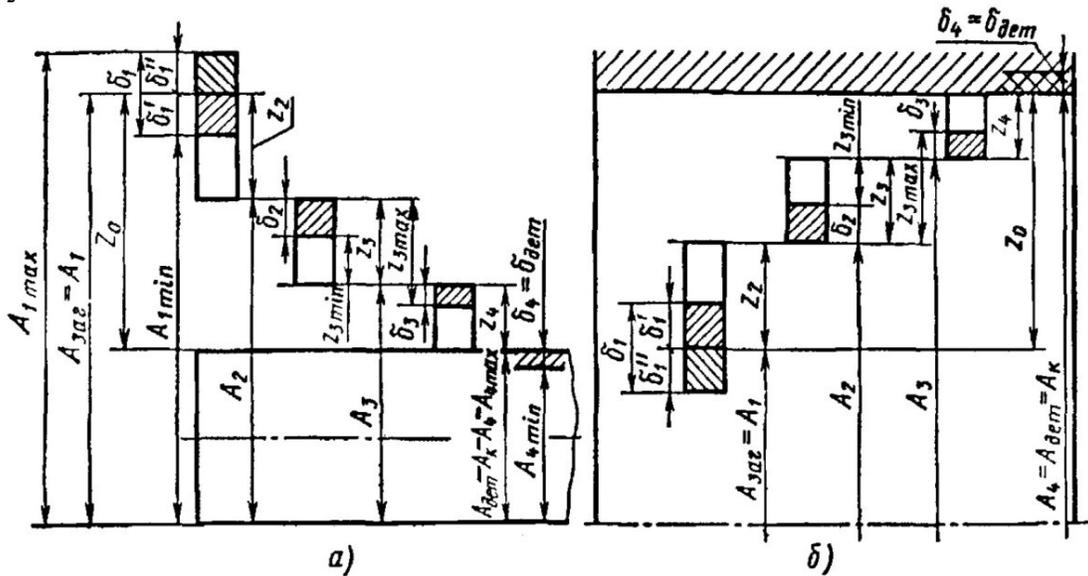


Рисунок 1.12 – Схемы размеров и допусков [8]

Исходным начальным параметром является требуемая по чертежу точность размера поверхности, установленная конструктором с учетом служебного назначения детали – допуск ($\delta_{\text{дет}}$). Выбрав для окончательной (k -й) операции технологическую систему СПИД, обеспечивающую выполнение заданного допуска, т.е. имеющую погрешность $w_k < \delta_{\text{дет}}$, и зная обеспечиваемое ею уточнение ε_k , можно определить операционный допуск на предпоследнюю ($k-1$) ступень обработки:

$$\delta_{i-1} \leq \varepsilon_k \delta_k \leq \varepsilon_k \delta_{\text{дет}}. \quad (1.6)$$

Затем выбирают систему для выполнения ($k-1$)-й операции по условию $w_{k-1} < \delta_{k-1}$. Зная уточнения этой системы ε_{k-1} , можно определить допуск на операцию:

$$(k-2)\delta_{k-2} < \varepsilon_{k-1}\delta_{k-1}. \quad (1.7)$$

Расчет числа операций механической обработки и операционных допусков заканчивается, когда окажется $\delta_{k-i} > \delta_{\text{заг}}$.

Операционные допуски выбираются при разработке маршрутной технологии, когда для каждой поверхности определяют число ступеней обработки, методы и последовательность их выполнения. В процессе разработки операционной технологии решают уже конкретную технологическую задачу о выборе численных значений допусков на каждый операционный размер и систем их простановки. Далее изложены рекомендации по этому вопросу, описанные в работе [8].

1. Величину операционного допуска следует принимать в соответствии с экономической точностью метода обработки, используемого на данной операции (ступени обработки).

2. Система простановки допуска на операционный размер должна быть такой, чтобы поле допуска отсчитывалось в металл («в тело»).

3. Допуски на размеры, выполняемые на операциях окончательной обработки, выбирают в соответствии с экономической точностью метода обработки.

4. Если размер, координирующий положение обрабатываемой на данной операции поверхности, отсчитывают от другой, еще не обработанной поверхности заготовки, то допуск на этот размер следует принимать на один класс ниже класса экономической точности метода обработки.

5. Если поверхность, обрабатываемая на данной операции, в последующем будет использована в качестве базы, то допуск на ее размер выбирают исходя из условия обеспечения заданной точности установки, точности измерения или точности настройки (в зависимости от того, в качестве какой базы будет использована рассматриваемая поверхность).

6. Если размер, выдерживаемый на данной операции, влияет на точность других размеров детали, то допуск на него определяют на основе решения соответствующих размерных цепей. В таких случаях часто оказывается необходимым принять допуск по более высокому классу, чем экономическая точность применяемого метода обработки. Порогом здесь будет являться уже технически достижимая точность.

7. Допуск на размер, координирующий положение оси отверстия (от базы или от оси другого отверстия), должен быть проставлен по симметричной двухсторонней системе (например, $\pm 0,20$ мм).

Величину допуска принимают в соответствии с пятой рекомендацией (если отверстия будут использованы в последующем в качестве базы) или в соответствии с первой рекомендацией (если операция является предварительной ступенью обработки отверстий).

1.1.4 Методика А.П. Соколовского

Согласно этому автору [10], в практике машиностроения очень часто приходится рассматривать некоторую совокупность значений одного и того же размера. При неизменно заданном размере действительные значения полученных размеров могут различаться между собой. С такой постановкой вопроса приходится встречаться в следующих случаях [10]:

1. При обработке партии деталей значения одного и того же размера получаются различными для разных деталей партии.

2. При обработке некоторой поверхности одной детали, в различных точках которой заданный размер может получать различные значения, что обуславливает возникновение погрешности формы. Например, при обтачивании длинного вала его диаметр, измеренный в различных точках по длине, получается различным, хотя на чертеже поставлен лишь один размер диаметра.

При рассмотрении совокупностей значений размеров следует учитывать ряд новых обстоятельств, с которыми мы не встречались при рассмотрении отдельных размеров.

Погрешности в пределах данной совокупности размеров можно разделить на три группы.

1. Погрешности постоянные $\Delta_{\text{пост}}$ («систематические постоянные»), которые имеют одинаковое значение для всей рассматриваемой совокупности.

Например, при рассмотрении точности обработки партии деталей, обработанных одной разверткой, сделанной на 0,02 мм меньше требуемого ее размера, все отверстия получаются в среднем на 0,02 мм меньшими, чем они получились бы при обработке правильно выполненной разверткой.

При обтачивании вала резцом, неправильно установленным на стружку, например, на расстоянии от оси вращения на 0,05 мм больше требуемого, вал будет иметь диаметр по всей длине на 0,1 мм больший, чем он имел бы при правильной установке резца.

2. Погрешности, закономерно изменяющиеся по ходу ТП, $\Delta_{\text{зак}}$ («систематические переменные»).

Например, погрешности, вызывающие изменение размера в функции от длины или времени обработки, обусловленное износом инструмента или температурными деформациями технологической системы. Здесь размер закономерно изменяется при переходе к обработке каждой последующей детали.

3. Погрешности рассеивания Δ_p («случайные»), которые в рамках рассматриваемой задачи имеют различные значения, причем определить заранее момент их появления и точное значение для каждого значения размера не представляется возможным.

Например, обрабатывая отверстия одной и той же разверткой, в номинально одинаковых условиях, мы все же получим эти отверстия не вполне одинаковыми. При этом причины, вызвавшие различие диаметров отверстий, остаются невыясненными.

При проведении исследований, по мнению А.П. Соколовского, необходимо стремиться к тому, чтобы из области случайного все, что возможно, было переведено в область закономерного. Необходимо исследовать причины и следствия. Многие погрешности, кажущиеся случайными, при ближайшем рассмотрении окажутся поддающимися изучению.

1.2 Методы расчета припусков, применяемые в машиностроении

Согласно [11], вариант ТП, выбранный по оптимальному расходу материала, имеет преимущество перед вариантами, выбранными по другим технико-экономическим показателям: трудоемкости, себестоимости и т.п. При больших припусках увеличивается количество отходов (стружки), т.е. возрастают затраты (материальные и энергетические) на удаление материала, сбор и переработку стружки, снижается производительность вследствие повышения трудоемкости обработки (увеличения числа ходов при больших значениях припуска). Завышенные припуски приводят в некоторых случаях к удалению наиболее износоустойчивых поверхностных слоев заготовки и ее короблению из-за нарушения баланса остаточных напряжений. Однако и недостаточные припуски на обработку не обеспечивают возможности удаления дефектных поверхностных слоев материала, получения требуемой точности и шероховатости поверхности, а в ряде случаев создают неприемлемые условия для работы вершины резца в зоне твердой кромки или окалины.

Таким образом, не всякое значение припуска можно считать приемлемым для обработки по технологическим условиям и технико-экономическим показателям. Назначенный припуск может быть признан оптимальным, если он обеспечивает следующие результаты.

1. Удаление с установленной в рабочей зоне заготовки всех отклонений геометрических параметров обрабатываемой поверхности (размера, формы, расположения поверхности относительно технологической базы, высотных параметров волнистости и шероховатости поверхности), а также дефектного поверхностного слоя.

2. Получение заданных геометрических параметров без следов «черноты», т.е. следов от предшествующей обработки.

3. Минимально необходимый снимаемый слой материала.

Определить значение припуска, которое отвечало бы всем этим требованиям при всех конкретных условиях обработки, весьма трудно. В промышленности применяют несколько методов назначения и вычисления припусков. Условно их разделяют на три группы:

- 1) опытно-статистические;
- 2) расчетно-аналитические;
- 3) вероятностно-статистические.

Четкой границы между ними провести нельзя, поэтому ниже приведены лишь основные характерные отличия. Опытно-статистический метод начали применять раньше других, он дает наименее точный результат, так как основан на использовании данных, которые описывают прошлый, быстро стареющий опыт. При применении опытно-статистического метода чаще всего устанавливают общий припуск, т.е. припуск на всю совокупность технологических переходов механической и химико-термической обработки поверхности. Реже устанавливают промежуточный припуск, т.е. припуск на осуществление данного технологического перехода обработки. Получают эти припуски обобщением результатов изготовления аналогичных деталей, и, как правило, они не учитывают опыт внедрения новейших разработок технологии, оборудования и оснастки, специфические условия изготовления (точность конкретных заготовок, требования к точности обработки, конкретные условия установки заготовок в рабочей зоне станка и т.п.). Обычно рекомендуемые данные отражают условия изготовления, при которых припуск должен быть наибольшим. Отметим также, что методически часто бывает не ясно, как проведен анализ статистических данных, какое значение припуска рекомендовано (наименьшее, наибольшее или среднее) и как при этом

были определены размеры заготовок. Отсутствие этих данных снижает практическую ценность рекомендаций по этому методу.

Стремление изыскать пути повышения эффективности металлообработки, экономии материальных, трудовых и энергетических ресурсов в результате обоснованного уменьшения припусков и конкретизации условий обработки привели к созданию расчетных методик, базирующихся на дифференцированном анализе и учете только тех факторов, которые действуют в данных конкретных условиях производства. Этот метод является прогрессивным и позволяет смоделировать условия, близкие к производственным.

Основоположителем расчетного метода является В.М. Кован [12]. Расчетными являются и расчетно-аналитический и вероятностно-статистический методы.

Расчетно-аналитический метод предполагает, что при анализе различных условий обработки установлены основные факторы, определяющие промежуточный припуск. Так, минимальный припуск на диаметр цилиндрической поверхности вычисляется по формуле

$$2Z_{i \min} = 2[(R_Z + h)_{i-1} + |\rho_{i-1} + \varepsilon_{yi}|], \quad (1.8)$$

где $R_{Z i-1}$ – высотный параметр шероховатости элементарной обрабатываемой поверхности,

h_{i-1} – глубина дефектного поверхностного слоя,

ρ_{i-1} – суммарное значение пространственных отклонений, оставшихся от предшествующей обработки (векторная величина для цилиндрических поверхностей),

ε_{yi} – погрешность установки заготовки на выполняемом переходе (векторная величина для цилиндрических поверхностей).

При обработке плоскостей принимают, что векторы направлены перпендикулярно обрабатываемой плоскости, поэтому

$$Z_{i \min} = (R_Z + h)_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_{yi}. \quad (1.9)$$

Заметим, что во всех случаях величина $(\rho_{i-1} + \varepsilon_{yi})$ определяет фактически смещение расположения поверхности заготовки в рабочей зоне. При этом учитывается как смещение, полученное на предшествующем переходе изготовления (на первом переходе это смещение заготовки), так и смещение при установке ε_{yi} в рабочей зоне. Очевидно, что такое же смещение получают и другие поверхности, в том числе измерительная база. Поэтому ε_{yi} учитывают и в суммарной погрешности обрабатываемого размера, и в припуске на обработку.

Исследования, проведенные в МГТУ им. Н.Э. Баумана, показали, что предпочтительнее делать расчеты по комбинированному вероятностно-статистическому методу.

Вероятностно-статистический метод определения припусков является дальнейшим развитием расчетно-аналитического метода, однако в основу исследования факторов и расчета припусков и размеров заготовок в нем положен вероятностный подход, что более оправданно теоретически и дает более близкий к практике результат. Отметим, что статистические методы использованы при исследовании и обобщении результатов произведенного эксперимента в условиях производства. Это существенным образом уточняет содержание технологического проектирования и делает более обоснованным определение размеров заготовки.

С использованием вероятностно-статистического метода разработаны стандарты, в которых указаны значения средних припусков (ГОСТ 26645-85, ГОСТ 7505-89). Это позволяет назначать средние промежуточные и общие припуски с учетом геометрической точности заготовок и деталей, а также определять с учетом характеристики оборудования набор переходов, необходимых для получения из заготовки детали с требуемой точностью поверхностей. Таким образом, в этом случае можно уточнить результаты технологического проектирования при всех его вариантах, так как во всех случаях ГОСТы содержат промежуточные и общие средние припуски и рекомендации по назначению переходов по данным об их точности.

Согласно работе [8], различают общий и операционный припуск. Общий припуск – слой материала, удаляемый с заготовки в процессе обработки с целью получения готовой детали, т.е. при выполнении всех ступеней обработки (см. рисунок 1):

$$Z_0 = Z_2 + Z_3 + \dots = \sum_k Z_i \quad (1.10)$$

где Z_2, Z_3 – припуски на вторую (черновую), третью (чистовую) и т.п. ступени обработки. Данные припуски принято называть операционными.

В заводской практике различают следующие значения припуска: номинальный, наибольший возможный, наименьший возможный и средний. За систему отсчета припуска принимают номинальное значение размера, относительно этого значения размер поля допуска отсчитывается в металл.

На основе рисунков 1.12 и 1.13 можно определить все возможные значения припусков.

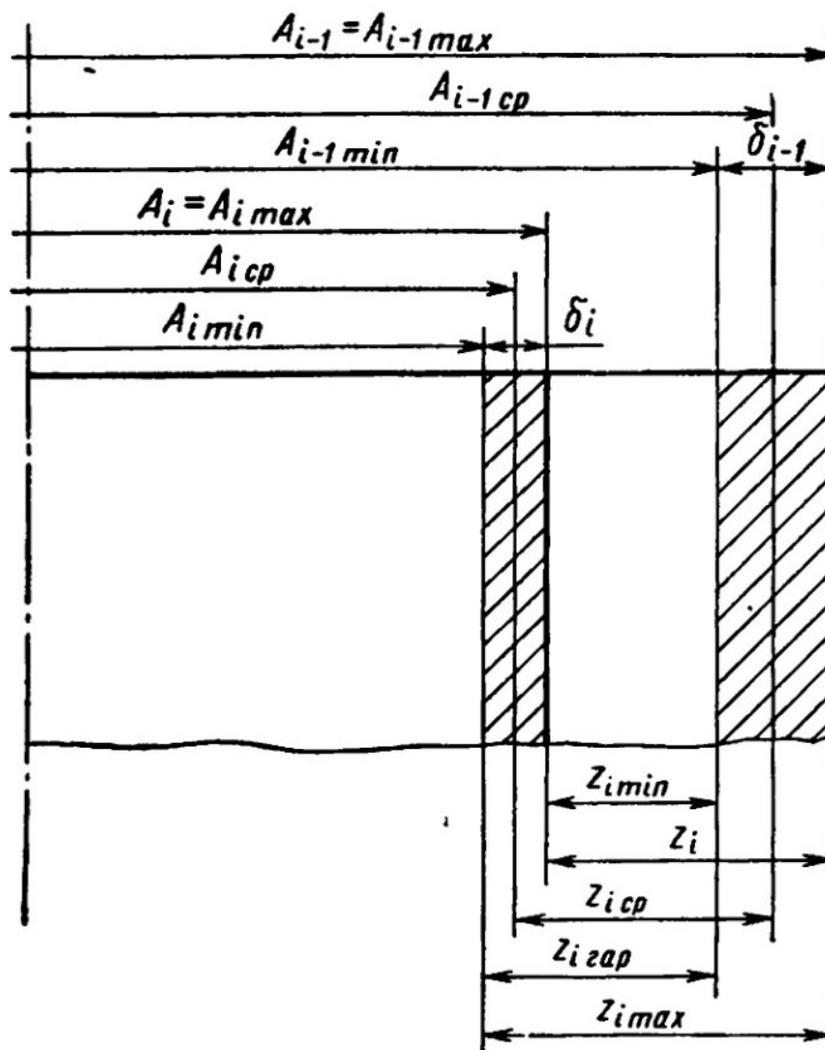


Рисунок 1.13 – Схема для определения возможных значений припуска [8]

Номинальное значение общего припуска равно $Z_0 = |A_{зар} - A_{дет}| = |A_1 - A_k|$.

Номинальное значение операционного припуска равно: $Z_0 = |A_{i-1} - A_i|$.

Наибольший возможный припуск равен $Z_{i max} = Z_i + \delta_i$.

Например, для чистовой обработки: $Z_{3 max} = Z_3 + \delta_3$.

Для первой черновой обработки: $Z_{2 max} = Z_2 + \delta_2 + \delta_1''$,

где δ_1'' – часть поля допуска на размер заготовки, располагаемая вне металла (см. рис. 1.12).

Припуск принимает наибольшее значение в случае, когда поле допуска на размер предшествующей операции не использовано, а на данной операции используется полностью.

Для вала (см. рис. 1.12, *a* и 1.13): $Z_{i \max} = A_{(i-1)\max} - A_{i \min}$.

Для отверстия (рисунок 1.12б): $Z_{i \max} = A_{i \max} - A_{(i-1)\min}$.

Аналогично для наименьшего операционного припуска:

$$Z_{i \min} = Z_i - \delta_{i-1} \quad (1.11)$$

или соответственно для вала и отверстия:

$$Z_{i \min} = A_{(i-1)\min} - A_{i \max}, \quad (1.12)$$

$$Z_{i \min} = A_{i \min} - A_{(i-1)\max}. \quad (1.13)$$

Среднее значение припуска: (1.14)

$$Z_{i \text{cp}} = \frac{Z_{i \max} + Z_{i \min}}{2}$$

или (1.15)

$$Z_{i \text{cp}} = Z_i - \frac{\delta_{i-1} - \delta_i}{2}.$$

Наибольшее возможное значение операционного припуска $Z_{i \max}$ используют при проверке выбранных режимов резания по мощности и прочности станка, при силовых и прочностных расчетах приспособлений и инструментов.

Сопоставляя поля (см. рис. 1.13) и уравнения для определения номинального Z_i , минимального $Z_{i \min}$, среднего $Z_{i \text{cp}}$ и гарантированного $Z_{i \text{гар}}$ значений припуска, видим, что первичным является наименьшее значение припуска. Именно $Z_{i \min}$ является слоем металла, необходимым и достаточным для осуществления заданной обработки поверхности. Расчеты на основе $Z_{i \min}$ являются наиболее точными. Также независимость $Z_{i \min}$ от δ_i создает предпосылки для сжатия нормативно-справочной информации.

Структуру $Z_{i \min}$ целесообразно представить в виде двух слагаемых:

$$Z_{i \min} = Z_{i a} + Z_{i b}. \quad (1.16)$$

$Z_{i a}$ – часть припуска, которую необходимо снять при обработке, чтобы удалить дефектный слой T и микронеровности R_Z , оставшиеся от предшествующей операции.

Таким образом, для тел вращения

$$Z_{i a} = 2(R_Z + T)_{i-1}. \quad (1.17)$$

Для плоскостей и торцов

$$Z_{i a} = (R_Z + T)_{i-1}. \quad (1.18)$$

Слагаемое $Z_{i b}$ включают в состав наименьшего припуска из-за необходимости компенсировать его неравномерность, обусловленную

пространственными отклонениями отдельных участков обрабатываемой поверхности.

Если рассмотреть схему вала после выполнения операции (рисунок 1.14), то видно, что ось заготовки O_{i-1} не совпадает с осью после обработки O_i , неравномерность припуска $Z_{ib} = 2e$, где e – наибольшее смещение осей заготовки и детали.

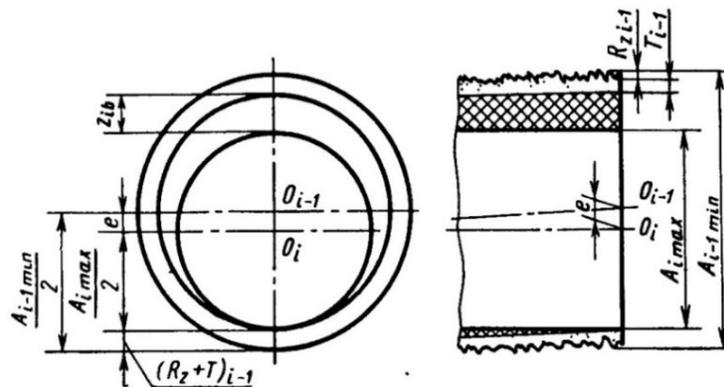


Рисунок 1.14 – Схема для определения элементов операционного припуска [8]

Таким образом, $Z_{i \min} = 2(R_Z + T)_{i-1} + 2e$.

При обработке плоскостей и торцов в качестве слагаемого Z_{ib} включается погрешность формы w_ϕ , т.е. $Z_{i \min} = (R_Z + T)_{i-1} + w_\phi$.

Если неравномерность припуска вызывается погрешностью установки, то должна приниматься во внимание система отсчета, базирующаяся на теории размерных цепей, поля $Z_{i \min}$ и δ_i не должны перекрываться (рисунок 1.15). Если они перекрываются, то правила учета погрешности установки будут другими.

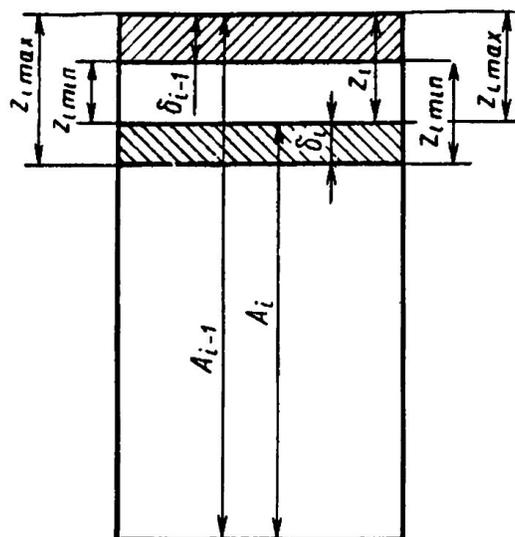


Рисунок 1.15 – Системы отсчета операционного припуска [8]

При расчете операционных размеров не всегда следует учитывать обе составляющих. Есть случаи, когда $Z_{i \min} = 0$ или $Z_{i \min} < 0$.

Если надо удалить только следы предшествующей обработки:

$$Z_{i \min} = R_{Z_{i-1}}$$

Удаление дефектного слоя [3] обязательно в случаях черновой обработки отливок и поковок и окончательной обработки деталей, когда качество поверхностного слоя оговорено требованиями чертежа. В остальных случаях при расчете величины минимального припуска учитывать дефектный слой не следует, тем более что возникший на промежуточных операциях слой металла всегда будет удален последующей обработкой.

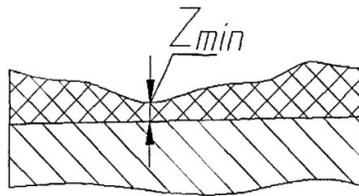


Рисунок 1.16 – Схема к определению понятия минимально необходимого припуска [3]

Минимально необходимый припуск должен быть снят в той «точке», где расстояние между обрабатываемой и вновь полученной поверхностями наименьшее (рисунок 1.16). Во всех прочих «точках» удаляется несколько больший слой материала.

Выводы

Анализ рассмотренных методов назначения допусков и припусков показывает, что их величина зависит от различных погрешностей. Если количество операций, на которых проявляется влияние погрешностей, невелико и характер влияния очевиден, то значения допусков и припусков для выбранной поверхности могут быть определены по приведенным выше методам без использования аппарата размерных цепей [8].

Во многих других случаях возникает необходимость смены баз или становится невозможным совмещение технологических, конструкторских и измерительных баз, и получаемые размеры детали определяются точностью выполнения нескольких операций. Тогда технолог вынужден рассчитывать операционные размеры и производить пересчет допусков, обычно сопровождающийся их ужесточением. Все эти задачи решаются на основе расчета соответствующих технологических размерных цепей [13].

2 ТЕОРИЯ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ И ИХ РАСЧЕТ

2.1 Теория размерных цепей в технологии машиностроения

Важнейшим этапом проектирования ТП механической обработки деталей является расчет операционных (технологических) размеров, допусков, допустимых отклонений формы и положения поверхностей. Такого рода расчеты получили наименование размерных расчетов [9]. Однако обеспечение требуемой чертежом точности размерных связей (расстояний и поворотов) не может быть достигнуто только размерными расчетами – требуется размерный анализ ТП. Задачи по размерному анализу механической обработки должны решаться в комплексе работ по технологической подготовке производства (ТПП). В результате размерного анализа выбирается такой вариант ТП, который обеспечивает выполнение технических требований чертежа с наибольшей эффективностью [7].

Наиболее плодотворные теоретические подходы к размерному анализу ТП изложены в работах Б.С. Мордвинова, И.А. Иващенко.

Поскольку ГОСТ 16319-80 выделяет лишь линейные и угловые размерные цепи (РЦ), то для отличия РЦ с линейными размерами от РЦ с диаметральными размерами поверхностей вращения, следуя работе И.А. Иващенко [8], первые РЦ будем называть линейными, а вторые – диаметральными.

РЦ – совокупность размеров (звеньев), образующих замкнутый контур и непосредственно участвующих в решении поставленной задачи.

Технологическими называются РЦ, звеньями которых являются операционные размеры и припуски, а также чертежные размеры детали. Каждое из составляющих звеньев цепи может изменяться в пределах своего допуска. Это колебание составляющих звеньев влечет за собой изменение величины замыкающего звена. Допуск замыкающего звена δ_{Δ} при расчете по методу «максимум-минимум» равен сумме допусков составляющих звеньев δ_i .

По характеру влияния на замыкающее звено составляющие звенья разделяются на увеличивающие и уменьшающие.

Для расчета РЦ необходимо составить ее уравнение. С этой целью на графической схеме цепи выбирают точку начала и конца отсчета и, обходя цепь по контуру, записывают в уравнение все ее звенья. При этом перед увеличивающими звеньями ставят знак «+», а

перед уменьшающими – знак «-». Тогда уравнение РЦ будет иметь следующий вид:

$$A_{\Delta} = \sum_m \overrightarrow{A}_i - \sum_n \overleftarrow{A}_i, \quad (2.1)$$

где A_{Δ} – замыкающее звено РЦ;

$\overrightarrow{A}_i, \overleftarrow{A}_i$ – увеличивающее и уменьшающее звено соответственно,

m, n – число увеличивающих и уменьшающих звеньев в цепи соответственно.

Замыкающее звено – это размер, непосредственно связывающий поверхности или оси, относительное расстояние или поворот которых необходимо определить.

Каждая РЦ имеет только одно замыкающее звено и, как правило, несколько составляющих звеньев. В технологических цепях замыкающее звено – это конструкторские (чертежные) размеры и припуски на обработку, а составляющие звенья – технологические (операционные) размеры.

Конструкторские размеры известны из чертежа, припуски могут быть выбраны из нормативов или определены по формуле, как показано ниже.

Технологические размеры (в том числе и размеры заготовки) необходимо рассчитать путем решения РЦ. При этом возможны два варианта решения по номинальным размерам, оба они вытекают из общего уравнения РЦ (2.1), которое может быть записано так, чтобы учесть допуск на размер замыкающего звена:

$$A_{\Delta\max} = \sum_m \overrightarrow{A}_{i\max} - \sum_n \overleftarrow{A}_{i\min} \quad , \quad (2.2)$$

$$A_{\Delta\min} = \sum_m \overrightarrow{A}_{i\min} - \sum_n \overleftarrow{A}_{i\max} \quad . \quad (2.3)$$

где $A_{\Delta\max}, A_{\Delta\min}$ – максимальное и минимальное значения замыкающего звена;

$\overrightarrow{A}_{i\max}, \overrightarrow{A}_{i\min}$ – максимальное и минимальное значения увеличивающего звена соответственно;

$\overleftarrow{A}_{i\max}, \overleftarrow{A}_{i\min}$ – максимальное и минимальное значения уменьшающего звена соответственно.

Рассмотрим первый вариант: замыкающее звено – конструкторский размер. При этом рассчитываются предельные значения неизвестного в данной цепи технологического размера (звена) с использованием (2.2) и (2.3).

Для увеличивающего звена:

$$\vec{A}_{l_{\max}} = A_{\Delta_{\max}} + \sum_n \overleftarrow{A}_{l_{\min}} - \sum_{m-1} \vec{A}_{l_{\max}} , \quad (2.4)$$

$$\vec{A}_{l_{\min}} = A_{\Delta_{\min}} + \sum_n \overleftarrow{A}_{l_{\max}} - \sum_{m-1} \vec{A}_{l_{\min}} . \quad (2.5)$$

Для уменьшающего звена:

$$\overleftarrow{A}_{l_{\max}} = \sum_m \vec{A}_{l_{\min}} - A_{\Delta_{\min}} - \sum_{n-1} \overleftarrow{A}_{l_{\max}} , \quad (2.6)$$

$$\overleftarrow{A}_{l_{\min}} = \sum_m \vec{A}_{l_{\max}} - A_{\Delta_{\max}} - \sum_{n-1} \overleftarrow{A}_{l_{\min}} . \quad (2.7)$$

Затем определяется расчетный допуск:

$$\delta_p = A_{i_{\max}} - A_{i_{\min}} . \quad (2.8)$$

Далее расчетный допуск δ_p сравнивается с допуском δ_T , соответствующим экономической точности используемого метода обработки [4, табл. 5, 10, 24, 25, 27, с. 181-190]. В первую очередь проверяется условие $\delta_p > \delta_T$.

Если оно выполняется, то технологический допуск на размер искомого звена принимается равным экономическому допуску, т.е. $\delta_i = \delta_T$.

Такое ужесточение допуска δ_i не приводит к увеличению стоимости операции. Если это условие не выполняется, то проверяется второе условие $\delta_p > \frac{1}{2} \delta_T$.

Если оно выполняется, то технологический допуск на искомый размер принимается равным расчетному, т.е. $\delta_i = \delta_p$. При этом следует иметь в виду, что такое уменьшение допуска δ_i уже влечет за собой увеличение времени на обработку и ее стоимости. Особенно значительно растет стоимость операции при работе с допусками, соответствующими областям технически достижимой точности применяемого метода обработки.

Если эти условия не выполняются или $\delta_p < 0$, то требуется либо уменьшить допуски на другие составляющие размеры цепи, либо перестроить ТП.

Второй вариант: замыкающее звено – припуск, оставляемый для последующего перехода, Z_i . В этом случае сначала необходимо определить его минимальную величину $Z_{i_{\min}}$. Приблизительно она может

быть определена по нормативным данным [4, табл. 8-19]. Точно она находится аналитическим методом по формуле

$$Z_{i\min} = (R_z + h)_{i-1} + \Delta_{\Sigma(i-1)} + \varepsilon_i, \quad (2.9)$$

где $R_{z(i-1)}$ – высота неровностей профиля на предшествующем переходе;

$h_{(i-1)}$ – глубина дефектного поверхностного слоя на предшествующем переходе (обезуглероженный или отбеленный слой);

$\Delta_{\Sigma(i-1)}$ – суммарные отклонения расположения поверхности (отклонения от параллельности, перпендикулярности, соосности, симметричности, пересечения осей) на предшествующем переходе;

ε – погрешность установки заготовки на выполняемом переходе.

Значения R_z , h , Δ_{Σ} , ε приведены в соответствующих таблицах [4, с. 180-192].

Определив $Z_{i\min}$, составляют исходное уравнение РЦ относительно $Z_{i\min}$, используя (2.3):

$$Z_{i\min} = \sum_m \vec{A}_{l\min} - \sum_n \overleftarrow{A}_{l\max}. \quad (2.10)$$

Если исходный размер – уменьшающее звено,

$$\overleftarrow{A}_{l\max} = \sum_m \vec{A}_{l\min} - \sum_{n-1} \overleftarrow{A}_{l\max} - Z_{i\min}. \quad (2.11)$$

Если исходный размер – увеличивающее звено,

$$\vec{A}_{l\min} = Z_{i\min} + \sum_n \overleftarrow{A}_{l\max} - \sum_{m-1} \vec{A}_{l\min}. \quad (2.12)$$

После этого на размер A_i устанавливают допуск δ_T , соответствующий экономической точности используемого на данном переходе метода обработки [4, табл. 1-32, с. 180-192].

Затем для обоих вариантов необходимо рассчитать номинальный размер и предельные отклонения.

Зная допуск на размер ($\delta_i = \delta_T$ или $\delta_i = \delta_p$) и его расположение относительно этого размера (система отверстия – поле допуска H , система вала – поле допуска h , система ось – поле допуска J_s), определяют номинальный размер A_i и предельное отклонение по одной из следующих формул.

Для первого варианта:

1. Система отверстия: $A_i = A_{i_{\min}}; \Delta_B = +\delta_i; \Delta_H = 0.$ (2.13)

2. Система вала: $A_i = A_{i_{\max}}; \Delta_B = 0; \Delta_H = -\delta_i.$ (2.14)

3. Система ось:

$$A_i = \frac{A_{i_{\max}} + A_{i_{\min}}}{2}; \Delta_B = +\frac{\delta_i}{2}; \Delta_H = -\frac{\delta_i}{2}; \quad (2.15)$$

Для второго варианта:

4. Система отверстия: $A_i = A_{i_{\max}} - \delta_i; \Delta_B = +\delta_i; \Delta_H = 0.$ (2.16)

5. Система вала: $A_i = A_{i_{\min}} + \delta_i; \Delta_B = 0; \Delta_H = -\delta_i.$ (2.17)

6. Система ось:

$$A_i = \frac{A_{i_{\max}} - A_{i_{\min}}}{2}; \Delta_B = +\frac{\delta_i}{2}; \Delta_H = -\frac{\delta_i}{2}, \quad (2.18)$$

где Δ_B и Δ_H – верхнее и нижнее предельные отклонения.

2.2 Последовательность расчета технологических размеров

2.2.1 Составление маршрута обработки

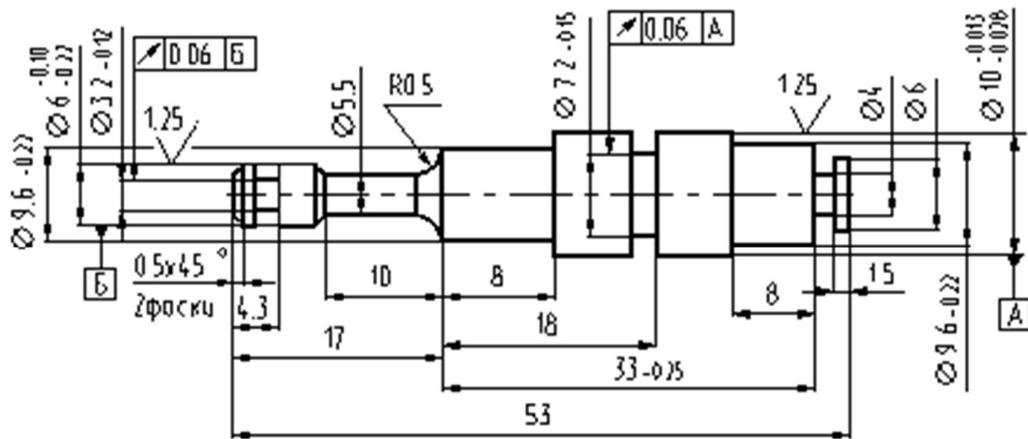
Последовательность проведения размерных расчетов подробно рассмотрена в работе [14] на примере расчета операционных размеров и припусков на механическую обработку детали «Палец» (рисунок 2.1).

Исходной информацией для выявления и решения РЦ являются чертежи детали и заготовки, а также эскизы на все операции механической обработки.

Маршрут обработки детали «Палец» показан на рисунке 2.2 (приводятся только те операции ТП, на которых получают линейные размеры заготовки и детали).

2.2.2 Построение размерной схемы

Второй этап решения размерной цепи заключается в построении размерной схемы ТП [7]. Для этого изображают эскиз готовой детали и на него последовательно наносят все припуски на обработку поверхностей, которые ограничивают технологические размеры. В итоге получается контур заготовки с промежуточными поверхностями.



Неуказанные предельные отклонения по ОН 025202-66

Рисунок 2.1 – Чертеж детали «Палец» [14]

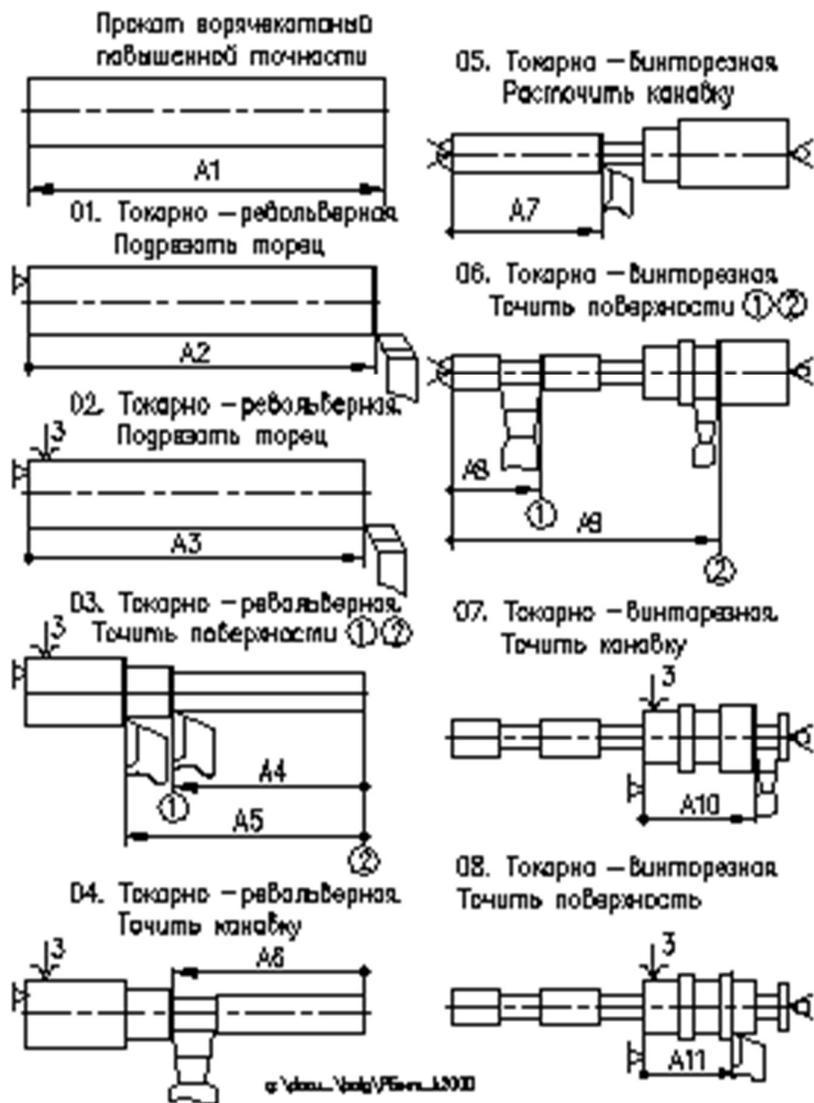


Рисунок 2.2 – Маршрут обработки детали «Палец» [14]

Пример построения размерной схемы показан на рисунке 2.3. Для тел вращения можно изображать одну проекцию, на которой указывается только половина детали по оси симметрии.

Над деталью указываются конструкторские (чертежные) размеры P_i , которые нумеруются произвольно, и допуски на них. Все поверхности заготовки, получаемые после очередной операции (перехода), и поверхности детали нумеруются слева направо. Через пронумерованные поверхности проводятся вертикальные линии. Между этими линиями указываются размеры заготовки и технологические размеры, получаемые в результате выполнения каждого технологического перехода. Технологические размеры, в том числе и размеры заготовки, обозначаются буквой A_i , где i – порядковый номер размера.

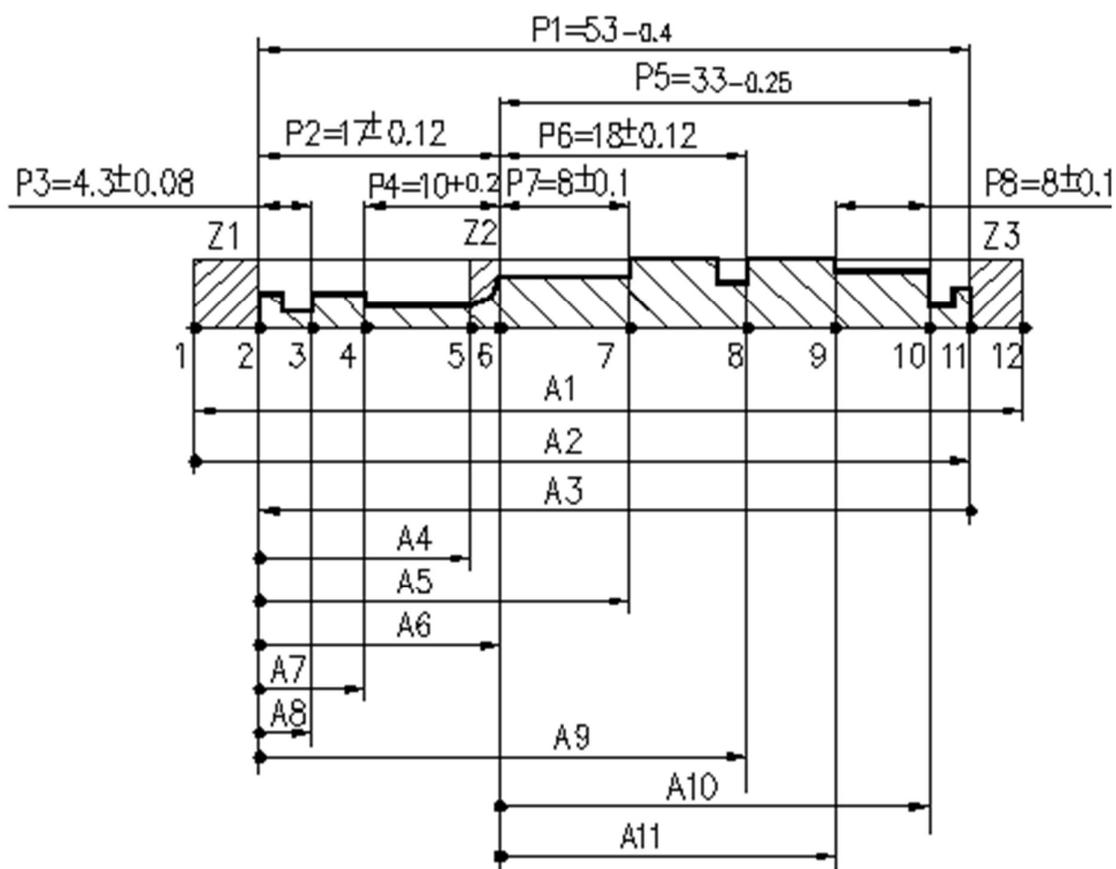


Рисунок 2.3 – Размерная схема обработки детали «Палец» [14]

Технологические размеры изображаются на схеме вектором, который направлен от базовой поверхности к обрабатываемой (полученной) на данном переходе.

Поскольку каждая размерная цепь имеет только одно замыкающее звено, то на размерной схеме должно быть представлено столько РЦ, сколько у детали конструкторских размеров + припуски (в схеме на рисунке 2.3 их, например, должно быть 11). Выявление всех размерных цепей непосредственно по размерной схеме в ряде случаев может быть весьма трудоемкой задачей, т.к. технологические размерные цепи часто бывают «связанными», то есть такими, у которых одни и те же составляющие звенья входят в разные РЦ.

Процесс выявления технологических РЦ можно значительно упростить и облегчить, если по размерной схеме построить структурную модель, используя для этих целей теорию графов [7].

2.2.3 Выявление технологических размерных цепей с помощью структурной графовой модели

Деталь в процессе ее изготовления можно рассматривать как геометрическую структуру, состоящую из множества поверхностей (вершин) (условно обозначаемых на графе окружностями) и связей (размеров) между ними (на графе изображаются отрезками между окружностями). Особое значение в размерных расчетах имеет граф типа дерево. Дерево – это граф без контуров, у которого между парой вершин существует только один путь.

Дерево, образованное припусками и конструкторскими размерами, называется исходным, а дерево с технологическими размерами – технологическим.

Если эти деревья совместить, то получится совмещенный граф. В нем все технологические РЦ из неявных превращаются в явные: любой замкнутый контур на совмещенном графе, состоящий из ребер исходного и технологического деревьев, образует технологическую РЦ. В этой цепи ребро исходного дерева является замыкающим звеном, а ребро технологического дерева – составляющими звеньями.

Сначала строится дерево технологических размеров (с составляющими звеньями). Номера поверхностей заготовки и детали, взятые с размерной схемы, принимаются за вершины графа и помещаются в окружности. Вершины соединяются между собой ориентированными ребрами – технологическими размерами, которые соединяют эти поверхности на размерной схеме. После соединения всех вершин соответствующими ребрами технологическое дерево построено (рисунок 2.4).

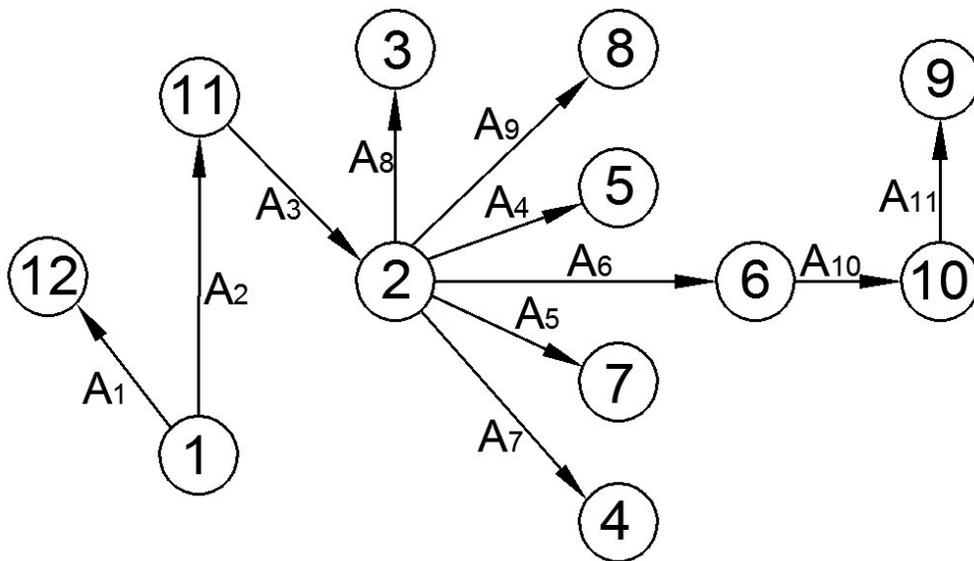


Рисунок 2.4 – Дерево с технологическими (операционными) размерами A_i

При построении исходного дерева (с замыкающими звеньями) вершинами его являются те же самые поверхности, что и на технологическом дереве. Ребра-припуски обозначаются зигзагами, а ребра-конструкторские размеры – дугами (рисунок 2.5).

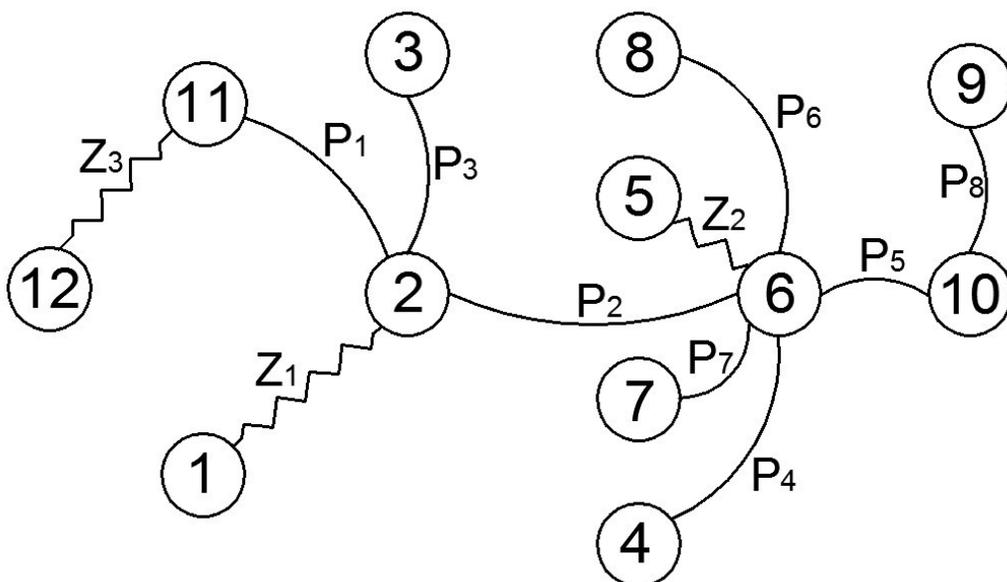


Рисунок 2.5 – Дерево с конструкторскими (чертежными) размерами P_i и припусками Z_i

После построения каждого дерева производится проверка правильности их построения, которая фактически является проверкой правильности построения размерной схемы ТП.

В ходе проверки контролируется соблюдение следующих условий [7]:

1) число вершин у каждого дерева должно быть равно числу поверхностей на размерной схеме;

2) число ребер у каждого дерева должно быть одинаковым и равным числу вершин без единицы;

3) к каждой вершине дерева с составляющими звеньями, кроме корневой (с которой начинается построение), должна подходить только одна стрелка ориентированного ребра, а к корневой вершине – ни одной стрелки;

4) деревья не должны иметь разрывов и замкнутых контуров.

После проверки оба дерева совмещают так, чтобы вершины с одинаковыми номерами совпадали (рисунок 2.6). В результате получается совмещенный граф технологических РЦ. Практически два дерева отдельно не строят, а поступают так: сначала строят технологическое дерево, а затем на нем строят исходное дерево, в результате чего замыкание деревьев происходит само собой.

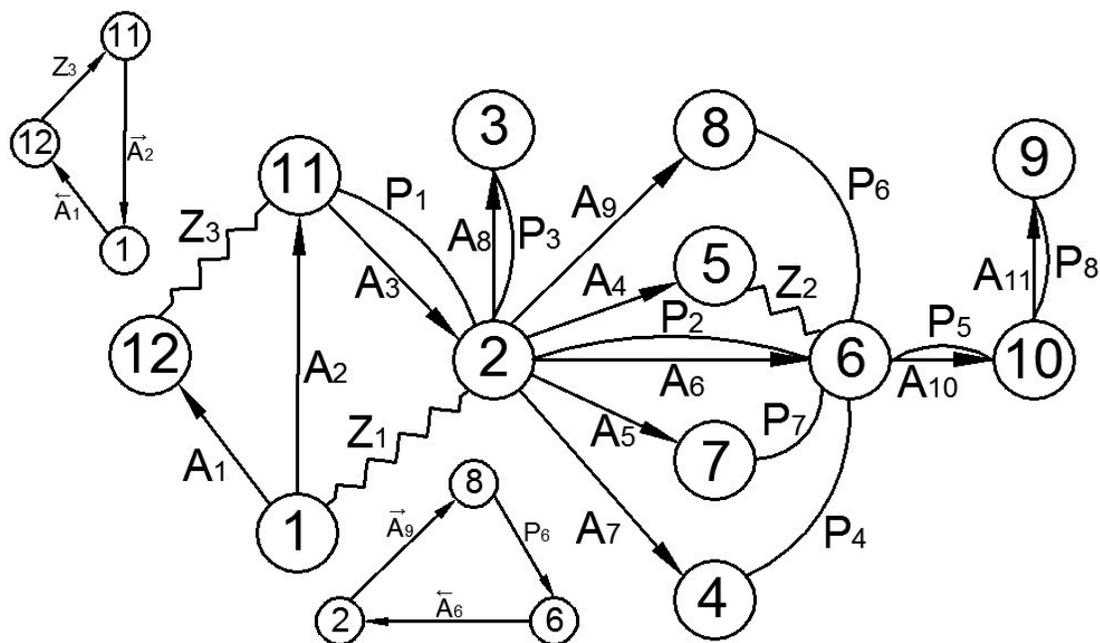


Рисунок 2.6 – Совмещенный граф технологических РЦ детали «Палец»

Замкнутый контур совмещенного графа образует РЦ, у которой ребро исходного дерева является замыкающим звеном, а ребра технологического дерева – составляющими звеньями. Например, на рисунке 2.6 ребра A_1 , A_2 , и Z_3 образуют замкнутый контур, т.е. РЦ, у которой ребра A_1 и A_2 являются составляющими звеньями, а ребро Z_3 – замыкающим звеном. Замкнутый контур из ребер A_3 и P_1 образуют новую РЦ, у которой замыкающим звеном является ребро P_1 , а составляющим – A_3 .

Так как в РЦ может быть только одно замыкающее звено (а в качестве такого звена в технологической РЦ может быть, как правило, конструкторский размер или припуск), то при выявлении РЦ по графу необходимо выбрать только такие контуры, в которых содержится только по одному ребру исходного дерева, а остальные ребра принадлежат технологическому дереву.

Например, на рисунке 2.6 ребра A_4 , A_5 , P_7 и Z_2 образуют замкнутый контур, но в нем два ребра P_7 и Z_2 принадлежат исходному дереву, поэтому такой контур не может рассматриваться в качестве технологической РЦ.

Граф РЦ не только облегчает выявление цепей, разделение составляющих звеньев на увеличивающие и уменьшающие, но и позволяет обнаружить ошибки в технологии или в чертеже. Например, если при составлении исходного или технологического дерева обнаружится разрыв между вершинами или появится замкнутый контур на исходном или технологическом дереве, то это указывает в первом случае на отсутствие нужных размеров в принятой технологии или на чертеже, а во втором случае – на наличие лишних размеров.

2.2.4 Расчет технологических размерных цепей «вручную»

Порядок проведения «ручного» расчета РЦ рассмотрим на примере детали «Палец», показанной на рисунке 2.1.

Ручной расчет начинается с тех этапов решения РЦ, которые были рассмотрены выше: предлагается маршрут обработки, затем строится размерная схема ТП и граф технологических РЦ.

После построения совмещенного графа на нем выявляют все технологические РЦ и записывают их уравнения в буквенной форме, как показано в таблице 2.1. Затем определяется последовательность решения уравнений с учетом того, что в каждом уравнении должен быть неизвестен только один технологический размер.

**Таблица 2.1 – Уравнения и порядок расчета РЦ
детали «Палец» [14]**

Уравнение РЦ	Неизвестное звено	Номер решения
$P_1 = A_3$	A_3	1
$P_2 = A_6$	A_6	2
$P_3 = A_8$	A_8	3
$P_4 = A_6 - A_7$	A_7	6
$P_5 = A_{10}$	A_{10}	4
$P_6 = A_9 - A_6$	A_9	7
$P_7 = A_5 - A_6$	A_5	8
$P_8 = A_{11}$	A_{11}	5
$Z_1 = A_2 - A_3$	A_2	9
$Z_2 = A_6 - A_4$	A_4	10
$Z_3 = A_1 - A_2$	A_1	11

Разделение составляющих звеньев на увеличивающие и уменьшающие «вручную» выполняется следующим образом. Звенья, образующие на графе замкнутый контур РЦ, обходятся (независимо от первоначальной ориентации) по выбранному направлению (например, по часовой стрелке). На рисунке 2.6 выделены два контура для РЦ с замыкающими звеньями Z_3 и P_6 . Все звенья каждой РЦ условно делятся на «возрастающие» и «убывающие» в зависимости от того, возрастает или убывает номер вершины звена в процессе обхода. Составляющее звено – увеличивающее, если это звено – «возрастающее» («убывающее»), а замыкающее звено – «убывающее» («возрастающее»). Составляющее звено – уменьшающее, если это и замыкающее звено – оба «возрастают» или «убывают». Например, на рисунке 2.6 звено A_2 – «убывающее», звено Z_3 – «убывающее», т.е. изменение границ в процессе обхода одинаковое. Следовательно, звено A_2 – уменьшающее.

Увеличивающим звеньям в уравнении РЦ, как обычно, приписывается знак «+», уменьшающим – знак «-». Результаты заносятся в таблицу 2.1.

После выявления РЦ последующие расчеты оформляются в таблицах 2.2 и 2.3 в соответствии с теорией, изложенной в начале главы.

**Таблица 2.2 – Расчет минимальных припусков
детали «Палец» [14]**

Обозначение на размерной схеме	Метод обработки на предыдущем переходе	Метод обработки на выполняемом переходе	Составляющие минимального припуска, мм				Величина минимального припуска, мм
			$R_{z(i-1)}$	$h_{(i-1)}$	$\Delta_{\Sigma(i-1)}$	ε_i	
Z_i	(i-1)-й	i-й					$Z_{i_{min}}$
Z_1	Прокат повышенной точности после отрезки на ножницах	Чистовое точение	0,150	0,150	0,033	0,080	0,418
Z_2	Чистовое точение	Чистовое точение	0,032	0,030	-	0,080	0,142
Z_3	Прокат повышенной точности после отрезки на ножницах	Чистовое точение	0,150	0,150	0,038	0,080	0,418

Пояснения к таблице:

1. Значения R_z и h определяются из [4, табл. 3, 5, с. 180-181].
2. В расчетах принято, что $\Delta_{\Sigma} = \Delta_{\Sigma_k}$, где Δ_{Σ_k} – отклонение оси детали от прямолинейности, мкм на 1 мм (в справочниках обычно называется кривизной), определяется обычно для черновых операций. При закреплении в патроне

$$\Delta_{\Sigma_k} = l \frac{\Delta k}{\Delta k^2 + 0,25} = 55 \frac{0,2}{0,2^2 + 0,25} = 38 \text{ мкм},$$

где l – размер, на котором ищется кривизна, а $\Delta k = 0,2$ [4, табл. 4, с. 180].

3. Значения ε_i определяются по [4, табл. 12, 17, с. 41-44].

Таблица 2.3 – Расчет технологических размеров детали «Палец» [14]

Замыкающее звено		Составляющие звенья (технологические размеры)				
Обозначение	Величина	Уравнение цепи	Расчет значения неизвестного звена A_i , мм	Расчетный допуск δ_p , мм	Технологический допуск δ_T , мм	Принятый технологический размер, мм
1	2	3	4	5	6	7
P_1	$53_{-0,4}$	$P_1 = A_3$	$\vec{A}_{3max} = A_{\Delta max} \quad (2.4)$ $\vec{A}_{3min} = A_{\Delta min} \quad (2.5)$ $A_{3max} = P_{1max} = 53,000$ $A_{3min} = P_{1min} = 52,600$	0,400	Допуск для чистового точения соответствует 11 качеству [3, табл. 5] 0,190	$A_3 = 53_{-0,19}$
P_2	$17 \pm 0,12$	$P_2 = A_6$	$\vec{A}_{6max} = A_{\Delta max} \quad (2.4)$ $\vec{A}_{6min} = A_{\Delta min} \quad (2.5)$ $A_{6max} = P_{2max} = 17,120$ $A_{6min} = P_{2min} = 16,880$	0,240	0,110	$A_6 = 17 \pm 0,055$
P_3	$4,3 \pm 0,08$	$P_3 = A_8$	$\vec{A}_{8max} = A_{\Delta max} \quad (2.4)$ $\vec{A}_{8min} = A_{\Delta min} \quad (2.5)$ $A_{8max} = P_{3max} = 4,380$ $A_{8min} = P_{3min} = 4,220$	0,160	0,075	$A_8 = 4,3 \pm 0,038$
P_4	$10 \pm 0,2$	$P_4 = A_6 - A_7$	$\vec{A}_{7max} = \vec{A}_{6min} - A_{\Delta min} \quad (2.6)$ $\vec{A}_{7min} = \vec{A}_{6max} - A_{\Delta max} \quad (2.7)$ $A_{7max} = A_{6min} - P_{4min} =$ $16,945 - 10,000 = 6,945$ $A_{7min} = A_{6max} - P_{4max} =$ $17,055 - 10,200 = 6,855$	0,090	0,090	$A_7 = 6,945_{-0,09}$

P_5	$33_{-0,25}$	$P_5 = A_{10}$	$\vec{A}_{10max} = A_{\Delta max} \quad (2.4)$ $\vec{A}_{10min} = A_{\Delta min} \quad (2.5)$ $A_{10max} = P_{5max} = 33,000$ $A_{10min} = P_{5min} = 32,750$	0,250	0,160	$A_{10} = 33_{-0,160}$
P_6	$18 \pm 0,12$	$P_6 = A_9 - A_6$	$\vec{A}_{9max} = A_{\Delta max} + \vec{A}_{6min} \quad (2.4)$ $\vec{A}_{9min} = A_{\Delta min} + \vec{A}_{6max} \quad (2.5)$ $A_{9max} = P_{6max} + A_{6min} =$ $= 18,120 + 16,945 = 35,065$ $A_{9min} = P_{6min} + A_{6max} =$ $= 17,880 + 17,055 = 34,935$	0,130	0,160	$A_9 = 35 \pm 0,065$
P_7	$8 \pm 0,1$	$P_7 = A_5 - A_6$	$\vec{A}_{5max} = A_{\Delta max} + \vec{A}_{6min} \quad (2.4)$ $\vec{A}_{5min} = A_{\Delta min} + \vec{A}_{6max} \quad (2.5)$ $A_{5max} = P_{7max} + A_{6min} =$ $= 6,100 + 16,945 = 25,045$ $A_{5min} = P_{7min} + A_{6max} =$ $= 7,900 + 17,055 = 24,955$	0,090	0,130	$A_5 = 25 \pm 0,045$
P_8	$8 \pm 0,1$	$P_8 = A_{11}$	$\vec{A}_{11max} = A_{\Delta max} \quad (2.4)$ $\vec{A}_{11min} = A_{\Delta min} \quad (2.5)$ $A_{11max} = P_{8max} = 8,100$ $A_{11min} = P_{8min} = 7,900$	0,200	0,090	$A_{11} = 8 \pm 0,045$
Z_{1min}	0,418	$Z_1 = A_2 - A_3$	$\vec{A}_{2min} = Z_{1min} + \vec{A}_{3max} \quad (2.12)$ $A_{2min} = 0,418 + 53,000 = 53,418$	-	0,190	$A_2 = 53,603_{-0,19}$
Z_{2min}	0,142	$Z_2 = A_6 - A_4$	$\vec{A}_{4max} = \vec{A}_{6min} - Z_{2min} \quad (2.11)$ $A_{4max} = 16,945 - 0,142 = 16,803$	-	0,110	$A_4 = 16,748 \pm 0,055$
Z_{3min}	0,418	$Z_3 = A_1 - A_2$	$\vec{A}_{1min} = Z_{3min} + \vec{A}_{2max} \quad (2.12)$ $A_{1min} = 0,418 + 53,625 = 54,043$	-	-	$A_1 = 54,043$

Выводы

Полный размерный анализ вариантов ТП, выполняемый вручную с использованием методик, рассмотренных в данной главе, представляет собой трудоемкую задачу. Если в ходе расчета технологических размеров точность конструкторских размеров не достигается, размерная структура варианта ТП меняется технологом и расчет цепей повторяется заново. Учитывая многообразие вариантов размерной структуры ТП и большое количество размеров сложных деталей, такие построения и расчеты зачастую на производстве не проводят вовсе, заменяя «опытом» технолога и «доведением» в цехе на этапе внедрения новых ТП.

Таким образом, актуальным является решение вопроса автоматизации расчета технологических размеров.

3 АВТОМАТИЗАЦИЯ РАЗМЕРНЫХ РАСЧЕТОВ

При проектировании ТП обычно существует несколько вариантов маршрута обработки заготовки, а следовательно, связанных с ними вариантов размерной структуры. Решение технологом задачи выбора из ряда альтернативных вариантов наилучшего на практике значительно осложняется влиянием точности размеров предшествующих операций на точность последующих размеров детали. Для реальной детали довольно редко удается выполнить все конструкторские размеры так, как они проставлены на чертеже, т.е. непосредственно от измерительной базы. Гораздо чаще конструкторский размер получается косвенно через ряд взаимосвязанных промежуточных технологических размеров, выдерживаемых по разным соображениям от других баз. При этом действительная точность конструкторских размеров будет зависеть от точности нескольких взаимосвязанных технологических размеров. Именно такая ситуация возникает, когда не соблюдается известный в технологии машиностроения «принцип единства баз».

Смоделировать на этапе проектирования взаимозависимость технологических размеров, а затем учесть влияние точности их размеров на точность конструкторских размеров можно путем составления и решения специфических технологических размерных цепей. Многократное составление структурной размерной схемы ТП (графа) и выявление с ее помощью замкнутых контуров размерных цепей с их качественной оценкой и количественным расчетом баланса допусков составляют суть размерного анализа ТП.

Наиболее эффективная методика размерного анализа основана на моделировании размерных изменений заготовки посредством графовых структур. Впервые использование теории графов было предложено аспирантом Б.С. Балакшина – Б.С. Мордвиновым [7], развито И.А. Иващенко [8] и В.Б. Масыгиным [2, 34-41]. Некоторое распространение идеи Б.С. Мордвинова получили в РГАТУ (Рыбинск) в работах М.А. Марасинова (ручная методика) для точных авиадеталей, а также в подшипниковой промышленности. Подробная алгоритмическая проработка и программная реализация простейшего графового моделирования линейных технологических размеров на ЕС ЭВМ и ПК рассмотрены на примере программы KON7 в статьях и методических разработках соавтора этой работы [14-19] для учебного процесса.

Программа KON7 [16], разработанная на кафедре КИ ТМС ЯГТУ, являясь разновидностью САТ-системы (Computer Aided Tolerancing),

предназначена для диалоговой подготовки в текстовом режиме (числовой ввод) исходных данных и последующего анализа размерной структуры ТП.

При проведении размерного анализа в «ручном» варианте проектирования весьма сложно построить структурную схему размерных изменений реальной заготовки, а затем визуально выявить на ней контуры размерных цепей и их решить. Поэтому на производстве в большинстве случаев значения технологических размеров определяются локально для операции или даже установка, т.е. без учета влияния погрешностей предшествующих этапов обработки на точность размеров последующих. Иными словами, не учитывается качественный элемент – погрешность базирования, вносимая переустановками на операциях или переходах ТП при обработке методом автоматического получения размеров на настроенном оборудовании. В существующих отечественных и зарубежных САПР ТП размеры вносятся в технологический документ также без учета их взаимосвязи и без решения технологических размерных цепей. В итоге взаимосвязанные размерные расчеты остаются за пределами САПР, и о моделировании размерных изменений умалчивается.

Даже при проектировании операций ЧПУ для мелкосерийного производства объектом размерных расчетов являются обычно отдельные контуры (циклы) в пределах установка, не являющиеся элементами единой размерной структуры заготовка–деталь.

Другой важный вопрос – оторванность расчета размеров заготовки от размеров ее последующей обработки. Обычно размеры заготовки не связаны с точностью механообработки, рассчитываются в службах заготовительного производства, где руководствуются не экономией материала, а традициями, «производственным опытом» и субъективным представлением о точности заготовительного оборудования.

Таким образом, при проектировании серийного производства, как правило, не проводится моделирование размерной структуры ТП, не решается на этой основе сквозная задача размерного анализа ТП с учетом взаимосвязи выдерживаемых по ходу обработки размеров и влияния их точности на точность конструкторских размеров детали. В итоге возникают «узкие» места и необходимость доработки ТП в цехе, страдает качество изделия.

3.1 Обзор отечественных САТ-систем

3.1.1 Программа KON7 (ЯГТУ, Ярославль)

Последовательность действий при автоматизации размерных расчетов по программе KON7 [42] показана на рисунке 3.1.

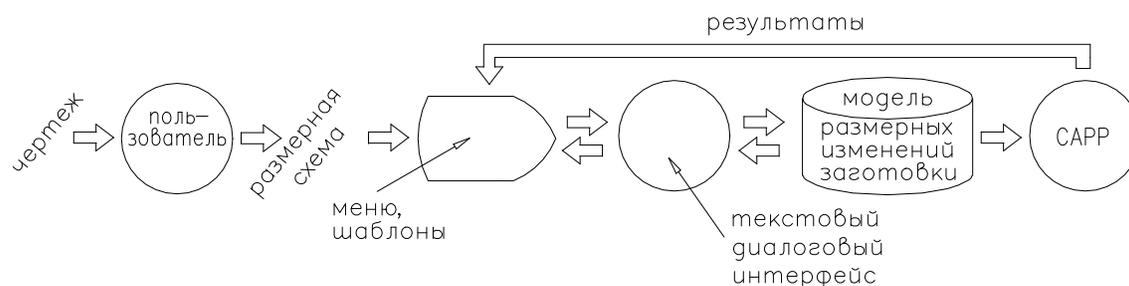


Рисунок 3.1 – Функциональная структура программы [20]

На основе введенной информации по структуре ТП и точности конструкторских размеров детали программа автоматически отыскивает технологические размерные цепи, рассчитывает номиналы и отклонения допуска технологических размеров, которые должны быть выдержаны при обработке для достижения точности конструкторских размеров. В случае неадекватности предложенного варианта с точки зрения достижения точности конструкторских размеров чертежа программа выводит сообщения по каждой размерной цепи, которые указывают технологический размер с недостаточной точностью.

Таким образом, при использовании программы KON7, функционирующей под операционной системой Windows, становится возможным связать в единый комплекс подготовку информации, оценку результата и оперативное изменение данных для уточняющих расчетов нескольких вариантов размерной структуры ТП. Рассчитанные значения технологических размеров заносятся с помощью САРР-системы в соответствующие строки операционной карты.

Алгоритм расчета представлен в виде блок-схемы на рисунке 3.2. Автоматизированное графическое построение размерной схемы в среде AutoCAD 20xx с последующей передачей данных в KON7 обеспечивается системой GRAKON7 [41].

Программа KON7 выполняет расчет по методу max-min и обладает следующими характерными возможностями:

- задание на один или несколько технологических размеров «допусков пользователя», учитывающих реальную точность оборудования – по усмотрению технолога, в обход нормативной базы данных программы;

- ввод гарантированного минимального припуска на обработку одной или нескольких поверхностей в случае невозможности реализации заниженных расчетных значений припусков по производственным условиям получения заготовки;

- моделирование размерных изменений заготовки при обработке с количеством технологических размеров не менее 300;

- адаптация нормативной базы данных по допускам методов механообработки и получения заготовки, а также по составляющим элементам припусков на обработку;

- настройка степени полноты вывода результатов проектирования на экран и на печать;

- интеллектуальная диагностика исходных данных на этапе ввода и по результатам расчета.

Перечисленные возможности обеспечивают удобство, гибкость и открытость для проектировщика и конкретной производственной среды. Важно подчеркнуть, что программа KON7 не заменяет технолога, а лишь позволяет ему быстро проанализировать принятые технологические решения по структуре технологического процесса, выбранным схемам базирования, методам и точности обработки с точки зрения основного критерия – обеспечения точности конструкторских размеров. Использование программы особенно эффективно в условиях, когда в ходе обработки происходит частая смена баз, не соблюдается «принцип единства баз», т.е. при наличии погрешности базирования, которую сложно выявить и учесть без построения и решения технологических размерных цепей.

Рассмотрим последовательность работы пользователя-технолога в системе KON7 при размерном анализе на примере детали «Палец», «ручной» размерный расчет которой был рассмотрен ранее в п. 2.2.

Во-первых, необходимо разработать маршрут обработки, построить размерную схему и граф технологических РЦ аналогично тому, как это делалось при «ручном» расчете.

Необходимо отметить, что при этом все конструкторские размеры P_i , припуски Z_i и технологические размеры, включая и размеры заготовки A_i , должны быть, как видно на рисунке 2.3, пронумерованы (припуски нумеруются слева направо, технологические размеры – по ходу их получения в ТП, а конструкторские размеры – произвольно).

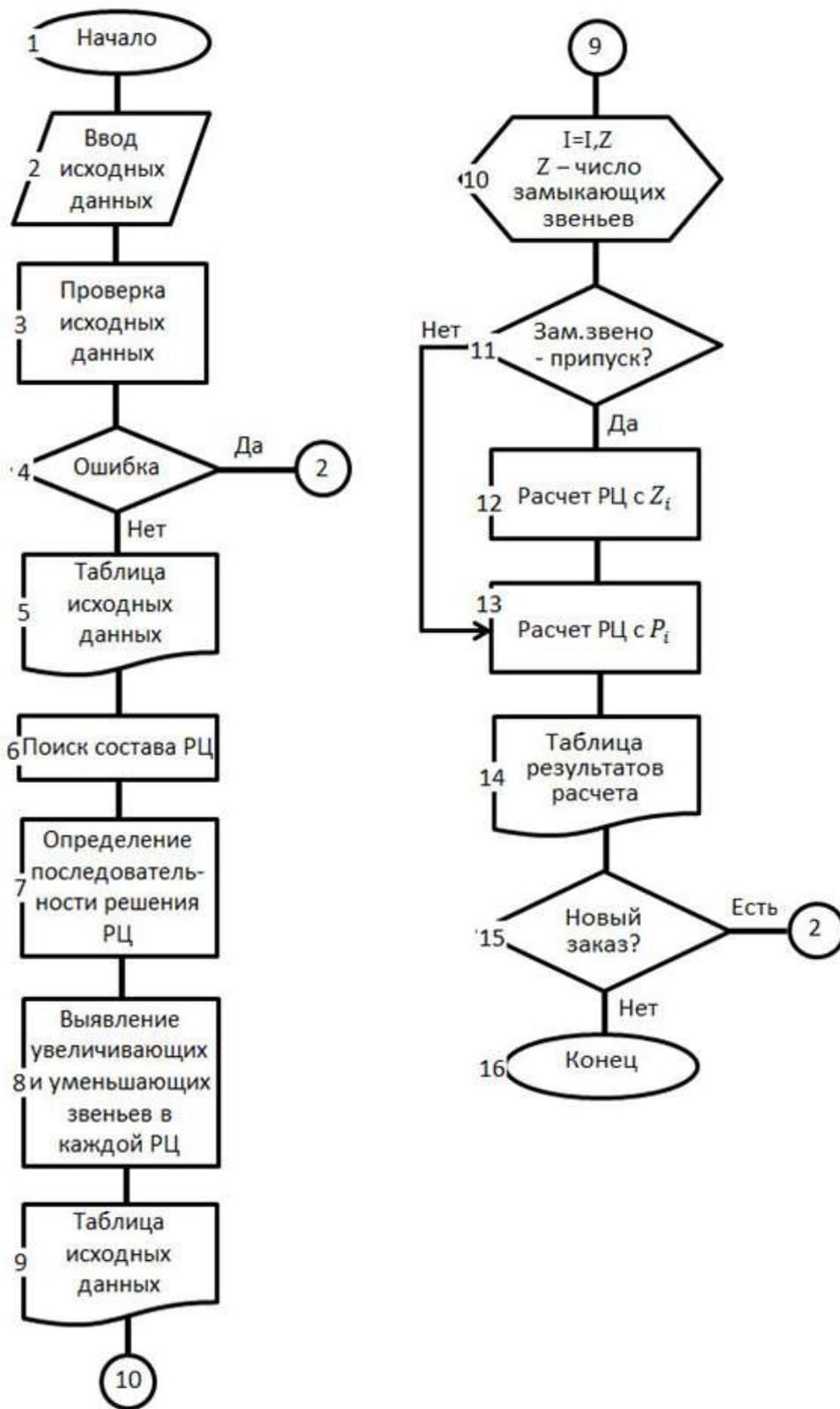


Рисунок 3.2 – Блок-схема алгоритма расчета линейных РЦ

Далее открываем программу KON7 и заносим общую информацию для данного варианта технологического процесса во вкладку «Общие данные» (рисунок 3.3).

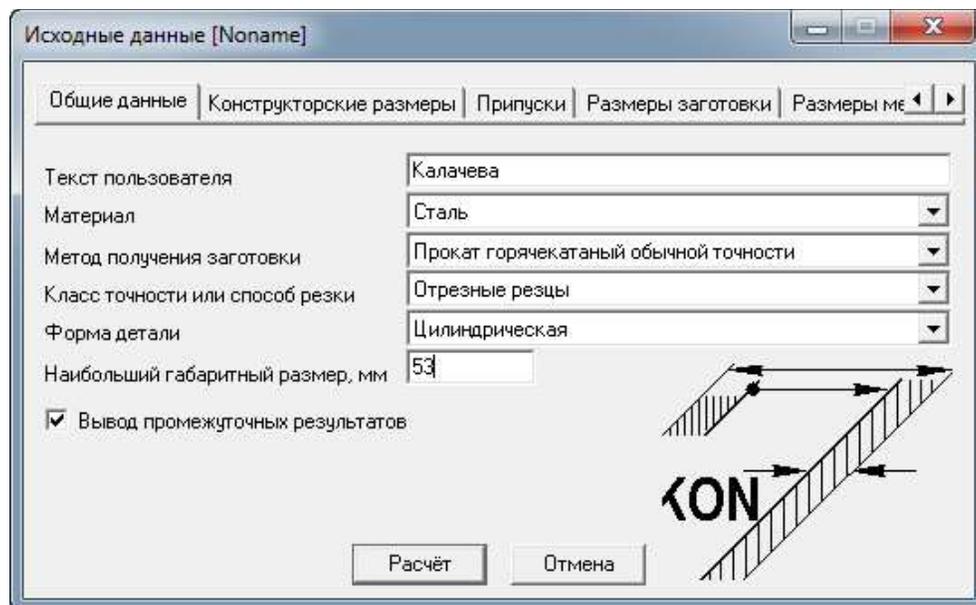


Рисунок 3.3 – Общие данные

Затем выбираем вкладку «Конструкторские размеры» и проставляем номера границ и предельные значения размеров (рисунок 3.4), пользуясь схемой, показанной ранее на рисунке 2.3.

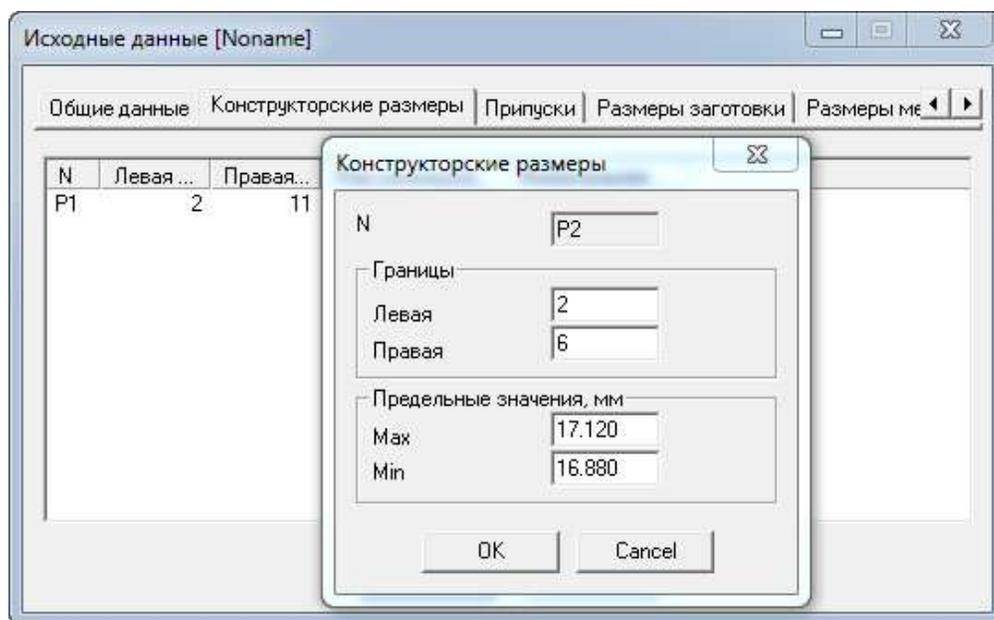


Рисунок 3.4 – Ввод конструкторского размера

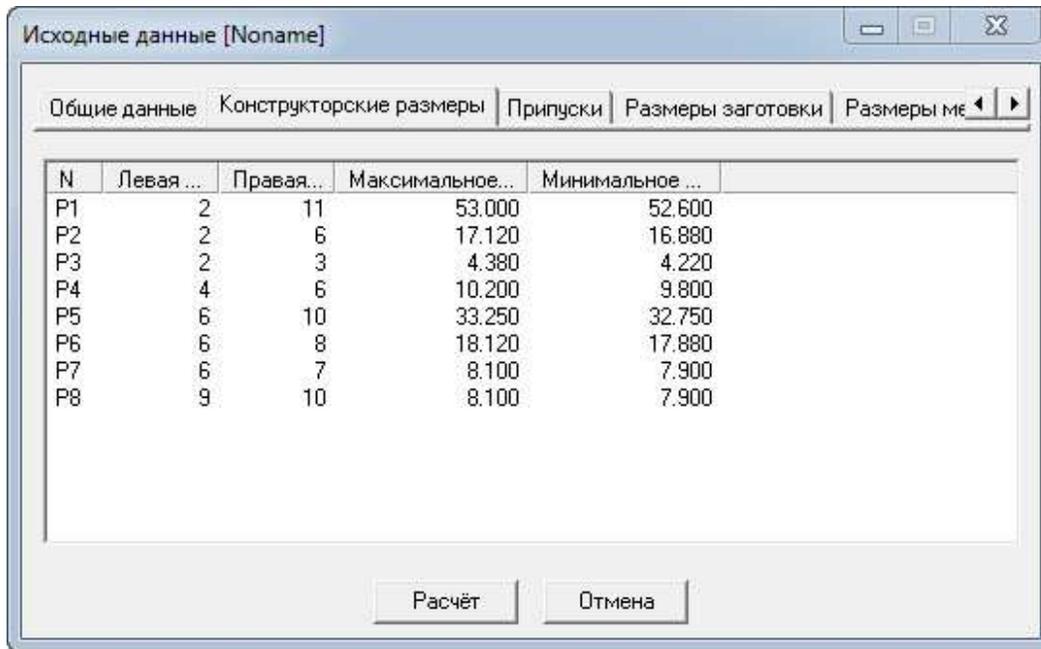


Рисунок 3.5 – Конструкторские размеры

Указав все конструкторские размеры (рисунок 3.5), переходим к вкладке «Припуски».

Во вкладке «Припуски» для каждого припуска указываем номера его границ (рисунок 3.6), где «Новая граница» – обработанная поверхность, «Старая граница» – поверхность заготовки.

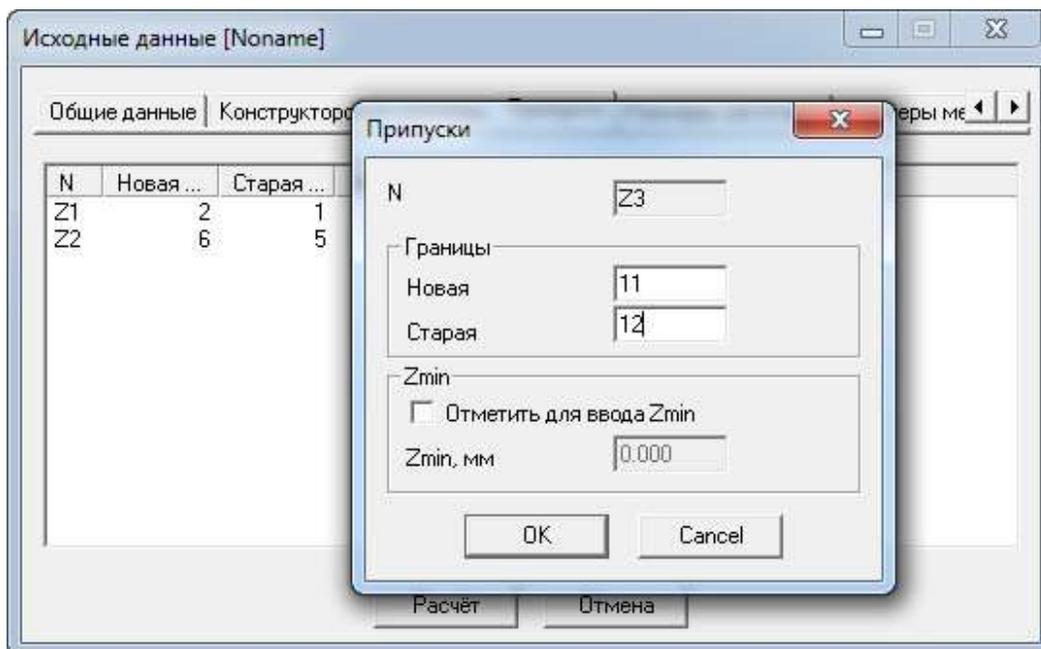


Рисунок 3.6 – Ввод припуска

Далее во вкладке «Размеры заготовки» (рисунок 3.7) вводим номера границ заготовки в осевом направлении. Допуск на размер A_1 будет выбран системой на основании метода получения заготовки. Нам необходимо указать расположение допуска относительно номинала и его величину. В поле «Габариты поверхности» вводим размер сечения заготовки, характеризующий ее жесткость.

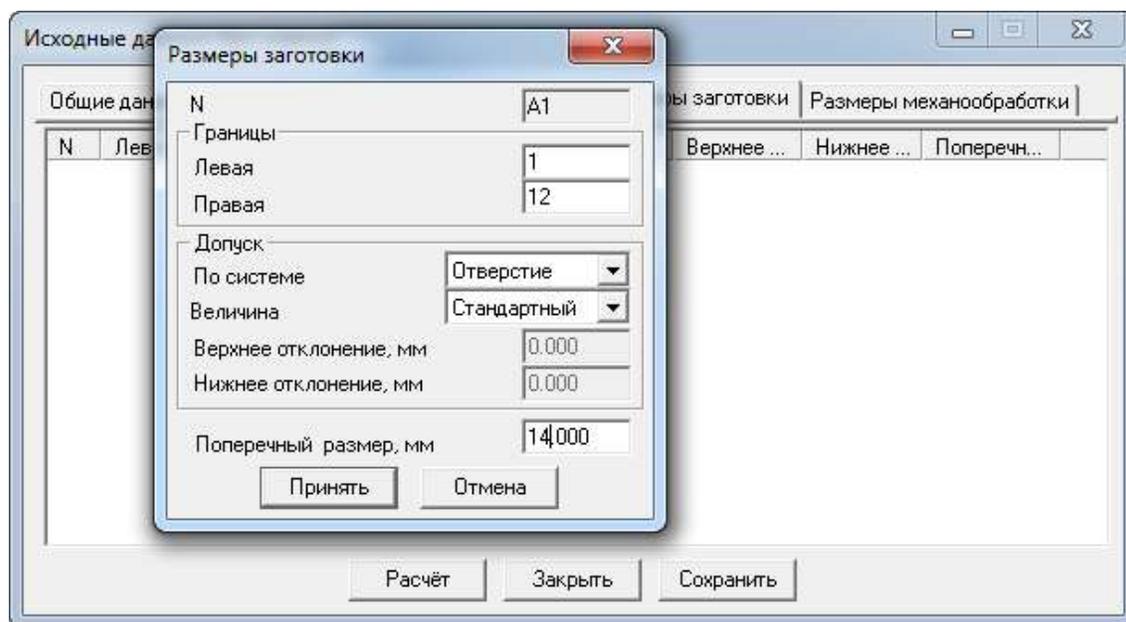


Рисунок 3.7 – Размеры заготовки

Затем переходим на вкладку «Размеры механообработки» (рисунки 3.8, 3.9), где для каждого технологического размера указываем номера его границ, т.е. базовую и обработанную поверхность, метод обработки, допуск, который рассчитывается системой и сопоставляется с допуском заданного метода обработки, и габариты поверхности.

После корректного заполнения всех вкладок нажимаем кнопку «Расчет» и получаем результаты расчета технологических размерных цепей (таблица 3.1).

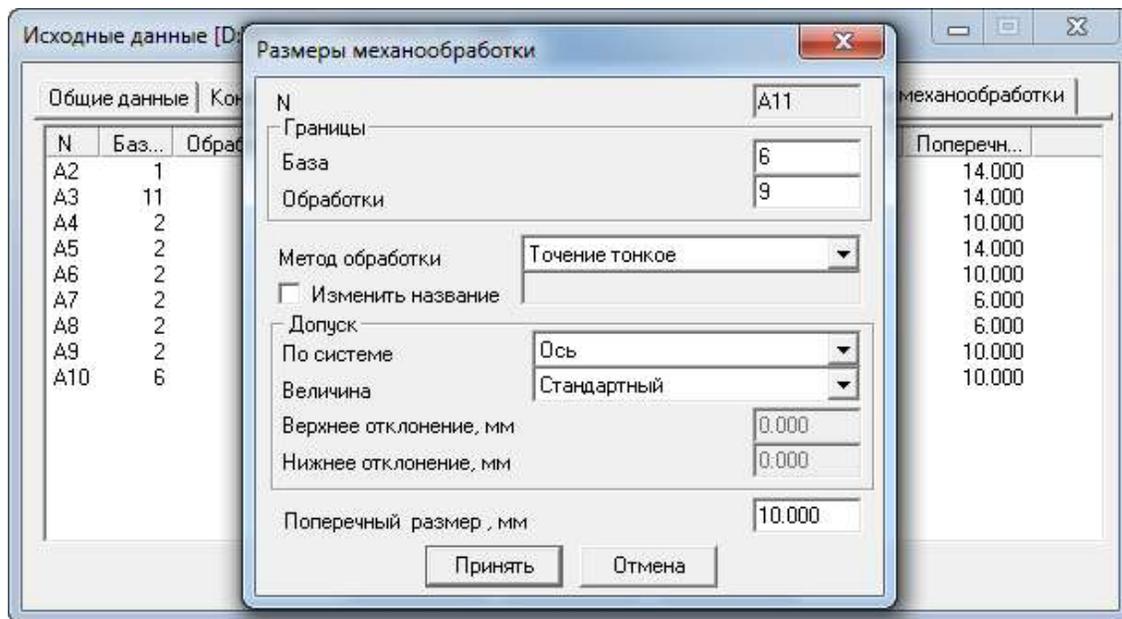


Рисунок 3.8 – Ввод размера механообработки

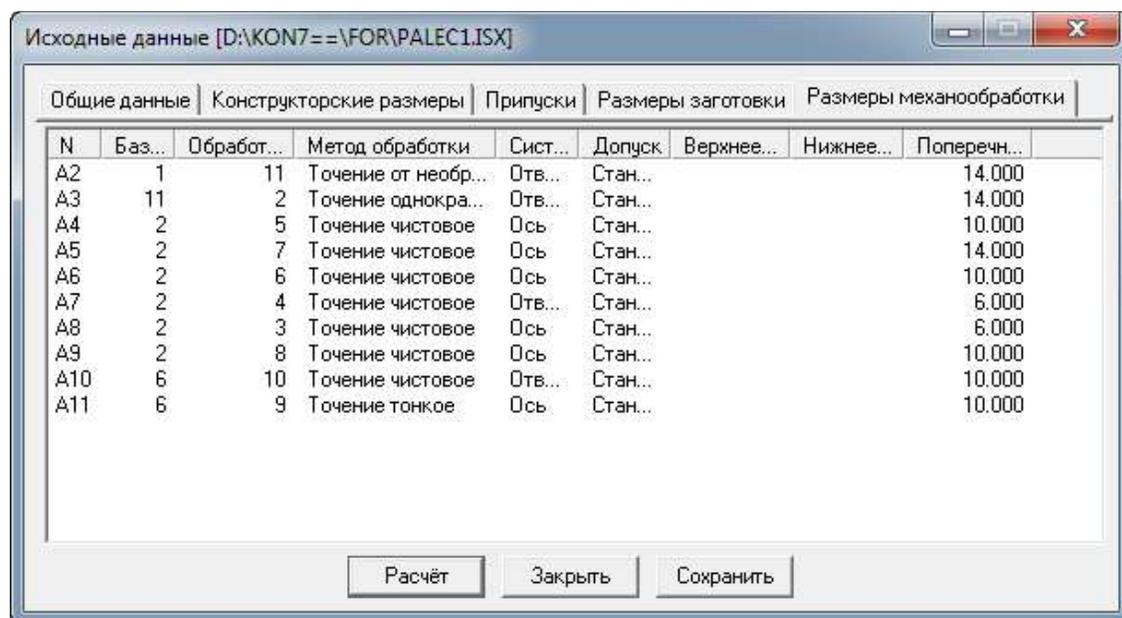


Рисунок 3.9 – Размеры механообработки

Таблица 3.1 – Результаты расчета

Исходные данные и результаты анализа технологических размерных цепей Программа KON7 (C) Калачев О.Н., 2000 (в.116_120 D1 zz GRA) Okalachev@mail.ru																	
Текст пользователя										Калачева							
												Таблица 1					
Распечатка введенных исходных данных (проверьте правильность ввода!)																	
Сведения о заготовке:																	
Материал.....										сталь							
Способ получения.....										Прокат горяч.обыч.точн.							
Резка.....										отрезными резцами							
Класс (степень) точности..										---							
Габар. p-p по направл. =A=										53.000							

Замыкающие звенья										Составляющие звенья: размеры А				Поп-		Отклонения	
Р-черт.размер. Z-припуск										заготовки <-->, затем мех.обработки O-->				реч-		допуска DT	

Зве- Границы Предел.значения Зве- Границы Метод обработки Сист раз-																	
но P: л-п ----- но <-----> дону мер, -----																	
Z: н-с max min База--> ска мм Верх. Нижнее																	

P1		2	11	53.000	52.600	A1		12	1	Прокат горяч.обыч.точн.		отв		14	0.000	0.000	
P2		2	6	17.120	16.880	A2		1	11	Точение от необр.пов.		отв		14	0.000	0.000	
P3		2	3	4.380	4.220	A3		11	2	Точение однократное		отв		14	0.000	0.000	
P4		4	6	10.200	10.000	A4		2	5	Точение чистовое		ось		10	0.000	0.000	
P5		6	10	33.000	32.750	A5		2	7	Точение чистовое		ось		14	0.000	0.000	
P6		6	8	18.120	17.880	A6		2	6	Точение чистовое		ось		10	0.000	0.000	
P7		6	7	8.100	7.900	A7		2	4	Точение чистовое		отв		6	0.000	0.000	
P8		9	10	8.100	7.900	A8		2	3	Точение чистовое		ось		6	0.000	0.000	
Z1		1	2	0.000	0.000	A9		2	8	Точение чистовое		ось		10	0.000	0.000	
Z2		5	6	0.000	0.000	A10		6	10	Точение чистовое		отв		10	0.000	0.000	
Z3		11	12	0.000	0.000	A11		6	9	Точение тонкое		ось		10	0.000	0.000	

Таблица 2																	
Результаты поиска уравнений размерных цепей и последовательности их решения																	

Номер Неизв. Уравнения в символьной форме																	
решения звено																	

1		A3		P1=+A3													
2		A6		P2=+A6													
3		A8		P3=+A8													
4		A10		P5=+A10													
5		A7		P4=-A7+A6													
6		A9		P6=-A6+A9													
7		A5		P7=-A6+A5													
8		A11		P8=-A11+A10													
9		A2		Z1=-A3+A2													
10		A4		Z2=-A4+A6													
11		A1		Z3=-A2+A1													

** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей **																	
KON7 (C) Калачев О.Н., 2000																	
Решается разм. цепь 1 типа "P" с неизв. звеном A3																	
с о с т а в ц е п и :																	
увелич. звено A3 : max= 0.000 min= 0.000																	
замык. звено - констр. размер P1 : max= 53.000 min= 52.600																	
результаты расчёта звена A3 : max= 53.000 min= 52.600																	
следовательно, расч. допуск= 0.400																	
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый																	
системой= 0.400 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= 0.000																	
принимаем расчётный размер звена A3 с учётом технолог. допуска:																	
номинал= 52.600 max= 53.000 min= 52.600																	
Решается разм. цепь 2 типа "P" с неизв. звеном A6																	
с о с т а в ц е п и :																	
увелич. звено A6 : max= 0.000 min= 0.000																	
замык. звено - констр. размер P2 : max= 17.120 min= 16.880																	
результаты расчёта звена A6 : max= 17.120 min= 16.880																	
следовательно, расч. допуск= 0.240																	
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый																	
системой= 0.084 : верхн. откл.= 0.084 нижн. откл.= 0.000																	
принимаем расчётный размер звена A6 с учётом технолог. допуска:																	
номинал= 17.000 max= 17.042 min= 16.958																	
Решается разм. цепь 3 типа "P" с неизв. звеном A8																	
с о с т а в ц е п и :																	
увелич. звено A8 : max= 0.000 min= 0.000																	
замык. звено - констр. размер P3 : max= 4.380 min= 4.220																	
результаты расчёта звена A8 : max= 4.380 min= 4.220																	

следовательно, расч. допуск= 0.160
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.084 : верхн. откл.= 0.084 нижн. откл.= 0.000
принимаем расчётный размер звена А8 с учётом технолог. допуска:
номинал= 4.300 max= 4.342 min= 4.258

Решается разм. цепь 4 типа "P" с неизв. звеном А10
с о с т а в ц е п и :
увелич. звено А10 : max= 0.000 min= 0.000
замык. звено - констр. размер P5 : max= 33.000 min= 32.750
результаты расчёта звена А10 : max= 33.000 min= 32.750
следовательно, расч. допуск= 0.250
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.100 : верхн. откл.= 0.100 нижн. откл.= 0.000
принимаем расчётный размер звена А10 с учётом технолог. допуска:
номинал= 32.750 max= 32.849 min= 32.750

Решается разм. цепь 5 типа "P" с неизв. звеном А7
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено А7 : max= 0.000 min= 0.000
увелич. звено А6 : max= 17.042 min= 16.958
замык. звено - констр. размер P4 : max= 10.200 min= 10.000
результаты расчёта звена А7 : max= 6.958 min= 6.842
следовательно, расч. допуск= 0.116
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.084 : верхн. откл.= 0.084 нижн. откл.= 0.000
принимаем расчётный размер звена А7 с учётом технолог. допуска:
номинал= 6.842 max= 6.925 min= 6.842

Решается разм. цепь 6 типа "P" с неизв. звеном А9
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено А6 : max= 17.042 min= 16.958
увелич. звено А9 : max= 0.000 min= 0.000
замык. звено - констр. размер P6 : max= 18.120 min= 17.880
результаты расчёта звена А9 : max= 35.078 min= 34.922
следовательно, расч. допуск= 0.156
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.100 : верхн. откл.= 0.100 нижн. откл.= 0.000
принимаем расчётный размер звена А9 с учётом технолог. допуска:
номинал= 35.000 max= 35.050 min= 34.950

Решается разм. цепь 7 типа "P" с неизв. звеном А5
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено А6 : max= 17.042 min= 16.958
увелич. звено А5 : max= 0.000 min= 0.000
замык. звено - констр. размер P7 : max= 8.100 min= 7.900
результаты расчёта звена А5 : max= 25.058 min= 24.942
следовательно, расч. допуск= 0.117
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.084 : верхн. откл.= 0.084 нижн. откл.= 0.000
принимаем расчётный размер звена А5 с учётом технолог. допуска:
номинал= 25.000 max= 25.042 min= 24.958

Решается разм. цепь 8 типа "P" с неизв. звеном А11
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено А11 : max= 0.000 min= 0.000
увелич. звено А10 : max= 32.849 min= 32.750
замык. звено - констр. размер P8 : max= 8.100 min= 7.900
результаты расчёта звена А11 : max= 24.850 min= 24.749
следовательно, расч. допуск= 0.101
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.045 : верхн. откл.= 0.045 нижн. откл.= 0.000
принимаем расчётный размер звена А11 с учётом технолог. допуска:
номинал= 24.800 max= 24.822 min= 24.778

Решается разм. цепь 9 типа "Z" с неизв. звеном А2
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.830
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено А3 : max= 53.000 min= 52.600
увелич. звено А2 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.740 : верхн. откл.= 0.740 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена А2 :
номинал= 53.830 max= 54.570 min= 53.830

Решается разм. цепь 10 типа "Z" с неизв. звеном А4
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.100
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено А4 : max= 0.000 min= 0.000
увелич. звено А6 : max= 17.042 min= 16.958
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.084 : верхн. откл.= 0.084 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена А4 :
номинал= 16.816 max= 16.858 min= 16.774

Решается разм. цепь 11 типа "Z" с неизв. звеном А1
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.830
с о с т а в ц е п и :

уменьш. звено A2 : max= 54.570 min= 53.830
увелич. звено A1 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.500 : верхн. откл.= 0.250 нижн. откл.= -0.250
расчётный размер звена A1 :
номинал= 55.650 max= 55.900 min= 55.400

Таблица 3

Результаты расчета технологических РЦ по программе KON7 (С) Калачёв О.Н., 2000 г. (0852) 475419

Замыкающие звенья				Составляющие звенья				kop7-116-120 D1 zz GRA--		
P - черт.размер, Z - припуск				A - размеры заготовки и механообработки				Отклонения		
Ин- декс звена	Гра- ницы звена	Предел. значения		Ин- декс звена	Гра- ницы звена	Метод обработки	Номинал	Отклонения		
		max	min					Верхнее	Нижнее	
P1	2 11	53.000	52.600	A1	12 1	Прокат горяч.обыч.точн.	55.650	0.250	-0.250	
P2	2 6	17.120	16.880	A2	1 11	Точение от необр.пов.	53.830	0.740	0.000	
P3	2 3	4.380	4.220	A3	11 2	Точение однократное	52.600	0.400	0.000	
P4	4 6	10.200	10.000	A4	2 5	Точение чистовое	16.816	0.042	-0.042	
P5	6 10	33.000	32.750	A5	2 7	Точение чистовое	25.000	0.042	-0.042	
P6	6 8	18.120	17.880	A6	2 6	Точение чистовое	17.000	0.042	-0.042	
P7	6 7	8.100	7.900	A7	2 4	Точение чистовое	6.842	0.084	0.000	
P8	9 10	8.100	7.900	A8	2 3	Точение чистовое	4.300	0.042	-0.042	
Z1	2 1	1.970	0.830	A9	2 8	Точение чистовое	35.000	0.050	-0.050	
Z2	6 5	0.268	0.100	A10	6 10	Точение чистовое	32.750	0.100	0.000	
Z3	11 12	2.070	0.830	A11	6 9	Точение тонкое	24.800	0.022	-0.022	

Конец заказа Калачева

KON7 в. 116-120 D1 zz GRA 2002

3.1.2 Программа «КурсАР» (ЮУрГУ, Челябинск)

В работе [21] В.Ю. Шамина изложена методика подготовки и кодирования исходной информации для анализа готовых конструкторских и технологических решений действующего производства (обратные задачи) или синтеза проектных задач (прямые задачи) с использованием пакета прикладных программ автоматизированного расчета размерных цепей (ППП «КурсАР»). Данный программный продукт основан на разработках профессора В.В. Матвеева и сотрудников кафедры «Технология машиностроения» Южно-Уральского государственного университета (ЮУрГУ), в частности, В.Ю. Шамина.

В работе [21] использование и интерфейс ППП «КурсАР» показаны на примере детали «Втулка кондукторная». Ее эскиз и упрощенный маршрут с операционными эскизами механической обработки показаны на рисунке 3.10.

Исходная информация и размерная схема технологического процесса изготовления детали «Втулка кондукторная» представлены на рисунках 3.11, 3.12. При подготовке исходной информации для автоматизированного размерного расчета запись размеров осуществляется с помощью цифровых кодов, которые предусматривают возможность ввода в ЭВМ всех разновидностей звеньев цепей, причем каждое за-

мыкающее и составляющее звено относится к одной из десяти групп, которые подробно описаны в работе [21].

Далее запускается программа «КурсАР» (рисунок 3.13) и заполняются вкладки:

- «Отчетная информация»;
- «Размерная информация»;
- «Параметры решения».

Результаты расчета хранятся во временном файле программного пакета. Если какой-то чертежный размер не выполняется, т.е. имеется брак, то рассматриваются другие варианты решения задачи.

Заполнение вкладок и результаты расчета показаны на рисунках 3.14, 3.15.

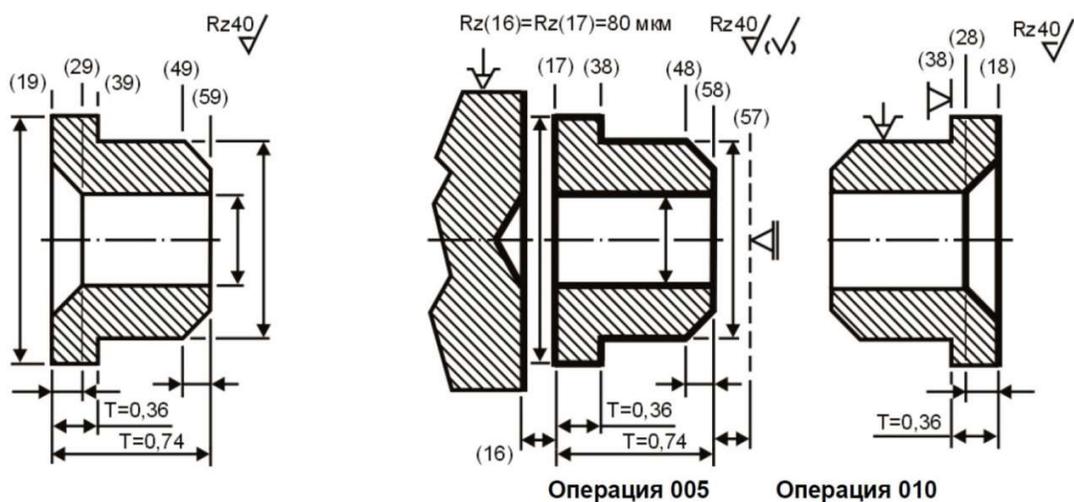


Рисунок 3.10 – «Втулка кондукторная», операционные эскизы [21]

- 1: 9 19 39 8 0 -0,36
- 2: 9 19 59 60 0 -0,74
- 3: 3 18 58 60 0 -0,74
- 4: 2 17 18 0,16
- 5: 8 18 38 8 0 -0,36
- 6: 7 17 38 9 0 -0,36
- 7: 7 17 58 61 0 -0,74
- 8: 7 16 17 4 0,2 -0,2
- 9: 7 58 57 0,6 0,9
- 10: 0 16 57

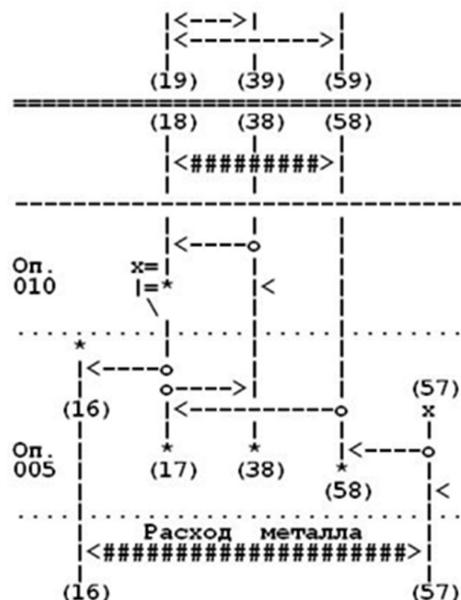


Рисунок 3.11 – Исходная размерная информация [21]

Рисунок 3.12 – Размерная схема [21]

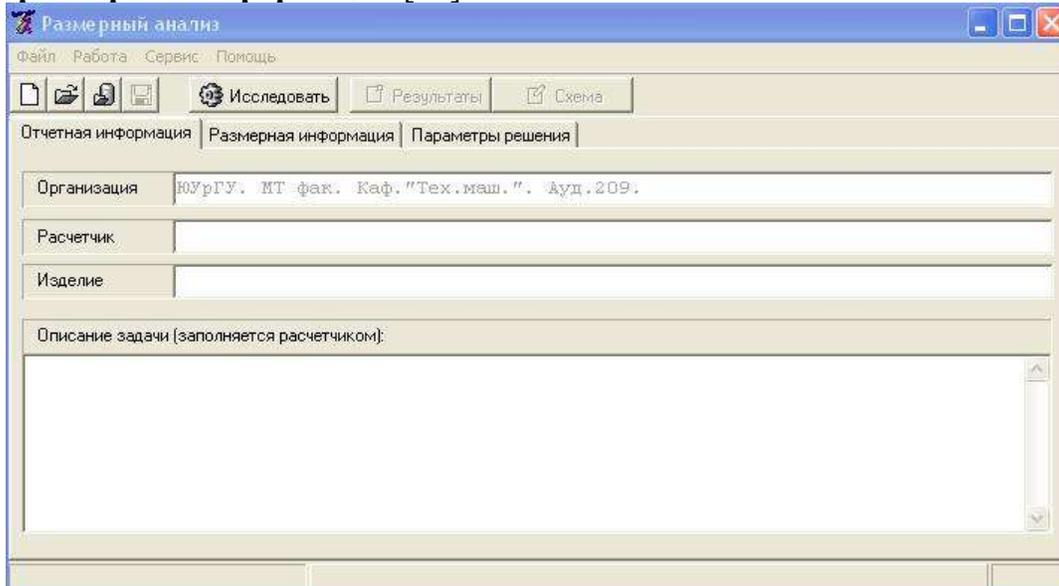


Рисунок 3.13 – Интерфейс программы «КурсАР» [21]

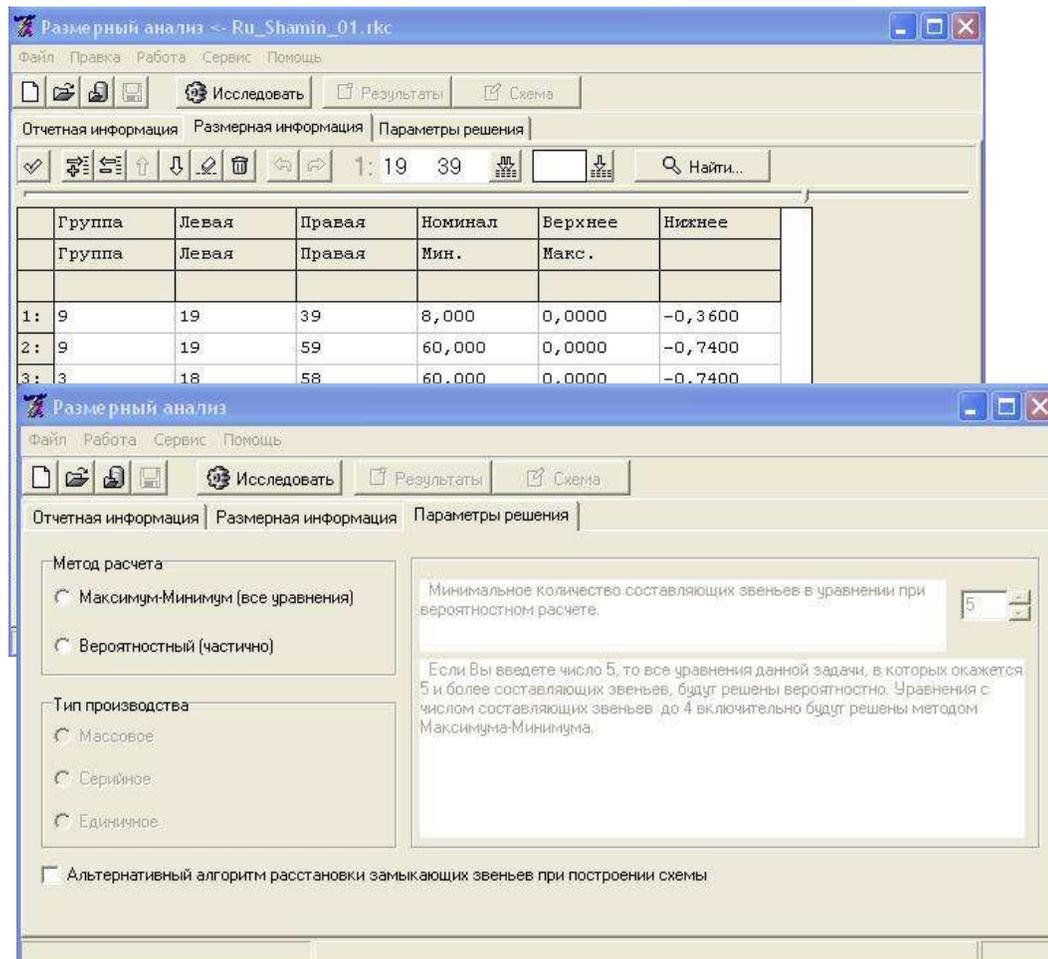


Рисунок 3.14 – Заполнение вкладок

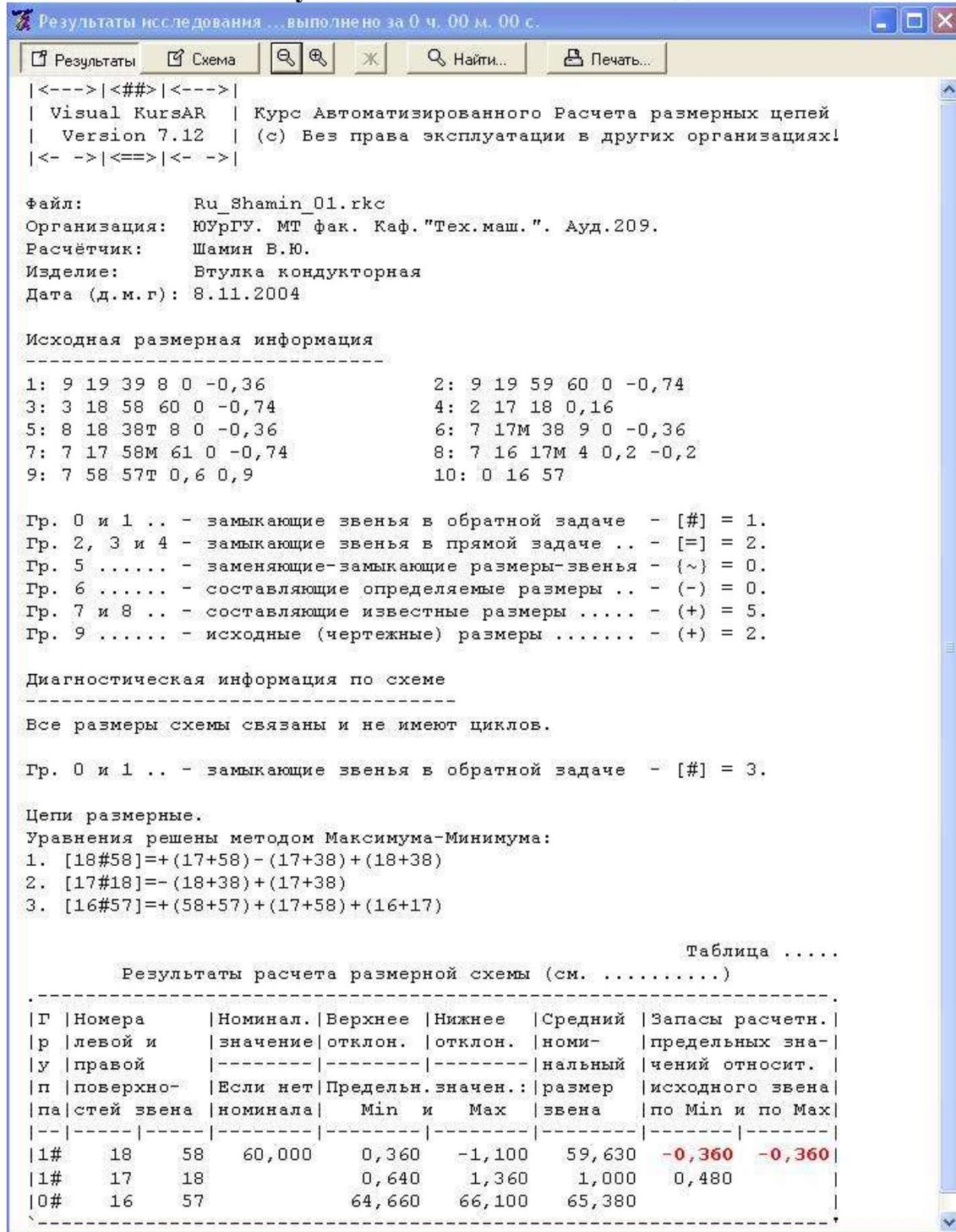


Рисунок 3.15 – Результаты расчета

3.1.3 Система «ТИС-Цепь» (ИТМО, Санкт-Петербург)

На кафедре «Технология приборостроения» ИТМО (г. Санкт-Петербург) разработана система «ТИС-Цепь», которая позволяет выполнить ввод данных, составить размерные цепи, произвести их расчет и вывести результаты на экран ЭВМ [22]. В основу данной системы положена методика проф. И.А. Иващенко [8].

При запуске модуля расчета размерных цепей пользователю открывается диалоговое окно, представленное на рисунке 3.16. Это окно предоставляет возможность либо создать новый файл для расчета, либо открыть файл, уже созданный для редактирования.

Прежде всего осуществляется ввод в ЭВМ таблиц с исходными данными. Затем выполняется расчет на ЭВМ технологических размеров, для которых определяется номинальная величина и точность, с которой они должны выдерживаться [22]. Кроме того, ЭВМ дает рекомендации по возможности округления и нормализации технологических размеров, проверяет номинальные значения и предельные колебания припусков.

Исходные данные, необходимые для расчета, заносят в четыре специальные таблицы: общих сведений о пользователе, замыкающих (конструкторских размеров и припусков) и технологических размеров (рисунки 3.17 и 3.18).



Рисунок 3.16 – Главное окно системы «ТИС-Цепь» [22]

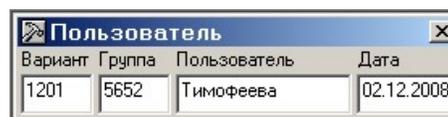


Рисунок 3.17 – Регистрация пользователя [22]

На этом заполнение таблиц с исходными данными заканчивается.

Для расчета операционных размеров необходимо выбрать пункт основного меню «Расчет». После этого в окне «Расчет» будут перечислены выполненные системой действия (рисунок 3.19).

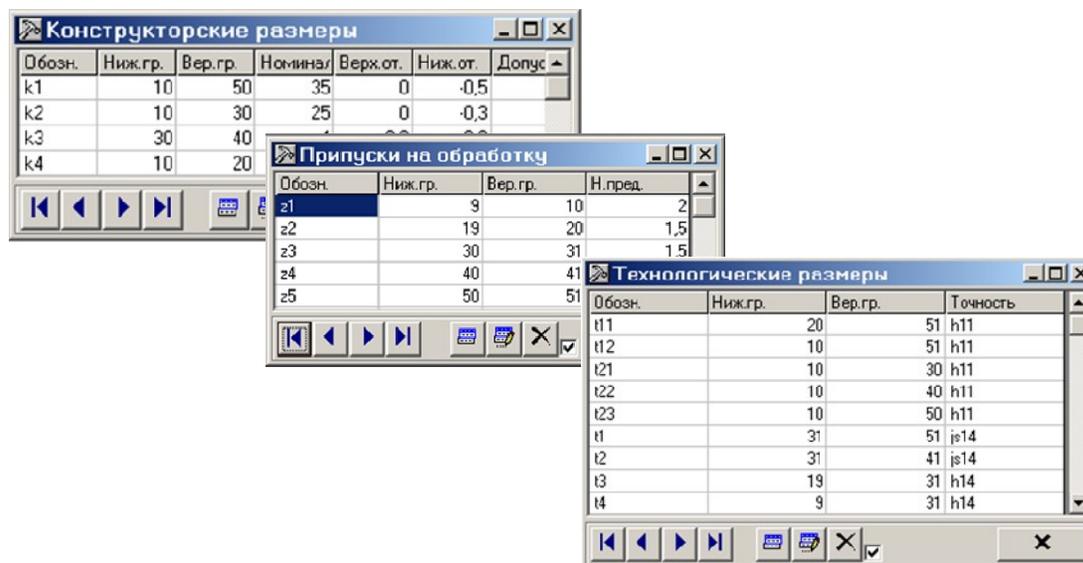


Рисунок 3.18 – Ввод замыкающих и технологических размеров [22]

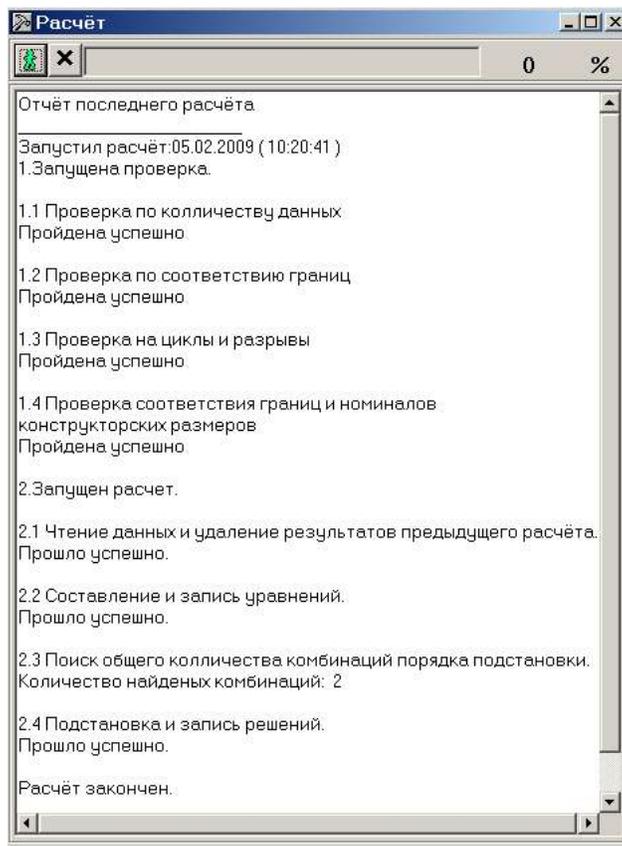


Рисунок 3.19 – Выполненные этапы вычислений [22]

При выборе пункта «Просмотр» в основном меню и подпункта «Размерные цепи» будет выведен список размерных цепей, как показано на рисунке 3.20. Для вывода результатов расчета в основном меню выбирается пункт «Просмотр» → «Результаты».



Рисунок 3.20 – Результаты расчета [22]

При необходимости вывода совмещенной операционной схемы в основном меню выбирается пункт «Просмотр» → «Схема размеров» (рисунок 3.21).

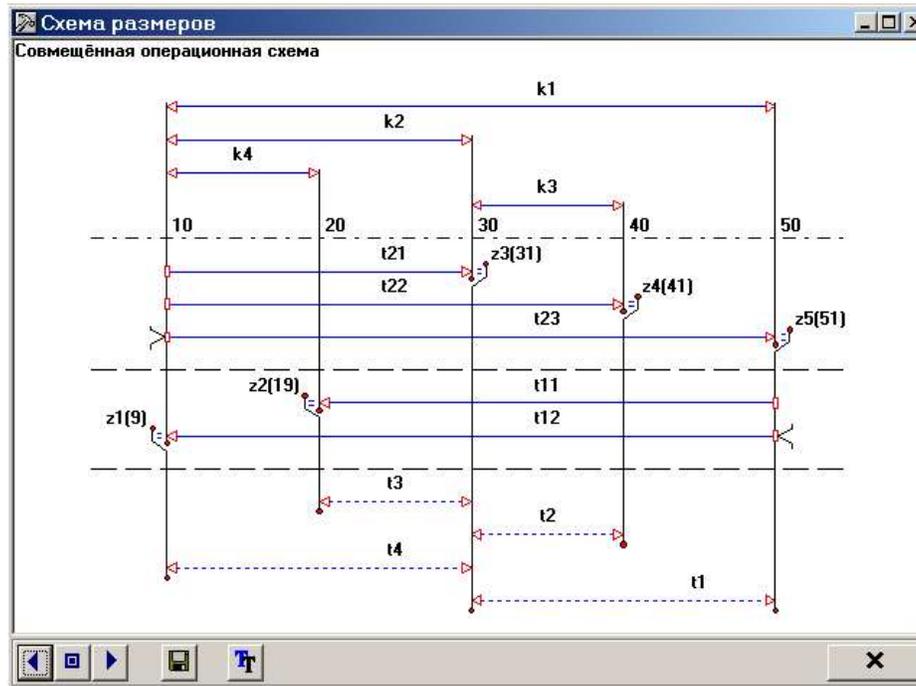


Рисунок 3.21 – Совмещенная схема размеров [22]

3.1.4 Программы «DIAMOND», «OPTIMAL» (ОмГТУ, Омск)

На кафедре «Технология машиностроения» Омского государственного технического университета (ОмГТУ) разработаны оригинальные программы для ЭВМ «Расчет линейных технологических размеров и допусков DIAMOND» (рисунок 3.22) (свидетельство об официальной регистрации № 2004612665, В.Б. Масыгин, С.Г. Головченко, Р.Л. Артюх, Д.А. Оськин) и «Расчет линейных технологических размеров с оптимизацией допусков OPTIMAL» (рисунок 3.23) (свидетельство об офиц. регистр. №2006613684, В.Б. Масыгин, С.Г. Головченко, Р.Л. Артюх, Д.А. Оськин, А.П. Жараспаев, Ю.А. Гомзикова) [3].

На основе размерной информации о детали и технологическом процессе механической обработки, программы автоматически назначают допуски на технологические размеры, величины припусков, выводят сообщения о технологических размерах, имеющих недостаточную точность, выполняют расчет технологических размеров и их корректировку.

Характеристика программ:

- автоматическая проверка правильности исходных данных;
- автоматическое выявление погрешности базирования;
- расчет при совпадении расположения границ размеров;
- автоматическое назначение технологических допусков и припусков;
- расчет по методу min-max;
- расчет для двух вариантов распределения полей допусков – «в тело» и « $\pm \frac{\delta}{2}$ »;
- задание по усмотрению технолога допусков, учитывающих реальную точность оборудования, на один или несколько технологических размеров, в обход нормативной базы данных программы;
- адаптация базы данных под конкретные условия производства;
- расчет до 100 технологических размеров и более;
- вывод результатов расчета на экран и на печать.

Решение вариантов одной задачи предусматривает возможность использования первоначально введенной информации для многократного повторения решения при изменении условий расчета, значений размерных параметров звеньев или частичного изменения состава звеньев в списке исходных данных.

При подготовке исходных данных применяются информационные модели детали и технологического процесса механической обработки детали.

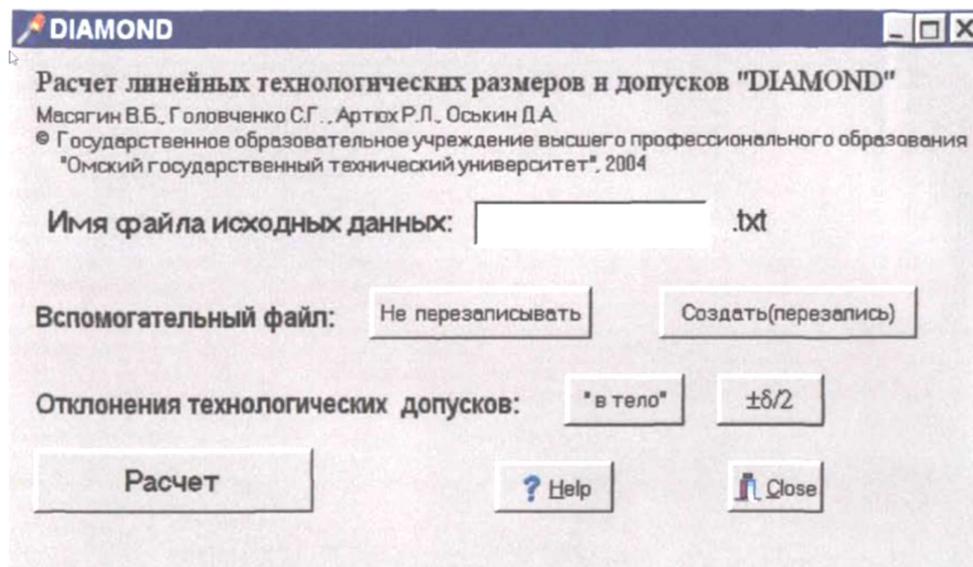


Рисунок 3.22 – Интерфейс программы для ЭВМ «DIAMOND» [3]

Программа «OPTIMAL» основана на методике оптимизации Б.С. Мордвинова и предназначена для расчета технологических размеров с оптимизацией допусков и с использованием предварительно подготовленных исходных данных. В работах [3, 23] подробно описаны подходы к оптимизации допусков и припусков.

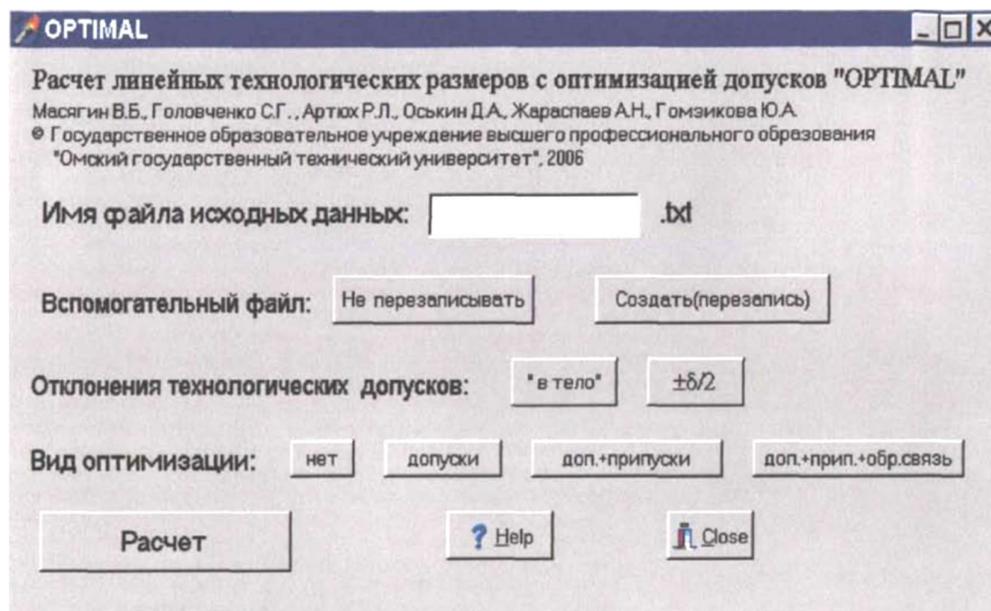


Рисунок 3.23 – Интерфейс программы для ЭВМ «OPTIMAL» [3]

В частности, в работе [3] рассмотрена методика и разработка программного обеспечения оптимизации допусков и припусков с учетом обратной связи (рисунок 3.24).

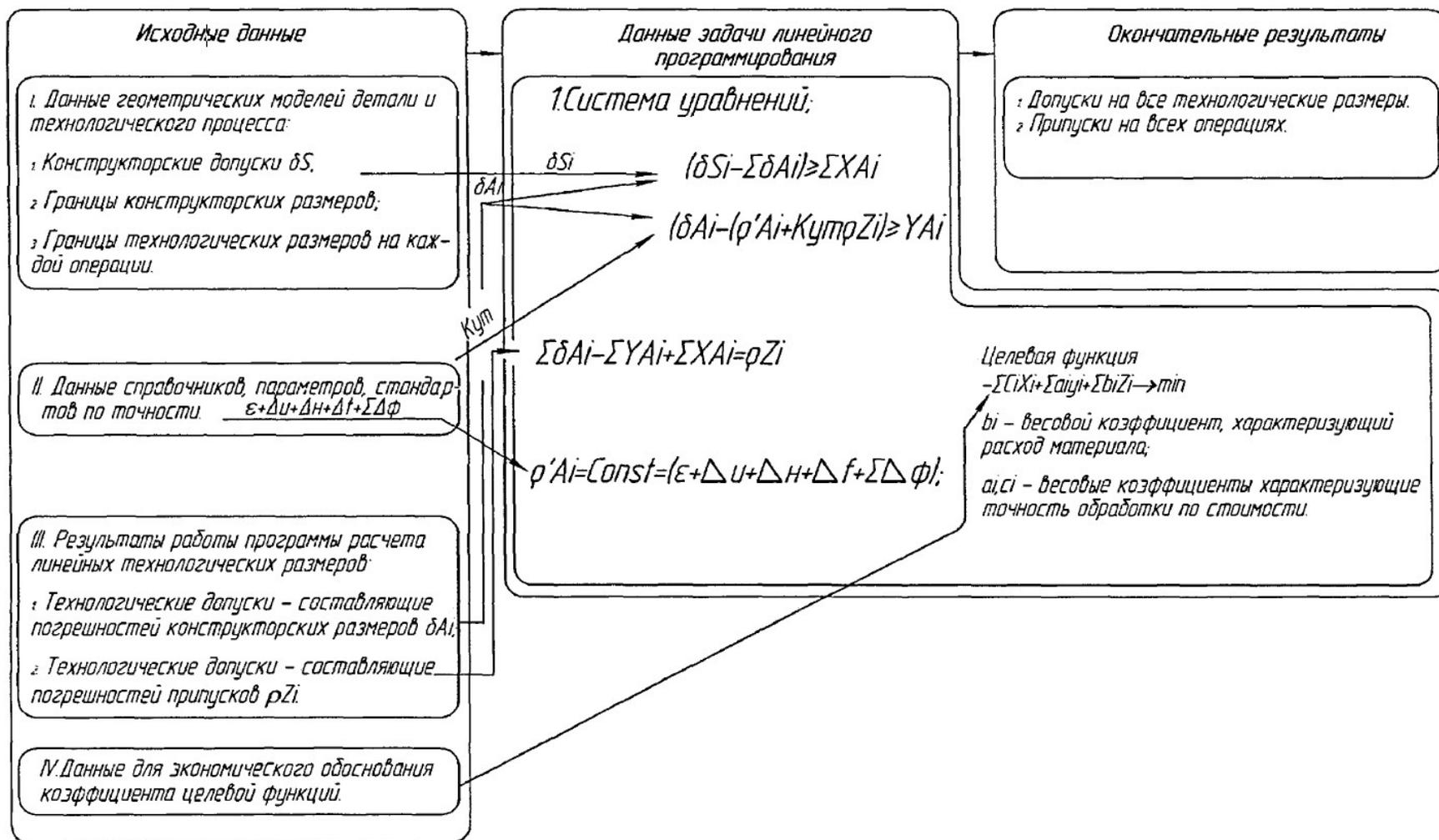


Рисунок 3.24 – Методика оптимизации допусков и припусков, рассмотренная в работе [3]

Файл исходных данных программы «OPTIMAL» содержит параметры – коэффициенты целевой функции, ограничений и величину коэффициента уточнения.

Ряд 1. -64-32-16-10-6-4-2,5-2-1,5-1-0,5-0,3-0,2-0,1

Ряд 2. 64 32 16 10 6 4 2 2 1 1 0,5 0,3 0,2 0,1

Ряд 3. 0,7 1 1 0,05

Здесь ряд 1 - коэффициент целевой функции при X_i ;
ряд 2 - коэффициент целевой функции при Y_i ;
ряд 3 - 0,7 - доля технологического допуска, разрешенная к уменьшению (Y_i);

1 - K - коэффициент при Z_i в целевой функции;

1 - доля технологического допуска, разрешенная к увеличению (X_i);

0,05 - $K_{ут.}$ - коэффициент уточнения в модели с обратной связью.

При использовании программы становится возможен оперативный анализ варианта технологического процесса с назначением оптимальных допусков на межоперационные размеры.

3.1.5 Размерный анализ средствами RTP2000 (ПГУ, Пенза)

В работе [24] сотрудников Пензенского государственного университета (ПГУ) В.А. Белашова, А.В. Белашова, М.В. Белашова изложена методика автоматизированного анализа с применением средств автоматизированной системы проектирования технологий РТП2000.

Размерный анализ выполняется для разработанного в RTP2000 варианта технологического маршрута, причем для каждого маршрута анализ может выполняться в разных координатных направлениях [24].

Система RTP2000 позволяет получить геометрическую информацию о детали и заготовке из файлов графического редактора, позволяющего создавать описания в форматах KSF, например, редактора Компас, а также представить результаты анализа в графической форме (в виде операционных эскизов). Возможен анализ и на основе текстового описания исходной информации.

Исходная информация для размерного анализа подготавливается технологом:

1. Сведения о размерах детали, получаемые из конструкторского документа.

2. Вариант чертежа заготовки с указанием схемы простановки размеров (без значений размеров и без предельных отклонений).

3. Серийность производства, определяющая правила построения технологического процесса.

4. Вариант технологического процесса, где для каждой операции разработана схема простановки операционных размеров (размеры указываются с учетом принятой схемы базирования и измерения детали на данной операции без значений номиналов и предельных отклонений).

5. Точностные характеристики операций и заготовки.

На основании исходной информации составляется текстовое описание с использованием специального алгоритмического языка, которое интерпретируется программой анализа.

Программа сама выявляет размерные цепи и определяет последовательность их решения. В случае выявления синтаксических ошибок или при недостаточной информации пользователю выдаются соответствующие сообщения и решение прерывается для внесения корректив.

Для начала анализа на основе текстового описания размерных связей необходимо средствами РТП2000 создать маршрут и выбрать в нем закладку «размерный анализ» (рисунок 3.25). Текстовое описание определяется координатным направлением, для которого выполняется анализ, поэтому для начала необходимо в панели «координатное направление анализа» выбрать направление. После этого поле «размерно-технологическая схема» для набора текста описания размерных связей становится доступным.

При написании текста можно воспользоваться панелью выбора «типовые параметры...», которая позволяет выбрать точностные параметры операции или заготовки. Выбранные строки с параметрами вставляются в текст по текущей позиции курсора.

Поля панели «определение допуска....» предназначены для вычисления суммарного допуска звеньев цепи при анализе ошибочной ситуации. При наборе номинального значения и допуска или номинала и предельных отклонений система старается подобрать стандартное поле допуска и квалитет. При задании номинала и обозначения поля допуска и квалитета система определяет предельные отклонения и допуск. Кнопки со знаками «плюс» и «минус» позволяют суммировать определенные таким образом значения допусков.

Подключение чертежа детали и заготовки к выбранному координатному направлению осуществляется из панели, показанной на рисунке 3.26.

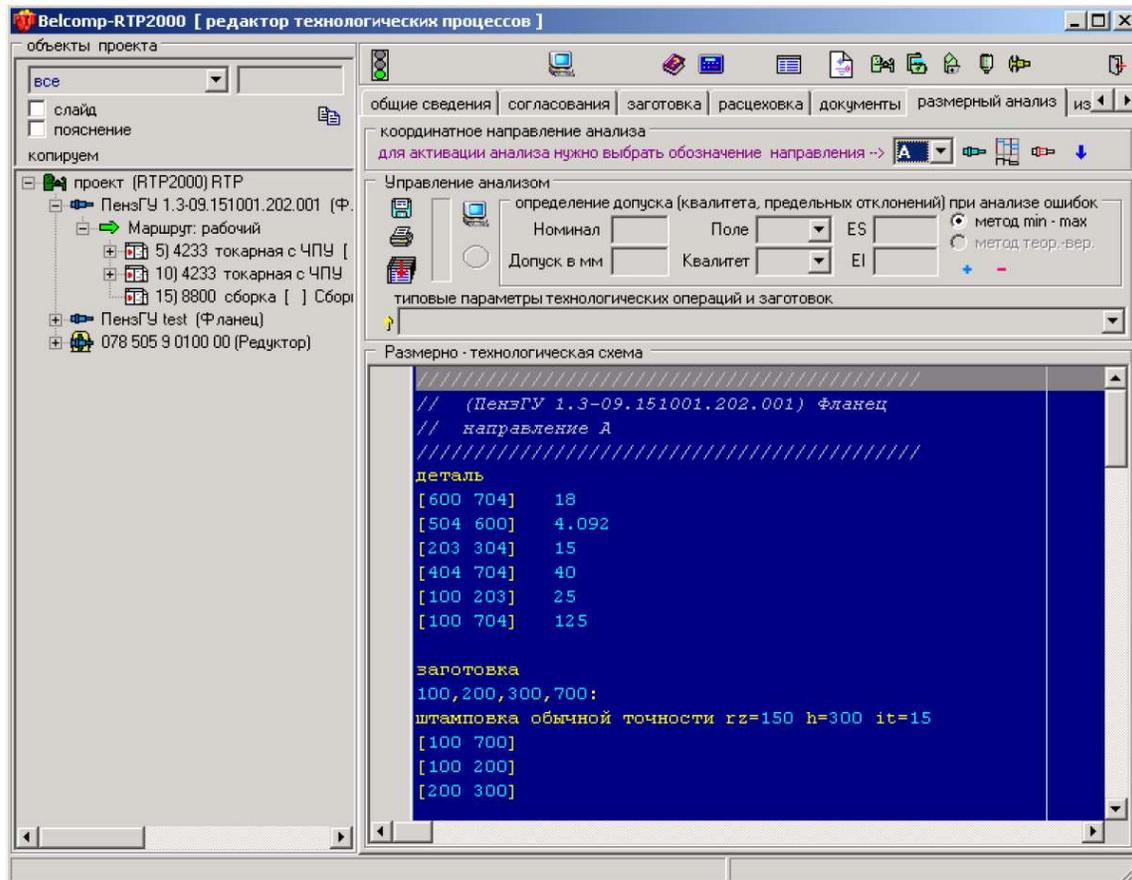


Рисунок 3.25 – Интерфейс программы RTP2000 [24]

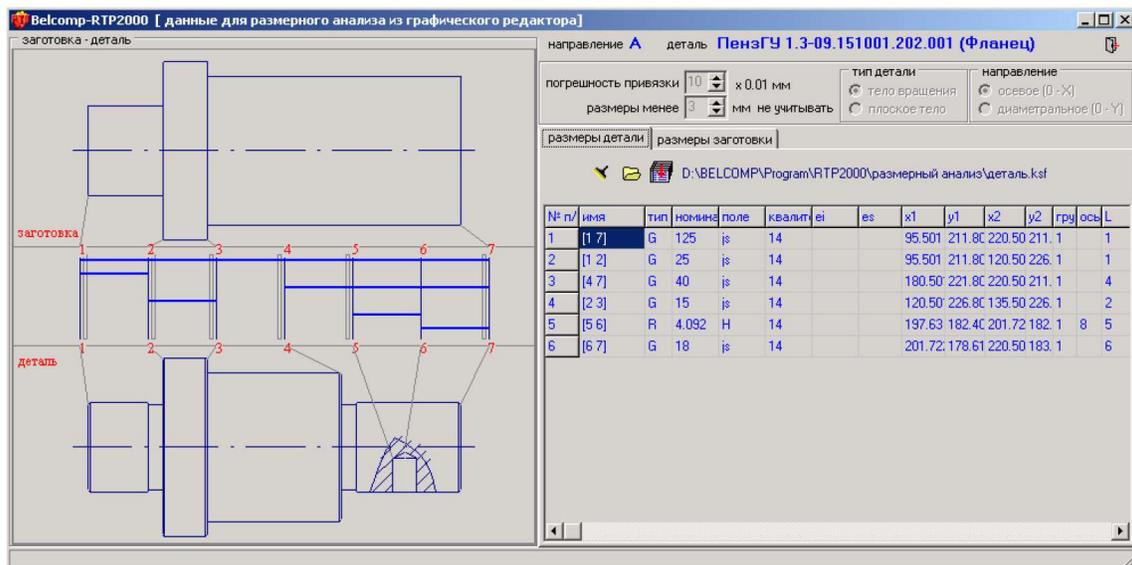


Рисунок 3.26 – Подключение чертежа детали и заготовки [24]

При определении параметров система активирует окно параметров (рисунок 3.27).

Для технологического размера необходимо выбрать только тип размера, и если желательно полученное в результате расчета значение этого размера передать в переход, то нужно указать индекс соответствующего поля для записи размера. Если указывается настроечный размер (с известным номиналом), то задаются все параметры или их часть, но указание номинала обязательно. При наличии номинала установка обозначения поля допуска автоматически определяет предельные отклонения.

Для записи параметров покрытий или угара материала используется окно, показанное на рисунке 3.28.

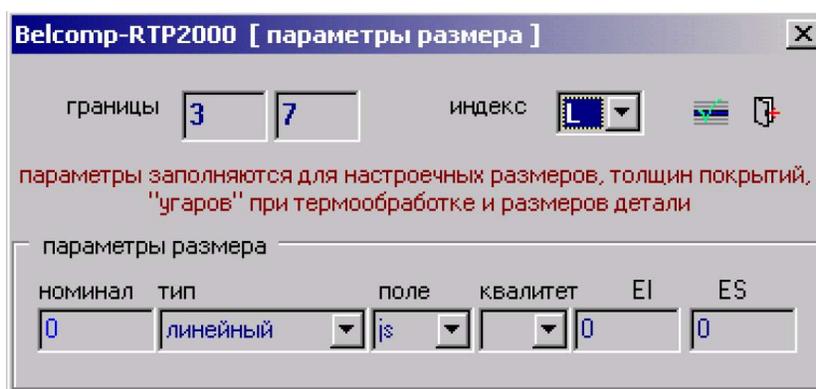


Рисунок 3.27 – Окно параметров [24]

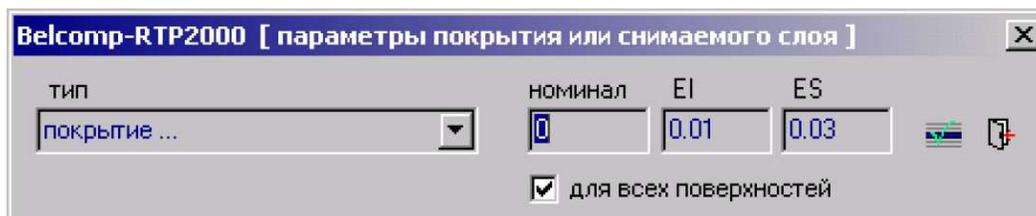


Рисунок 3.28 – Окно параметров покрытий или снимаемого слоя [24]

3.2 Обзор зарубежных исследований по автоматизации размерного анализа

Проблемам размерного анализа уделяется внимание не только в нашей стране, но и за рубежом. Нами были рассмотрены исследования китайских, румынских и шведских ученых, их подход к проектированию ТП механообработки, в частности, к анализу технологических размерных цепей.

3.2.1 Исследование китайских ученых

В работе [25] 2008 г. китайских ученых X.Y. Shao, K. Lin, L. Gao, H.B. Qiu «Research on Tolerance Analysis System Based on 3D Collaborative Design Platform» (Исследование допусков анализируемой системы на основе платформы совместного 3D-проектирования) рассматривается проблема совместного использования ресурсов при проектировании ТП, так называемая технология CSCW – Computer Supported Cooperative Work (совместная работа на базе ЭВМ), использование метода итераций для решения уравнения технологических размерных цепей.

С целью удовлетворения данной потребности в данном исследовании предложена система, называемая CollabVue, для совместного проектирования продукта конструкторами и технологами.

В работе [25] представлена система расчета размерной цепи, основанная на платформе совместного 3D-проектирования для определения размерной структуры обработки, средних значений величин технологических размеров. Система использует графо-теоретическое изображение схемы допусков. Кроме того, формулируется, как использовать геометрическую информацию топологии в 3D-модели для решения проблемы ввода размерной информации и связанных специфических операций. Наконец, математическая модель линейных уравнений строится из размерных цепей с целью расчета средних значений величин технологических размеров.

На рисунке 3.29 показан вид платформы совместного 3D-проектирования.

Метод схемы допусков рассматривается для заготовки, показанной на рисунке 3.30, технологические операции обработки заготовки приведены в таблице 1 на рис. 3.30.

В статье [25] исследован метод автоматического генерирования схемы допусков. На рисунке 3.31 показана последовательность операций от стадии проектирования до производственной фазы.

Китайскими учеными также разработан комплекс программного обеспечения для анализа допусков. Структура данного комплекса представлена на рисунке 3.32.

Исследование декларирует практический метод расчета технологической размерной цепи: последовательно решая уравнение, найти уравнение размерной цепи с одной неизвестной величиной, рассчитать эту неизвестную величину, а затем повторить эту процедуру, пока все технологические размеры не будут рассчитаны. Рисунок 3.33 описывает последовательность этого метода.

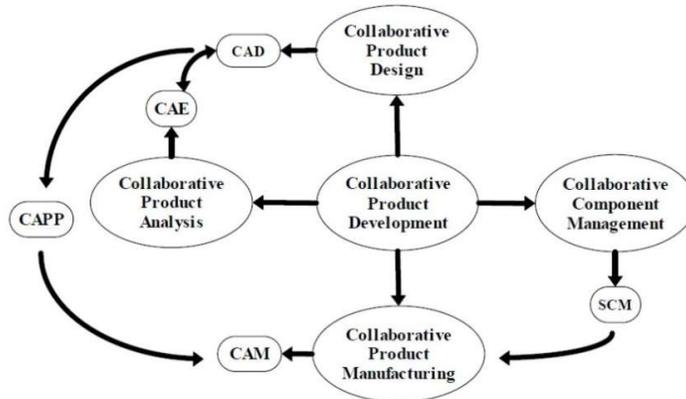


Fig. 1: A view of 3D collaborative design platform.

Рисунок 3.29 – Вид платформы совместного 3D-проектирования [25]

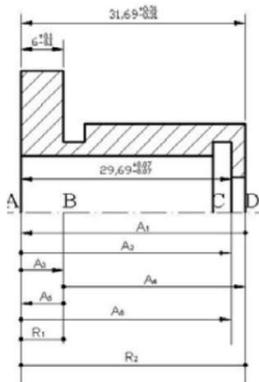


Table.1: Process sequence of the workpiece

Seq.No.	Operation Name
1	R. Turing
2	R. Turing
3	R. Turing & F. Turing
4	R. Turing
5	F. Turing
6	F. Turing
7	Grinding

Fig.2: Tolerance chart of workpiece.

Рисунок 3.30 – Схема допусков заготовки и последовательность ТП [25]

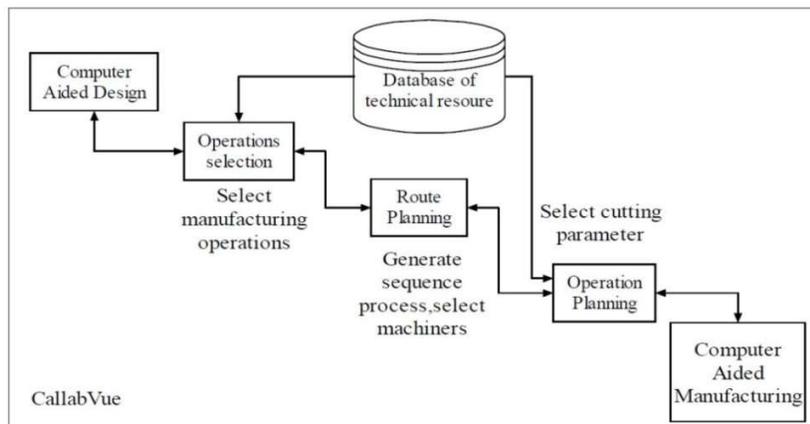


Fig.3: A sequence operation of automatic generation tolerance chart.

Рисунок 3.31 – Последовательность действий при автоматическом создании схемы допусков [25]

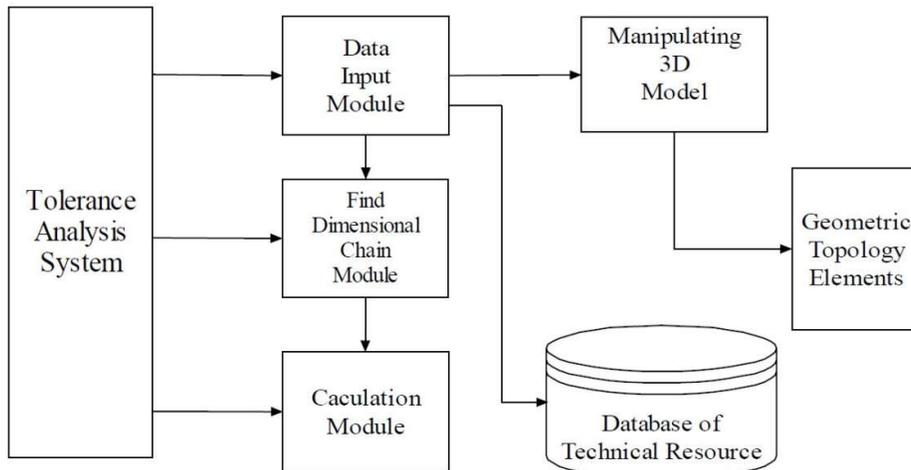


Fig. 4: The framework of TAS.

Рисунок 3.32 – Структура системы анализа допусков [25]

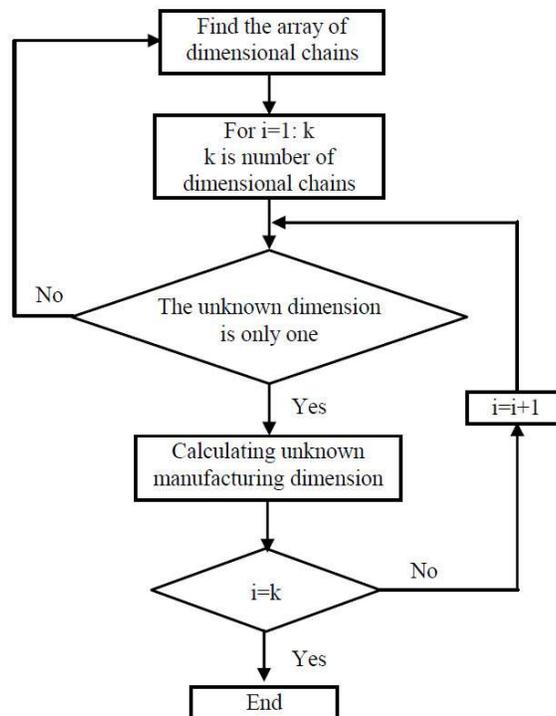


Fig. 5: Flow of calculation module.

Рисунок 3.33 – Последовательность действий в расчетном модуле системы [25]

Основной интерфейс системы анализа допусков показан на рисунке 3.34.

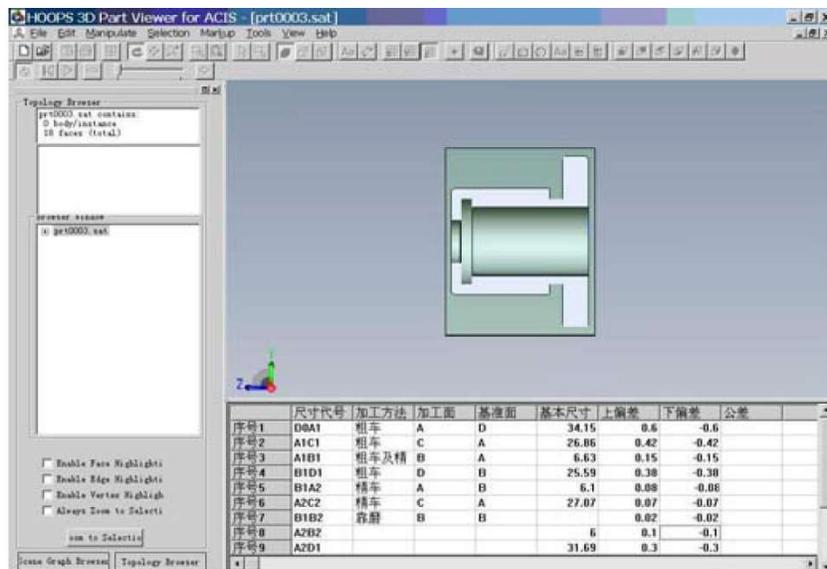


Fig. 6: Primary interface of TAS

Рисунок 3.34 – Интерфейс разработанной системы [25]

Таким образом, в работе [25] рассматривается новый метод, нацеленный в первую очередь на создание схемы допусков и вводе данных одновременно.

В данной статье также излагается «практический» метод расчета технологической размерной цепи, который освобождает пользователя от работы с матрицей операций и процесса проверки избыточной информации. По сравнению с «традиционным» алгоритмом, «практический» метод, предложенный в этой работе, не нуждается в корректировке и доработке. Число итераций в нем гораздо меньше, чем у «традиционного» алгоритма.

3.2.2 Исследование румынских ученых

В статье [26] 2011 г. румынских ученых С. Rădulescu, L.M. Cîrțînă «Scheme analysis tree dimensions and tolerances processing» (Исследование схемы дерева размеров и выбор допусков) представлена модель для оптимизации технологических допусков в зависимости от возможностей технологического оборудования. Рассмотрен пример размерной схемы для детали, показанной на рисунке 3.35.

Последовательность операций технологического процесса представлена в виде таблицы (рисунок 3.36), в которой содержится минимум информации, но очень важной, касающейся: имени операции, базовой поверхности, обрабатываемой поверхности и размера обработки.

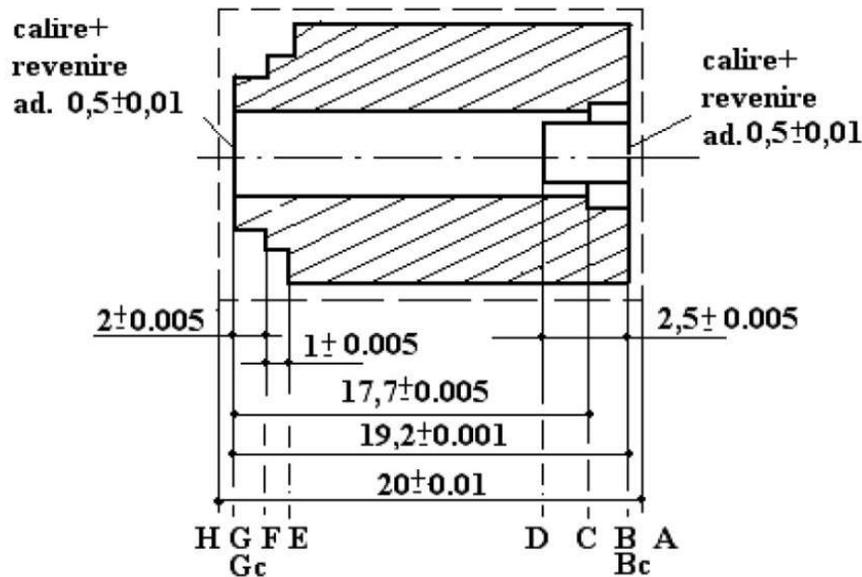


Fig.1. Chain elements tolerances of the workpiece dimensions.

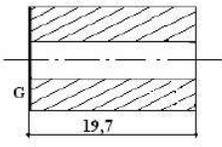
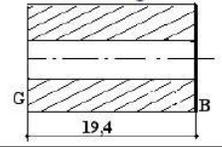
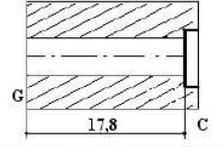
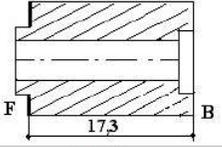
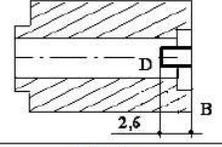
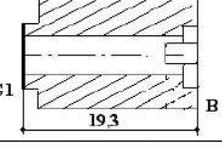
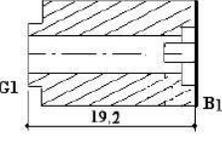
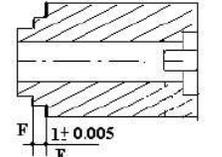
Рисунок 3.35 – Схема размерных цепей [26]

На данном этапе также определяются оптимальные допуски с помощью дерева размеров и допусков на обработку (рисунок 3.37), при этом показан ход проектирования размеров и допусков. Допуски размеров цепи получают на основании результирующих допусков, которые должны быть меньше или равны нормативным.

На основе схемы (рисунок 3.37), были установлены двусторонние связи максимального допуска технологического процесса и передач станка.

Стандартные отклонения технологических процессов зависят от обрабатываемой поверхности, размера станков и режущих инструментов. На основе приведенной выше информации можно перейти к определению стандартных отклонений в написании функции оптимизации при представленных ограничениях и, наконец, определить оптимальные допуски.

Таким образом, данное исследование [26] представляется попыткой связать определение оптимальных допусков в зависимости от технологических возможностей оборудования.

Number Operations	Operation	Reference area	Processed area	Working size (mm)
1	Turning 	A	G	19,70
2	Turning 	G	B	19,40
3	Turning 	G	C	17,80
4	Turning 	B	F	17,30
5	Milling 	B	D	2,60
6	Grinding 	B	G ₁	19,30
7	Grinding 	G ₁	B ₁	19,20
8	T.T hardening +recovery)	B	B _c	0,25
9	T.T (hardening + recovery)	G	G _c	0,25
10	Turning 	F	E	1,00

NOTE: The table is not complied with the order process technology operations.

Рисунок 3.36 – Последовательность обработки детали [26]

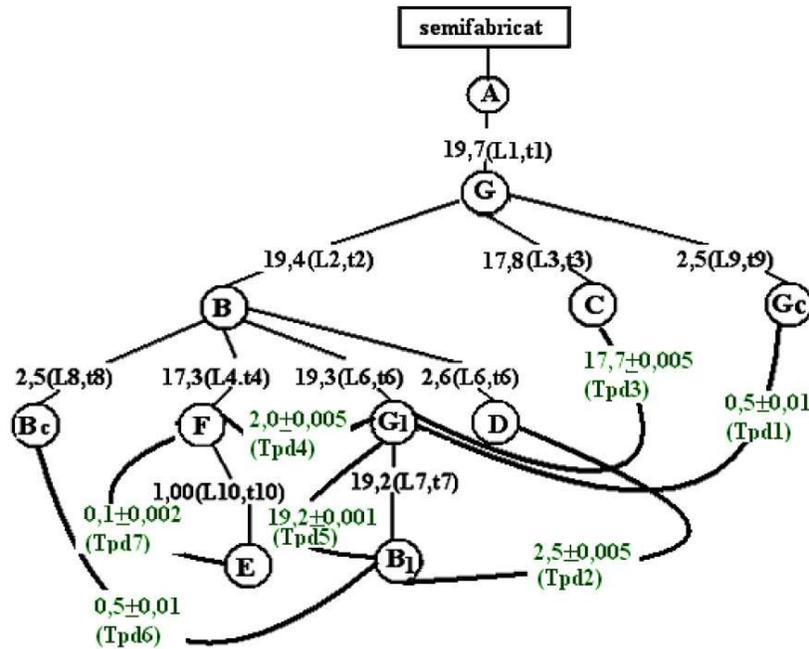


Fig.2. Tree representation of the dimensions and tolerances in processing(L,t) and dimensions and tolerances shown on the drawings (Tpd).

Рисунок 3.37 – Изображение дерева размеров и допусков на обработку (L, t) и размеры и допуски, показанные на чертежах (Tpd) [26]

3.2.3 Исследование шведских ученых

В работе [27] 2009 года шведских ученых Королевского технологического института «An approach for systematic process planning of gear transmission parts» (Подход к систематизации планирования технологического процесса деталей зубчатых передач) для выявления общих взаимосвязей между операциями была использована схема иерархии баз.

Нужно понять, как базовые элементы выбираются на протяжении последовательности операций и насколько хорошо они согласованы с конструкторскими базами. Каждое изменение баз способствует распределению множества допусков. Трудно избежать изменений баз в реальной практике.

В дополнение к этому могут возникать погрешности при переустановке детали в станке.

Схема нужна для описания нахождения связей между различными характеристиками и базами. Например, какие базы были использованы для создания шестерни, лицевая или опорная поверхность, и как они связаны друг с другом.

Рассматриваемая методика [27] базируется на графическом подходе к построению схемы допусков. Whybrew и соавт. разработали схему «корневого дерева» для визуализации связи между поверхностями детали.

Корневое дерево используется в данной работе [27] для выявления согласованности баз. Поэтому логично его выразить в виде схемы иерархии баз, где будет показано следующее:

- переходы операций от исходной поверхности к обработанной, одна из них – базовая;
- какие операции выполняются за один установ.

Схема иерархии баз имеет большое значение при проектировании ТП.

В исследовании [27] этот метод иллюстрируется на примере детали корпуса шестерни.

На рисунке 3.38 показана иерархия баз, где О – первая базовая поверхность, А, В, С – первые обработанные поверхности, затем в качестве базы выбирается поверхность С и т.д.

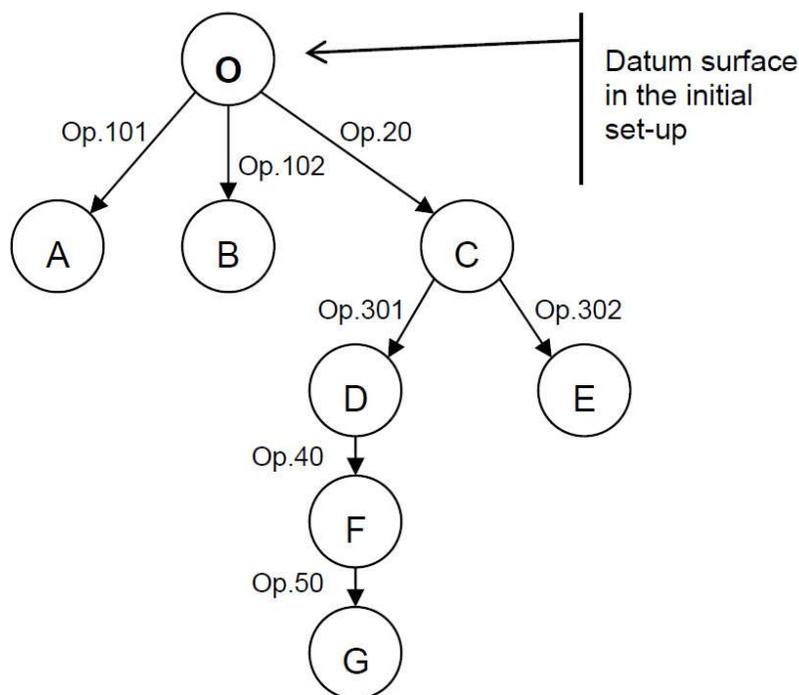


Figure 4-14 Datum-hierarchy diagram (rooted-tree) for seven operations in five set-ups/clampings.

Рисунок 3.38 – Корневое дерево для семи операций и пяти установок [27]

Таблица, показанная на рисунке 3.39, содержит список соответствующей последовательности обработки детали, приведенной на схеме.

Первые две цифры обозначают установку на многоцелевом станке, третья цифра – переход.

Каждый корень дерева представляет собой одну операцию и соединяет обработанную поверхность с базой.

Для примера найдем связь между поверхностями E и G, используя данную таблицу:

Переход: E = O → C → E

G = O → C → D → F → G

Table 4-1 Machined features and datum features corresponding to the rooted-tree diagram in Figure 4-14

Operation	Datum feature in this operation	Machined feature in this operation	Path of operations
101	O	A	O → A
102	O	B	O → B
20	O	C	O → C
301	C	D	O → C → D
302	C	E	O → C → E
40	D	F	O → C → D → F
50	F	G	O → C → D → F → G

Рисунок 3.39 – Обработанные и базовые поверхности [27]

Общий переход:

$$\begin{array}{l}
 \text{E} = \text{O} \xrightarrow{\text{---}\bullet} \text{C} \rightarrow \text{E} \\
 \text{G} = \text{O} \xrightarrow{\text{---}\blacktriangleright} \text{C} \rightarrow \text{D} \rightarrow \text{F} \rightarrow \text{G}
 \end{array}$$

Дает переход между E и G: E → C → D → F → G

E → G представлены следующими операциями:

Op.302 + Op.301 + Op.40 + Op.50

Аналогично можно найти связь между другими поверхностями.

Имея такую информацию, легче избежать построения сложных цепей допусков.

В исследовании [27] были приняты во внимание следующие темы: анализ конструкции изделия, схематический план ТП, согласованность баз, оценка операций.

Когда возникает необходимость изменения ТП или конструкции изделия, например, выбор более простого способа обработки, то это может повлиять на всю последовательность обработки. Поэтому всегда нужно соблюдать баланс допусков, чтобы ТП оставался функциональным.

Выводы

Обзор существующих САТ-систем в России и за рубежом показал активную заинтересованность проблемами размерного анализа ТП и его автоматизации. В работе [25] 2008 г. китайских ученых X.Y. Shao, K. Lin, L. Gao, H.B. Qiu «Research on Tolerance Analysis System Based on 3D Collaborative Design Platform» просматривается некая аналогия в представлении размерных схем методике для программ KON7 [16] и GRAKON7 [28]. В ряде работ, например [3, 26], предлагаются методы оптимизации допусков и припусков с использованием целевой функции и определенных критериев.

Общим, что объединяет рассмотренные системы, является применение основ теории размерных цепей и теории графов. Некоторые системы используют автоматически создаваемое отображение геометрии заготовки или положение размеров в границах поверхностей, что, несомненно, способствует быстрой адаптации производителей.

В каждой из публикаций с разной степенью проработанности показываются «внешние» элементы теории и практики применения разработанных компьютерных программ, но не раскрываются теоретические особенности расчета припусков, допусков, положенные в основу программного обеспечения.

Между тем полученный нами опыт применения программы KON7 показал, что в ходе расчетов могут возникать ситуации, когда технологические размеры формально обеспечивают получение заданной точности конструкторских размеров, но при этом допуски на припуски могут превышать разумные значения [36, 37].

Кроме того, в ходе проверочных расчетов размеров производственных деталей обнаружены ситуации, когда для корректного расчета текущей размерной цепи необходимо учитывать «косвенные» данные другой, связанной размерной цепи.

Задачи исследования

На основе представленного выше обзора источников предлагаются следующие задачи исследования.

1. Проанализировать различные ситуации, возникающие в ходе расчета технологических размерных цепей, провести их классификацию и предложить решения для корректного расчета припуска.

2. Разработать единый алгоритм расчета наименьшего значения припуска и реализовать его в новой программе «KON7 плюс» для любых случаев, возникающих при проведении размерного анализа, при этом учесть возможность неправильного ввода границ припуска пользователем.

3. Выявить пути уменьшения суммарного колебания припусков при выполнении ограничения по балансу допусков и по величине отношения максимального припуска к минимальному.

4. Предложить алгоритм расчета значений Z_{\max} , Z_{\min} , их отношения, колебаний припусков, суммы колебаний припусков на последних стадиях обработки и реализовать его в программе «KON7плюс».

5. Предложить алгоритм поиска частоты вхождения составляющих звеньев в размерные цепи и также реализовать его в программе «KON7 плюс».

6. Рассмотреть возможность уменьшения запаса точности расширением допуска на технологический размер с целью поиска рациональной размерной структуры ТП и выбора более дешевого метода обработки.

7. Предложить алгоритм и программную реализацию автоматического построения «линейного» графа размерных изменений заготовки для визуального сравнения вариантов размерной структуры ТП.

4 ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ КОЛЕБАНИЯ ПРИПУСКОВ НА ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ РАЗМЕРНОЙ СТРУКТУРЫ

4.1 Математическая модель оценки рациональной размерной структуры

В рассмотренных в главе 2 методах размерного анализа основной целевой функцией является суммарный допуск составляющих технологических звеньев. Критерием допустимости варианта размерной структуры ТП является соблюдение неравенства

$$TR_j \geq \sum TA_i, \quad (4.1)$$

где TR_j – допуск конструкторского размера, являющегося замыкающим звеном рассматриваемой размерной цепи;

$\sum TA_i$ – сумма допусков всех технологических размеров, которые входят в эту цепь.

Исходя из этого критерия рассчитывается допуск одного (неизвестного) технологического размера – составляющего звена цепи с замыкающим звеном – конструкторским размером (цепь типа «Р»).

В результате расчета размерных цепей определяется так называемый расчетный допуск, об ограничениях которого упоминается в разделе 2.1.

Затем в цепях с замыкающим звеном – припуском – определяется поле рассеяния припуска по аналогичной формуле $TZ_i = \sum TA_i$. После этого определяется максимальная величина припуска $Z_{i\max}$. Критерием для оценки правильности стартового варианта размерной схемы может быть либо ограничение по максимальной величине припуска, либо ограничение по величине отношения $Z_{i\max}/Z_{i\min}$.

Поэтому в нашем исследовании также определим отношение максимального припуска к минимальному $Z_{i\max}/Z_{i\min}$, которое в конкретных случаях может быть ограничено заданной величиной.

Припуск, как было сказано, определяется минимальной величиной и величиной колебания, равной сумме технологических допусков соответствующей технологической размерной цепи.

Колебание припуска [3] оказывает влияние на упругие деформации, что в свою очередь приводит к возникновению погрешности от упругих деформаций и других погрешностей системы СПИД (погрешность установки, формы, настройки, износа инструмента и др.). На практике это может вызвать непредвиденное отклонение значения реального технологического размера от рассчитанного теоретически.

Себестоимость механической обработки имеет тенденцию к снижению по мере уменьшения величины колебания припусков (TZ_i) [23]. Поэтому, если при проектировании ТП будет разработана размерная структура, обеспечивающая минимальное суммарное колебание припусков ($\min \sum TZ_i$), удаляемых на всех переходах, то, по-видимому, такую структуру можно считать основой для разработки оптимального технологического процесса.

На основе проведенного обзора источников нами предлагается новое дополнительное ограничение, связанное с цепями типа «Z»:

$$\sum TZ_i \rightarrow \min. \quad (4.2)$$

Т. е. допуск на припуск (колебание припуска) не должен превышать наперед заданного значения, которое определяет качество предлагаемого варианта наравне с соблюдением ограничений по Z_{\max} , расчетному допуску и (4.1).

4.2 Влияние факторов технологического процесса на колебание припусков

Для исследования поведения колебания припуска нами предлагается рассмотреть влияние различных, зачастую взаимосвязанных, факторов на достижение точности конструкторских размеров.

Изменение величины колебания припусков рассмотрим на примере размерного анализа тестовой детали типа «тело вращения», взятой из работы [7] Б.С. Мордвинова.

В таблице 4.1 приведен учет изменения таких факторов, как размерная структура ТП, связанная с технологическими базами, методами обработки, маршрутами обработки отдельных поверхностей (количество припусков), и результаты выполнения принятых ограничений при последовательном рассмотрении шести вариантов размерных схем применительно к тестовому примеру.

Пояснения. На схемах проставлено число припусков для каждой из трех обрабатываемых поверхностей, последовательность обработки каждой поверхности отслеживается стрелками сверху вниз. Три правых графы заполнены по результатам численных экспериментов.

Таблица 4.1 – Изменение факторов при составлении размерных схем

№ вар.	Схема обработки				Выполнение ограничений		
					$TP_j \geq \sum TA_i$	по Z_{imax}	$\sum TZ_i \rightarrow \min$
1	1	1	2	точение необ. точение однокр. точение черн. точение чист.	–	–	–
2	1	1	2	точение необ. точение однокр. точение черн. точение чист.	+	–	3,140
3	2	1	2	точение необ. точение однокр. точение черн. шлифов. однокр. точение чист.	+	+	2,069
4	2	1	2	точение необ. точение черн. точение черн. шлифов. однокр. точение чист.	–	–	–
5	2	2	2	точение необ. точение черн. шлифов. однокр. точение черн. шлифов. однокр. точение чист.	+	–	1,129
6	2	2	2	точение необ. точение черн. шлифов. однокр. точение черн. шлифов. тонк. точение чист.	+	+	0,979

Вариант № 1

На рисунке 4.1 показан эскиз тестовой детали «тело вращения», нанесены технологические размеры A_i по порядку выполнения обработки, показаны все конструкторские размеры P_i и припуски Z_i . Построим для первого (стартового) варианта размерной схемы граф взаимосвязанных размерных цепей (рисунок 4.2).

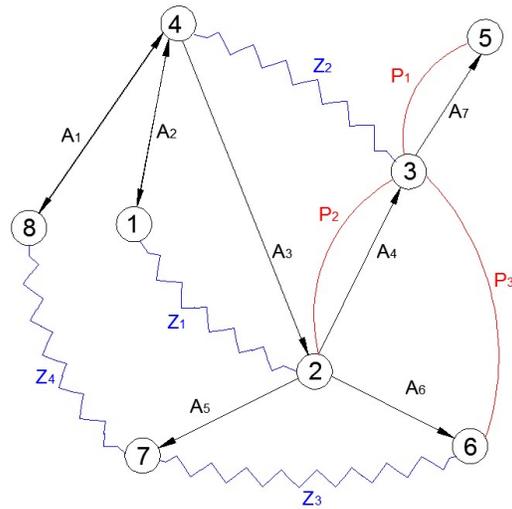
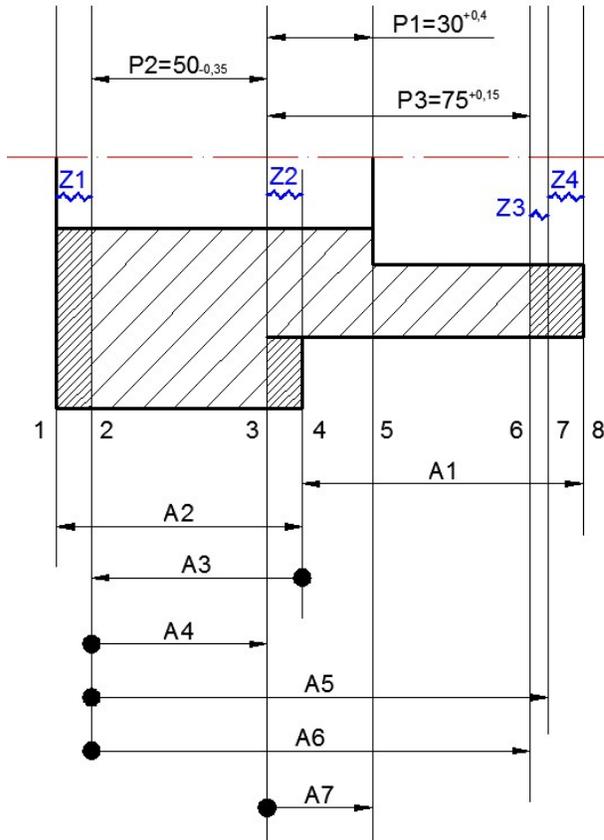


Рисунок 4.1 – Размерная схема (стартовый вариант)

Рисунок 4.2 – Граф (стартовый вариант)

Проведем расчет технологических размеров и припусков по программе KON7.

После ввода исходных данных (рисунок 4.3) и расчета стартового варианта размерной схемы система выдает сообщение о проблеме (рисунок 4.4) и в новой версии программы сообщение о продолжении расчета с целью анализа возникшей ситуации (рисунок 4.5).

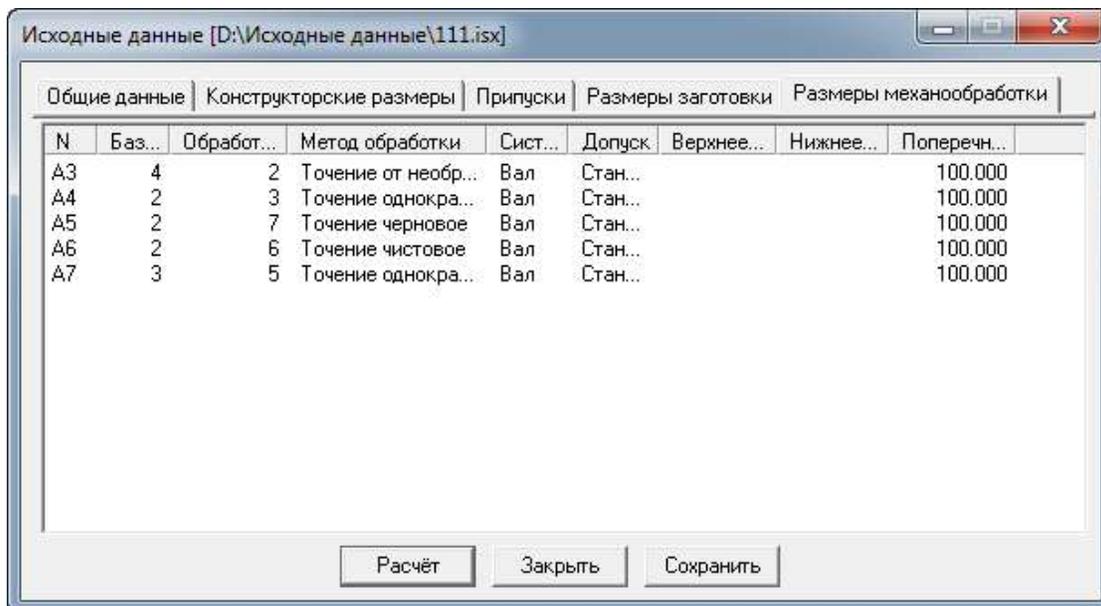


Рисунок 4.3 – Исходные данные первого варианта

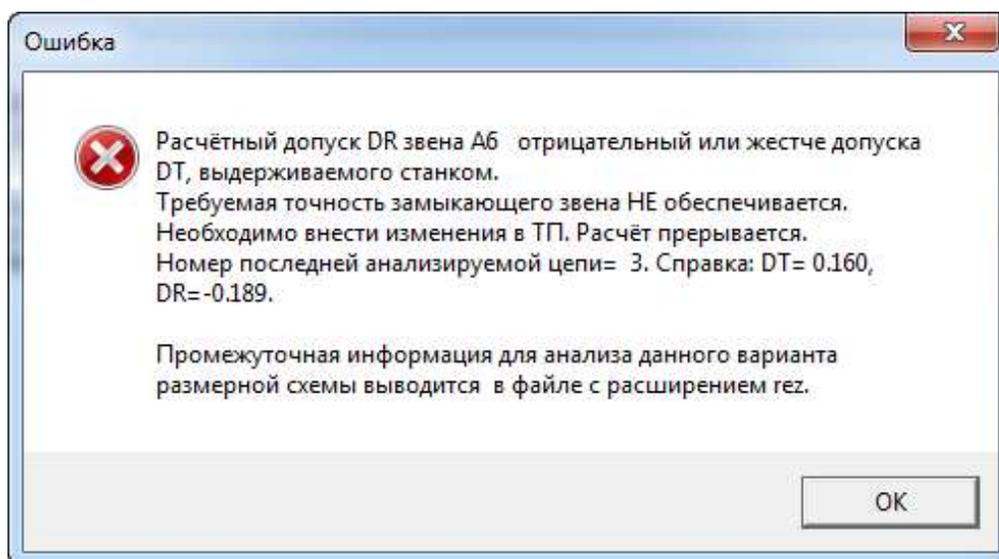


Рисунок 4.4 – Сообщение о проблеме для первого варианта

По результатам видно, что расчет останавливается на уравнении с неизвестным звеном А6 (рисунок 4.6).

Чтобы проанализировать возникающие проблемы, при расчетах различных вариантов размерных схем в новой версии программы KON7 введена таблица 4 – Баланс допусков в каждой размерной цепи (рисунок 4.7).

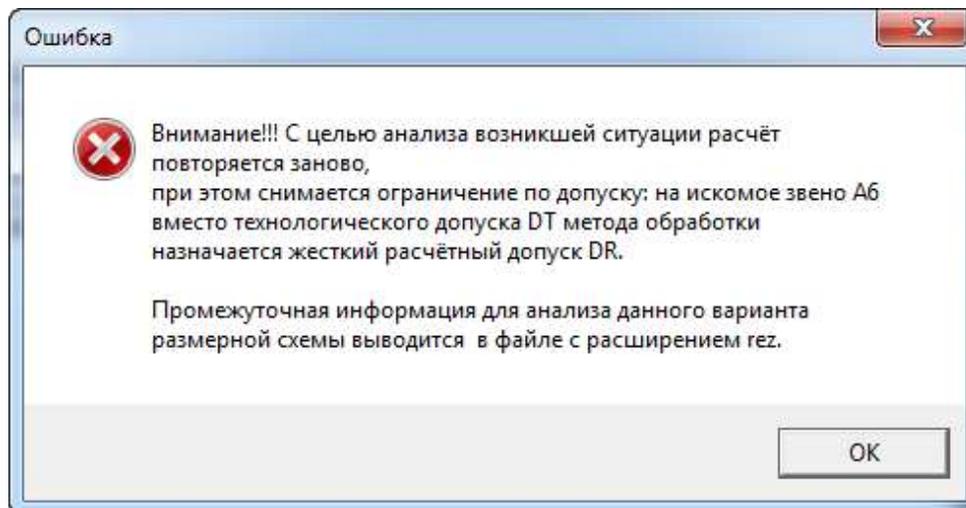


Рисунок 4.5 – Сообщение о продолжении расчета

Из таблицы видно, какие звенья входят в уравнение и почему точность конструкторского размера P3 не обеспечивается – баланс допусков не выдерживается и возникает отрицательный запас точности.

```

Решается разм. цепь 3 типа "P" с неизв. звеном А6
с о с т а в   ц е п и :
уменьш. звено А4 :                max= 50.000   min= 49.660
увелич. звено А6 :                max=  0.000   min=  0.000
замык. звено - констр. размер P3 : max= 75.150   min= 75.000
результаты расчёта звена А6 :     max= 124.811  min= 125.000
следовательно, расч. допуск=      -0.189
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.160 : верхн. откл.= 0.160  нижн. откл.= 0.000
Расчётный допуск DR звена А6 отрицательный или жестче допуска DT, выдерживаемого станком.
Требуемая точность замыкающего звена НЕ обеспечивается.
Необходимо внести изменения в ТП. Расчёт прерывается.
Номер последней анализируемой цепи= 3. Справка: DT= 0.160, DR=-0.189.

```

Рисунок 4.6 – Прерывание расчета

Таблица 4 - Баланс допусков в каждой размерной цепи

№ решения	Неизв. звено	Номинал	Верхнее отклон.	Нижнее отклон.	Запас точн.	Уравнения в символической форме	Баланс допусков
1	A7	30.400	0.000	-0.340	0.060	P1=+A7	0.400=>0.340
2	A4	50.000	0.000	-0.340	0.010	P2=+A4	0.350=>0.340
3	A6					P3=-A4+A6	-0.350 0.150=>0.340+[0.160]

Для обеспечения точности конструкторского размера P3 необходимо выполнить технологический размер A6 с расчетным допуском DR=-0.189, который отрицательный или жестче (более, чем в 2 раза) технологического допуска DT=0.160 выбранного метода обработки. Требуемая точность замыкающего звена НЕ обеспечивается! Расчет оставшихся технологических размеров продолжать не целесообразно.

Рисунок 4.7 – Таблица 4 (вариант № 1)

Далее даются общие рекомендации по устранению возникшей проблемы (рисунок 4.8).

Рекомендации.

1. Технологический размер A3 должен выполняться с более высокой точностью, т.е. с более жестким допуском. Например, вместо "чернового точения" следует выбрать "чистовое точение" или задать непосредственно числовое значение технологического допуска в поле "пользовательский". Следует помнить, что на начальных операциях механообработки необоснованный выбор узкого допуска недопустим!
2. Следует повысить точность других технологических размеров, образующих данную цепь.
3. Возможно, следует ввести дополнительную обработку одной из поверхностей с указанием на размерной схеме нового припуска.
4. Радикальное изменение размерной структуры технологического процесса - выбор более рациональной схемы базирования, обеспечивающей соблюдение принципа единства баз в большинстве уравнений размерных цепей.

 Конец заказа Калачева KON7 в. 122_120 D1 zz GRA HA 2014

Рисунок 4.8 – Рекомендации по устранению проблемы

Первой рекомендацией руководствоваться не будем, т. к. иной, более точный метод обработки выбирать нецелесообразно, в начале ТП должна применяться более грубая обработка заготовки. Повысить точность других технологических размеров не всегда представляется возможным, стало быть, второй рекомендацией также не будем руководствоваться. Третьей рекомендацией воспользуемся позднее.

Вариант № 2

Следуя четвертой рекомендации (см. рисунок 4.8), изменим размерную структуру: в качестве базы для получения размеров A5 и A6 выберем поверхность 3, т. е. построим новый (второй) вариант размерной схемы (рисунок 4.9).

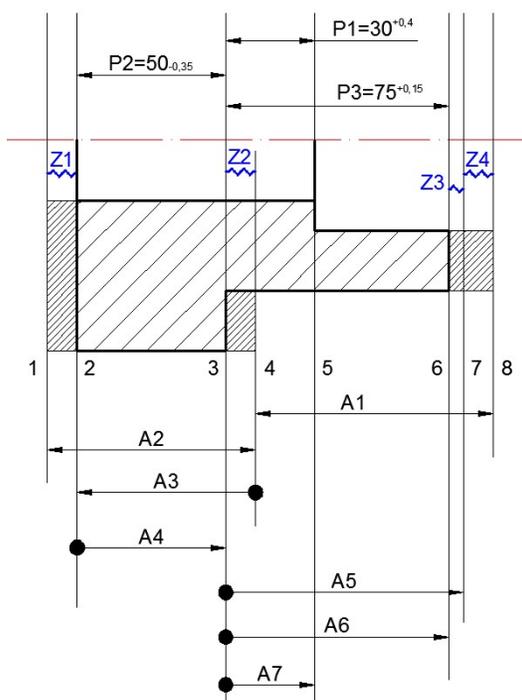


Рисунок 4.9 – Второй вариант размерной схемы

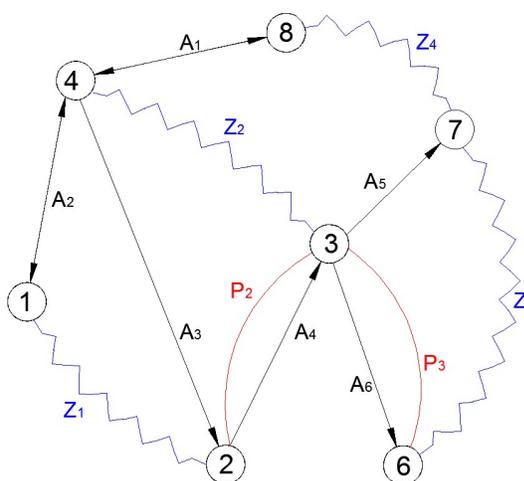


Рисунок 4.10 – Граф второго варианта размерной схемы

Кроме того, каждое висячее ребро графа, если оно является составляющим звеном только одной размерной цепи и при том – двухзвенной (конструкторский размер выдерживается непосредственно), можно удалить вместе с замыкающим звеном этой цепи. Т.е. при построении графа для второго варианта размерной схемы (рисунок 4.10) не будем показывать ребро с размерами P1 и A7, которое присутствовало на графе стартового варианта размерной структуры (см. рисунок 4.2).

Изменим исходные данные второго варианта размерной схемы (рисунки 4.11, 4.12). При проведении расчета все уравнения решаются совместно и точность замыкающих звеньев достигается. Результаты представлены в таблице 4.2.

N	Баз...	Обработ...	Метод обработки	Сист...	Допуск	Верхнее...	Нижнее...	Поперечн...
A3	4	2	Точение от необр...	Вал	Стан...			100.000
A4	2	3	Точение однокра...	Вал	Стан...			100.000
A5	2	7	Точение черновое	Вал	Стан...			100.000
A6	2		Добавить	Вал	Стан...			100.000
A7	3		Вставить	Вал	Стан...			100.000

Рисунок 4.11 – Размеры механообработки для второго варианта размерной схемы

N	Баз...	Обработ...	Метод обработки	Сист...	Допуск	Верхнее...	Нижнее...	Поперечн...
A3	4	2	Точение от необр...	Вал	Стан...			100.000
A4	2	3	Точение однокра...	Вал	Стан...			100.000
A5	3	7	Точение черновое	Вал	Стан...			100.000
A6	3	6	Точение чистовое	Вал	Стан...			100.000
A7	3	5	Точение однокра...	Вал	Стан...			100.000

Рисунок 4.12 – Границы размеров механообработки для второго варианта размерной схемы

Таблица 4.2 – Результаты расчета второго варианта размерной схемы

Исходные данные и результаты анализа технологических размерных цепей Программа KON7 (C) Калачев О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)											
Текст пользователя						Калачева					
Таблица 1 - Исходные данные (проверьте правильность ввода!)											
Сведения о заготовке:											
Материал.....						сталь					
Способ получения.....						Литьё в земляные формы					
Класс (степень) точности..						1					
Габаритный размер по направлению технологических размеров...						125.000					
Замыкающие звенья			Составляющие звенья: размеры А			Поп- Отклонения			Отклонения		
Р-черт.размер. Z-припуск			заготовки <-->, затем мех.обработки О-->			реч- допуски DT			пользователя		

Зве-	Границы	Предел.значения	Зве-	Границы	Метод обработки	Сист	раз-				
но	Р: л-п	-----	но	<----->		допу	мер,	-----			
	Z: н-с	max min		База-->			ска	мм	Верх.	Нижнее	

-09.04.2014-18:43:04-----											
P1	2	3	50.000	30.000	A1	4	8	Литьё в земляные формы	вал	100	0.000 0.000
P2	2	3	30.400	49.650	A2	1	4	Литьё в земляные формы	вал	100	0.000 0.000
P3	3	6	75.150	75.000	A3	4	2	Точение от необр.пов.	вал	100	0.000 0.000
Z1	1	2	0.000	0.000	A4	2	3	Точение однократное	вал	100	0.000 0.000
Z2	3	4	0.000	0.000	A5	3	7	Точение черновое	вал	100	0.000 0.000
Z3	6	7	0.000	0.000	A6	3	6	Точение чистовое	вал	100	0.000 0.000
Z4	7	8	0.000	0.000	A7	3	5	Точение однократное	вал	100	0.000 0.000

Таблица 2 - Результаты поиска уравнений размерных цепей и последовательности их решения											

Номер	Неизв.	Уравнения в символьной форме									
решения	звено										

1	A7	P1=+A7									
2	A4	P2=+A4									
3	A6	P3=+A6									
4	A3	Z2=-A4+A3									
5	A5	Z3=-A6+A5									
6	A2	Z1=-A3+A2									
7	A1	Z4=-A4-A5+A1+A3									

** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей **											
KON7 (C) Калачев О.Н., 2014											
Решается разм. цепь 1 типа "P" с неизв. звеном А7											
с о с т а в ц е п и :											
увелич. звено А7 : max= 0.000 min= 0.000											
замык. звено - констр. размер P1 : max= 30.400 min= 30.000											
результаты расчёта звена А7 : max= 30.400 min= 30.000											
следовательно, расч. допуск= 0.400											
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый											
системой= 0.340 : верхн. откл.= 0.340 нижн. откл.= 0.000											
принимаем расчётный размер звена А7 с учётом технолог. допуска:											
номинал= 30.400 max= 30.400 min= 30.060											
Решается разм. цепь 2 типа "P" с неизв. звеном А4											
с о с т а в ц е п и :											
увелич. звено А4 : max= 0.000 min= 0.000											
замык. звено - констр. размер P2 : max= 50.000 min= 49.650											
результаты расчёта звена А4 : max= 50.000 min= 49.650											
следовательно, расч. допуск= 0.350											
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый											
системой= 0.340 : верхн. откл.= 0.340 нижн. откл.= 0.000											
принимаем расчётный размер звена А4 с учётом технолог. допуска:											
номинал= 50.000 max= 50.000 min= 49.660											
Решается разм. цепь 3 типа "P" с неизв. звеном А6											
с о с т а в ц е п и :											
увелич. звено А6 : max= 0.000 min= 0.000											
замык. звено - констр. размер P3 : max= 75.150 min= 75.000											
результаты расчёта звена А6 : max= 75.150 min= 75.000											
следовательно, расч. допуск= 0.150											
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый											
системой= 0.120 : верхн. откл.= 0.120 нижн. откл.= 0.000											
принимаем расчётный размер звена А6 с учётом технолог. допуска:											
номинал= 75.150 max= 75.150 min= 75.031											
Решается разм. цепь 4 типа "Z" с неизв. звеном А3											
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700											
с о с т а в ц е п и :											

уменьш. звено А4 :	max= 50.000	min= 49.660
увелич. звено А3 :	max= 0.000	min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый		
системой= 0.740 :	верхн. откл.= 0.740	нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена А3 :		
номинал= 51.440	max= 51.440	min= 50.700
Решается разм. цепь 5 типа "Z" с неизв. звеном А5		
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.230		
с о с т а в ц е п и :		
уменьш. звено А6 :	max= 75.150	min= 75.031
увелич. звено А5 :	max= 0.000	min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый		
системой= 0.400 :	верхн. откл.= 0.400	нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена А5 :		
номинал= 75.780	max= 75.780	min= 75.380
Решается разм. цепь 6 типа "Z" с неизв. звеном А2		
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700		
с о с т а в ц е п и :		
уменьш. звено А3 :	max= 51.440	min= 50.700
увелич. звено А2 :	max= 0.000	min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый		
системой= 0.800 :	верхн. откл.= 0.400	нижн. откл.= -0.400
расчётный размер звена А2 :		
номинал= 52.540	max= 52.940	min= 52.140
Решается разм. цепь 7 типа "Z" с неизв. звеном А1		
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700		
с о с т а в ц е п и :		
уменьш. звено А4 :	max= 50.000	min= 49.660
уменьш. звено А5 :	max= 75.780	min= 75.380
увелич. звено А1 :	max= 0.000	min= 0.000
увелич. звено А3 :	max= 51.440	min= 50.700
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый		
системой= 0.800 :	верхн. откл.= 0.400	нижн. откл.= -0.400
расчётный размер звена А1 :		
номинал= 76.180	max= 76.580	min= 75.780

Таблица 3 - Результаты расчета технологических РЦ по программе KON7 (С) Калачёв О.Н., 2014 -----

Замыкающие звенья				Составляющие звенья				-----kon7-116-120 D1 zz GRA-NA--		
Р - черт.размер, Z - припуск				А - размеры заготовки и механообработки						
Ин-декс звена	Гра-ницы звена	Предел. значения	Ин-декс звена	Гра-ницы звена	Метод обработки	Номинал	Отклонения			
		max min					Верхнее	Нижнее		
-----09.04.2014-18:43:04-----										
P1	3 5	30.400 30.000	A1	4 8	Литьё в земляные формы	76.180	0.400	-0.400		
P2	2 3	50.000 49.650	A2	1 4	Литьё в земляные формы	52.540	0.400	-0.400		
P3	3 6	75.150 75.000	A3	4 2	Точение от необр.пов.	51.440	0.000	-0.740		
Z1	2 1	2.240 0.700	A4	2 3	Точение однократное	50.000	0.000	-0.340		
Z2	3 4	1.780 0.700	A5	3 7	Точение черновое	75.780	0.000	-0.400		
Z3	6 7	0.750 0.230	A6	3 6	Точение чистовое	75.150	0.000	-0.120		
Z4	7 8	2.980 0.700	A7	3 5	Точение однократное	30.400	0.000	-0.340		

Таблица 4 - Баланс допусков в каждой размерной цепи

№	Неизв. решения	Номинал звено	Верхнее отклон. звено	Нижнее отклон. звено	Запас отклон.	Уравнения в символической форме	Баланс допусков
1		A7	30.400	0.000	-0.340	P1=+A7 0.400=>0.340	
2		A4	50.000	0.000	-0.340	P2=+A4 0.350=>0.340	
3		A6	75.150	0.000	-0.120	P3=+A6 0.150=>0.120	
4		A3	51.440	0.000	-0.740	Z2=-A4+A3 1.080=>0.340+0.740	
5		A5	75.780	0.000	-0.400	Z3=-A6+A5 0.520=>0.120+0.400	
6		A2	52.540	0.400	-0.400	Z1=-A3+A2 1.540=>0.740+0.800	
7		A1	76.180	0.400	-0.400	Z4=-A4-A5+A1+A3 2.280=>0.340+0.400+0.800+0.740	

Конец заказа Калачева KON7 в. 122 120 D1 zz GRA NA 2014

Т.к. расчет второго варианта дошел до конца, то, значит, **ограничения (4.1) и по расчетному допуску** выполнены.

Рассмотрим выполнение **ограничения** $\sum TZ_i \rightarrow \min$.

Проанализируем значения величин колебаний припусков с помощью таблицы 4.2 результатов расчета второго варианта размерной схемы:

$$TZ2=1,080$$

$$TZ3=0,520$$

$$TZ1=1,540$$

$$TZ4=2,280$$

Очевидно, что TZ4 – самое большое значение величины колебания припуска, но корректировать его не имеет смысла, т.к. снятие припуска Z4 не является окончательным для получения поверхности правого торца.

Суммарное колебание припусков на последних стадиях обработки:

$$\sum TZ_i = TZ1 + TZ2 + TZ3 = 1,540 + 1,080 + 0,520 = 3,140.$$

Рассмотрим выполнение **ограничения по Z_{imax}**.

Руководствуясь работой [29], для окончательной обработки лезвийным инструментом условимся принять допустимую величину отношения Z_{imax}/Z_{imin} не более 3.

Определим отношение максимального припуска к минимальному для всех значений припусков:

$$Z2_{max}/Z2_{min} = 1,780/0,700 \cong 2,543.$$

$$Z3_{max}/Z3_{min} = 0,750/0,230 \cong 3,261.$$

$$Z1_{max}/Z1_{min} = 2,240/0,700 = 3,200.$$

$$Z4_{max}/Z4_{min} = 2,980/0,700 \cong 4,257.$$

Значения величин отношений $Z3_{max}/Z3_{min}$, $Z1_{max}/Z1_{min}$, $Z4_{max}/Z4_{min}$ превышают принятую допустимую величину 3, следовательно, необходима корректировка варианта размерной структуры.

Вариант № 3

На первоначальных этапах обработки ужесточать допуски на технологические размеры нецелесообразно, поэтому изменим метод окончательной обработки только для правого торца на более точный – «шлифование однократное», а для левого торца введем дополнительную, чистовую обработку.

Построим новый вариант размерной схемы (третий), добавив припуск для левого торца – Z2 (рисунок 4.13), и граф новой размерной структуры (рисунок 4.14). Проанализируем влияние изменения размерной схемы на ограничения, рассчитав третий вариант схемы по

программе KON7 плюс. Расчет доходит до конца (таблица 4.3), т. е. *ограничения (4.1) и по расчетному допуску* выполняются.

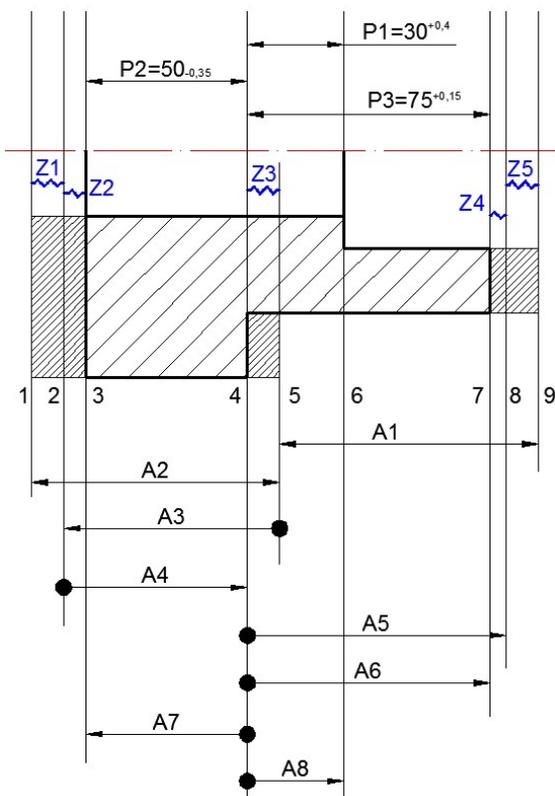


Рисунок 4.13 – Третий вариант размерной схемы

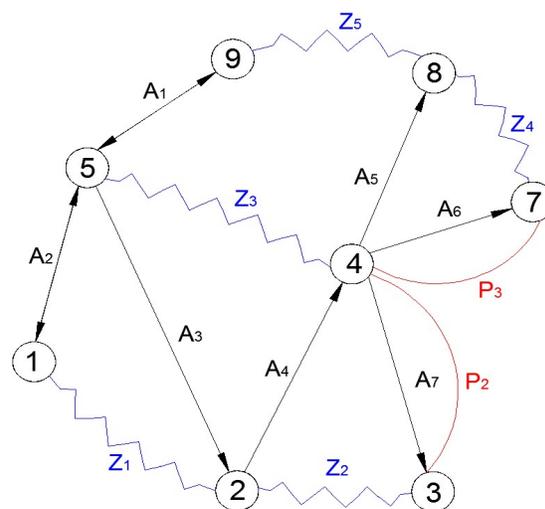


Рисунок 4.14 – Граф третьего варианта размерной схемы

Проверим выполнение *ограничения* $\sum TZ_i \rightarrow \min$.

Рассмотрим значения величин колебаний припусков в таблице 4.3 для третьего варианта размерной схемы:

$$TZ2=0,499$$

$$TZ4=0,430$$

$$TZ3=1,140$$

$$TZ1=1,540$$

$$TZ5=2,340$$

Получается, что $TZ2 < TZ1$, т. е. на последнем этапе обработки левого торца колебание припуска уменьшилось. Также уменьшилось колебание припуска при окончательной обработке правого торца по сравнению со вторым вариантом размерной схемы.

Суммарное колебание припусков на последних стадиях обработки при использовании третьего варианта размерной схемы:

$\Sigma TZ_i = TZ2 + TZ3 + TZ4 = 0,499 + 1,140 + 0,430 = 2,069$ меньше ΣTZ_i второго варианта размерной схемы.

Таблица 4.3 – Результаты расчета третьего варианта размерной схемы

Исходные данные и результаты анализа технологических размерных цепей Программа KON7 (C) Калачев О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)													
Текст пользователя						Калачева+							
Таблица 1 - Исходные данные (проверьте правильность ввода!)													
Сведения о заготовке:													
Материал..... сталь													
Способ получения..... Литьё в земляные формы													
Класс (степень) точности.. 1													
Габаритный размер по направлению технологических размеров... 125.000													

Замыкающие звенья				Составляющие звенья: размеры А				Поп-		Отклонения			
Р-черт.размер. Z-припуск				заготовки <-->, затем мех.обработки 0-->				реч-		допуска DT			

Зве-	Границы	Предел.значения	Зве-	Границы	Метод обработки			Сист	раз-	Отклонения			
но	Р: л-п	-----	но	<----->				допу	мер,	пользователя			
	Z: н-с	max	min		База-->			ска	мм	Верх.	Нижнее		

-14.04.2014-18:31:11-													
P1	4	6	30.400	30.000	A1	5	9	Литьё в земляные формы	вал	100	0.000	0.000	
P2	3	4	50.000	49.650	A2	1	5	Литьё в земляные формы	вал	100	0.000	0.000	
P3	4	7	75.150	75.000	A3	5	2	Точение от необр.пов.	вал	100	0.000	0.000	
Z1	1	2	0.000	0.000	A4	2	4	Точение однократное	вал	100	0.000	0.000	
Z2	2	3	0.000	0.000	A5	4	8	Точение черновое	вал	100	0.000	0.000	
Z3	4	5	0.000	0.000	A6	4	7	Шлифование однократное	вал	100	0.000	0.000	
Z4	7	8	0.000	0.000	A7	4	3	Точение чистовое	вал	100	0.000	0.000	
Z5	8	9	0.000	0.000	A8	4	6	Точение однократное	вал	100	0.000	0.000	

Таблица 2 - Результаты поиска уравнений размерных цепей и последовательности их решения													

Номер		Неизв.	Уравнения в символьной форме										
решения		звено	-----										
1		A8	P1=+A8										
2		A7	P2=+A7										
3		A6	P3=+A6										
4		A4	Z2=-A7+A4										
5		A5	Z4=-A6+A5										
6		A3	Z3=-A4+A3										
7		A2	Z1=-A3+A2										
8		A1	Z5=-A4-A5+A1+A3										

** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей **													
KON7 (C) Калачев О.Н., 2014													
Решается разм. цепь 1 типа "P" с неизв. звеном A8													
с о с т а в ц е п и :													
увелич. звено A8 : max= 0.000 min= 0.000													
замык. звено - констр. размер P1 : max= 30.400 min= 30.000													
результаты расчёта звена A8 : max= 30.400 min= 30.000													
следовательно, расч. допуск= 0.400													
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый													
системой= 0.340 : верхн. откл.= 0.340 нижн. откл.= 0.000													
принимаем расчётный размер звена A8 с учётом технолог. допуска:													
номинал= 30.400 max= 30.400 min= 30.060													
Решается разм. цепь 2 типа "P" с неизв. звеном A7													
с о с т а в ц е п и :													
увелич. звено A7 : max= 0.000 min= 0.000													
замык. звено - констр. размер P2 : max= 50.000 min= 49.650													
результаты расчёта звена A7 : max= 50.000 min= 49.650													
следовательно, расч. допуск= 0.350													
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый													
системой= 0.100 : верхн. откл.= 0.100 нижн. откл.= 0.000													
принимаем расчётный размер звена A7 с учётом технолог. допуска:													
номинал= 50.000 max= 50.000 min= 49.901													
Решается разм. цепь 3 типа "P" с неизв. звеном A6													
с о с т а в ц е п и :													
увелич. звено A6 : max= 0.000 min= 0.000													
замык. звено - констр. размер P3 : max= 75.150 min= 75.000													

результаты расчёта звена A6 : max= 75.150 min= 75.000
следовательно, расч. допуск= 0.150
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.030 : верхн. откл.= 0.030 нижн. откл.= 0.000
принимая расчётный размер звена A6 с учётом технолог. допуска:
номинал= 75.150 max= 75.150 min= 75.121

Решается разм. цепь 4 типа "Z" с неизв. звеном A4
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.360
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A7 : max= 50.000 min= 49.901
увелич. звено A4 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.400 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A4 :
номинал= 50.760 max= 50.760 min= 50.360

Решается разм. цепь 5 типа "Z" с неизв. звеном A5
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.230
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A6 : max= 75.150 min= 75.121
увелич. звено A5 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.400 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A5 :
номинал= 75.780 max= 75.780 min= 75.380

Решается разм. цепь 6 типа "Z" с неизв. звеном A3
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A4 : max= 50.760 min= 50.360
увелич. звено A3 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.740 : верхн. откл.= 0.740 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A3 :
номинал= 52.200 max= 52.200 min= 51.460

Решается разм. цепь 7 типа "Z" с неизв. звеном A2
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A3 : max= 52.200 min= 51.460
увелич. звено A2 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.800 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= -0.400
расчётный размер звена A2 :
номинал= 53.300 max= 53.700 min= 52.900

Решается разм. цепь 8 типа "Z" с неизв. звеном A1
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A4 : max= 50.760 min= 50.360
уменьш. звено A5 : max= 75.780 min= 75.380
увелич. звено A1 : max= 0.000 min= 0.000
увелич. звено A3 : max= 52.200 min= 51.460
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.800 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= -0.400
расчётный размер звена A1 :
номинал= 76.180 max= 76.580 min= 75.780

Таблица 3 - Результаты расчета технологических РЦ по программе KON7 (С) Калачёв О.Н., 2014 -----

Замыкающие звенья			Составляющие звенья			kop7-116-120 D1 zz GRA-NA--		
Р - черт.размер, Z - припуск			А - размеры заготовки и механообработки					
Ин-декс звена	Гра-ницы звена	Предел.значения	Ин-декс звена	Гра-ницы звена	Метод обработки	Номинал	Отклонения	
		max min					Верхнее	Нижнее
-----14.04.2014-18:31:11-----								
P1	4 6	30.400 30.000	A1	5 9	Литьё в земляные формы	76.180	0.400	-0.400
P2	3 4	50.000 49.650	A2	1 5	Литьё в земляные формы	53.300	0.400	-0.400
P3	4 7	75.150 75.000	A3	5 2	Точение от необр.пов.	52.200	0.000	-0.740
Z1	2 1	2.240 0.700	A4	2 4	Точение однократное	50.760	0.000	-0.400
Z2	3 2	0.859 0.360	A5	4 8	Точение черновое	75.780	0.000	-0.400
Z3	4 5	1.840 0.700	A6	4 7	Шлифование однократное	75.150	0.000	-0.029
Z4	7 8	0.660 0.230	A7	4 3	Точение чистовое	50.000	0.000	-0.100
Z5	8 9	3.040 0.700	A8	4 6	Точение однократное	30.400	0.000	-0.340

Таблица 4 - Баланс допусков в каждой размерной цепи

№ решения	Неизв. звено	Номинал	Верхнее отклон.	Нижнее отклон.	Запас точн.	Уравнения в символьной форме	Баланс допусков
-----------	--------------	---------	-----------------	----------------	-------------	------------------------------	-----------------

1	A8	30.400	0.000	-0.340	0.060	P1=+A8 0.400=>0.340
2	A7	50.000	0.000	-0.100	0.250	P2=+A7 0.350=>0.100
3	A6	75.150	0.000	-0.029	0.120	P3=+A6 0.150=>0.029
4	A4	50.760	0.000	-0.400	-0.001	Z2=-A7+A4 0.499=>0.100+0.400
5	A5	75.780	0.000	-0.400	0.000	Z4=-A6+A5 0.430=>0.029+0.400
6	A3	52.200	0.000	-0.740	0.000	Z3=-A4+A3 1.140=>0.400+0.740
7	A2	53.300	0.400	-0.400	0.000	Z1=-A3+A2 1.540=>0.740+0.800
8	A1	76.180	0.400	-0.400	0.000	Z5=-A4-A5+A1+A3 2.340=>0.400+0.400+0.800+0.740

Конец заказа Калачева KON7 в. 122_120 D1 zz GRA HA 2014

Рассмотрим выполнение *ограничения по Zimax*.

Определим отношение максимального припуска к минимальному для всех значений припусков третьего варианта размерной схемы:

$$Z2_{\max}/Z2_{\min}=0,859/0,360\cong 2,386<3.$$

$$Z3_{\max}/Z3_{\min}=1,840/0,700\cong 2,629<3.$$

$$Z1_{\max}/Z1_{\min}=2,240/0,700=3,200.$$

$$Z4_{\max}/Z4_{\min}=0,660/0,230\cong 2,870<3.$$

$$Z5_{\max}/Z5_{\min}=3,040/0,700\cong 4,343.$$

Значения отношений максимального припуска к минимальному на последних стадиях обработки при использовании третьего варианта размерной схемы не превышают допустимую величину 3.

Таким образом, третий вариант размерной схемы близок к рациональному.

Вариант № 4

Перейдем к четвертому варианту размерной схемы (см. таблицу 4.1) с таким же количеством и расположением припусков, как в третьем варианте, только при схеме базирования, близкой первому варианту (рисунок 4.15).

Построим граф четвертого варианта размерной схемы (рисунок 4.16). Расчет не доходит до конца так же, как и в первом варианте: система выдает сообщение о проблеме (рисунок 4.17), т. е. уравнения не решаются совместно, и точность замыкающих звеньев не достигается. Следовательно, *ограничения (4.1) и по расчетному допуску* не выполняются.

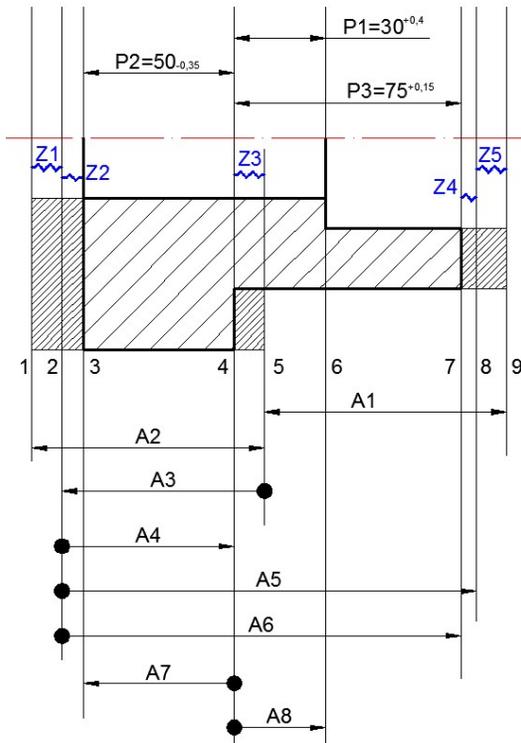


Рисунок 4.15 – Четвертый вариант размерной схемы

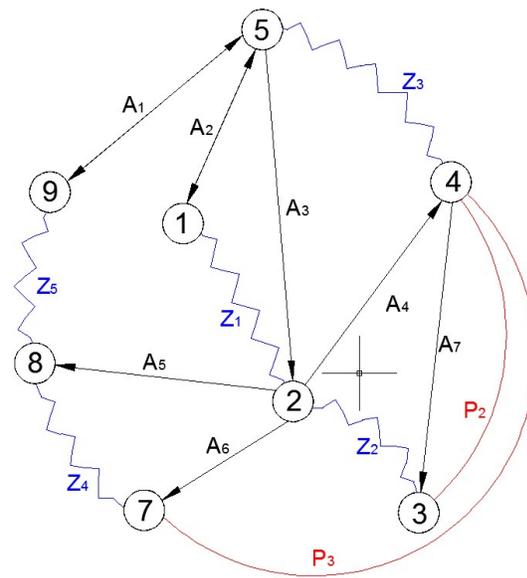


Рисунок 4.16 – Граф четвертого варианта размерной схемы

Расчет, как и в первом варианте, останавливается на уравнении с неизвестным звеном $A6$. Из таблицы 4 (рисунок 4.18) результатов расчета четвертого варианта размерной схемы видно, что баланс допусков не соблюдается. Поскольку допуск на звено $A6$ задан очень узким, то необходимо повысить точность звена $A4$. Но для первоначальной операции нельзя выбирать более точный метод обработки, поэтому введем дополнительную обработку торца (поверхность 4), который получается при выполнении размера $A4$, т. е. предложим пятый вариант размерной схемы (рисунок 4.19).

Вариант № 5

Граф пятого варианта размерной схемы показан на рисунке 4.20.

В этом случае расчет доходит до конца (таблица 4.4) и точность всех замыкающих звеньев достигается. Следовательно, **ограничения (4.1) и по расчетному допуску** выполняются.

Проверим выполнение **ограничения** $\sum TZ_i \rightarrow \min$.

Рассмотрим значения величин колебаний припусков по таблице 4.4 для пятого варианта размерной схемы:

$$TZ2=0,129$$

$$TZ3=0,430$$

$$TZ4=1,140$$

$$TZ5=0,570$$

$$TZ1=1,540$$

$$TZ6=2,070$$

Получаем: $TZ2 < TZ1$, $TZ3 < TZ4$, $TZ5 < TZ6$ – на последних этапах обработки всех торцов колебания припусков уменьшились.

Суммарное колебание припусков на последних стадиях обработки при использовании пятого варианта размерной схемы:

$\Sigma TZ_i = TZ2 + TZ3 + TZ5 = 0,129 + 0,430 + 0,570 = 1,129$, что значительно меньше $\Sigma TZ_i = 3,140$ (второй вариант размерной схемы) и $\Sigma TZ_i = 2,069$ (третий вариант размерной схемы).

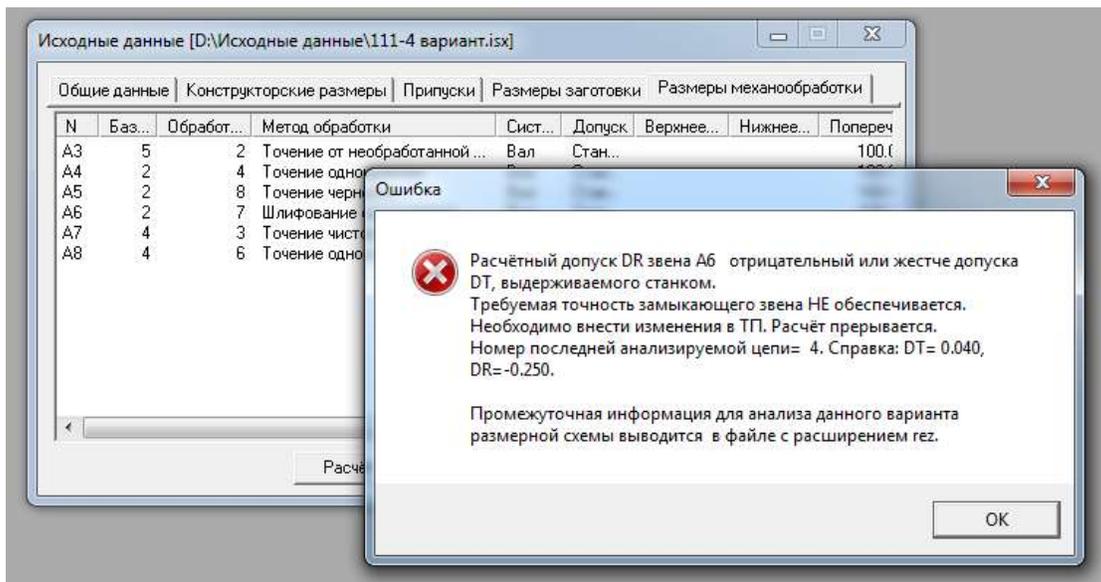


Рисунок 4.17 – Сообщение о проблеме при расчете четвертого варианта размерной схемы

Таблица 4 - Баланс допусков в каждой размерной цепи

№ решения	Неизв. звено	Номинал	Верхнее отклон.	Нижнее отклон.	Запас точн.	Уравнения в символической форме Баланс допусков
1	A8	30.400	0.000	-0.340	0.060	P1=+A8 0.400=>0.340
2	A7	50.000	0.000	-0.100	0.250	P2=+A7 0.350=>0.100
3	A4	50.760	0.000	-0.400	-0.001	Z2=-A7+A4 0.499=>0.100+0.400
4	A6				-0.290	P3=-A4+A6 0.150=>0.400+[0.040]

Рисунок 4.18 – Таблица 4 для четвертого варианта размерной схемы

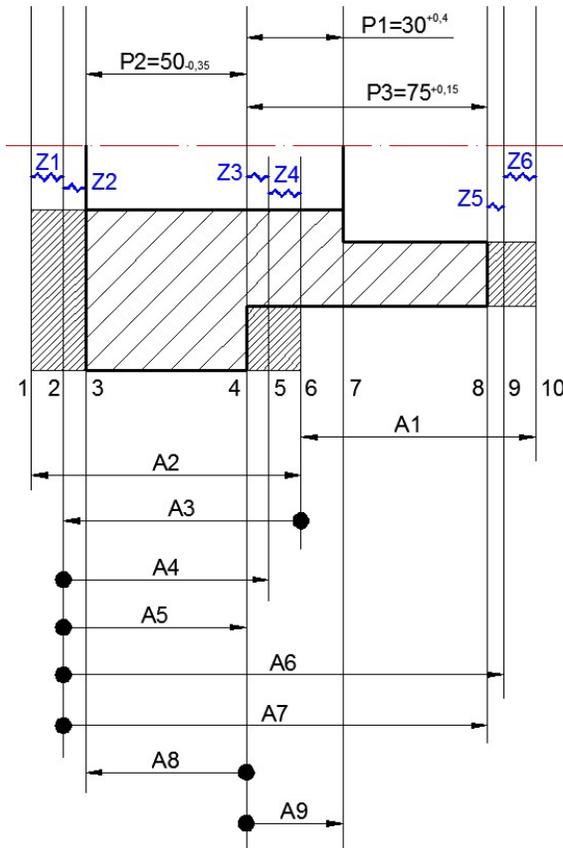


Рисунок 4.19 – Пятый вариант размерной схемы

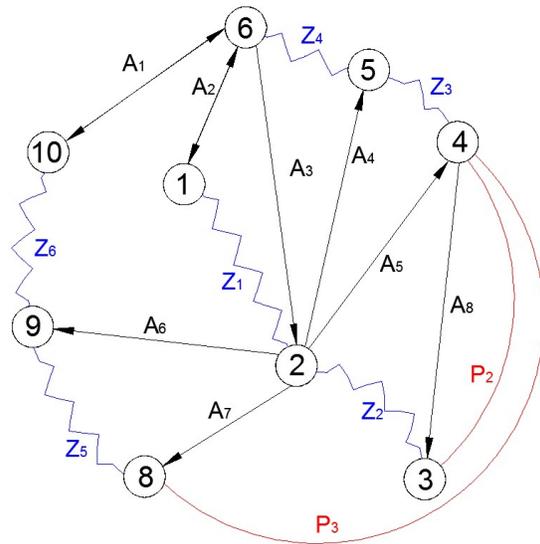


Рисунок 4.20 – Граф пятого варианта размерной схемы

Если сравнить значения величин колебаний припусков на предварительных этапах обработки пятого варианта размерной схемы со значениями, полученными при использовании предыдущих вариантов, то они распределены более равномерно (таблица 4.5).

Рассмотрим выполнение *ограничения по Z_{\max}* .

Определим отношение максимального припуска к минимальному для значений припусков пятого варианта размерной схемы на последних этапах обработки:

$$Z2_{\max}/Z2_{\min}=0,489/0,360\cong 1,358 < 3.$$

$$Z3_{\max}/Z3_{\min}=0,660/0,230\cong 2,870 < 3.$$

$$Z5_{\max}/Z5_{\min}=0,800/0,230\cong 3,478 > 3.$$

Таблица 4.4 – Результаты расчета пятого варианта размерной схемы

Исходные данные и результаты анализа технологических размерных цепей
 Программа KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)
 Текст пользователя Калачева=5
 Таблица 1 - Исходные данные (проверьте правильность ввода!)

Сведения о заготовке:
 Материал..... сталь
 Способ получения..... Литьё в земляные формы
 Класс (степень) точности.. 1
 Габаритный размер по направлению технологических размеров... 125.000

Замыкающие звенья		Составляющие звенья: размеры А		Поп-	Отклонения
Р-черт.размер. Z-припуск		заготовки <-->, затем мех.обработки 0-->		реч-	допуска DT
				ный	пользователя

Зве- но	Границы Р: л-п	Предел.значения	Зве- но	Границы <----->	Метод обработки	Сист допу	раз- мер,	Верх.	Нижнее			
	Z: н-с	max	min	База-->		мер,	мм					
-29.06.2022-11:54:45-												
P1	4	7	30.400	30.000	A1	6	10	Литьё в земляные формы	вал	100	0.000	0.000
P2	3	4	50.000	49.650	A2	1	6	Литьё в земляные формы	вал	100	0.000	0.000
P3	4	8	75.150	75.000	A3	6	2	Точение от необр.пов.	вал	100	0.000	0.000
Z1	1	2	0.000	0.000	A4	2	5	Точение черновое	вал	100	0.000	0.000
Z2	2	3	0.000	0.000	A5	2	4	Шлифование однократное	вал	100	0.000	0.000
Z3	4	5	0.000	0.000	A6	2	9	Точение черновое	вал	100	0.000	0.000
Z4	5	6	0.000	0.000	A7	2	8	Шлифование однократное	вал	100	0.000	0.000
Z5	8	9	0.000	0.000	A8	4	3	Точение чистовое	вал	100	0.000	0.000
Z6	9	10	0.000	0.000	A9	4	7	Точение однократное	вал	100	0.000	0.000

Таблица 2 - Результаты поиска уравнений размерных цепей и последовательности их решения

Номер решения	Неизв. звено	Уравнения в символьной форме
1	A9	P1=+A9
2	A8	P2=+A8
3	A5	Z2=-A8+A5
4	A7	P3=-A5+A7
5	A4	Z3=-A5+A4
6	A3	Z4=-A4+A3
7	A6	Z5=-A7+A6
8	A2	Z1=-A3+A2
9	A1	Z6=-A6+A1+A3

** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей **
 KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014

Решается разм. цепь 1 типа "P" с неизв. звеном A9
 с о с т а в ц е п и :
 увелич. звено A9 : max= 0.000 min= 0.000
 замык. звено - констр. размер P1 : max= 30.400 min= 30.000
 результаты расчёта звена A9 : max= 30.400 min= 30.000
 следовательно, расч. допуск= 0.400
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
 системой= 0.340 : верхн. откл.= 0.340 нижн. откл.= 0.000
 принимаем расчётный размер звена A9 с учётом технолог. допуска:
 номинал= 30.400 max= 30.400 min= 30.060

Решается разм. цепь 2 типа "P" с неизв. звеном A8
 с о с т а в ц е п и :
 увелич. звено A8 : max= 0.000 min= 0.000
 замык. звено - констр. размер P2 : max= 50.000 min= 49.650
 результаты расчёта звена A8 : max= 50.000 min= 49.650
 следовательно, расч. допуск= 0.350
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
 системой= 0.100 : верхн. откл.= 0.100 нижн. откл.= 0.000
 принимаем расчётный размер звена A8 с учётом технолог. допуска:
 номинал= 50.000 max= 50.000 min= 49.901

Решается разм. цепь 3 типа Z2 с неизв. звеном A5
 припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.360
 с о с т а в ц е п и :
 уменьш. звено A8 : max= 50.000 min= 49.901
 увелич. звено A5 : max= 0.000 min= 0.000
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
 системой= 0.030 : верхн. откл.= 0.030 нижн. откл.= 0.000
 расчётный размер звена A5 :
 номинал= 50.390 max= 50.390 min= 50.360

```

припуск по звену А3      Z2      :
допуск=      0.129                      max=      0.489      min=      0.360
===== звено А для расчета припуска - из другой РЦ !!! =====
Решается разм. цепь      4 типа "Р" с неизв. звеном А7
с о с т а в      ц е п и      :
уменьш. звено А5      :                      max=      50.390      min=      50.360
увелич. звено А7      :                      max=      0.000      min=      0.000
замык. звено - констр. размер Р3      :      max=      75.150      min=      75.000
результаты расчёта звена А7      :      max=      125.510      min=      125.390
следовательно, расч. допуск=      0.120
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.040 : верхн. откл.= 0.040      нижн. откл.= 0.000
принимаем расчётный размер звена А7 с учётом технолог. допуска:
номинал= 125.510                      max=      125.510      min=      125.471
Решается разм. цепь      5 типа Z3 с неизв. звеном А4
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.230
с о с т а в      ц е п и      :
уменьш. звено А5      :                      max=      50.390      min=      50.360
увелич. звено А4      :                      max=      0.000      min=      0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.400 : верхн. откл.= 0.400      нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена А4      :
номинал= 51.020                      max=      51.020      min=      50.620
припуск по звену А4      Z3      :
допуск=      0.430                      max=      0.660      min=      0.230
Решается разм. цепь      6 типа Z4 с неизв. звеном А3
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700
с о с т а в      ц е п и      :
уменьш. звено А4      :                      max=      51.020      min=      50.620
увелич. звено А3      :                      max=      0.000      min=      0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.740 : верхн. откл.= 0.740      нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена А3      :
номинал= 52.460                      max=      52.460      min=      51.720
припуск по звену А1      Z4      :
допуск=      1.140                      max=      1.840      min=      0.700
===== звено А для расчета припуска - из другой РЦ !!! =====
Решается разм. цепь      7 типа Z5 с неизв. звеном А6
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.230
с о с т а в      ц е п и      :
уменьш. звено А7      :                      max=      125.510      min=      125.471
увелич. звено А6      :                      max=      0.000      min=      0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.530 : верхн. откл.= 0.530      нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена А6      :
номинал= 126.270                      max=      126.270      min=      125.740
припуск по звену А6      Z5      :
допуск=      0.570                      max=      0.800      min=      0.230
Решается разм. цепь      8 типа Z1 с неизв. звеном А2
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700
с о с т а в      ц е п и      :
уменьш. звено А3      :                      max=      52.460      min=      51.720
увелич. звено А2      :                      max=      0.000      min=      0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.800 : верхн. откл.= 0.400      нижн. откл.= -0.400
расчётный размер звена А2      :
номинал= 53.560                      max=      53.960      min=      53.160
припуск по звену А2      Z1      :
допуск=      1.540                      max=      2.240      min=      0.700
Решается разм. цепь      9 типа Z6 с неизв. звеном А1
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700
с о с т а в      ц е п и      :
уменьш. звено А6      :                      max=      126.270      min=      125.740
увелич. звено А1      :                      max=      0.000      min=      0.000
увелич. звено А3      :                      max=      52.460      min=      51.720
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.800 : верхн. откл.= 0.400      нижн. откл.= -0.400
расчётный размер звена А1      :
номинал= 75.650                      max=      76.050      min=      75.250
припуск по звену А1      Z6      :
допуск=      2.070                      max=      2.770      min=      0.700

```

Таблица 3 - Результаты расчета технологических РЦ
по программе KON7плюс (С) Калачёв О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)

Замыкающие звенья		Составляющие звенья
Р - черт.размер, Z - припуск		А - размеры заготовки и механообработки

Ин- декс звена	Гра- ницы звена	Предел. значения		Ин- декс звена	Гра- ницы звена	Метод обработки	Номинал	Отклонения			
		max	min					Верхнее	Нижнее		
-----29.06.2022-11:54:45-----											
P1	4	7	30.400	30.000	A1	6	10	Литьё в земляные формы	75.650	0.400	-0.400
P2	3	4	50.000	49.650	A2	1	6	Литьё в земляные формы	53.560	0.400	-0.400
P3	4	8	75.150	75.000	A3	6	2	Точение от необр. пов.	52.460	0.000	-0.740
Z1	2	1	2.240	0.700	A4	2	5	Точение черновое	51.020	0.000	-0.400
Z2	3	2	0.489	0.360	A5	2	4	Шлифование однократное	50.390	0.000	-0.030
Z3	4	5	0.660	0.230	A6	2	9	Точение черновое	126.270	0.000	-0.530
Z4	5	6	1.840	0.700	A7	2	8	Шлифование однократное	125.510	0.000	-0.040
Z5	8	9	0.800	0.230	A8	4	3	Точение чистовое	50.000	0.000	-0.100
Z6	9	10	2.770	0.700	A9	4	7	Точение однократное	30.400	0.000	-0.340

Таблица 4 - Баланс допусков в каждой размерной цепи

№ реш	Неизв звено	Номинал	Верхнее Нижнее	Запас точн.	Уравнения в символической форме Баланс допусков
1	A9	30.400	0.000	0.060	P1=+A9 0.400=>0.340
2	A8	50.000	0.000	0.251	P2=+A8 0.350=>0.100
3	A5	50.390	0.000	0.000	Z2=-A8+A5 -0.030 0.129=>0.100+0.030
4	A7	125.510	0.000	0.081	P3=-A5+A7 -0.040 0.150=>0.030+0.040
5	A4	51.020	0.000	0.000	Z3=-A5+A4 -0.400 0.430=>0.030+0.400
6	A3	52.460	0.000	0.000	Z4=-A4+A3 -0.740 1.140=>0.400+0.740
7	A6	126.270	0.000	0.000	Z5=-A7+A6 -0.530 0.570=>0.040+0.530
8	A2	53.560	0.400	0.000	Z1=-A3+A2 -0.400 1.540=>0.740+0.800
9	A1	75.650	0.400	0.000	Z6=-A6+A1+A3 -0.400 2.070=>0.530+0.800+0.740

Конец заказа Калачева=5
KON7плюс в. 122_120 D1 zz GRA HA 2014

Таблица 4.5 – Распределение значений величин колебаний припусков на предварительных этапах обработки при использовании пятого варианта размерной схемы

Второй вариант	Третий вариант	Пятый вариант
TZ2=1,080	TZ3=1,140	TZ4=1,140
TZ1=1,540	TZ1=1,540	TZ1=1,540
TZ4=2,280	TZ5=2,340	TZ6=2,070

На последнем этапе обработки правого торца при снятии припуска Z5 величина отношения максимального припуска к минимальному превысила допустимую. Если поверхность, которая получается при снятии припуска Z5, является ответственной, то корректировку необходимо

проводить. В данном случае (для окончательного этапа обработки) можно назначить более точный метод обработки, например – «шлифование тонкое».

Результаты расчета пятого варианта после такой корректировки представлены ниже в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Результаты расчета пятого варианта размерной схемы после корректировки

Исходные данные и результаты анализа технологических размерных цепей															
Программа KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)															
Текст пользователя							Калачева=5								
Таблица 1 - Исходные данные (проверьте правильность ввода!)															
Сведения о заготовке:															
Материал..... сталь															
Способ получения..... Литьё в земляные формы															
Класс (степень) точности.. 1															
Габаритный размер по направлению технологических размеров... 125.000															
Замыкающие звенья				Составляющие звенья: размеры А				Поп-		Отклонения					
Р-черт.размер. Z-припуск				заготовки <-->, затем мех.обработки О-->				реч-		допуска DT					
Зве-		Границы		Предел. значения		Зве-		Границы		Метод обработки		Сист		раз-	
но P: л-п		-----		но <----->		но <----->		База-->		допу		мер,		-----	
Z: н-с		max min				База-->				ска		мм		Верх.	
-----29.06.2022-17:19:52-----															
P1	4	7	30.400	30.000	A1	6	10	Литьё в земляные формы	вал	100	0.000	0.000			
P2	3	4	50.000	49.650	A2	1	6	Литьё в земляные формы	вал	100	0.000	0.000			
P3	4	8	75.150	75.000	A3	6	2	Точение от необр.пов.	вал	100	0.000	0.000			
Z1	1	2	0.000	0.000	A4	2	5	Точение черновое	вал	100	0.000	0.000			
Z2	2	3	0.000	0.000	A5	2	4	Шлифование однократное	вал	100	0.000	0.000			
Z3	4	5	0.000	0.000	A6	2	9	Точение черновое	вал	100	0.000	0.000			
Z4	5	6	0.000	0.000	A7	2	8	Шлифование тонкое	вал	100	0.000	0.000			
Z5	8	9	0.000	0.000	A8	4	3	Точение чистовое	вал	100	0.000	0.000			
Z6	9	10	0.000	0.000	A9	4	7	Точение однократное	вал	100	0.000	0.000			

Таблица 2 - Результаты поиска уравнений размерных цепей и последовательности их решения															
Номер		Неизв.		Уравнения в символической форме											
решения		звено													
1		A9		P1=+A9											
2		A8		P2=+A8											
3		A5		Z2=-A8+A5											
4		A7		P3=-A5+A7											
5		A4		Z3=-A5+A4											
6		A3		Z4=-A4+A3											
7		A6		Z5=-A7+A6											
8		A2		Z1=-A3+A2											
9		A1		Z6=-A6+A1+A3											

** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей **															
KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014															
Решается разм. цепь 1 типа "Р" с неизв. звеном А9															
с о с т а в ц е п и :															
увелич. звено А9 : max= 0.000 min= 0.000															
замык. звено - констр. размер P1 : max= 30.400 min= 30.000															
результаты расчёта звена А9 : max= 30.400 min= 30.000															
следовательно, расч. допуск= 0.400															
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый															
системой= 0.340 : верхн. откл.= 0.340 нижн. откл.= 0.000															
принимая расчётный размер звена А9 с учётом технолог. допуска:															
номинал= 30.400 max= 30.400 min= 30.060															
Решается разм. цепь 2 типа "Р" с неизв. звеном А8															
с о с т а в ц е п и :															
увелич. звено А8 : max= 0.000 min= 0.000															
замык. звено - констр. размер P2 : max= 50.000 min= 49.650															

результаты расчёта звена А8 : max= 50.000 min= 49.650
следовательно, расч. допуск= 0.350
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.100 : верхн. откл.= 0.100 нижн. откл.= 0.000
принимая расчётный размер звена А8 с учётом технолог. допуска:
номинал= 50.000 max= 50.000 min= 49.901

Решается разм. цепь 3 типа Z2 с неизв. звеном А5
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.360
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено А8 : max= 50.000 min= 49.901
увелич. звено А5 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.030 : верхн. откл.= 0.030 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена А5 :
номинал= 50.390 max= 50.390 min= 50.360
припуск по звену А3 Z2 : max= 0.489 min= 0.360
допуск= 0.129

Решается разм. цепь 4 типа "Р" с неизв. звеном А7
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено А5 : max= 50.390 min= 50.360
увелич. звено А7 : max= 0.000 min= 0.000
замык. звено - констр. размер Р3 : max= 75.150 min= 75.000
результаты расчёта звена А7 : max= 125.510 min= 125.390
следовательно, расч. допуск= 0.120
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.027 : верхн. откл.= 0.027 нижн. откл.= 0.000
принимая расчётный размер звена А7 с учётом технолог. допуска:
номинал= 125.510 max= 125.510 min= 125.484

Решается разм. цепь 5 типа Z3 с неизв. звеном А4
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.230
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено А5 : max= 50.390 min= 50.360
увелич. звено А4 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.400 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена А4 :
номинал= 51.020 max= 51.020 min= 50.620
припуск по звену А4 Z3 : max= 0.660 min= 0.230
допуск= 0.430

Решается разм. цепь 6 типа Z4 с неизв. звеном А3
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено А4 : max= 51.020 min= 50.620
увелич. звено А3 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.740 : верхн. откл.= 0.740 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена А3 :
номинал= 52.460 max= 52.460 min= 51.720
припуск по звену А1 Z4 : max= 1.840 min= 0.700
допуск= 1.140

Решается разм. цепь 7 типа Z5 с неизв. звеном А6
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.230
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено А7 : max= 125.510 min= 125.484
увелич. звено А6 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.530 : верхн. откл.= 0.530 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена А6 :
номинал= 126.270 max= 126.270 min= 125.740
припуск по звену А6 Z5 : max= 0.787 min= 0.230
допуск= 0.557

Решается разм. цепь 8 типа Z1 с неизв. звеном А2
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено А3 : max= 52.460 min= 51.720
увелич. звено А2 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.800 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= -0.400
расчётный размер звена А2 :
номинал= 53.560 max= 53.960 min= 53.160
припуск по звену А2 Z1 : max= 2.240 min= 0.700
допуск= 1.540

Решается разм. цепь 9 типа Z6 с неизв. звеном А1
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено А6 : max= 126.270 min= 125.740
увелич. звено А1 : max= 0.000 min= 0.000
увелич. звено А3 : max= 52.460 min= 51.720
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.800 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= -0.400

расчётный размер звена A1 :
 номинал= 75.650 max= 76.050 min= 75.250
 припуск по звену A1 Z6 :
 допуск= 2.070 max= 2.770 min= 0.700

Таблица 3 - Результаты расчета технологических РЦ по программе KON7плюс (С) Калачёв О.Н., 2014 (в.122 120 D1 zz GRA HA)

Замыкающие звенья					Составляющие звенья				
Р - черт.размер, Z - припуск					А - размеры заготовки и механообработки				
-----kop7плюс-122-120 D1 zz GRA HA-----									
Ин-декс звена	Гра-ницы звена	Предел.значения		Ин-декс звена	Гра-ницы звена	Метод обработки	Номинал	Отклонения	
		max	min					Верхнее	Нижнее
-----29.06.2022-17:19:52-----									
P1	4 7	30.400	30.000	A1	6 10	Литьё в земляные формы	75.650	0.400	-0.400
P2	3 4	50.000	49.650	A2	1 6	Литьё в земляные формы	53.560	0.400	-0.400
P3	4 8	75.150	75.000	A3	6 2	Точение от необр.пов.	52.460	0.000	-0.740
Z1	2 1	2.240	0.700	A4	2 5	Точение черновое	51.020	0.000	-0.400
Z2	3 2	0.489	0.360	A5	2 4	Шлифование однократное	50.390	0.000	-0.030
Z3	4 5	0.660	0.230	A6	2 9	Точение черновое	126.270	0.000	-0.530
Z4	5 6	1.840	0.700	A7	2 8	Шлифование тонкое	125.510	0.000	-0.026
Z5	8 9	0.787	0.230	A8	4 3	Точение чистовое	50.000	0.000	-0.100
Z6	9 10	2.770	0.700	A9	4 7	Точение однократное	30.400	0.000	-0.340

Таблица 4 - Баланс допусков в каждой размерной цепи

№ реш	Неизв звено	Номинал	Верхнее Нижнее	Запас точн.	Уравнения в символической форме Баланс допусков
1	A9	30.400	0.000 -0.340	0.060	P1=+A9 0.400=>0.340
2	A8	50.000	0.000 -0.100	0.251	P2=+A8 0.350=>0.100
3	A5	50.390	0.000 -0.030	0.000	Z2=-A8+A5 0.129=>0.100+0.030
4	A7	125.510	0.000 -0.026	0.094	P3=-A5+A7 0.150=>0.030+0.026
5	A4	51.020	0.000 -0.400	0.000	Z3=-A5+A4 0.430=>0.030+0.400
6	A3	52.460	0.000 -0.740	0.000	Z4=-A4+A3 1.140=>0.400+0.740
7	A6	126.270	0.000 -0.530	0.000	Z5=-A7+A6 0.557=>0.026+0.530
8	A2	53.560	0.400 -0.400	0.000	Z1=-A3+A2 1.540=>0.740+0.800
9	A1	75.650	0.400 -0.400	0.000	Z6=-A6+A1+A3 2.070=>0.530+0.800+0.740

Конец заказа Калачева=5
 KON7плюс в. 122 120 D1 zz GRA HA 2014

Таким образом, если применять первоначальную схему базирования по первому варианту, то необходимо проводить черновую и чистовую обработку всех торцов, что обычно, руководствуясь производственным опытом, и делается в заводских условиях. Технолог пытается достичь требуемой точности размеров, проводя многократную обработку поверхностей заготовки. С помощью программы KON7 можно научно обоснованно подобрать вариант обработки на этапе проектирования ТП, близкий к оптимальному.

Вариант № 6

Рассмотрим чистовую и черновую обработку всех торцов при схеме базирования, как во втором и третьем варианте размерной схемы, т.е. построим шестой вариант размерной схемы (рисунок 4.21).

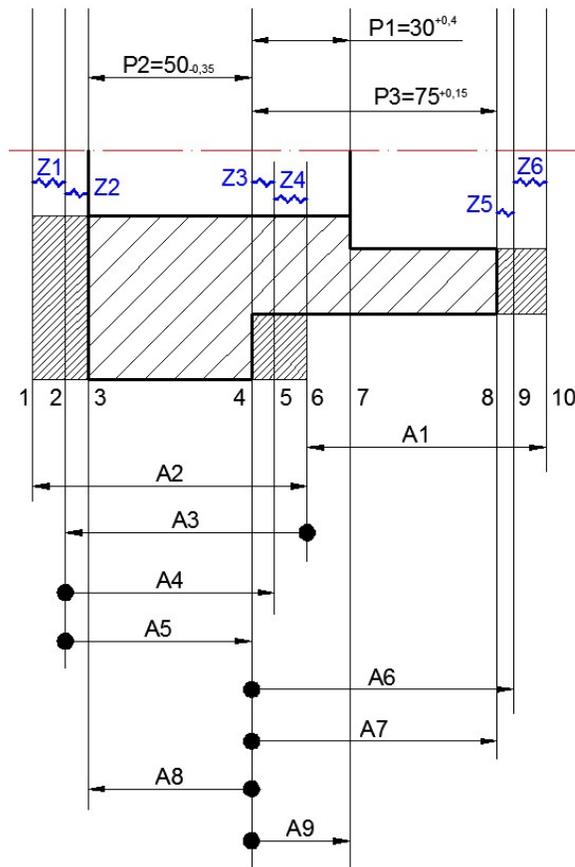


Рисунок 4.21 – Шестой вариант размерной схемы

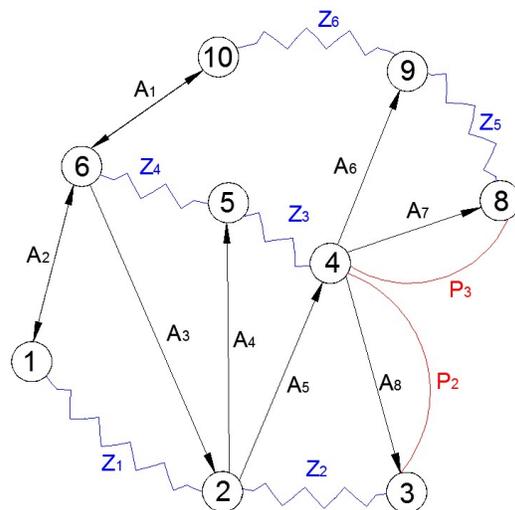


Рисунок 4.22 – Граф шестого варианта размерной схемы

Построим граф шестого варианта размерной схемы (рисунок 4.22) и рассчитаем этот вариант по программе KON7. В этом случае расчет доходит до конца (таблица 4.7) и точность всех замыкающих звеньев достигается. Следовательно, *ограничения (4.1) и по расчетному допуску* выполняются.

Таблица 4.7 – Результаты расчета шестого варианта размерной схемы

Исходные данные и результаты анализа технологических размерных цепей													
Исходные данные и результаты анализа технологических размерных цепей													
Программа KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)													
Текст пользователя Калачева=6													
Таблица 1 - Исходные данные (проверьте правильность ввода!)													
Сведения о заготовке:													
Материал..... сталь													
Способ получения..... Литьё в земляные формы													
Класс (степень) точности.. 1													
Габаритный размер по направлению технологических размеров... 125.000													
Замыкающие звенья				Составляющие звенья: размеры А						Поп-		Отклонения	
Р-черт.размер. Z-припуск				заготовки <-->, затем мех.обработки О-->						реч-		допуска DT	
										ный		пользователя	
Зве-	Границы	Предел. значения	Зве-	Границы	Метод обработки				Сист	раз-			
но	Р: л-п	но	но	<-->					допу	мер,			
	Z: н-с	max	min	База-->					ска	мм	Верх.	Нижне	
--29.06.2022-17:17:44--													
P1	4	7	30.400	30.000	A1	6	10	Литьё в земляные формы	вал	100	0.000	0.000	
P2	3	4	50.000	49.650	A2	1	6	Литьё в земляные формы	вал	100	0.000	0.000	
P3	4	8	75.150	75.000	A3	6	2	Точение от необр.пов.	вал	100	0.000	0.000	
Z1	1	2	0.000	0.000	A4	2	5	Точение черновое	вал	100	0.000	0.000	
Z2	2	3	0.000	0.000	A5	2	4	Шлифование однократное	вал	100	0.000	0.000	
Z3	4	5	0.000	0.000	A6	4	9	Точение черновое	вал	100	0.000	0.000	
Z4	5	6	0.000	0.000	A7	4	8	Шлифование тонкое	вал	100	0.000	0.000	
Z5	8	9	0.000	0.000	A8	4	3	Точение чистовое	вал	100	0.000	0.000	
Z6	9	10	0.000	0.000	A9	4	7	Точение однократное	вал	100	0.000	0.000	
Таблица 2 - Результаты поиска уравнений размерных цепей и последовательности их решения													
Номер	Неизв.	Уравнения в символьной форме											
решения	звено												
1	A9	P1=+A9											
2	A8	P2=+A8											
3	A7	P3=+A7											
4	A5	Z2=-A8+A5											
5	A6	Z5=-A7+A6											
6	A4	Z3=-A5+A4											
7	A3	Z4=-A4+A3											
8	A2	Z1=-A3+A2											
9	A1	Z6=-A5-A6+A1+A3											
** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей **													
KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014													
Решается разм. цепь 1 типа "P" с неизв. звеном A9													
с о с т а в ц е п и :													
увелич. звено A9 : max= 0.000 min= 0.000													
замык. звено - констр. размер P1 : max= 30.400 min= 30.000													
результаты расчёта звена A9 : max= 30.400 min= 30.000													
следовательно, расч. допуск= 0.400													
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый													
системой= 0.340 : верхн. откл.= 0.340 нижн. откл.= 0.000													
принимая расчётный размер звена A9 с учётом технолог. допуска:													
номинал= 30.400 max= 30.400 min= 30.060													
Решается разм. цепь 2 типа "P" с неизв. звеном A8													
с о с т а в ц е п и :													
увелич. звено A8 : max= 0.000 min= 0.000													
замык. звено - констр. размер P2 : max= 50.000 min= 49.650													
результаты расчёта звена A8 : max= 50.000 min= 49.650													
следовательно, расч. допуск= 0.350													
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый													
системой= 0.100 : верхн. откл.= 0.100 нижн. откл.= 0.000													
принимая расчётный размер звена A8 с учётом технолог. допуска:													
номинал= 50.000 max= 50.000 min= 49.901													
Решается разм. цепь 3 типа "P" с неизв. звеном A7													
с о с т а в ц е п и :													
увелич. звено A7 : max= 0.000 min= 0.000													
замык. звено - констр. размер P3 : max= 75.150 min= 75.000													
результаты расчёта звена A7 : max= 75.150 min= 75.000													
следовательно, расч. допуск= 0.150													
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый													
системой= 0.020 : верхн. откл.= 0.020 нижн. откл.= 0.000													
принимая расчётный размер звена A7 с учётом технолог. допуска:													
номинал= 75.150 max= 75.150 min= 75.131													
Решается разм. цепь 4 типа Z2 с неизв. звеном A5													
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.360													
с о с т а в ц е п и :													
уменьш. звено A8 : max= 50.000 min= 49.901													
увелич. звено A5 : max= 0.000 min= 0.000													
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый													

системой= 0.030 : верхн. откл.= 0.030 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A5 :
номинал= 50.390 max= 50.390 min= 50.360
припуск по звену A3 Z2 :
допуск= 0.129 max= 0.489 min= 0.360
===== звено A для расчета припуска - из другой РЦ !!! =====
Решается разм. цель 5 типа Z5 с неизв. звеном A6
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.230
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A7 : max= 75.150 min= 75.131
увелич. звено A6 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.400 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A6 :
номинал= 75.780 max= 75.780 min= 75.380
припуск по звену A6 Z5 :
допуск= 0.420 max= 0.650 min= 0.230
Решается разм. цель 6 типа Z3 с неизв. звеном A4
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.230
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A5 : max= 50.390 min= 50.360
увелич. звено A4 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.400 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A4 :
номинал= 51.020 max= 51.020 min= 50.620
припуск по звену A4 Z3 :
допуск= 0.430 max= 0.660 min= 0.230
Решается разм. цель 7 типа Z4 с неизв. звеном A3
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A4 : max= 51.020 min= 50.620
увелич. звено A3 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.740 : верхн. откл.= 0.740 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A3 :
номинал= 52.460 max= 52.460 min= 51.720
припуск по звену A1 Z4 :
допуск= 1.140 max= 1.840 min= 0.700
===== звено A для расчета припуска - из другой РЦ !!! =====
Решается разм. цель 8 типа Z1 с неизв. звеном A2
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A3 : max= 52.460 min= 51.720
увелич. звено A2 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.800 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= -0.400
расчётный размер звена A2 :
номинал= 53.560 max= 53.960 min= 53.160
припуск по звену A2 Z1 :
допуск= 1.540 max= 2.240 min= 0.700
Решается разм. цель 9 типа Z6 с неизв. звеном A1
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A5 : max= 50.390 min= 50.360
уменьш. звено A6 : max= 75.780 min= 75.380
увелич. звено A1 : max= 0.000 min= 0.000
увелич. звено A3 : max= 52.460 min= 51.720
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.800 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= -0.400
расчётный размер звена A1 :
номинал= 75.550 max= 75.950 min= 75.150
припуск по звену A1 Z6 :
допуск= 1.970 max= 2.670 min= 0.700

Таблица 3 - Результаты расчета технологических РЦ по программе KON7плюс (С) Калачёв О.Н., 2014 (в.122 120 D1 zz GRA HA)

Замыкающие звенья				Составляющие звенья						
Р - черт.размер, Z - припуск				А - размеры заготовки и механообработки						
Ин-декс звена	Гра-ницы звена	Предел.значения		Ин-декс звена	Гра-ницы звена	Метод обработки	Номинал	Отклонения		
		max	min					Верхнее	Нижнее	
-----29.06.2022-17:17:44-----										
P1	4 7	30.400	30.000	A1	6 10	Литьё в земляные формы	75.550	0.400	-0.400	
P2	3 4	50.000	49.650	A2	1 6	Литьё в земляные формы	53.560	0.400	-0.400	
P3	4 8	75.150	75.000	A3	6 2	Точение от необр.пов.	52.460	0.000	-0.740	
Z1	2 1	2.240	0.700	A4	2 5	Точение черновое	51.020	0.000	-0.400	
Z2	3 2	0.489	0.360	A5	2 4	Шлифование однократное	50.390	0.000	-0.030	
Z3	4 5	0.660	0.230	A6	4 9	Точение черновое	75.780	0.000	-0.400	
Z4	5 6	1.840	0.700	A7	4 8	Шлифование тонкое	75.150	0.000	-0.020	
Z5	8 9	0.650	0.230	A8	4 3	Точение чистовое	50.000	0.000	-0.100	
Z6	9 10	2.670	0.700	A9	4 7	Точение однократное	30.400	0.000	-0.340	

Таблица 4 - Баланс допусков в каждой размерной цепи

№ реш	Неизв звено	Номинал	Верхнее Нижнее	Запас точн.	Уравнения в символьной форме Баланс допусков
1	A9	30.400	0.000 -0.340	0.060	P1=+A9 0.400=>0.340
2	A8	50.000	0.000 -0.100	0.251	P2=+A8 0.350=>0.100
3	A7	75.150	0.000 -0.020	0.131	P3=+A7 0.150=>0.020
4	A5	50.390	0.000 -0.030	0.000	Z2=-A8+A5 0.129=>0.100+0.030
5	A6	75.780	0.000 -0.400	0.000	Z5=-A7+A6 0.420=>0.020+0.400
6	A4	51.020	0.000 -0.400	0.000	Z3=-A5+A4 0.430=>0.030+0.400
7	A3	52.460	0.000 -0.740	0.000	Z4=-A4+A3 1.140=>0.400+0.740
8	A2	53.560	0.400 -0.400	0.000	Z1=-A3+A2 1.540=>0.740+0.800
9	A1	75.550	0.400 -0.400	0.000	Z6=-A5-A6+A1+A3 1.970=>0.030+0.400+0.800+0.740
Конец заказа Калачева=6 KON7плюс в. 122_120 D1 zz GRA HA 2014					

Проверим выполнение *ограничения* $\sum TZ_i \rightarrow \min$.

Рассмотрим значения величин колебаний припусков по таблице 4.7 для шестого варианта размерной схемы:

$$TZ2=0,129$$

$$TZ5=0,420$$

$$TZ3=0,430$$

$$TZ4=1,140$$

$$TZ1=1,540$$

$$TZ6=1,970$$

Получаем, что $TZ2 < TZ1$, $TZ3 < TZ4$, $TZ5 < TZ6$, т.е. на последних этапах обработки всех торцов колебания припусков уменьшились.

Суммарное колебание припусков на последних стадиях обработки при использовании шестого варианта размерной схемы:

$\sum TZ_i = TZ2 + TZ3 + TZ5 = 0,129 + 0,430 + 0,420 = 0,979$, данная величина значительно меньше $\sum TZ_i = 3,140$ (второй вариант размерной схемы) и $\sum TZ_i = 2,069$ (третий вариант размерной схемы), а также меньше $\sum TZ_i = 1,129$ (пятый вариант размерной схемы).

Если сравнить значения величин колебаний припусков на предварительных этапах обработки шестого варианта размерной схемы со значениями, полученными при использовании предыдущих вариантов, становится очевидно, что они распределены более равномерно (таблица 4.8).

Таблица 4.8 – Распределение значений величин колебаний припусков на предварительных этапах обработки при использовании шестого варианта размерной схемы

Второй вариант	Третий вариант	Пятый вариант	Шестой вариант
TZ2=1,080	TZ3=1,140	TZ4=1,140	TZ4=1,140
TZ1=1,540	TZ1=1,540	TZ1=1,540	TZ1=1,540
TZ4=2,280	TZ5=2,340	TZ6=2,000	TZ6=1,770

Рассмотрим выполнение *ограничения по Z_{imax}*.

Определим отношение максимального припуска к минимальному для значений припусков шестого варианта размерной схемы на последних этапах обработки:

$$Z2_{\max}/Z2_{\min}=0,489/0,360\cong 1,358 < 3.$$

$$Z3_{\max}/Z3_{\min}=0,660/0,230\cong 2,870 < 3.$$

$$Z5_{\max}/Z5_{\min}=0,650/0,230\cong 2,830 < 3.$$

Видим, что значения отношений максимального припуска к минимальному на последних стадиях обработки при использовании шестого варианта размерной схемы не превышают заданную нами величину 3.

Выводы

В ходе численного эксперимента при сравнении всех вариантов размерных схем при обработке детали «тело вращения» шестой вариант является наиболее рациональным, т.к имеет наименьшее суммарное колебание припусков на заключительных этапах формирования поверхностей при выполнении ограничения по балансу допусков, расчетному допуску и по величине отношения максимального припуска к минимальному.

Таким образом, нами предлагается дополнить традиционную структурную графовую модель целевой функцией суммарного колебания припусков на заключительных этапах обработки каждой поверхности детали. Факторами, определяющими целевую функцию, являются: схема базирования, точность размерных звеньев, принятые методы обработки. Естественным критерием оптимальности при анализе вариантов размерных структур ТП является минимальное суммарное колебание припусков $\min \sum TZ_i$ на заключительных этапах обработки каждой поверхности детали.

5 ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ЗАПАСА ТОЧНОСТИ НА ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ РАЗМЕРНОЙ СТРУКТУРЫ

Рассмотрим выбор размерной структуры с наименьшим технологическим запасом точности. Как было отмечено ранее, при совместном решении всех уравнений размерных цепей должен соблюдаться баланс допусков, т.е. должно выполняться неравенство $TR \geq \sum TA$.

Выбирая тот или иной метод обработки для получения технологических размеров, тем самым определяем его допуск при решении системы уравнений размерных цепей методом подстановки, учитывая участие составляющих звеньев в разных уравнениях. Для завершения расчета всех уравнений и соблюдения баланса допусков мы вынуждены задавать точность технологических размеров выше требуемой точности конструкторских размеров. При этом образуется запас точности, т.е. часть допуска, которая не участвует в достижении точности конструкторского размера.

Если $P_i = A_i$, то допуск TA_i не всегда равен допуску TR_i (рисунок 5.1), т.к. звено A_i может входить в уравнение другой размерной цепи, и его допуск будет определяться из баланса ее точности.

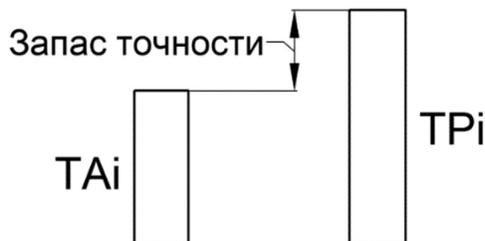


Рисунок 5.1 – Запас точности

Запас точности [28-30] определяется как разность между величиной допуска конструкторского размера по чертежу и суммой допусков составляющих (операционных) звеньев, входящих в рассматриваемую цепь. Например, в таблице 5.1 результатов расчета варианта для размерной схемы на основе шестого варианта (см. рисунок 4.21) видим, что запас точности для конструкторского размера P_3 равен разности между допуском на этот размер и допуском на размер составляющего звена A_7 :

$$З.Т. = TR_3 - TA_7 = 0,350 - 0,017 = 0,333$$

Таблица 5.1 – Результаты расчета для схемы на рисунке 4.21

Исходные данные и результаты анализа технологических размерных цепей													
Программа KON7 (C) Калачев О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)													
Текст пользователя				Калачева									
Таблица 1 - Исходные данные (проверьте правильность ввода!)													
Сведения о заготовке:													
Материал..... сталь													
Способ получения..... Литьё в земляные формы													
Класс (степень) точности.. 1													
Габаритный размер по направлению технологических размеров... 125.000													

Замыкающие звенья				Составляющие звенья: размеры А						Поп-		Отклонения	
Р-черт.размер. Z-припуск				заготовки <-->, затем мех.обработки О-->						реч-		допуска DT	

Зве-	Границы	Предел. значения	Зве-	Границы	Метод обработки				Сист	раз-	пользователя		
но	Р: л-п	-----	но	<----->					допу	мер,	-----		
	Z: н-с	max	min	База-->					ска	мм	Верх.	Нижнее	

-01.05.2014-16:53:00-----													
P1	4	7	30.400	30.000	A1	6	10	Литьё в земляные формы	вал	100	0.000	0.000	
P2	3	4	50.000	49.650	A2	1	6	Литьё в земляные формы	вал	100	0.000	0.000	
P3	4	8	50.000	49.650	A3	6	2	Точение от необр.пов.	вал	100	0.000	0.000	
Z1	1	2	0.000	0.000	A4	2	5	Точение черновое	вал	100	0.000	0.000	
Z2	2	3	0.000	0.000	A5	2	4	Шлифование однократное	вал	100	0.000	0.000	
Z3	4	5	0.000	0.000	A6	4	9	Точение черновое	вал	100	0.000	0.000	
Z4	5	6	0.000	0.000	A7	4	8	Шлифование тонкое	вал	100	0.000	0.000	
Z5	8	9	0.000	0.000	A8	4	3	Точение чистовое	вал	100	0.000	0.000	
Z6	9	10	0.000	0.000	A9	4	7	Точение однократное	вал	100	0.000	0.000	

Таблица 2 - Результаты поиска уравнений размерных цепей и последовательности их решения													

Номер	Неизв.	Уравнения в символьной форме											
решения	звено												

1	A9	P1=+A9											
2	A8	P2=+A8											
3	A7	P3=+A7											
4	A5	Z2=-A8+A5											
5	A6	Z5=-A7+A6											
6	A4	Z3=-A5+A4											
7	A3	Z4=-A4+A3											
8	A2	Z1=-A3+A2											
9	A1	Z6=-A5-A6+A1+A3											

** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей **													
KON7 (C) Калачев О.Н., 2014													
Решается разм. цепь 1 типа "P" с неизв. звеном A9													
с о с т а в ц е п и :													
увелич. звено A9 : max= 0.000 min= 0.000													
замык. звено - констр. размер P1 : max= 30.400 min= 30.000													
результаты расчёта звена A9 : max= 30.400 min= 30.000													
следовательно, расч. допуск= 0.400													
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый													
системой= 0.340 : верхн. откл.= 0.340 нижн. откл.= 0.000													
принимаем расчётный размер звена A9 с учётом технолог. допуска:													
номинал= 30.400 max= 30.400 min= 30.060													
Решается разм. цепь 2 типа "P" с неизв. звеном A8													
с о с т а в ц е п и :													
увелич. звено A8 : max= 0.000 min= 0.000													
замык. звено - констр. размер P2 : max= 50.000 min= 49.650													
результаты расчёта звена A8 : max= 50.000 min= 49.650													
следовательно, расч. допуск= 0.350													
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый													
системой= 0.100 : верхн. откл.= 0.100 нижн. откл.= 0.000													
принимаем расчётный размер звена A8 с учётом технолог. допуска:													
номинал= 50.000 max= 50.000 min= 49.901													
Решается разм. цепь 3 типа "P" с неизв. звеном A7													
с о с т а в ц е п и :													
увелич. звено A7 : max= 0.000 min= 0.000													
замык. звено - констр. размер P3 : max= 50.000 min= 49.650													

результаты расчёта звена A7 : max= 50.000 min= 49.650
следовательно, расч. допуск= 0.350
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.017 : верхн. откл.= 0.017 нижн. откл.= 0.000
принимаем расчётный размер звена A7 с учётом технолог. допуска:
номинал= 50.000 max= 50.000 min= 49.983

Решается разм. цепь 4 типа "Z" с неизв. звеном A5
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.360
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A8 : max= 50.000 min= 49.901
увелич. звено A5 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.030 : верхн. откл.= 0.030 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A5 :
номинал= 50.390 max= 50.390 min= 50.360

Решается разм. цепь 5 типа "Z" с неизв. звеном A6
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.230
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A7 : max= 50.000 min= 49.983
увелич. звено A6 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.400 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A6 :
номинал= 50.630 max= 50.630 min= 50.230

Решается разм. цепь 6 типа "Z" с неизв. звеном A4
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.230
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A5 : max= 50.390 min= 50.360
увелич. звено A4 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.400 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A4 :
номинал= 51.020 max= 51.020 min= 50.620

Решается разм. цепь 7 типа "Z" с неизв. звеном A3
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A4 : max= 51.020 min= 50.620
увелич. звено A3 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.740 : верхн. откл.= 0.740 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A3 :
номинал= 52.460 max= 52.460 min= 51.720

Решается разм. цепь 8 типа "Z" с неизв. звеном A2
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A3 : max= 52.460 min= 51.720
увелич. звено A2 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.800 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= -0.400
расчётный размер звена A2 :
номинал= 53.560 max= 53.960 min= 53.160

Решается разм. цепь 9 типа "Z" с неизв. звеном A1
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A5 : max= 50.390 min= 50.360
уменьш. звено A6 : max= 50.630 min= 50.230
увелич. звено A1 : max= 0.000 min= 0.000
увелич. звено A3 : max= 52.460 min= 51.720
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.600 : верхн. откл.= 0.300 нижн. откл.= -0.300
расчётный размер звена A1 :
номинал= 50.300 max= 50.600 min= 50.000

Таблица 3 - Результаты расчета технологических РЦ по программе KON7 (С) Калачёв О.Н., 2014

Замыкающие звенья				Составляющие звенья						
Р - черт.размер, Z - припуск				А - размеры заготовки и механообработки						
Ин-декс звена	Гра-ницы звена	Предел.значения	Ин-декс звена	Гра-ницы звена	Метод обработки	Номинал	Отклонения			
		max min					Верхнее	Нижнее		
-----kop7-116-120 D1 zz GRA-NA-----										
P1	4 7	30.400 30.000	A1	6 10	Литьё в земляные формы	50.300	0.300	-0.300		
P2	3 4	50.000 49.650	A2	1 6	Литьё в земляные формы	53.560	0.400	-0.400		
P3	4 8	50.000 49.650	A3	6 2	Точение от необр.пов.	52.460	0.000	-0.740		
Z1	2 1	2.240 0.700	A4	2 5	Точение черновое	51.020	0.000	-0.400		
Z2	3 2	0.489 0.360	A5	2 4	Шлифование однократное	50.390	0.000	-0.030		

Z3	4	5	0.660	0.230	A6	4	9	Точение черновое	50.630	0.000	-0.400
Z4	5	6	1.840	0.700	A7	4	8	Шлифование тонкое	50.000	0.000	-0.017
Z5	8	9	0.646	0.230	A8	4	3	Точение чистовое	50.000	0.000	-0.100
Z6	9	10	2.470	0.700	A9	4	7	Точение однократное	30.400	0.000	-0.340

Таблица 4 - Баланс допусков в каждой размерной цепи											
№ решения	Неизв. звено	Номинал	Верхнее отклон.	Нижнее отклон.	Запас точн.	Уравнения в символической форме Баланс допусков					
1	A9	30.400	0.000	-0.340	0.060	P1=+A9 0.400=>0.340					
2	A8	50.000	0.000	-0.100	0.250	P2=+A8 0.350=>0.100					
3	A7	50.000	0.000	-0.017	0.333	P3=+A7 0.350=>0.017					
4	A5	50.390	0.000	-0.030	-0.001	Z2=-A8+A5 0.129=>0.100+0.030					
5	A6	50.630	0.000	-0.400	-0.001	Z5=-A7+A6 0.416=>0.017+0.400					
6	A4	51.020	0.000	-0.400	0.000	Z3=-A5+A4 0.430=>0.030+0.400					
7	A3	52.460	0.000	-0.740	0.000	Z4=-A4+A3 1.140=>0.400+0.740					
8	A2	53.560	0.400	-0.400	0.000	Z1=-A3+A2 1.540=>0.740+0.800					
9	A1	50.300	0.300	-0.300	0.000	Z6=-A5-A6+A1+A3 1.770=>0.030+0.400+0.600+0.740					

Конец заказа Калачева KON7 в. 122 120 D1 zz GRA HA 2014											

Величина данного запаса точности достаточно велика, она практически сравнима с допуском на конструкторский размер. Т.е. приходится назначать очень узкий допуск на технологический размер А7, выбирать более точный метод его получения, что увеличивает стоимость обработки.

Для того чтобы выбрать более грубый (дешевый) метод обработки, необходимо максимально приблизить неравенство значений допусков на конструкторский размер P3 и на составляющее звено А7 к равенству, тем самым уменьшить запас точности; при этом нельзя допустить нарушение баланса в других уравнениях. Таким образом, можно сформулировать еще один критерий оптимальности размерной структуры: значение величины запаса точности стремится к нулю:

$$З.Т. \rightarrow 0. \quad (5.1)$$

Другими словами, сумма допусков составляющих (операционных) звеньев должна быть приблизительно равна величине допуска на конструкторский размер по чертежу:

$$T P_i \cong \sum T A_i. \quad (5.2)$$

В нашем случае, чтобы уменьшить запас точности $З.Т. = 0,333$, необходимо увеличить допуск на размер А7.

Для этого воспользуемся возможностью назначения «пользовательского» допуска в программе KON7. Во вкладке «Размеры меха-

нообработки» исходных данных шестого варианта выделим размер A7, правой кнопкой мыши вызовем падающее меню и выберем «Изменить», затем вместо стандартного допуска назначим пользовательский, значение нижнего отклонения допуска на звено A7 запишем больше рассчитанного системой значения $-0,017$, увеличим его на величину $0,02$ (рисунок 5.2) и проследим, как изменяется величина запаса точности. Рассчитаем измененный вариант исходных данных (рисунок 5.3).

Рисунок 5.2 – Назначение пользовательского допуска для размера A7

N	Базо...	Обраб...	Метод обработки	Сист...	Допуск	Верхн...	Нижне...	Пс
A3	6	2	Точение от необработанный	Вал	Стандартный			
A4	2	5	Точение черновое	Вал	Стандартный			
A5	2	4	Шлифование однократное	Вал	Стандартный			
A6	4	9	Точение черновое	Вал	Стандартный			
A7	4	8	Шлифование тонкое	Вал	Пользовательский	0.000	-0.037	
A8	4	3	Точение чистовое	Вал	Стандартный			
A9	4	7	Точение однократное	Вал	Стандартный			

Рисунок 5.3 – Измененные исходные данные

Результаты расчета представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Результаты расчета после введения пользовательского допуска на звено А7

Исходные данные и результаты анализа технологических размерных цепей												
Программа KON7 (С) Калачев О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)												
Текст пользователя			Калачева									
Таблица 1 - Исходные данные (проверьте правильность ввода!)												
Сведения о заготовке:												
Материал..... сталь												
Способ получения..... Литьё в земляные формы												
Класс (степень) точности.. 1												
Габаритный размер по направлению технологических размеров... 125.000												

Замыкающие звенья			Составляющие звенья: размеры А						Поп-		Отклонения	
Р-черт.размер. Z-припуск			заготовки <-->, затем мех.обработки 0-->						реч-		допуска DT	

Зве-	Границы	Предел.значения	Зве-	Границы	Метод обработки			Сист	раз-	пользователя		
но P:	л-п	-----	но <----->				допу	мер,	-----			
Z:	н-с	max min	База-->				ска мм	Верх.	Нижнее			

-02.05.2014-23:19:32-												
P1	4	7 30.400	30.000	A1	6	10	Литьё в земляные формы	вал	100	0.000	0.000	
P2	3	4 50.000	49.650	A2	1	6	Литьё в земляные формы	вал	100	0.000	0.000	
P3	4	8 50.000	49.650	A3	6	2	Точение от необр.пов.	вал	100	0.000	0.000	
Z1	1	2 0.000	0.000	A4	2	5	Точение черновое	вал	100	0.000	0.000	
Z2	2	3 0.000	0.000	A5	2	4	Шлифование однократное	вал	100	0.000	0.000	
Z3	4	5 0.000	0.000	A6	4	9	Точение черновое	вал	100	0.000	0.000	
Z4	5	6 0.000	0.000	A7	4	8	Шлифование тонкое	вал	100	0.000	-0.037	
Z5	8	9 0.000	0.000	A8	4	3	Точение чистовое	вал	100	0.000	0.000	
Z6	9	10 0.000	0.000	A9	4	7	Точение однократное	вал	100	0.000	0.000	

Таблица 2 - Результаты поиска уравнений размерных цепей и последовательности их решения												

Номер		Неизв.	Уравнения в символьной форме									
решения		звено										

1		A9	P1=+A9									
2		A8	P2=+A8									
3		A7	P3=+A7									
4		A5	Z2=-A8+A5									
5		A6	Z5=-A7+A6									
6		A4	Z3=-A5+A4									
7		A3	Z4=-A4+A3									
8		A2	Z1=-A3+A2									
9		A1	Z6=-A5-A6+A1+A3									

** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей **												
KON7 (С) Калачев О.Н., 2014												
Решается разм. цепь 1 типа "P" с неизв. звеном A9												
с о с т а в ц е п и :												
увелич. звено A9 : max= 0.000 min= 0.000												
замык. звено - констр. размер P1 : max= 30.400 min= 30.000												
результаты расчёта звена A9 : max= 30.400 min= 30.000												
следовательно, расч. допуск= 0.400												
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый												
системой= 0.340 : верхн. откл.= 0.340 нижн. откл.= 0.000												
принимая расчётный размер звена A9 с учётом технолог. допуска:												
номинал= 30.400 max= 30.400 min= 30.060												
Решается разм. цепь 2 типа "P" с неизв. звеном A8												
с о с т а в ц е п и :												
увелич. звено A8 : max= 0.000 min= 0.000												
замык. звено - констр. размер P2 : max= 50.000 min= 49.650												
результаты расчёта звена A8 : max= 50.000 min= 49.650												

следовательно, расч. допуск= 0.350
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.100 : верхн. откл.= 0.100 нижн. откл.= 0.000
принимает расчётный размер звена А8 с учётом технолог. допуска:
номинал= 50.000 max= 50.000 min= 49.901

Решается разм. цепь 3 типа "P" с неизв. звеном А7
с о с т а в ц е п и :
увелич. звено А7 : max= 0.000 min= 0.000
замык. звено – констр. размер P3 : max= 50.000 min= 49.650
результаты расчёта звена А7 : max= 50.000 min= 49.650
следовательно, расч. допуск= 0.350
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.017 : верхн. откл.= 0.017 нижн. откл.= 0.000
технологич. допуск, заданный пользователем= 0.037
верх. откл.= 0.000 нижн. откл.= -0.037
принимает расчётный размер звена А7 с учётом технолог. допуска:
номинал= 50.000 max= 50.000 min= 49.964

Решается разм. цепь 4 типа "Z" с неизв. звеном А5
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.360
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено А8 : max= 50.000 min= 49.901
увелич. звено А5 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.030 : верхн. откл.= 0.030 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена А5 :
номинал= 50.390 max= 50.390 min= 50.360

Решается разм. цепь 5 типа "Z" с неизв. звеном А6
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.230
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено А7 : max= 50.000 min= 49.964
увелич. звено А6 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.400 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена А6 :
номинал= 50.630 max= 50.630 min= 50.230

Решается разм. цепь 6 типа "Z" с неизв. звеном А4
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.230
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено А5 : max= 50.390 min= 50.360
увелич. звено А4 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.400 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена А4 :
номинал= 51.020 max= 51.020 min= 50.620

Решается разм. цепь 7 типа "Z" с неизв. звеном А3
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено А4 : max= 51.020 min= 50.620
увелич. звено А3 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.740 : верхн. откл.= 0.740 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена А3 :
номинал= 52.460 max= 52.460 min= 51.720

Решается разм. цепь 8 типа "Z" с неизв. звеном А2
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено А3 : max= 52.460 min= 51.720
увелич. звено А2 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.800 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= -0.400
расчётный размер звена А2 :
номинал= 53.560 max= 53.960 min= 53.160

Решается разм. цепь 9 типа "Z" с неизв. звеном А1
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено А5 : max= 50.390 min= 50.360
уменьш. звено А6 : max= 50.630 min= 50.230
увелич. звено А1 : max= 0.000 min= 0.000
увелич. звено А3 : max= 52.460 min= 51.720
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый

системой= 0.600 : верхн. откл.= 0.300 нижн. откл.=-0.300
 расчётный размер звена A1 :
 номинал= 50.300 max= 50.600 min= 50.000

Таблица 3 - Результаты расчета технологических РЦ по программе KON7 (С) Калачёв О.Н., 2014

Замыкающие звенья				Составляющие звенья				kop7-116-120 D1 zz GRA-NA--		
P - черт.размер, Z - припуск				A - размеры заготовки и механообработки						
Ин-декс звена	Гра-ницы звена	Предел.значения		Ин-декс звена	Гра-ницы звена	Метод обработки	Номинал	Отклонения		
		max	min					Верхнее	Нижнее	
-----02.05.2014-23:19:32-----										
P1	4 7	30.400	30.000	A1	6 10	Литьё в земляные формы	50.300	0.300	-0.300	
P2	3 4	50.000	49.650	A2	1 6	Литьё в земляные формы	53.560	0.400	-0.400	
P3	4 8	50.000	49.650	A3	6 2	Точение от необр.пов.	52.460	0.000	-0.740	
Z1	2 1	2.240	0.700	A4	2 5	Точение черновое	51.020	0.000	-0.400	
Z2	3 2	0.489	0.360	A5	2 4	Шлифование однократное	50.390	0.000	-0.030	
Z3	4 5	0.660	0.230	A6	4 9	Точение черновое	50.630	0.000	-0.400	
Z4	5 6	1.840	0.700	A7	4 8	Шлифование тонкое	50.000	0.000	-0.036	
Z5	8 9	0.666	0.230	A8	4 3	Точение чистовое	50.000	0.000	-0.100	
Z6	9 10	2.470	0.700	A9	4 7	Точение однократное	30.400	0.000	-0.340	

Таблица 4 - Баланс допусков в каждой размерной цепи

№ решения	Неизв. звено	Номинал	Верхнее отклон.	Нижнее отклон.	Запас точн.	Уравнения в символической форме Баланс допусков
1	A9	30.400	0.000	-0.340	0.060	P1=+A9 0.400=>0.340
2	A8	50.000	0.000	-0.100	0.250	P2=+A8 0.350=>0.100
3	A7	50.000	0.000	-0.036	0.313	P3=+A7 0.350=>0.036
4	A5	50.390	0.000	-0.030	-0.001	Z2=-A8+A5 0.129=>0.100+0.030
5	A6	50.630	0.000	-0.400	-0.001	Z5=-A7+A6 0.436=>0.036+0.400
6	A4	51.020	0.000	-0.400	0.000	Z3=-A5+A4 0.430=>0.030+0.400
7	A3	52.460	0.000	-0.740	0.000	Z4=-A4+A3 1.140=>0.400+0.740
8	A2	53.560	0.400	-0.400	0.000	Z1=-A3+A2 1.540=>0.740+0.800
9	A1	50.300	0.300	-0.300	0.000	Z6=-A5-A6+A1+A3 1.770=>0.030+0.400+0.600+0.740

Конец заказа Калачева KON7 в. 122_120 D1 zz GRA NA 2014

По результатам расчета видно, что величина запаса точности уменьшилась (рисунок 5.4): было 0,333, стало 0,313.

№	Неизв. звено	Номинал	Верхнее отклон.	Нижнее отклон.	Запас точн.	Уравнения в символической форме
1	A9	30.400	0.000	-0.340	0.060	P1=+A9 0.400=>0.340
2	A8	50.000	0.000	-0.100	0.250	P2=+A8 0.350=>0.100
3	A7	50.000	0.000	-0.036	0.313	P3=+A7 0.350=>0.036
4	A5					Z2=-A8+A5

Рисунок 5.4 – Новое значение запаса точности

Продолжим процесс сокращения запаса точности. Расширим еще больше пользовательский допуск звена A7 – запишем значение нижнего отклонения равным -0,057 (рисунок 5.5) и рассчитаем технологические размеры по новому варианту исходных данных. В результате запас точности снова сократился (рисунок 5.6). При этом выполняется совместный расчет всех уравнений и соблюдается баланс точности в каждом из них. Результаты расчетов с новым значением пользовательского допуска представлены в таблице 5.3.

Таким образом, можно многократно, последовательно увеличивать пользовательский допуск, пока расчет того или иного варианта размерной структуры будет доходить до конца, при этом запас точности будет сокращаться (рисунок 5.7).

Результаты расчета варианта размерной схемы после всех приведенных на рисунке 5.7 уменьшений запаса точности (расширения допуска на звено A7) представлены в приложении А.

В нашем случае расчет будет прерываться, система будет выдавать сообщение о проблеме (рисунок 5.8), когда значение допуска на составляющее звено A7 превысит значение допуска на конструкторский размер P3.

При проведении последнего уточняющего расчета (его результаты представлены в таблице 5.4), дошедшего до конца, получим равенства (рисунок 5.9): $Z.T.=0$ и $TP \cong \Sigma TA$.

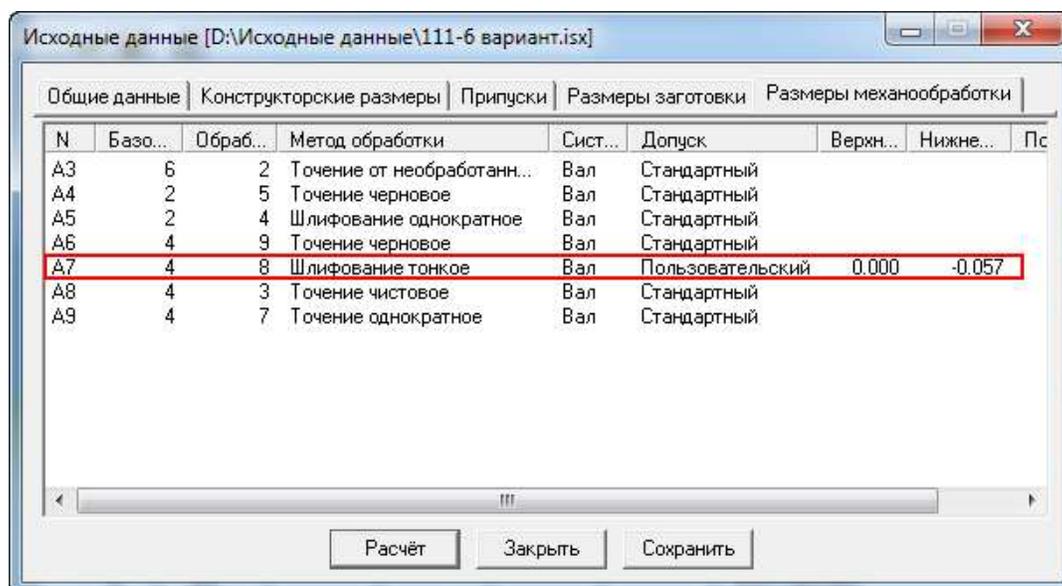


Рисунок 5.5 – Повторное увеличение пользовательского допуска

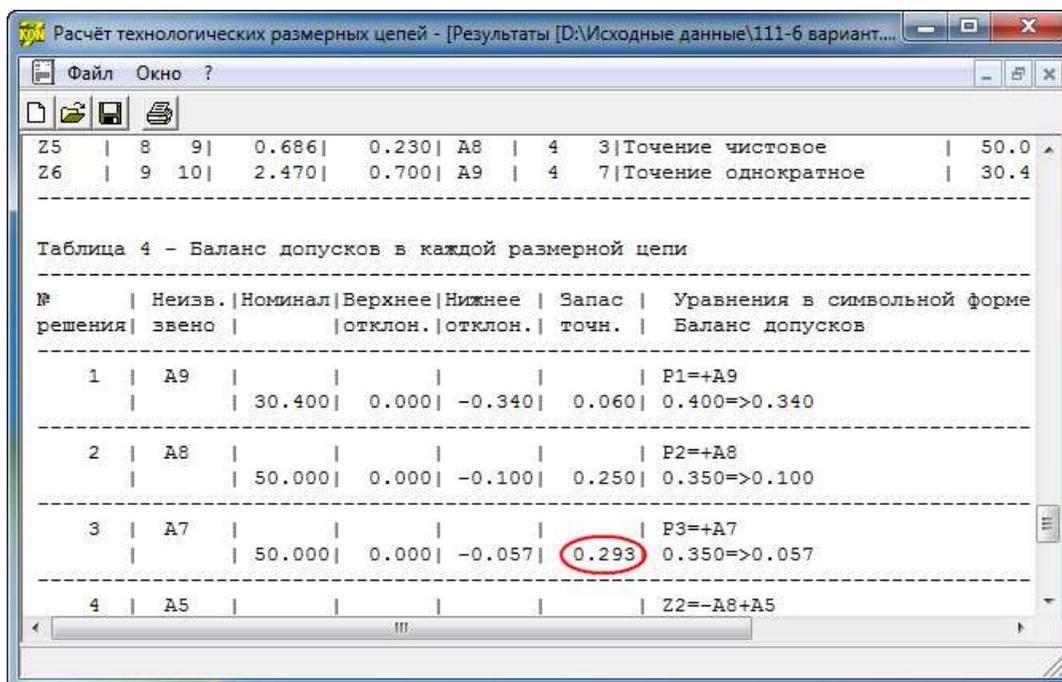


Рисунок 5.6 – Повторное уменьшение величины запаса точности

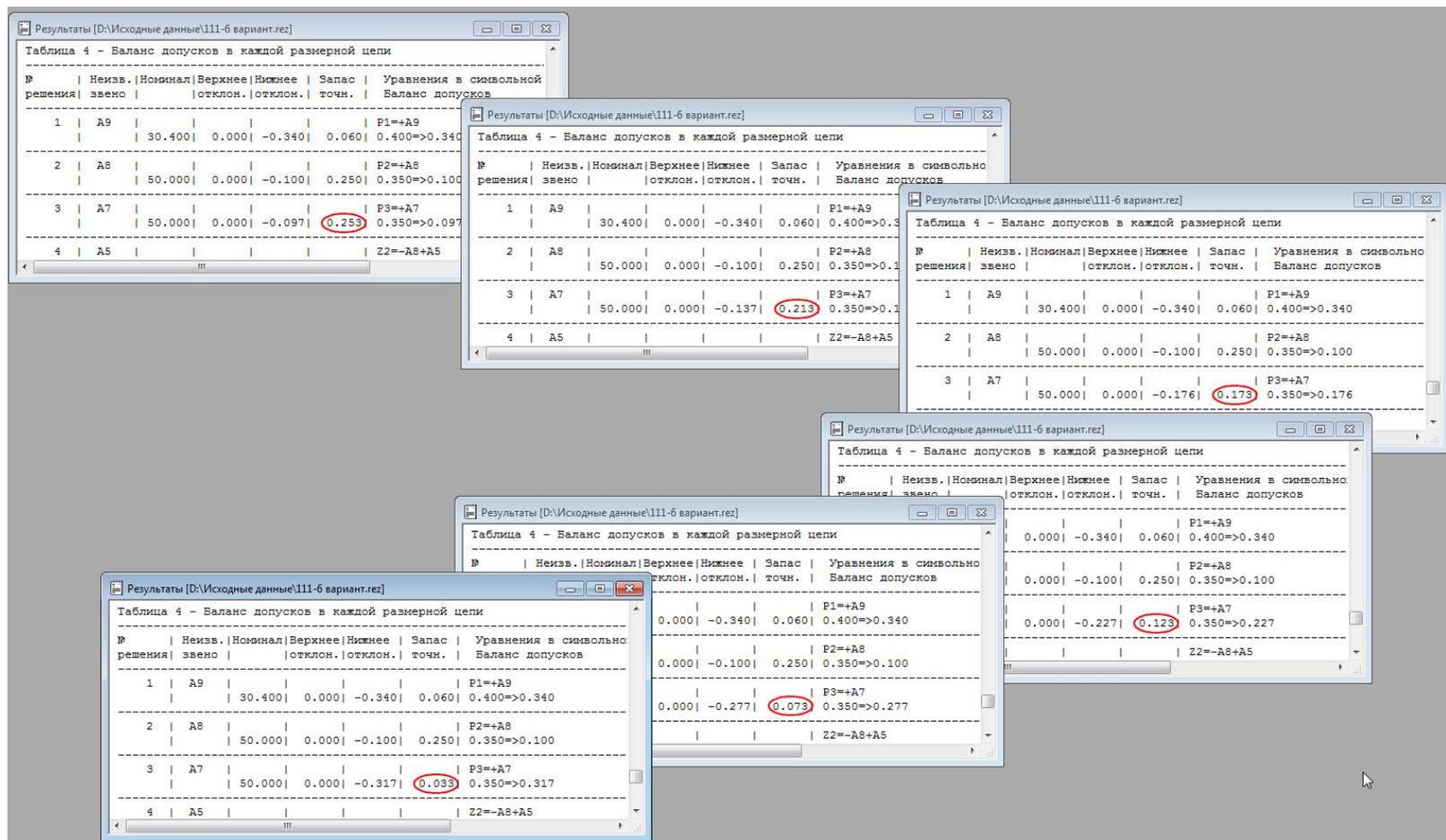


Рисунок 5.7 – Многократное уменьшение величины запаса точности

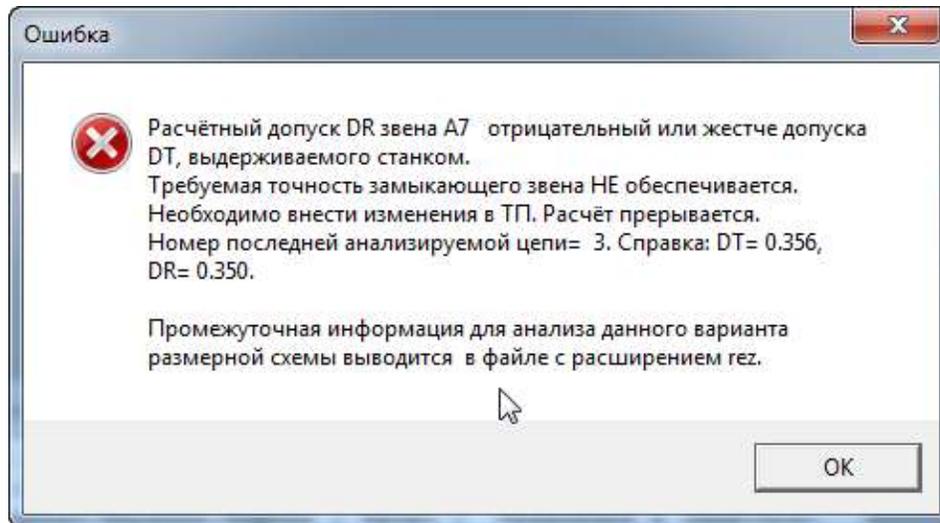


Рисунок 5.8 – Сообщение о проблеме при прерывании расчета

Расчёт технологических размерных цепей - [Результаты [D:\Исходные данные\111-6 вариант...

№	Неизв. звено	Номинал	Верхнее отклон.	Нижнее отклон.	Запас точн.	Уравнения в символической форме	Баланс допусков
1	A9	30.400	0.000	-0.340	0.060	P1=+A9	0.400=>0.340
2	A8	50.000	0.000	-0.100	0.250	P2=+A8	0.350=>0.100
3	A7	50.000	0.000	-0.349	0.000	P3=+A7	0.350=>0.349
4	A5					Z2=-A8+A5	

Рисунок 5.9 – Получение практически «нулевого» запаса точности

Таблица 5.3 – Результаты расчета после повторного увеличения допуска на звено А7

Исходные данные и результаты анализа технологических размерных цепей Программа KON7 (C) Калачев О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)													
Текст пользователя			Калачева										
Таблица 1 - Исходные данные (проверьте правильность ввода!)													
Сведения о заготовке:													
Материал..... сталь													
Способ получения..... Литьё в земляные формы													
Класс (степень) точности.. 1													
Габаритный размер по направлению технологических размеров... 125.000													

Замыкающие звенья Р-черт.размер. Z-припуск				Составляющие звенья: размеры А заготовки <-->, затем мех.обработки 0-->						Поп- реч- ный		Отклонения допуска DT пользователя	
Зве- но	Границы Р: л-п Z: н-с	Предел.значения max	min	Зве- но	Границы <-----> База-->	Метод обработки		Сист мер,	раз- мер,	Верх.	Нижнее		
-----03.05.2014-8:58:14-----													
P1	4 7	30.400	30.000	A1	6 10	Литьё в земляные формы		вал	100	0.000	0.000		
P2	3 4	50.000	49.650	A2	1 6	Литьё в земляные формы		вал	100	0.000	0.000		
P3	4 8	50.000	49.650	A3	6 2	Точение от необр.пов.		вал	100	0.000	0.000		
Z1	1 2	0.000	0.000	A4	2 5	Точение черновое		вал	100	0.000	0.000		
Z2	2 3	0.000	0.000	A5	2 4	Шлифование однократное		вал	100	0.000	0.000		
Z3	4 5	0.000	0.000	A6	4 9	Точение черновое		вал	100	0.000	0.000		
Z4	5 6	0.000	0.000	A7	4 8	Шлифование тонкое		вал	100	0.000	-0.057		
Z5	8 9	0.000	0.000	A8	4 3	Точение чистовое		вал	100	0.000	0.000		
Z6	9 10	0.000	0.000	A9	4 7	Точение однократное		вал	100	0.000	0.000		

Таблица 2 - Результаты поиска уравнений размерных цепей и последовательности их решения													
Номер решения	Неизв. звено	Уравнения в символьной форме											

1	A9	P1=+A9											
2	A8	P2=+A8											
3	A7	P3=+A7											
4	A5	Z2=-A8+A5											
5	A6	Z5=-A7+A6											
6	A4	Z3=-A5+A4											
7	A3	Z4=-A4+A3											
8	A2	Z1=-A3+A2											
9	A1	Z6=-A5-A6+A1+A3											

** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей **													
KON7 (C) Калачев О.Н., 2014													
Решается разм. цепь 1 типа "P" с неизв. звеном А9													
с о с т а в ц е п и :													
увелич. звено А9 : max= 0.000 min= 0.000													
замык. звено - констр. размер P1 : max= 30.400 min= 30.000													
результаты расчёта звена А9 : max= 30.400 min= 30.000													
следовательно, расч. допуск= 0.400													
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый													
системой= 0.340 : верхн. откл.= 0.340 нижн. откл.= 0.000													
принимаем расчётный размер звена А9 с учётом технолог. допуска:													
номинал= 30.400 max= 30.400 min= 30.060													
Решается разм. цепь 2 типа "P" с неизв. звеном А8													
с о с т а в ц е п и :													
увелич. звено А8 : max= 0.000 min= 0.000													
замык. звено - констр. размер P2 : max= 50.000 min= 49.650													
результаты расчёта звена А8 : max= 50.000 min= 49.650													
следовательно, расч. допуск= 0.350													
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый													
системой= 0.100 : верхн. откл.= 0.100 нижн. откл.= 0.000													
принимаем расчётный размер звена А8 с учётом технолог. допуска:													
номинал= 50.000 max= 50.000 min= 49.901													
Решается разм. цепь 3 типа "P" с неизв. звеном А7													
с о с т а в ц е п и :													
увелич. звено А7 : max= 0.000 min= 0.000													
замык. звено - констр. размер P3 : max= 50.000 min= 49.650													
результаты расчёта звена А7 : max= 50.000 min= 49.650													
следовательно, расч. допуск= 0.350													
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый													
системой= 0.017 : верхн. откл.= 0.017 нижн. откл.= 0.000													
технологич. допуск, заданный пользователем= 0.057													
верх. откл.= 0.000 нижн. откл.= -0.057													

принимает расчётный размер звена А7 с учётом технолог. допуска:
номинал= 50.000 max= 50.000 min= 49.944

Решается разм. цепь 4 типа "Z" с неизв. звеном А5
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.360
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено А8 : max= 50.000 min= 49.901
увелич. звено А5 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.030 : верхн. откл.= 0.030 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена А5 :
номинал= 50.390 max= 50.390 min= 50.360

Решается разм. цепь 5 типа "Z" с неизв. звеном А6
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.230
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено А7 : max= 50.000 min= 49.944
увелич. звено А6 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.400 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена А6 :
номинал= 50.630 max= 50.630 min= 50.230

Решается разм. цепь 6 типа "Z" с неизв. звеном А4
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.230
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено А5 : max= 50.390 min= 50.360
увелич. звено А4 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.400 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена А4 :
номинал= 51.020 max= 51.020 min= 50.620

Решается разм. цепь 7 типа "Z" с неизв. звеном А3
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено А4 : max= 51.020 min= 50.620
увелич. звено А3 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.740 : верхн. откл.= 0.740 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена А3 :
номинал= 52.460 max= 52.460 min= 51.720

Решается разм. цепь 8 типа "Z" с неизв. звеном А2
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено А3 : max= 52.460 min= 51.720
увелич. звено А2 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.800 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= -0.400
расчётный размер звена А2 :
номинал= 53.560 max= 53.960 min= 53.160

Решается разм. цепь 9 типа "Z" с неизв. звеном А1
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено А5 : max= 50.390 min= 50.360
уменьш. звено А6 : max= 50.630 min= 50.230
увелич. звено А1 : max= 0.000 min= 0.000
увелич. звено А3 : max= 52.460 min= 51.720
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.600 : верхн. откл.= 0.300 нижн. откл.= -0.300
расчётный размер звена А1 :
номинал= 50.300 max= 50.600 min= 50.000

Таблица 3 - Результаты расчета технологических РЦ по программе KON7 (С) Калачёв О.Н., 2014

Замыкающие звенья				Составляющие звенья						
Р - черт.размер, Z - припуск				А - размеры заготовки и механообработки				kon7-116-120 D1 zz GRA-NA--		
Ин- декс	Гра- ницы	Предел. значения	Ин- декс	Гра- ницы	Метод обработки	Номинал	Отклонения			
звена	звена	max	звена	звена			Верхнее	Нижнее		
---03.05.2014-8:58:14---										
P1	4	7	30.400	30.000	A1	6 10	Литьё в земляные формы	50.300	0.300	-0.300
P2	3	4	50.000	49.650	A2	1 6	Литьё в земляные формы	53.560	0.400	-0.400
P3	4	8	50.000	49.650	A3	6 2	Точение от необр.пов.	52.460	0.000	-0.740
Z1	2	1	2.240	0.700	A4	2 5	Точение черновое	51.020	0.000	-0.400
Z2	3	2	0.489	0.360	A5	2 4	Шлифование однократное	50.390	0.000	-0.030
Z3	4	5	0.660	0.230	A6	4 9	Точение черновое	50.630	0.000	-0.400
Z4	5	6	1.840	0.700	A7	4 8	Шлифование тонкое	50.000	0.000	-0.057
Z5	8	9	0.686	0.230	A8	4 3	Точение чистовое	50.000	0.000	-0.100
Z6	9	10	2.470	0.700	A9	4 7	Точение однократное	30.400	0.000	-0.340

Таблица 4 – Баланс допусков в каждой размерной цепи							
№ решения	Неизв. звено	Номинал	Верхнее отклон.	Нижнее отклон.	Запас точн.	Уравнения в символической форме Баланс допусков	
1	A9	30.400	0.000	-0.340	0.060	P1=+A9 0.400=>0.340	
2	A8	50.000	0.000	-0.100	0.250	P2=+A8 0.350=>0.100	
3	A7	50.000	0.000	-0.057	0.293	P3=+A7 0.350=>0.057	
4	A5	50.390	0.000	-0.030	-0.001	Z2=-A8+A5 0.129=>0.100+0.030	
5	A6	50.630	0.000	-0.400	-0.001	Z5=-A7+A6 0.456=>0.057+0.400	
6	A4	51.020	0.000	-0.400	0.000	Z3=-A5+A4 0.430=>0.030+0.400	
7	A3	52.460	0.000	-0.740	0.000	Z4=-A4+A3 1.140=>0.400+0.740	
8	A2	53.560	0.400	-0.400	0.000	Z1=-A3+A2 1.540=>0.740+0.800	
9	A1	50.300	0.300	-0.300	0.000	Z6=-A5-A6+A1+A3 1.770=>0.030+0.400+0.600+0.740	

Конец заказа Калачева KON7 в. 122_120 D1 zz GRA HA 2014

Таблица 5.4 – Результаты расчета с нулевым запасом точности звена A7

Исходные данные и результаты анализа технологических размерных цепей												
Программа KON7 (C) Калачев О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)												
Текст пользователя						Калачева						
Таблица 1 – Исходные данные (проверьте правильность ввода!)												
Сведения о заготовке:												
Материал..... сталь												
Способ получения..... Литьё в земляные формы												
Класс (степень) точности.. 1												
Габаритный размер по направлению технологических размеров... 125.000												
Замыкающие звенья				Составляющие звенья: размеры А				Поп-		Отклонения		
P-черт.размер. Z-припуск				заготовки <-->, затем мех.обработки O-->				реч-		допуска DT		
								ный		пользователя		
Зве-	Границы	Предел.значения		Зве-	Границы	Метод обработки		Сист	раз-			
но P: л-п	-----		но <----->					допу	мер,	-----		
Z: н-с	max	min	База-->					ска	мм	Верх.	Нижнее	
-----03.05.2014-9:02:30-----												
P1	4	7	30.400	30.000	A1	6	10	Литьё в земляные формы	вал	100	0.000	0.000
P2	3	4	50.000	49.650	A2	1	6	Литьё в земляные формы	вал	100	0.000	0.000
P3	4	8	50.000	49.650	A3	6	2	Точение от необр.пов.	вал	100	0.000	0.000
Z1	1	2	0.000	0.000	A4	2	5	Точение черновое	вал	100	0.000	0.000
Z2	2	3	0.000	0.000	A5	2	4	Шлифование однократное	вал	100	0.000	0.000
Z3	4	5	0.000	0.000	A6	4	9	Точение черновое	вал	100	0.000	0.000
Z4	5	6	0.000	0.000	A7	4	8	Шлифование тонкое	вал	100	0.000	-0.350
Z5	8	9	0.000	0.000	A8	4	3	Точение чистовое	вал	100	0.000	0.000
Z6	9	10	0.000	0.000	A9	4	7	Точение однократное	вал	100	0.000	0.000

Таблица 2 – Результаты поиска уравнений размерных цепей и последовательности их решения			
Номер решения	Неизв. звено	Уравнения в символической форме	
1	A9	P1=+A9	
2	A8	P2=+A8	
3	A7	P3=+A7	

4		A5		Z2=-A8+A5
5		A6		Z5=-A7+A6
6		A4		Z3=-A5+A4
7		A3		Z4=-A4+A3
8		A2		Z1=-A3+A2
9		A1		Z6=-A5-A6+A1+A3

** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей **
 KON7 (С) Калачев О.Н., 2014

Решается разм. цепь 1 типа "P" с неизв. звеном A9

с о с т а в ц е п и :

увелич. звено A9 : max= 0.000 min= 0.000
 замык. звено - констр. размер P1 : max= 30.400 min= 30.000
 результаты расчёта звена A9 : max= 30.400 min= 30.000
 следовательно, расч. допуск= 0.400
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
 системой= 0.340 : верхн. откл.= 0.340 нижн. откл.= 0.000
 принимаем расчётный размер звена A9 с учётом технолог. допуска:
 номинал= 30.400 max= 30.400 min= 30.060

Решается разм. цепь 2 типа "P" с неизв. звеном A8

с о с т а в ц е п и :

увелич. звено A8 : max= 0.000 min= 0.000
 замык. звено - констр. размер P2 : max= 50.000 min= 49.650
 результаты расчёта звена A8 : max= 50.000 min= 49.650
 следовательно, расч. допуск= 0.350
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
 системой= 0.100 : верхн. откл.= 0.100 нижн. откл.= 0.000
 принимаем расчётный размер звена A8 с учётом технолог. допуска:
 номинал= 50.000 max= 50.000 min= 49.901

Решается разм. цепь 3 типа "P" с неизв. звеном A7

с о с т а в ц е п и :

увелич. звено A7 : max= 0.000 min= 0.000
 замык. звено - констр. размер P3 : max= 50.000 min= 49.650
 результаты расчёта звена A7 : max= 50.000 min= 49.650
 следовательно, расч. допуск= 0.350
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
 системой= 0.017 : верхн. откл.= 0.017 нижн. откл.= 0.000
 технологич. допуск, заданный пользователем= 0.350
 верх. откл.= 0.000 нижн. откл.= -0.350
 принимаем расчётный размер звена A7 с учётом технолог. допуска:
 номинал= 50.000 max= 50.000 min= 49.651

Решается разм. цепь 4 типа "Z" с неизв. звеном A5

припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.360

с о с т а в ц е п и :

уменьш. звено A8 : max= 50.000 min= 49.901
 увелич. звено A5 : max= 0.000 min= 0.000
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
 системой= 0.030 : верхн. откл.= 0.030 нижн. откл.= 0.000
 расчётный размер звена A5 :
 номинал= 50.390 max= 50.390 min= 50.360

Решается разм. цепь 5 типа "Z" с неизв. звеном A6

припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.230

с о с т а в ц е п и :

уменьш. звено A7 : max= 50.000 min= 49.651
 увелич. звено A6 : max= 0.000 min= 0.000
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
 системой= 0.400 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= 0.000
 расчётный размер звена A6 :
 номинал= 50.630 max= 50.630 min= 50.230

Решается разм. цепь 6 типа "Z" с неизв. звеном A4

припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.230

с о с т а в ц е п и :

уменьш. звено A5 : max= 50.390 min= 50.360
 увелич. звено A4 : max= 0.000 min= 0.000
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
 системой= 0.400 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= 0.000
 расчётный размер звена A4 :
 номинал= 51.020 max= 51.020 min= 50.620

Решается разм. цепь 7 типа "Z" с неизв. звеном A3

припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700

с о с т а в ц е п и :

уменьш. звено A4 : max= 51.020 min= 50.620
 увелич. звено A3 : max= 0.000 min= 0.000
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
 системой= 0.740 : верхн. откл.= 0.740 нижн. откл.= 0.000
 расчётный размер звена A3 :
 номинал= 52.460 max= 52.460 min= 51.720

Решается разм. цепь 8 типа "Z" с неизв. звеном A2
 припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700
 с о с т а в ц е п и :
 уменьш. звено A3 : max= 52.460 min= 51.720
 увелич. звено A2 : max= 0.000 min= 0.000
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
 системой= 0.800 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= -0.400
 расчётный размер звена A2 :
 номинал= 53.560 max= 53.960 min= 53.160

Решается разм. цепь 9 типа "Z" с неизв. звеном A1
 припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700
 с о с т а в ц е п и :
 уменьш. звено A5 : max= 50.390 min= 50.360
 уменьш. звено A6 : max= 50.630 min= 50.230
 увелич. звено A1 : max= 0.000 min= 0.000
 увелич. звено A3 : max= 52.460 min= 51.720
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
 системой= 0.600 : верхн. откл.= 0.300 нижн. откл.= -0.300
 расчётный размер звена A1 :
 номинал= 50.300 max= 50.600 min= 50.000

Таблица 3 - Результаты расчета технологических PC по программе KON7 (C) Калачёв О.Н., 2014

Замыкающие звенья				Составляющие звенья				kon7-116-120 D1 zz GRA-NA--		
P - черт.размер, Z - припуск				A - размеры заготовки и механообработки						
Ин-декс звена	Гра-ницы звена	Предел. значения	Ин-декс звена	Гра-ницы звена	Метод обработки	Номинал	Отклонения			
		max min					Верхнее	Нижнее		
03.05.2014-9:02:30										
P1	4 7	30.400 30.000	A1	6 10	Литьё в земляные формы	50.300	0.300	-0.300		
P2	3 4	50.000 49.650	A2	1 6	Литьё в земляные формы	53.560	0.400	-0.400		
P3	4 8	50.000 49.650	A3	6 2	Точение от необр.пов.	52.460	0.000	-0.740		
Z1	2 1	2.240 0.700	A4	2 5	Точение черновое	51.020	0.000	-0.400		
Z2	3 2	0.489 0.360	A5	2 4	Шлифование однократное	50.390	0.000	-0.030		
Z3	4 5	0.660 0.230	A6	4 9	Точение черновое	50.630	0.000	-0.400		
Z4	5 6	1.840 0.700	A7	4 8	Шлифование тонкое	50.000	0.000	-0.349		
Z5	8 9	0.979 0.230	A8	4 3	Точение чистовое	50.000	0.000	-0.100		
Z6	9 10	2.470 0.700	A9	4 7	Точение однократное	30.400	0.000	-0.340		

Таблица 4 - Баланс допусков в каждой размерной цепи

№ решения	Неизв. звено	Номинал	Верхнее отклон.	Нижнее отклон.	Запас точн.	Уравнения в символической форме Баланс допусков
1	A9	30.400	0.000	-0.340	0.060	P1=+A9 0.400=>0.340
2	A8	50.000	0.000	-0.100	0.250	P2=+A8 0.350=>0.100
3	A7	50.000	0.000	-0.349	0.000	P3=+A7 0.350=>0.349
4	A5	50.390	0.000	-0.030	-0.001	Z2=-A8+A5 0.129=>0.100+0.030
5	A6	50.630	0.000	-0.400	-0.001	Z5=-A7+A6 0.749=>0.349+0.400
6	A4	51.020	0.000	-0.400	0.000	Z3=-A5+A4 0.430=>0.030+0.400
7	A3	52.460	0.000	-0.740	0.000	Z4=-A4+A3 1.140=>0.400+0.740
8	A2	53.560	0.400	-0.400	0.000	Z1=-A3+A2 1.540=>0.740+0.800
9	A1	50.300	0.300	-0.300	0.000	Z6=-A5-A6+A1+A3 1.770=>0.030+0.400+0.600+0.740

Конец заказа Калачева KON7 в. 122_120 D1 zz GRA NA 2014

Если обратить внимание на то, как изменились значения колебаний припусков в последнем расчете, то можно заметить, что колебание припуска Z5 возросло ввиду того, что звено A7, для которого был увеличен пользовательский допуск, входит в уравнение с замыкающим звеном Z5, и величина Z5max возрастает по мере уменьшения запаса точности.

Определим отношение максимального припуска к минимальному для припуска Z5 последнего варианта расчета:

$$Z5_{max}/Z5_{min}=0,979/0,230\cong 4,257>3.$$

Таким образом, на последнем этапе обработки правого торца при снятии припуска Z5 величина отношения максимального припуска к минимальному превысила допустимую. Необходима корректировка.

В данном случае можно уменьшить допуск на звено A7, но тогда снова возрастет запас точности, или можно уменьшить допуск на звено A6, которое также входит в уравнение с замыкающим звеном Z5.

Допуск на звено A6 уменьшать нецелесообразно, т.к. данный размер получается на предварительной операции, где должен использоваться более грубый метод обработки. Поэтому уменьшение запаса точности необходимо приостановить тогда, когда отношение максимального припуска к минимальному превысит принятую допустимую величину 3. В данном случае допуск максимально можно расширить до величины 0,061 (рисунок 5.10).

N	Баз...	Обработ...	Метод обработки	Сист...	Допуск	Верхнее...	Нижнее...	Г
A3	6	2	Точение от необработан...	Вал	Стандартный			
A4	2	5	Точение черновое	Вал	Стандартный			
A5	2	4	Шлифование однократное	Вал	Стандартный			
A6	4	9	Точение черновое	Вал	Стандартный			
A7	4	8	Шлифование тонкое	Вал	Пользовательский	0.000	-0.061	
A8	4	3	Точение чистовое	Вал	Стандартный			
A9	4	7	Точение однократное	Вал	Стандартный			

Рисунок 5.10 – Максимальное расширение пользовательского допуска

При этом запас точности будет равен 0,289. А величина отношения максимального припуска (рисунок 5.11) к минимальному не превысит допустимую: $Z5_{max}/Z5_{min}=0,690/0,230=3$.

Таблица 4 - Баланс допусков в каждой размерной цепи

№ решения	Неизв. звено	Номинал	Верхнее отклон.	Нижнее отклон.	Запас точн.	Уравнения в символьной форме
1	A9	30.400	0.000	-0.340	0.060	P1=+A9 0.400=>0.340
2	A8	50.000	0.000	-0.100	0.250	P2=+A8 0.350=>0.100
3	A7	50.000	0.000	-0.060	0.289	P3=+A7 0.350=>0.060
4	A5					P4=+A5

Рисунок 5.11 – Ограничение по максимальному припуску

Этот вариант размерной структуры будет наиболее рациональным. Результат расчета для него представлен в приложении А.

Таким образом, при уменьшении запаса точности нужно всегда обращать внимание на то, сколько раз и в какие уравнения входит то или иное звено, допуск которого необходимо увеличить.

Для визуального информирования о частоте использования звеньев в размерных цепях на графе рассматриваемой размерной структуры нами предлагается дублировать составляющие звенья согласно частоте их использования во всех уравнениях размерных цепей (рисунок 5.12), а поверхности заготовки обозначить черными кружками, детали – зелеными. Кроме того, целесообразно оценивать «критические» звенья – построить диаграмму частоты использования звеньев в уравнениях размерных цепей. Построим такую диаграмму для последнего варианта размерной схемы детали «тело вращения» (рисунок 5.13).

Для оценки каких-либо других параметров при расчете размерных цепей целесообразно пользоваться диаграммой подобного вида или измененным графом и выявлять наиболее рациональную размерную структуру, в которой каждое звено используется в наименьшем количестве уравнений размерных цепей.

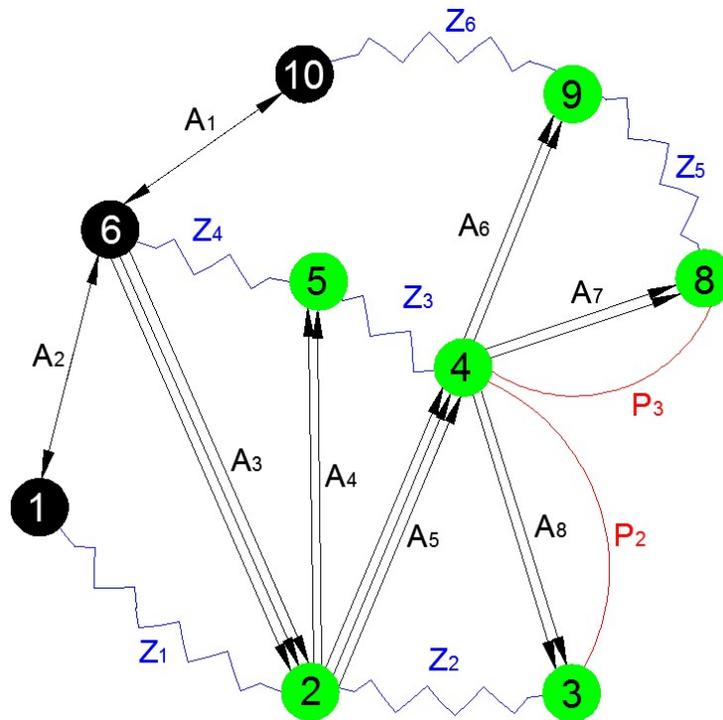


Рисунок 5.12 – Измененный граф варианта размерной схемы

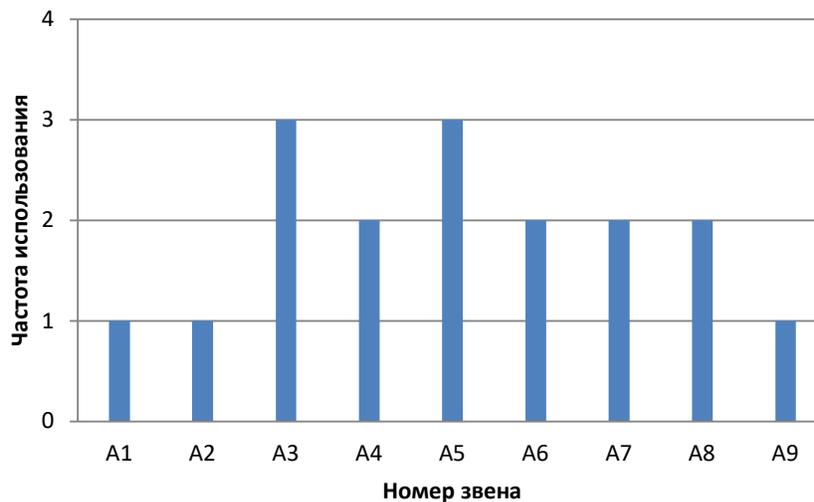


Рисунок 5.13 – Диаграмма частоты использования звеньев

Выводы

Таким образом, в данной главе рассмотрена возможность уменьшения запаса точности при расчете одного из вариантов размерной структуры расширением допуска на критический технологический размер с целью выбора более дешевого метода обработки с учетом частоты вхождения составляющих звеньев в размерные цепи.

6 ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАСЧЕТА НАИМЕНЬШЕГО ЗНАЧЕНИЯ ПРИПУСКА

Следующая задача данного исследования – рассмотреть различные ситуации для корректного расчета припуска в ходе решения технологических размерных цепей.

6.1 Ситуации, возникающие при расчете припусков с точки зрения соблюдения «принципа единства баз»

Анализ многочисленных расчетов по программе KON7 позволил выявить несколько характерных ситуаций, связанных с расчетом цепей с замыкающим звеном – «припуск».

На рисунке 6.1 дана классификация этих ситуаций.

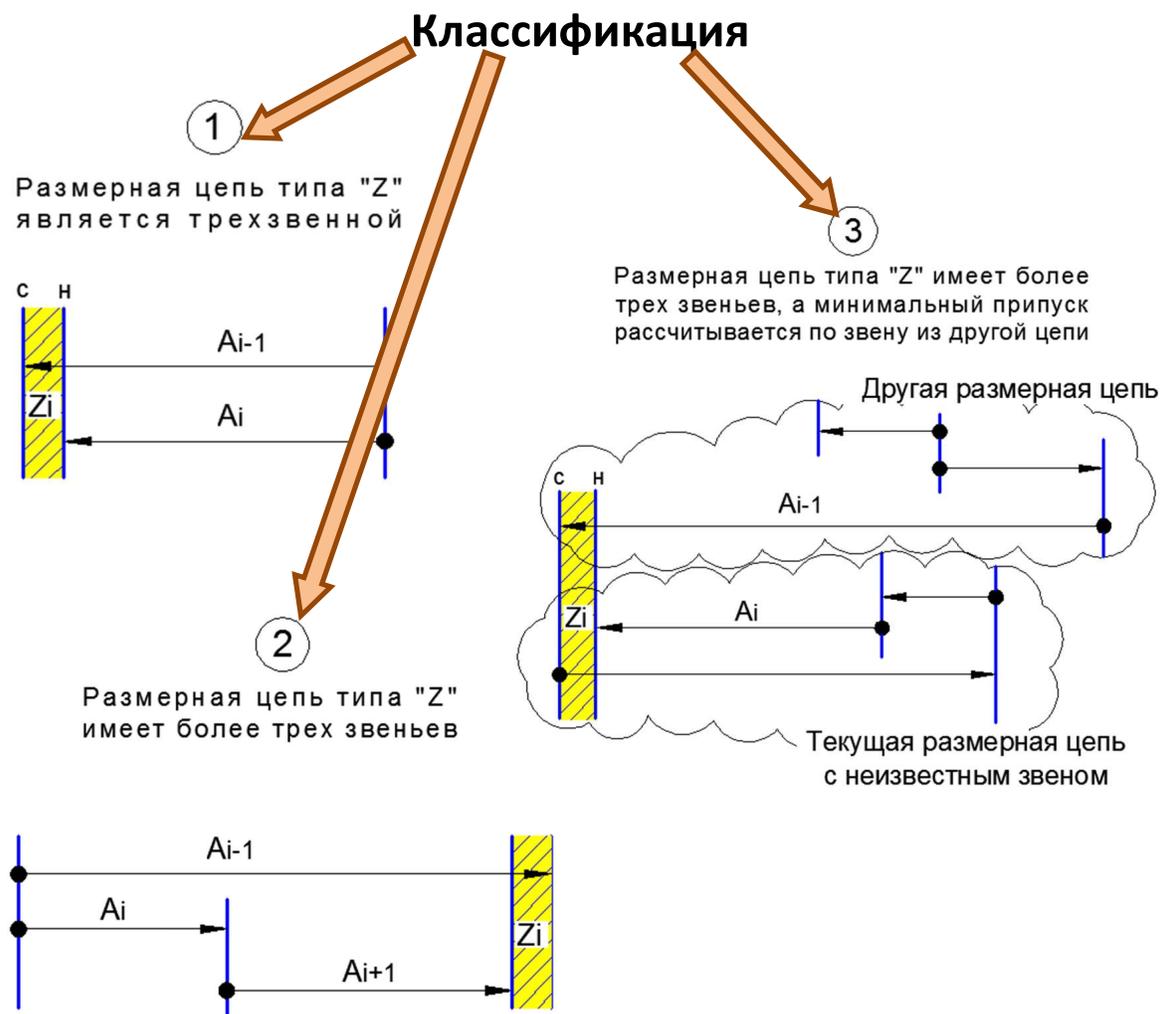


Рисунок 6.1 – Ситуации, возникающие при расчете припуска

1 случай. При решении уравнения размерной цепи с замыкающим звеном-припуском уравнение имеет три звена, операционные размеры выполняются от одной базы, т.е. соблюдается «принцип единства баз».

2 случай. При решении уравнения размерной цепи с замыкающим звеном-припуском уравнение имеет более трех звеньев, операционные размеры выполняются от разных баз, т.е. «принцип единства баз» не соблюдается.

3 случай. Зачастую возникает необходимость расчета размерной цепи с припуском, являющимся замыкающим звеном, величина которого определяется точностью размера, входящего в другую цепь, при этом размеры могут выполняться от разных баз.

Такая ситуация возникла при размерном анализе заводской детали «Шкив», фрагмент чертежа которой показан на рисунке 6.2. Чертеж этой детали, представленный в приложении Б, содержит не только линейные, но и диаметральные размеры, которые рассчитывались по программе KON8 и не рассматриваются при данном анализе.

Можно сказать, что многие размеры чертежа не оказывают влияния на точность линейных технологических размеров. К их числу относятся, например, фаски. Поэтому в размерной схеме они отсутствуют.

Эскиз и размерная схема детали «Шкив» представлены на рисунке 6.3, указаны конструкторские размеры в осевом направлении, размеры заготовки, технологические размеры и расположение припусков.

При изучении сформированных уравнений размерных цепей по программе KON7 (рисунок 6.4) заметим, что минимальная величина припуска Z_2 , являющегося замыкающим звеном для уравнения №10 с неизвестным звеном A_8 , должна назначаться согласно методу обработки и габаритному размеру звена A_5 , примыкающего поверхностью обработки к старой границе припуска Z_2 , которое, в свою очередь, входит в другое уравнение размерной цепи №13 и является неизвестным.

В любом из трех рассмотренных случаев минимальная величина припуска должна назначаться по методу обработки и габаритному размеру звена, которое поверхностью обработки примыкает к старой границе припуска, т.е. для расчета такого припуска необходимо выполнить поиск этого звена.

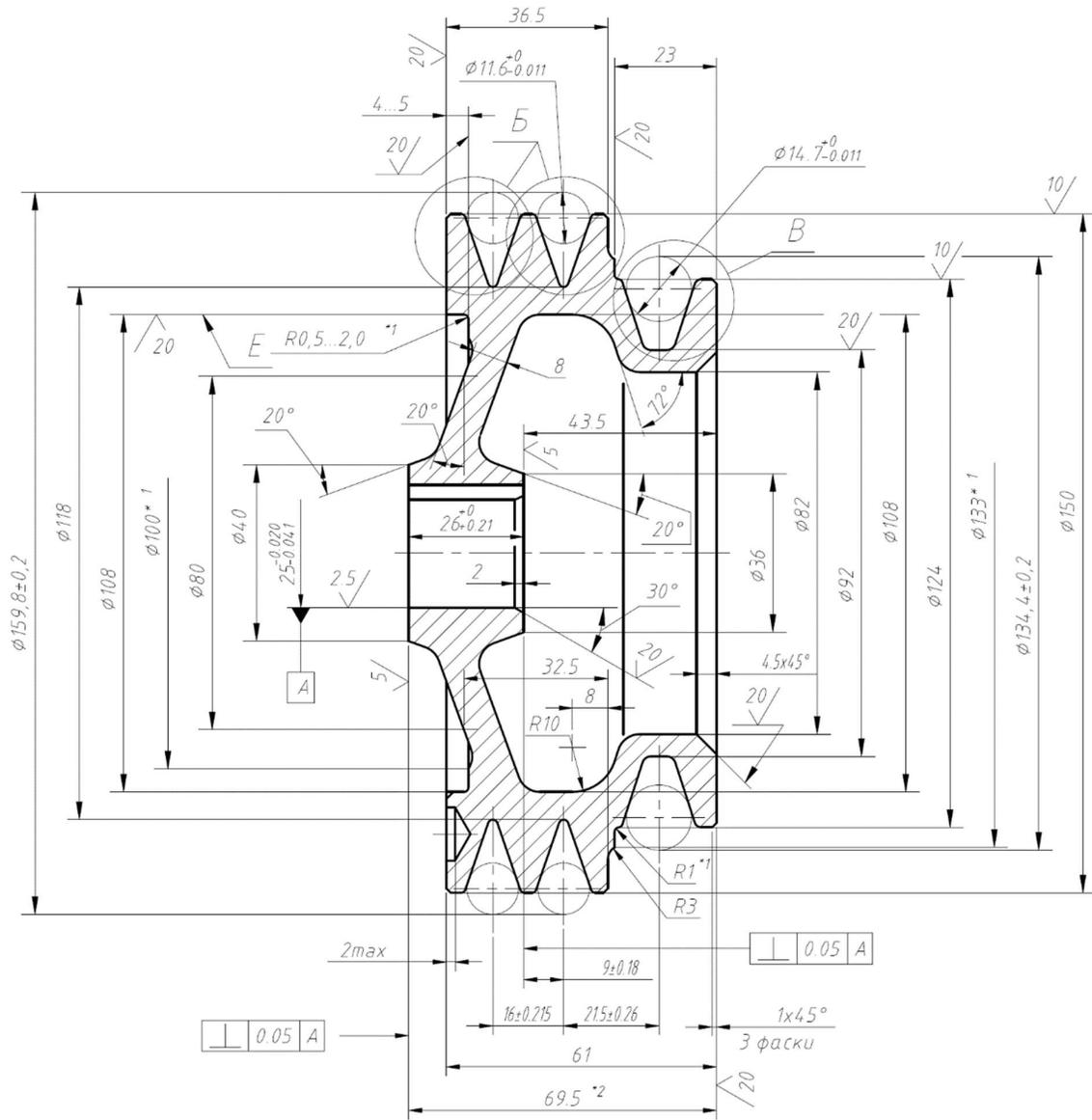


Рисунок 6.2 – Фрагмент чертежа детали «Шкив»

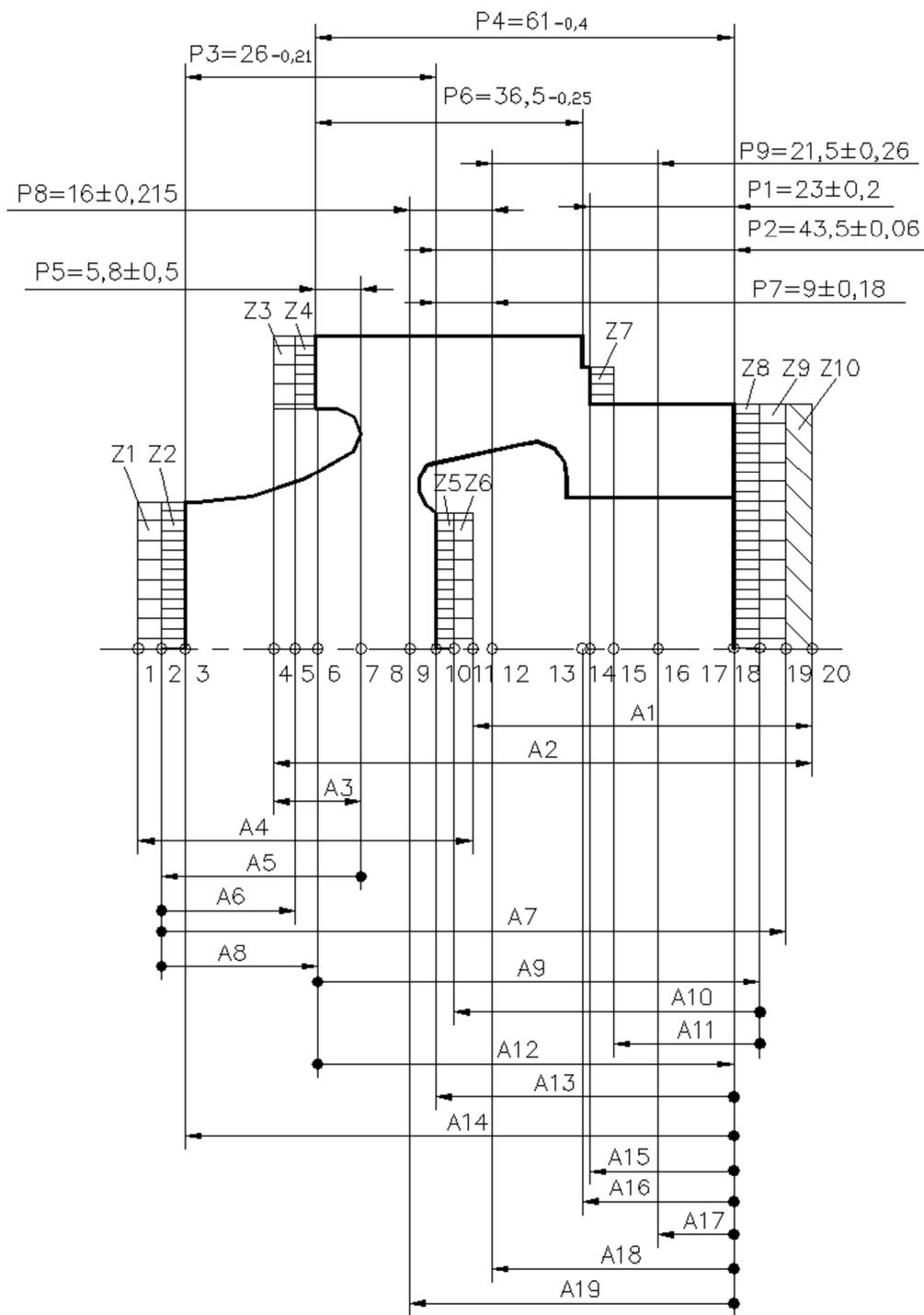


Рисунок 6.3 – Размерная схема детали «Шкив»

6.2 Разработка алгоритма расчета наименьшего значения припуска

В данной работе предложен общий алгоритм расчета наименьшего значения припуска (рисунок 6.5) для любых рассмотренных выше случаев, возникающих при проведении размерного анализа.

В начале, при вводе исходных данных, система создает массив границ всех размеров и припусков (таблица 6.1).

Для конструкторских размеров и припусков:

$AK(j)$ и $BK(j)$,

где $AK(j)$ – левая граница конструкторского размера и «новая» граница припуска,

$BK(j)$ – правая граница конструкторского размера и «старая» граница припуска.

Для технологических размеров:

$A(i)$ и $B(i)$,

где $A(i)$ – базовая поверхность, $B(i)$ – поверхность обработки.

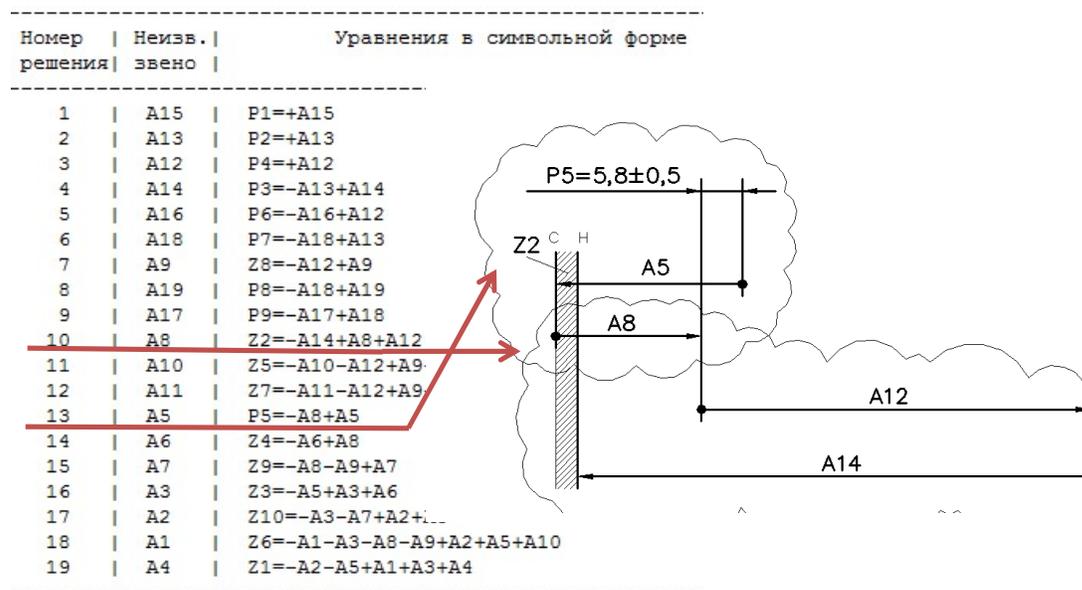


Рисунок 6.4 – Уравнения размерных цепей

Таблица 6.1 – Массивы границ размеров и припусков

Р или Z	Левая (новая)	Правая (старая)		A	Базовая поверх- ность	Обработанная поверхность
P1	<i>AK(1)</i>	<i>BK(1)</i>		A1	<i>A(1)</i>	<i>B(1)</i>
P2	<i>AK(2)</i>	<i>BK(2)</i>		A2	<i>A(2)</i>	<i>B(2)</i>
.
.
.
.
.
Z1	<i>AK(1)</i>	<i>BK(1)</i>		.	.	.
Z1	<i>AK(2)</i>	<i>BK(2)</i>		.	.	.
.
.
.
.
.
.
.

Поясним составленный алгоритм более подробным описанием блоков и приведем соответствующие фрагменты программы KON7 на языке C++.

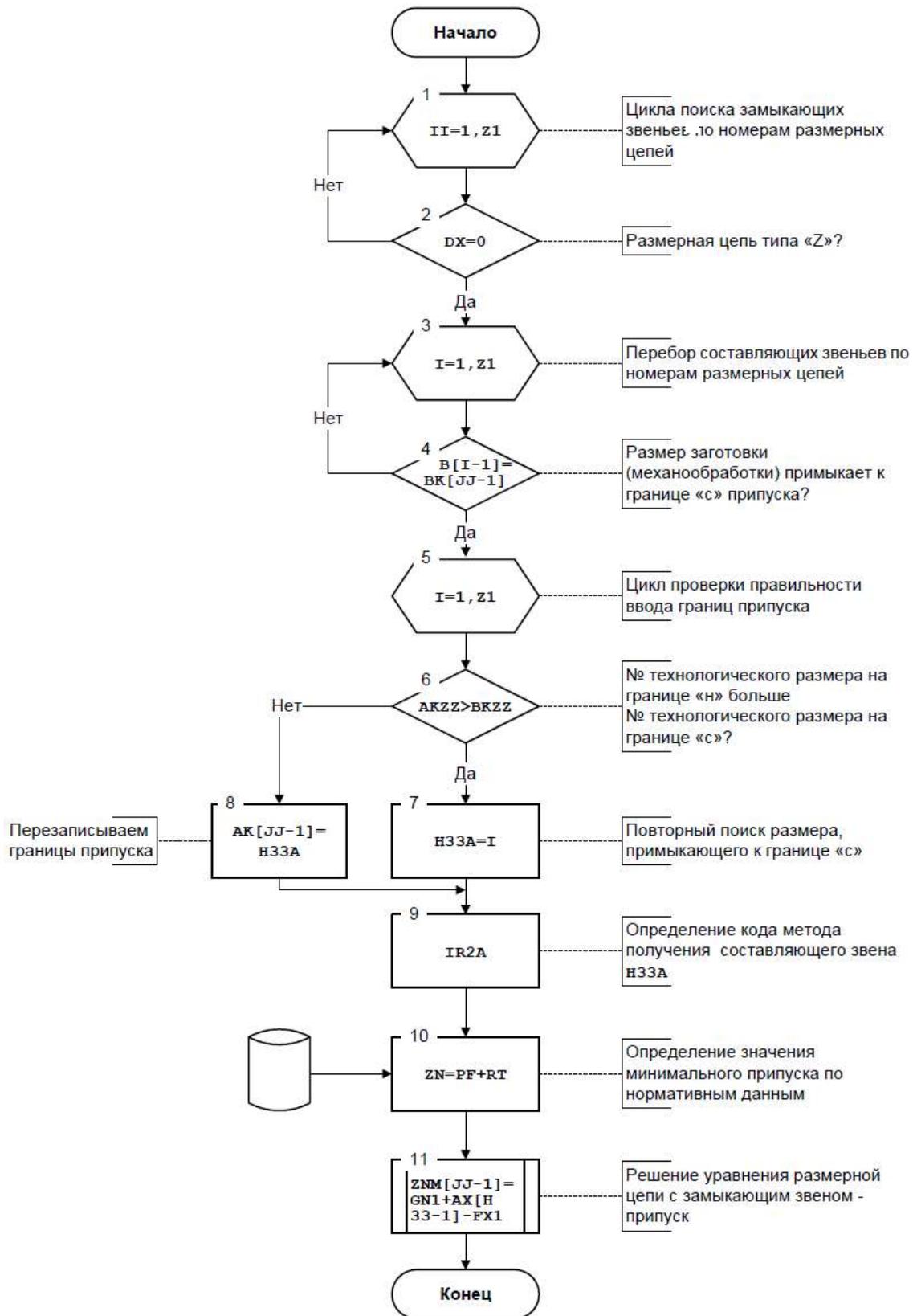


Рисунок 6.5 – Блок-схема расчета наименьшего значения припуска

6.3 Описание блоков алгоритма расчета минимального значения припуска

Блок 1

Вначале просматриваем все размерные цепи, записываем:

- номер цепи по списку ввода замыкающего звена, решаемой в II-ю очередь
- номер технологического размера по списку ввода, относительно которого решается цепь
- метод получения заготовки или механообработки составляющего звена

```
for (II=1;II<=d->Z1;II++){//индекс размерной цепи
    JJ=N5[II-1];//номер цепи по списку ввода замыкающего звена, решаемой в II-ю очередь
    H33=H3[JJ-1];// номер технологического размера по списку ввода, относительно которого решается цепь
    IR2=d->IR[H33-1][2-1];//метод получения заготовки или механообработки звена H33
    if(d->KOH==15) sprintf(out+lstrlen(out)," Номер решения=%3d      неизв. звено=A-3%d      код метода=
%3d\n",II,H33,IR2);
    if(IR2<70) goto m810;//заготовка
    for(I2=1;I2<=8;I2++){//код метода в группе точности IH1
        for(IH1=1;IH1<=6;IH1++){//код группы точности методов механообработки
            if(IR2==IM1[I2-1][IH1-1]) goto m810;
        }
    }
m810:
```

Блок 2

Если максимальное значение припуска равно нулю, значит – это размерная цепь типа «Z», т.е. замыкающим звеном является припуск.

```
if(d->DX[JJ-1]==0) goto m52;// расчет цепей типа Z
```

.....

Блок 3

Выполняется перебор составляющих звеньев по номерам размерных цепей для поиска того звена, по которому рассчитывается припуск.

```
m52:// замыкающее звено-припуск-данность
  for(I=1;I<=d->Z1;I++){ //поиск составляющего звена, по которому рассчитывается припуск
```

Блок 4

Выбирается то звено, которое поверхностью обработки примыкает к границе «с» припуска – для размера механообработки, для заготовки выбирается любая граница.

```
    if(d->IR[I-1][2-1]>70 && d->B[I-1]==d->BK[JJ-1]) goto m2517;//примыкающий к границе «с» размер - механо-
обработки
    if(d->IR[I-1][2-1]<70 && (d->B[I-1]==d->BK[JJ-1] || d->A[I-1]==d->BK[JJ-1])) goto m2517;//.....заготовки
  }
```

Блок 5

Записывается номер технологического размера на границе «с» припуска – замыкающего звена, далее выполняется перебор звеньев для проверки правильности ввода границ припуска

```
m2517: //проверка правильности ввода границ припуска и исправление в случае необходимости
BKZZ=I;//номер технологического размера на границе «с» припуска - замыкающего звена
  for(I=1;I<=d->Z1;I++){
    if(d->IR[I-1][2-1]>70 && d->B[I-1]==d->AK[JJ-1]) goto m2518;
    if(d->IR[I-1][2-1]<70 && (d->B[I-1]==d->AK[JJ-1] || d->A[I-1]==d->AK[JJ-1])) goto m2518;
  }
```

Блок 6

Записывается номер технологического размера на границе «н» припуска. Если номер технологического размера на поверхности «н» больше номера технологического размера на границе «с» припуска, то границы припуска введены пользователем правильно.

```
m2518:
    AKZZ=I;//запоминаем № технологического размера на поверхности «н»
    if(AKZZ>BKZZ) goto m2519;//границы припуска введены пользователем правильно
```

Блок 7

Если границы припуска введены пользователем неправильно, то перезаписываем границы припуска: больший номер размера должен быть на поверхности «н».

```
Н33А=d->ВК[JJ-1];
d->ВК[JJ-1]=d->АК[JJ-1];
d->АК[JJ-1]=Н33А;//перезаписываем границы припуска: больший номер размера должен быть на поверхности «н»
```

Блок 8

Если границы припуска введены пользователем правильно, повторно выполняем поиск размера, примыкающего к поверхности «с», далее записываем номер этого размера-звена.

```
m2519:
    for(I=1;I<=d->Z1;I++){//повторно выполняем поиск размера, примыкающего к поверхности «с»
        if(d->IR[I-1][2-1]>70 && d->В[I-1]==d->ВК[JJ-1]) goto m1517;
        if(d->IR[I-1][2-1]<70 && (d->В[I-1]==d->ВК[JJ-1] || d->А[I-1]==d->ВК[JJ-1])) goto m1517;
    }
    .....
```

Например, намеренно поменяем границы припуска Z1 в исходных данных для размерного анализа детали «Шкиф» по программе KON7, т.е. запишем их в неправильном порядке (рисунок 6.6), сначала номер старой границы, затем новой, и проведем расчет.

В результате получим в таблице 1 распечатки – неверный порядок ввода границ припуска, а уже в таблице 3 система меняет номера границ согласно приведенному выше алгоритму (рисунок 6.7).

Таким образом, неопытный пользователь сможет провести размерный анализ по программе KON7, не исправляя номера границ припусков в исходных данных.

m1517:

H33A=I; //Номер звена, по которому определяется припуск

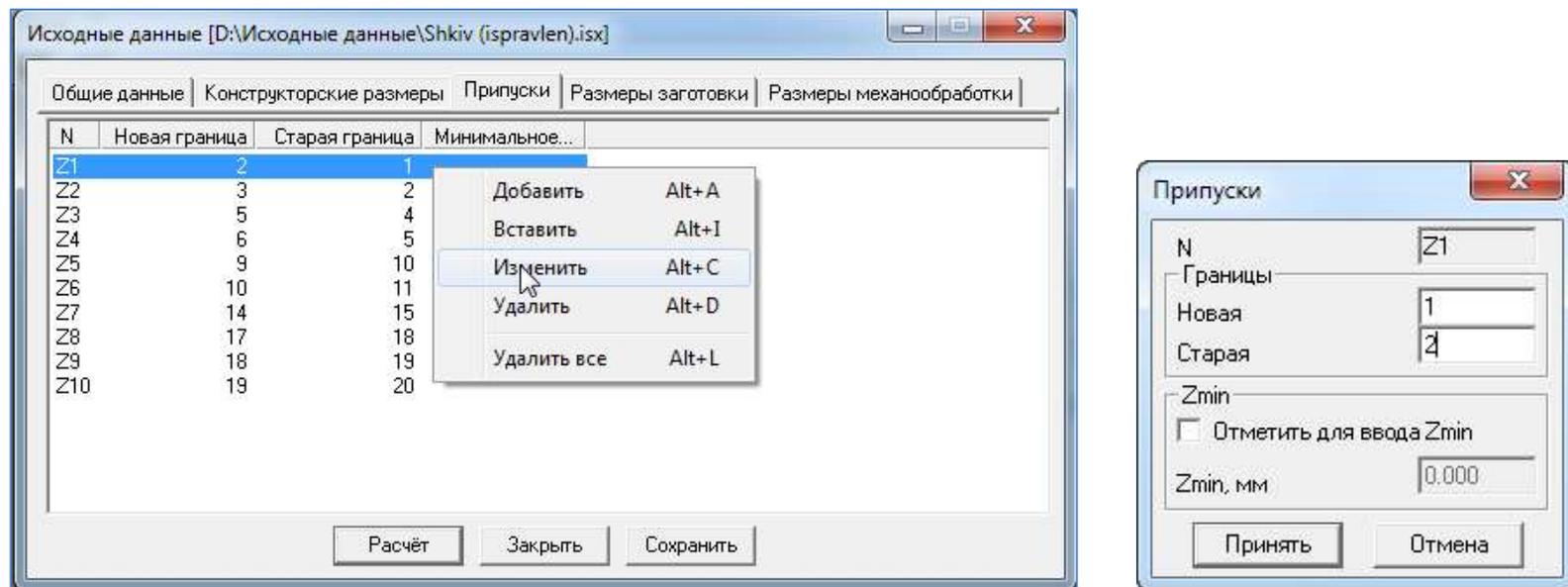


Рисунок 6.6 – Неверный порядок записи границ припуска Z1

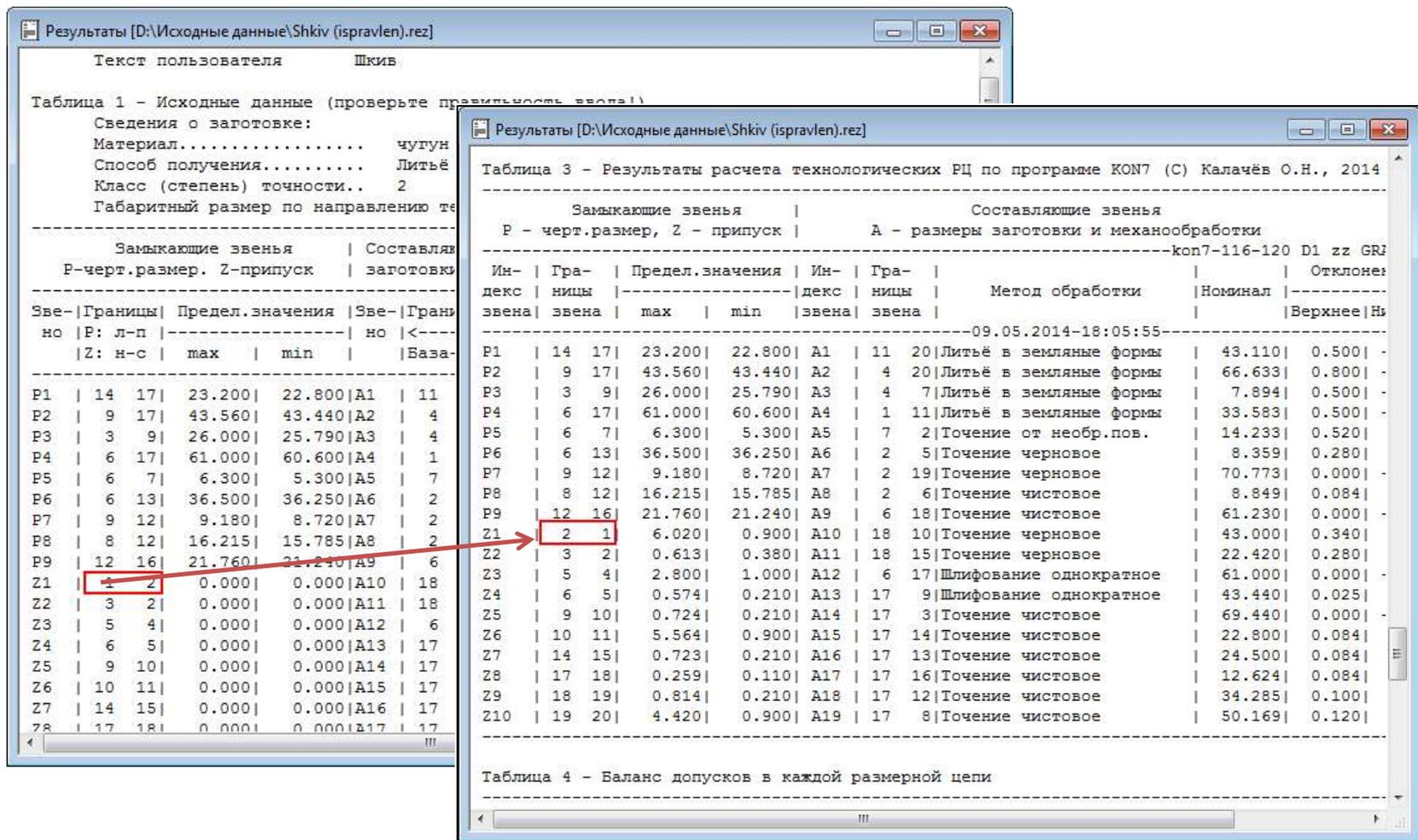


Рисунок 6.7 – Изменение записи границ припуска Z1

Блок 9

Определяем код метода получения звена, по которому рассчитывается припуск

```
//Расчет значения припуска:
IR2A=d->IR[H33A-1][2-1];//метод получения звена H33A
if(IR2A<70) goto m90;//звено - заготовка
for(I2=1;I2<=7;I2++){//определение индекса I2
```

Блок 10

Из базы данных программы выбираем все составляющие значения минимального припуска. По габаритному размеру звена, группе точности и коду формы детали определяем значение погрешности формы, высоту микронеровностей и глубину дефектного слоя. Значение минимального припуска определяется как по размеру механообработки, так и по размеру различных видов заготовки.

```
if(d->DT[H33A-1]<=F13[I2-1]) goto m92;//интервал габаритного размера для выбора значения погрешности формы
}
m92:
for(I2A=1;I2A<=8;I2A++)
for(IH1A=1;IH1A<=6;IH1A++)
if(IR2A==IM1[I2A-1][IH1A-1]) goto m8010;//поиск значения индекса IH1A, определяющего группу точности размера
H33A
m8010:
PF=F14[IH1A-1][I2+7*d->IR3-1];//выбор по индексам IH1A, I2 и кода формы детали IR3 значения погрешности формы
RT=F15[IH1A-1][d->IR0-1];// выбор по коду материала заготовки IR0 и группе точности размера составляющей при-
пуска
//Rz+T
ZN=PF+RT;//значение минимального припуска, обусловленного предыдущей обработкой звеном H33A
goto m16;
m90://определение припуска по размеру различных видов получения заготовки
if(IR2A<=13) goto m95;
if(IR2A<=22) goto m15;
goto m108;
m95:
```

```

    if(d->IR1-2<0) goto m96;
    else if(d->IR1-2==0) goto m97;
    else goto m98;
m96:
    PF=0.2*d->DT[H33A-1];
    ZN=PF+0.3;
    goto m16;
m97:
    PF=0.01*d->DT[H33A-1];
    ZN=PF+0.2;
    goto m16;
m98:
    if(d->IR1>3) goto m99;
    PF=0.045*d->DT[H33A-1];
    ZN=PF+0.2;
    goto m16;
m99:
    PF=0.2*d->DT[H33A-1];
    for(I=1;I<=3;I++)
        if(d->DT[H33A-1]<=F17[I-1]) goto m701;
m701:
    ZN=PF+F18[I-1];
    goto m16;
m15:
    for(I=1;I<=7;I++)
        if(d->DT[H33A-1]<=F13[I-1]) goto m705;
m705:
    PF=F19[I+7*d->IR3-1];
    for(I=1;I<=9;I++)
        if(d->DT[H33A-1]<=F20[I-1]) goto m706;
    ZN=F21[d->IR0-1][I-1];
    if(d->IR1==1) goto m706;
    ZN=ZN-0.15;
m706:
    ZN=ZN+PF;
    goto m16;
m108:
    for(I=1;I<=7;I++)
        if(d->DT[H33A-1]<=F13[I-1]) goto m710;
m710:

```

```

PF=F22[I+7*d->IR3-1];
I1=IR2A-41;
ZN=PF+F23[d->IR0-1][I1+1-1];

```

Блок 11

Далее решаем уравнение текущей размерной цепи с замыкающим звеном – припуск:

$Z_{i_{\min}}(j) = \sum \vec{A}_{i_{\min}} - \sum \overleftarrow{A}_{i_{\max}}$, подставив ранее подсчитанное значение минимального припуска, найдем значение неизвестного технологического размера.

```

m16://решение уравнения размерной цепи с замыкающим звеном - припуск
if(d->KOH==1) {
    sprintf(out+lstrlen(out)," Решается разм. цепь %3d типа Z%-3d с неизв. звеном A%-3d\n",II,IM5[JJ-1],H33);
    sprintf(out+lstrlen(out),"          припуск ZMIN, рассчитанный системой=%8.3f\n",ZN);
}
if(d->DN[JJ-1]==0) goto m3090;
ZN=d->DN[JJ-1];
if(d->KOH==1) sprintf(out+lstrlen(out),"          припуск, заданный пользователем=%8.3f",ZN);
m3090:
ZN1[H33-1]=ZN;
ZNN[JJ-1]=ZN;
if(d->KOH==15) sprintf(out+lstrlen(out),"H33=%3d ZN=%10.5f PF=%10.5f RT=%10.5f\n",H33,ZN,PF,RT);
if(d->KOH==1) sprintf(out+lstrlen(out),"          с о с т а в   ц е п и   : \n");
FX=0.;
FX1=0.;//-----280501
I1=K11[JJ-1];
for(L=1;L<=I1;L++){
    H11=H1[JJ-1][L-1];
    if(d->KOH==1) sprintf(out+lstrlen(out),"          уменьш. звено A%-3d:          max=%8.3f
min=%8.3f\n",H11,AX[H11-1],AN[H11-1]);
    if(d->KOH==15) sprintf(out+lstrlen(out),"%3d  %10.5f  %10.5f\n",H11,AX[H11-1],AN[H11-1]);
    FX=FX+AX[H11-1];
    FX1=FX1+AN[H11-1];//-----
}
GN=0.;
GN1=0.;//-----
I1=K22[JJ-1];
for(L=1;L<=I1;L++){

```

```

        H22=H2[JJ-1][L-1];
        if(d->KOH==1) sprintf(out+lstrlen(out),"          увелич. звено A%-3d:          max=%8.3f
min=%8.3f\n",H22,AX[H22-1],AN[H22-1]);
        GN=GN+AN[H22-1];
        GN1=GN1+AX[H22-1];//-----
    }
    if(T5[JJ-1][H33-1]<0) goto m713;
    if(d->KOH==15) sprintf(out+lstrlen(out),"%5d\n",T5[JJ-1][H33-1]);
    AXX=GN-FX-ZN;
    goto m714;
m713:
    ANN=ZN+FX-GN;
    AXX= ANN;
m714:
    IP=2;
    if(d->KOH==15) sprintf(out+lstrlen(out),"GN=%10.5f FX=%10.5f ZN=%10.5f\n",GN,FX,ZN);
    goto m115;
m116:
    if(IR2<70) goto m117;
    if(d->IR[H33-1][1-1]==0) goto m718;
    if(d->IR[H33-1][1-1]==1) goto m7718;
    if(d->IR[H33-1][1-1]==2) goto m7618;
m718:
    if(T5[JJ-1][H33-1]<0) goto m720;
    AH1=AXX-D1;
    goto m804;
m720:
    AH1=ANN;
m804:
    DX1=D1;
    DN1=0;
    goto m803;
m7718:
    if(T5[JJ-1][H33-1]<0) goto m7720;
    AH1=AXX;
    goto m8802;
m7720:
    AH1=ANN+D1;
m8802:
    DX1=0;

```

```

    DN1=-D1;
    goto m803;
m7618:
    if (T5[JJ-1][H33-1]<0) goto m7620;
    AH1=AXX-D1/2;
    goto m7902;
m7620:
    AH1=ANN+D1/2;
m7902:
    DX1=D1/2;
    DN1=-D1/2;
m803:
    AH[H33-1]=AH1;
    DX2[H33-1]=DX1;
    DN2[H33-1]=DN1;
    AX[H33-1]=AH1+DX1;
    AN[H33-1]=AH1+DN1;
    if (T5[JJ-1][H33-1]<0) goto m3333;
    ZNM[JJ-1]=GN1-FX1-AN[H33-1];
    goto m3334;
m3333:
    ZNM[JJ-1]=GN1+AX[H33-1]-FX1;
m3334:
    if (d->KOH==15) sprintf(out+lstrlen(out),"H33=%3d AH1=%8.4f %7.4f %7.4f AH=%8.4f
AN=%8.4f\n",H33,AH1,DX1,DN1,AX[H33-1],AN[H33-1]);
    if (d->KOH==1) {
        sprintf(out+lstrlen(out),"          расчётный размер звена A%-3d:\n",H33);
        sprintf(out+lstrlen(out),"          номинал=%8.3f                                max=%8.3f
min=%8.3f\n",AH1,AX[H33-1],AN[H33-1]);
        dop=ZNM[JJ-1]-ZNN[JJ-1];
        sprintf(out+lstrlen(out),"          припуск по звену A%-3d  Z%-3d:\n",H33A,IM5[JJ-1]);
        sprintf(out+lstrlen(out),"          допуск=%8.3f                                max=%8.3f    min=%8.3f\n",
dop,ZNM[JJ-1],ZNN[JJ-1]);
    }
}

```

6.4 Примеры схем определения операционных размеров и припусков для трех- и четырехзвенных размерных цепей

Используя схему для определения возможных значений припуска из работы [8] (см. главу 1), уточним рассмотренные ранее ситуации (см. рисунок 6.1), встречающиеся в процессе решения технологических размерных цепей.

Рассмотрим схемы для определения возможных значений припусков и допусков при размерном анализе ТП механообработки деталей «тело вращения» и «Шкив».

Для всех случаев рассчитаем минимальное значение припуска по формуле (2.10).

Максимальное значение по формуле

$$Z_{i_{\max}} = \sum \bar{A}_{i_{\max}} - \sum \bar{A}_{i_{\min}} \quad (6.1)$$

Рассмотрим первый случай на примерах уравнений типа «Z» размерной структуры детали «тело вращения» (см. главу 4) с результатами в таблице 5.1: $Z3 = -A5 + A4$; $Z1 = -A3 + A2$; $Z4 = -A4 + A3$.

В данном случае размерные цепи являются трехзвенными, соблюдается «принцип единства баз», погрешность базирования отсутствует.

Построим подробную схему операционных размеров и припусков для уравнения $Z3 = -A5 + A4$ (рисунок 6.8), используя результаты расчетов в таблице 5.1.

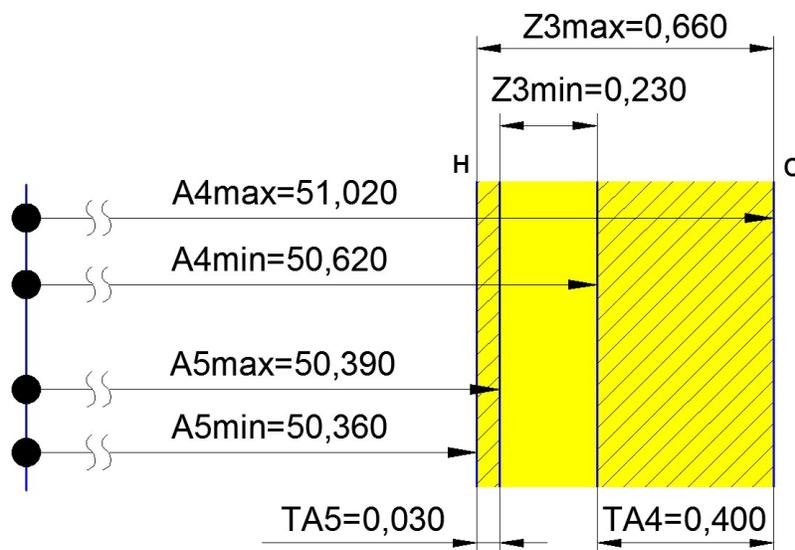


Рисунок 6.8 – Схема операционных размеров и припусков для трехзвенной цепи

Исходя из схемы (см. рисунок 6.8):

$$Z3_{\max} = TA5 + Z3_{\min} + TA4 = 0,030 + 0,230 + 0,400 = 0,660.$$

Данное значение соответствует рассчитанному по программе.

Проведем проверку исходя из формул (2.10) и (6.1):

$$Z3_{\max} = A4_{\max} - A5_{\min} = 51,020 - 50,360 = 0,660.$$

$$Z3_{\min} = A4_{\min} - A5_{\max} = 50,620 - 50,390 = 0,230.$$

Результаты соответствуют значениям $Z3_{\max}$ и $Z3_{\min}$, полученным в ходе расчета по программе KON7.

Построим подробную схему операционных размеров и припусков для уравнения $Z1 = -A3 + A2$ (рисунок 6.9), используя результаты расчетов таблицы 4.6 (см. главу 4).

Здесь размер заготовки $A2$ является неизвестным звеном.

Исходя из схемы (см. рисунок 6.9):

$$Z1_{\max} = TA2 + Z1_{\min} + TA3 = 0,800 + 0,700 + 0,740 = 2,240.$$

Данное значение соответствует рассчитанному по программе.

Проведем проверку исходя из формул (2.10) и (6.1):

$$Z1_{\max} = A2_{\max} - A3_{\min} = 53,960 - 51,720 = 2,240.$$

$$Z1_{\min} = A2_{\min} - A3_{\max} = 53,160 - 52,460 = 0,700.$$

Результаты соответствуют значениям $Z1_{\max}$ и $Z1_{\min}$, полученным в ходе расчета по программе KON7.

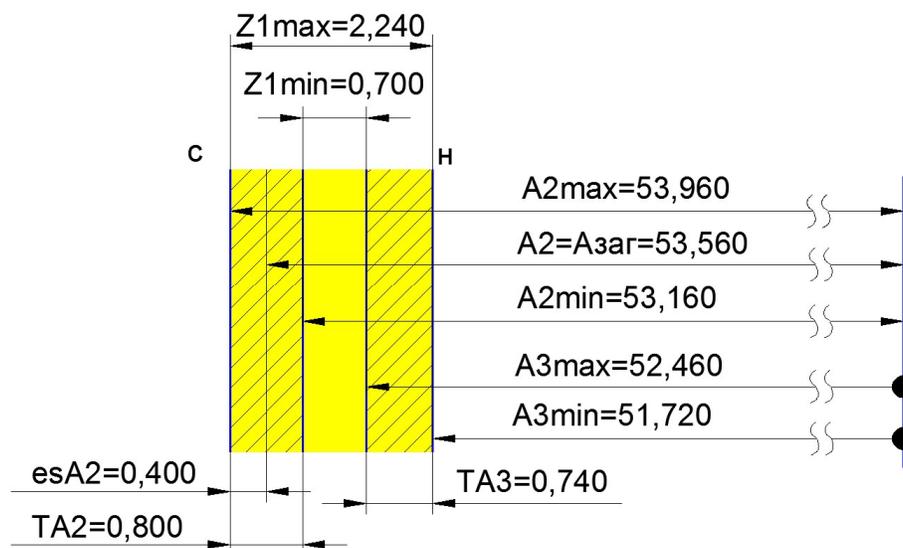


Рисунок 6.9 – Схема операционных размеров и припусков для трехзвенной цепи с неизвестным звеном – размером заготовки

Построим подробную схему операционных размеров и припусков для уравнения $Z4 = -A4 + A3$ (рисунок 6.10), используя результаты расчетов таблицы 5.1.

Здесь неизвестное звено А3 примыкает к границе «с» припуска поверхностью обработки.

Исходя из схемы (см. рисунок 6.10):

$$Z4_{\max} = TA4 + Z4_{\min} + TA3 = 0,400 + 0,700 + 0,740 = 1,840.$$

Данное значение соответствует рассчитанному по программе.

Проведем проверку исходя из формул (2.10) и (6.1):

$$Z4_{\max} = A3_{\max} - A4_{\min} = 52,460 - 50,620 = 1,840.$$

$$Z4_{\min} = A3_{\min} - A4_{\max} = 51,720 - 51,020 = 0,700.$$

Результаты соответствуют значениям $Z4_{\max}$ и $Z4_{\min}$, полученным в ходе расчета по программе KON7.

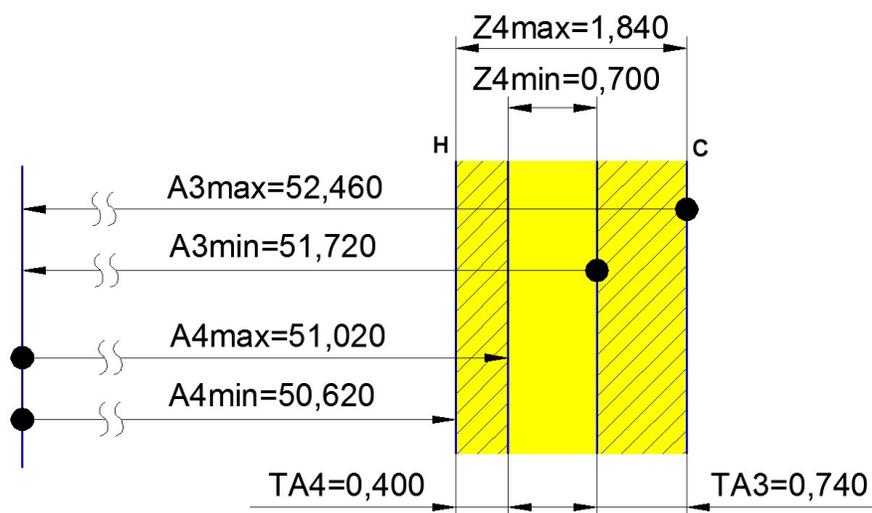


Рисунок 6.10 – Схема операционных размеров и припусков для трехзвенной цепи с неизвестным звеном, примыкающим к границе «с» припуска поверхностью обработки

Таким образом, первый случай классификации (см. рисунок 6.1) можно разделить на три, имеющие некоторые отличия, однако все они рассматривают цепь типа «Z», которая является трехзвенной.

Далее рассмотрим второй случай классификации на примерах уравнений типа «Z» размерной схемы детали «Шкив» (см. раздел 6.1): $Z9 = -A8 - A9 + A7$; $Z2 = -A14 + A8 + A12$.

В данном случае уравнения состоят из четырех звеньев, операционные размеры, примыкающие к границам припуска, выполняются от разных баз, т.е. «принцип единства баз» не соблюдается, погрешность базирования равна допуску на размер A_i .

Для данного случая выведем уравнения из формул (2.10) и (6.1):

$$Z_{i \min} = A_{i-1 \min} - (A_{i \max} + A_{i+1 \max}), \quad (6.2)$$

$$Z_{i \max} = A_{i-1 \max} - (A_{i \min} + A_{i+1 \min}). \quad (6.3)$$

Построим схему операционных размеров и припусков для уравнения с четырьмя звеньями $Z_9 = -A_8 - A_9 + A_7$ с неизвестным звеном A_7 (рисунок 6.11), используя результаты расчетов таблицы 8.1.

Проведем проверку исходя из уравнений (6.2) и (6.3):

$$Z_{9\max} = A_{7\max} - (A_{8\min} + A_{9\min}) = 70,773 - (8,849 + 61,110) = 0,814.$$

$$Z_{9\min} = A_{7\min} - (A_{8\max} + A_{9\max}) = 70,373 - (8,933 + 61,230) = 0,210.$$

Результаты соответствуют значениям $Z_{9\max}$ и $Z_{9\min}$, полученным в ходе расчета по программе KON7.

Исходя из схемы (см. рисунок 6.11):

$$Z_{9\max} = TA_9 + Z_{9\min} + TA_7 = 0,120 + 0,210 + 0,400 = 0,730$$

Данное значение не соответствует $Z_{9\max}$, рассчитанному по программе и по уравнениям, т.к. при расчете по схеме не был учтен допуск на размер A_8 , который входит в рассматриваемую четырехзвенную цепь.

Чтобы его учесть, упростим схему (см. рисунок 6.11) и изобразим звенья A_8 и A_9 как одно уменьшающее звено ($A_8 + A_9$), сложив соответственно их максимальные и минимальные значения, также построим допуск TA_8 рядом с допуском TA_9 .

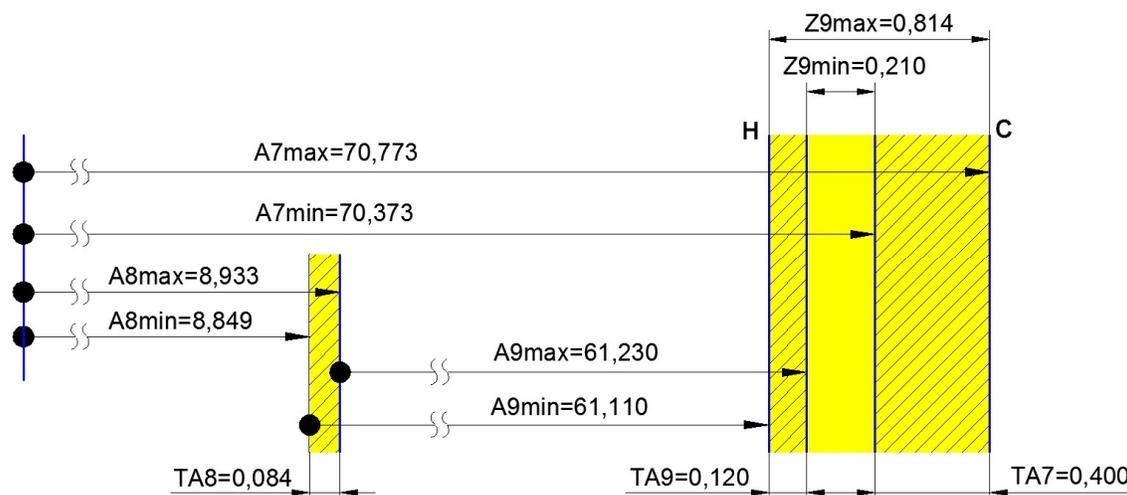


Рисунок 6.11 – Схема операционных размеров и припусков для четырехзвенной цепи

В итоге получаем схему трехзвенной цепи (рисунок 6.12).

Далее, исходя из этой схемы, снова рассчитаем значение максимального припуска:

$$Z_{9\max} = TA_8 + TA_9 + Z_{9\min} + TA_7 = 0,084 + 0,120 + 0,210 + 0,400 = 0,814.$$

Данное значение соответствует $Z_{9\max}$, рассчитанному по программе KON7 плюс.

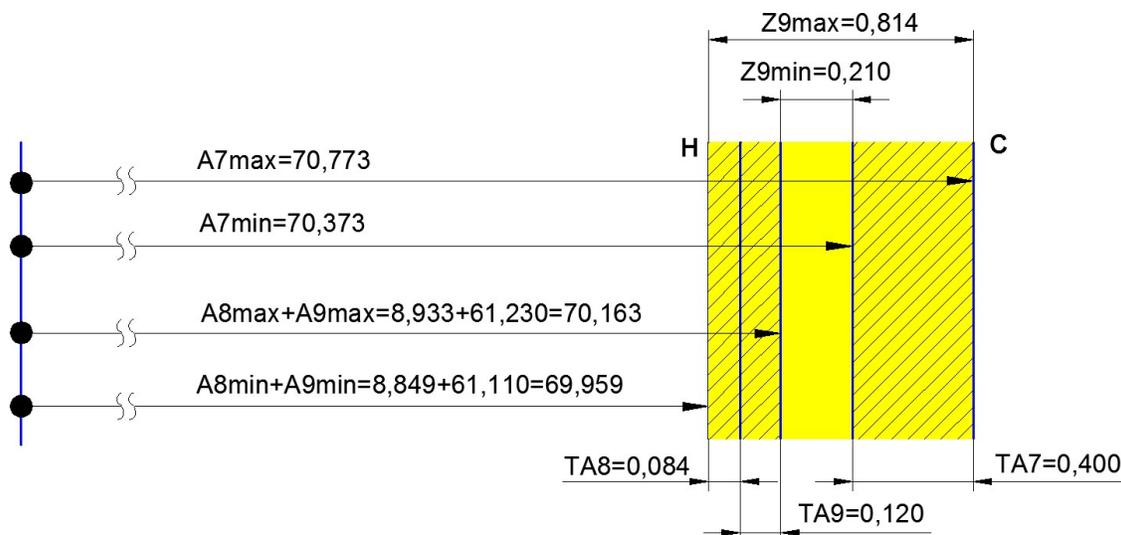


Рисунок 6.12 – Упрощенная схема операционных размеров и припусков для четырехзвенной цепи

Таким образом, в величину максимального припуска должны входить допуски всех звеньев рассматриваемой цепи. Это еще раз доказывает то, что при размерном анализе и соответствующей системе отсчета припуска учитывается погрешность базирования, которая в данном случае равна допуску на размер А8.

Далее построим подробную схему операционных размеров и припусков для уравнения с четырьмя звеньями $Z2 = -A14 + A8 + A12$ с неизвестным звеном А8, используя результаты расчетов в таблице 8.1 для детали «Шкив» (размерная схема – на рисунке 8.2).

Для случая, когда рассматриваемая размерная цепь имеет более трех звеньев, а минимальный припуск рассчитывается по звену из другой цепи (см. рисунок 6.1), также можно построить упрощенную схему операционных размеров и припусков (рисунок 6.13).

Рассчитаем максимальное и минимальное значение припуска по уравнениям (6.2) и (6.3):

$$Z2_{\max} = (A8_{\max} + A12_{\max}) - A14_{\min} = (8,933 + 61,000) - 69,320 = 0,613.$$

$$Z2_{\min} = (A8_{\min} + A12_{\min}) - A14_{\max} = (8,849 + 60,971) - 69,440 = 0,380.$$

Исходя из схемы (см. рисунок 6.13):

$$Z2_{\max} = TA8 + TA12 + Z2_{\min} + TA14 = 0,084 + 0,029 + 0,380 + 0,120 = 0,613.$$

Данное значение соответствует рассчитанному $Z2_{\max}$ по программе.

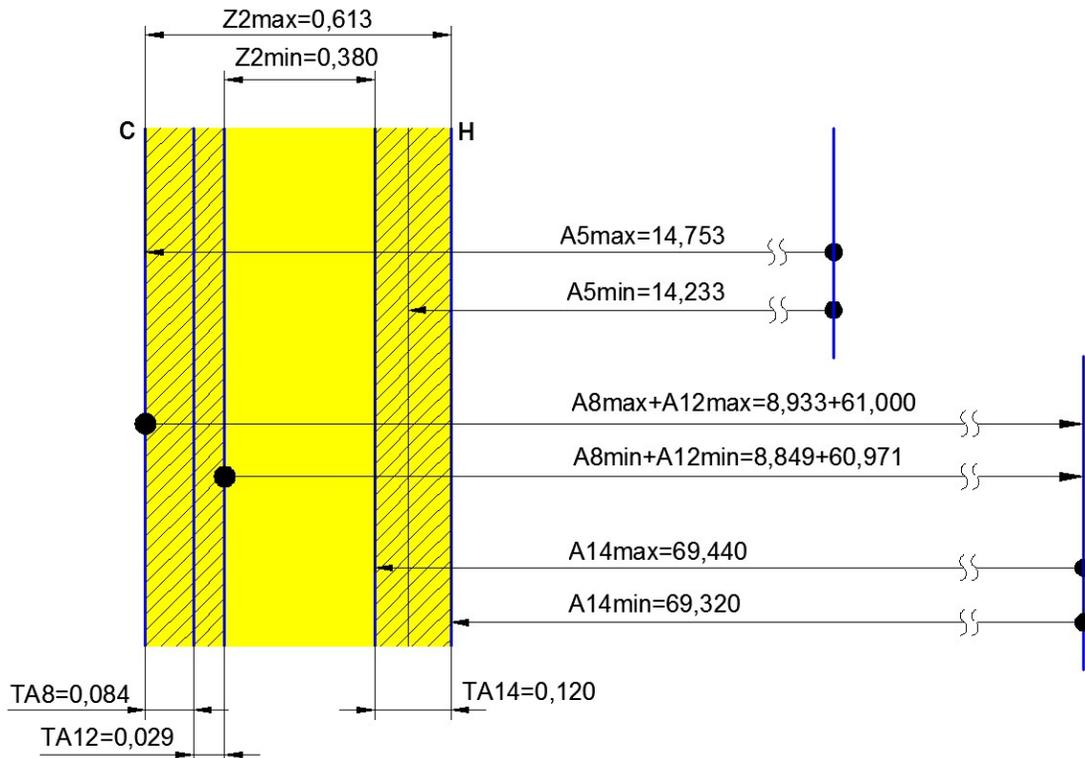


Рисунок 6.13 – Схема операционных размеров и припусков для четырехзвенной цепи при расчете минимального значения припуска по звену из другой цепи

Из этого следует, что уравнение, имеющее более трех звеньев, когда минимальный припуск назначается по звену из другой цепи, рассчитывается, как обычное трех- или более звенное уравнение.

Выводы

В данной главе проведена классификация ситуаций при расчете припуска с точки зрения соблюдения «принципа единства баз».

Разработана методика и программный модуль корректного расчета припуска по звену, примыкающему к его «старой» границе, также учтена возможность неправильного ввода границ припуска пользователем. На реальных примерах были рассмотрены ситуации, возникающие при расчетах припусков в ходе проведения размерного анализа ТП.

7 РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ И ПРОГРАММНЫХ МОДУЛЕЙ «KON7 ПЛЮС»

В новой версии программы KON7, которая получила название «KON7 плюс», были добавлены:

- таблица баланса допусков по каждому уравнению размерной цепи;
- расчет минимального значения припуска по звену, которое входит в другую размерную цепь.

Программа «KON7 плюс» позволяет учитывать:

- колебание припуска на окончательной стадии обработки TZ_i , а также суммарное колебание припусков на последних стадиях обработки ΣTZ_i ;
- значение отношения максимального припуска к минимальному на каждой окончательной стадии обработки Z_{\max}/Z_{\min} , которое в конкретных случаях может быть ограничено заданной величиной;
- частоту использования звеньев в уравнениях размерных цепей, т.е. сколько раз и в какие уравнения входит то или иное звено размерной цепи.

Для этого были реализованы алгоритмы, описанные далее.

7.1 Алгоритм расчета изменений припуска последней обработки каждой поверхности детали

Цель: определить номера примыкающих припусков, затем отобразить рассчитанные ранее значения Z_{\max} , Z_{\min} , найти их отношения, просуммировать колебания (допуски припусков) и в результатах расчета вывести на печать таблицу 5 «Припуски последней обработки каждой поверхности детали» (рисунок 7.1).

Поставленную задачу реализует алгоритм в виде блок-схемы, показанной на рисунке 7.2.

Вначале формируем массив границ детали, т.е. поверхностей, связанных конструкторскими размерами.

Исходные данные:

AK(), BK() – массивы границ конструкторских размеров по списку ввода;

Z1 – число строк ввода равно числу замыкающих (составляющих) звеньев;

J2 – число замыкающих звеньев типа «Р», определенное на этапе ввода исходных данных в программе KON7.

Расчёт технологических размерных цепей - [Результаты [D:\Исходные данные\111-6 в...]

Файл Окно ?

|-0.300| 1.770=>0.030+0.400+0.600+0.740

Таблица 5 - Припуски последней обработки каждой поверхности детали

№пов	№Z	Zmin	Zmax	ДопускZ	Zmax/Zmin	Сумма допусков
3	5	0.360	0.489	0.129	1.360	
4	6	0.230	0.660	0.430	2.870	
8	8	0.230	0.646	0.416	2.811	
						0.976

Рисунок 7.1 – Оформление результатов расчета припусков последней обработки поверхностей в виде таблицы 5

Блок 1. Подготовка циклов: обнуление массива ZM, ZK=1 – счетчик поверхностей детали, ZZ1=Z1+1 – число вершин графа.

Блок 2. Цикл по поверхностям размерной схемы.

Блок 3. Цикл по замыкающим звеньям типа «Р».

Блок 4. Проверяется совпадение границ конструкторского размера с текущей поверхностью размерной схемы.

Блок 5. Если проверка в блоке 4 положительна, в массив ZM заносится номер поверхности детали по списку ввода. Счетчик числа поверхностей детали увеличивается на 1.

Блок 6. Подготовка следующих циклов и обнуление переменной для суммы колебаний припусков.

Блок 7. Цикл по номерам поверхностей детали.

Блок 8. Цикл по припускам с учетом номера ввода в исходных данных.

Блок 9. Проверка совпадения номера текущей поверхности детали и правой или левой границ текущего припуска.

Блок 10. Сохранение: поверхностей детали с примыкающим припуском в массиве M1, номера припуска по списку ввода в массиве M2.

Блок 11. Цикл по числу поверхностей детали с примыкающим припуском.

Блок 12. Суммирование разности максимального и минимального значения припуска, рассчитанных для таблицы 3 программы KON7.

Блок 13. Вывод на печать таблицы 5.

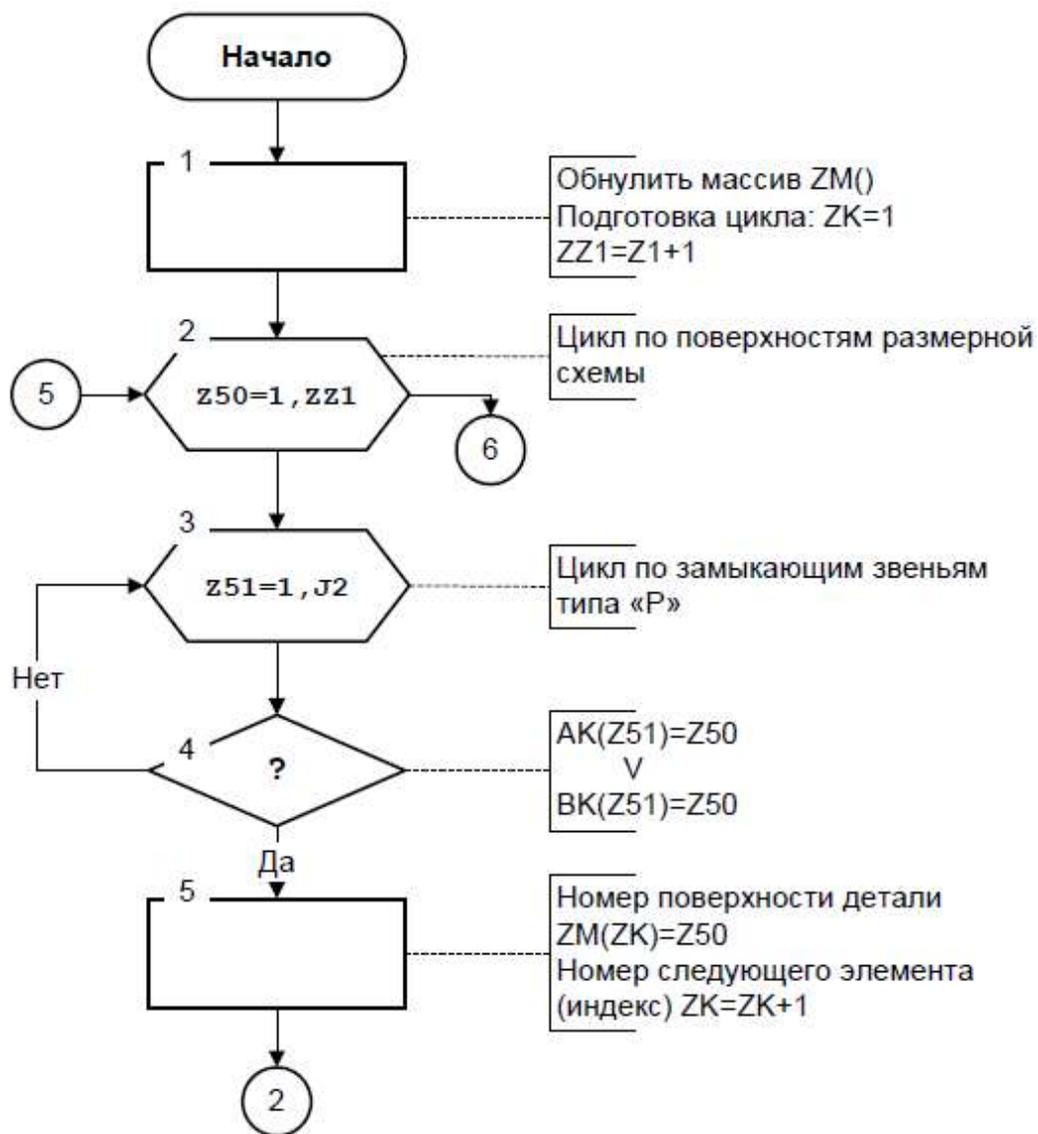


Рисунок 7.2 – Алгоритм поиска значений Z_{\max} , Z_{\min} , их отношения, колебаний припусков, суммы колебаний припусков на последних стадиях обработки (начало)

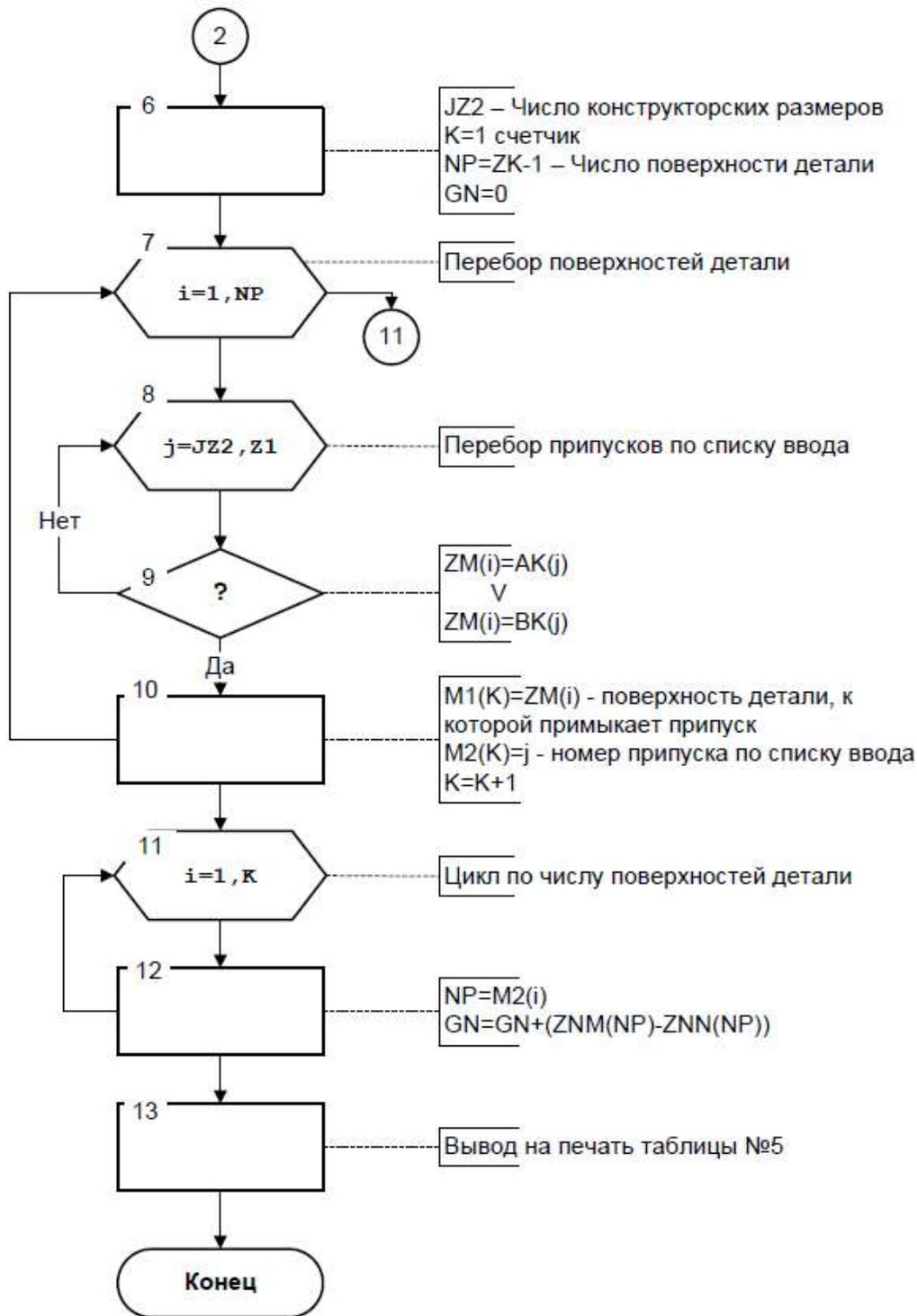


Рисунок 7.2 – Алгоритм поиска значений Z_{max} , Z_{min} , их отношения, колебаний припусков, суммы колебаний припусков на последних стадиях обработки (окончание)

7.2 Алгоритм расчета частоты использования звеньев в уравнениях размерных цепей

Цель: для каждого составляющего звена определить число вхождений в каждую размерную цепь, перечислить номера этих цепей с соответствующими замыкающими звеньями и в результатах расчета вывести на печать таблицу 6 «Частота вхождения каждого звена в размерные цепи» (рисунок 7.3).

Для достижения поставленной цели предложен алгоритм в виде блок-схемы (рисунок 7.4) следующего содержания.

Звено	Число вхожд	Номер РЦ (Зам. зв. РЦ)
A1	1	9 (Z6)
A2	1	4 (Z1)
A3	3	4, 7, 9 (Z1, Z4, Z6)
A4	2	6, 7 (Z3, Z4)
A5	3	5, 6, 9 (Z2, Z3, Z6)
A6	2	8, 9 (Z5, Z6)
A7	2	3, 8 (P3, Z5)
A8	2	2, 5 (P2, Z2)
A9	1	1 (P1)

Конец заказа Калачева

Рисунок 7.3 – Вывод таблицы 6

Блок 1. Цикл по составляющим звеньям размерных цепей по списку ввода.

Блок 2. Начальному значению счетчика присваивается 1.

Блок 3. Цикл по замыкающим звеньям размерных цепей по списку ввода.

Блок 4. Извлечение числа составляющих звеньев в текущей цепи.

Блок 5. Цикл по номерам звеньев текущей цепи.

Блок 6. Проверка совпадения текущего составляющего звена с текущим звеном анализируемой размерной цепи.

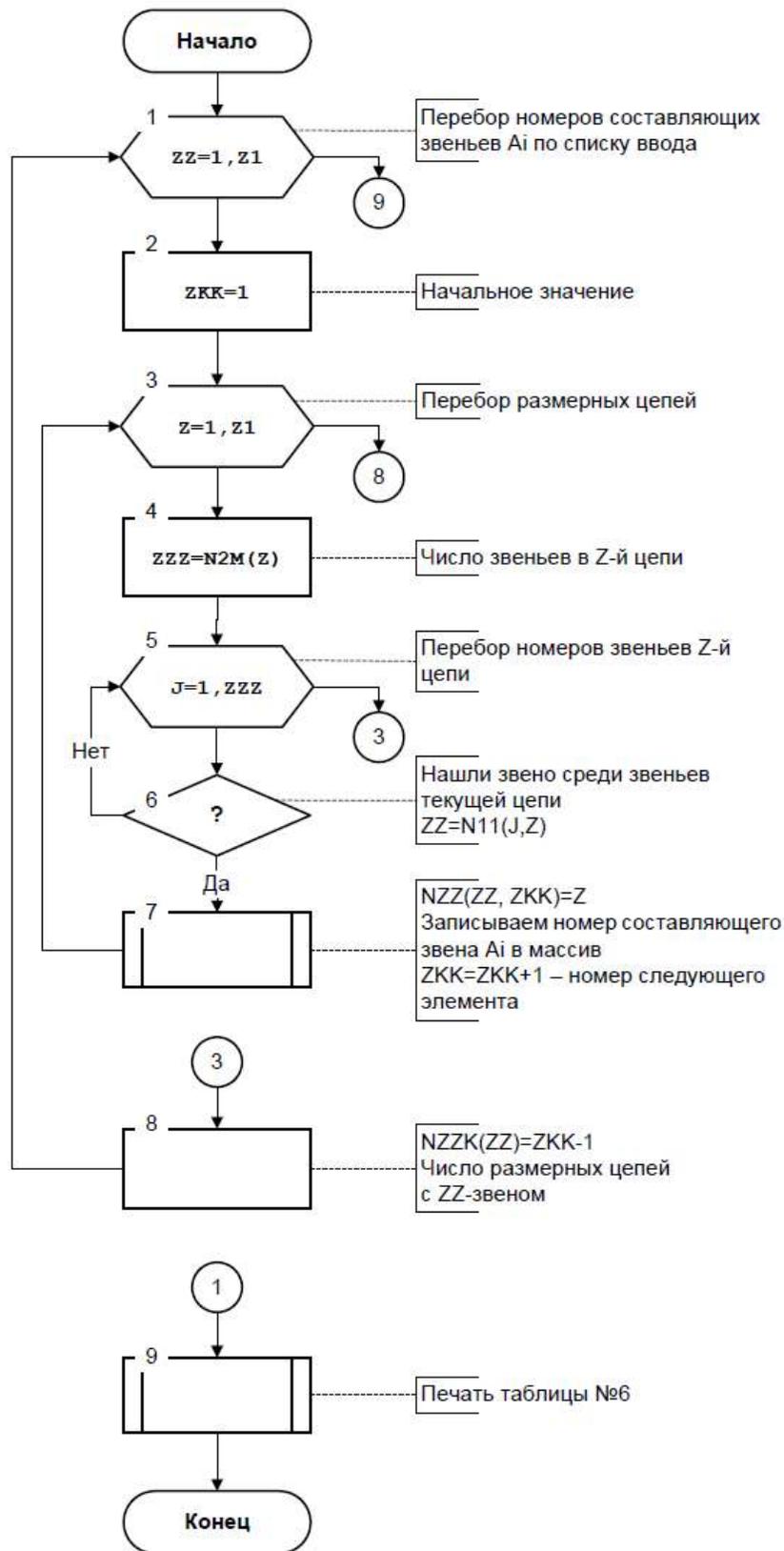


Рисунок 7.4 – Алгоритм поиска частоты вхождения звеньев в размерные цепи

Блок 7. Сохраняем номер составляющего звена, увеличиваем счетчик анализируемого звена на 1.

Блок 8. Сохраняем число входящего в разные цепи текущего звена в массиве NZZK.

Блок 9. Вывод на печать таблицы 6.

Выводы

На основе разработанных алгоритмов и программных модулей была усовершенствована программа «KON7 плюс», программный код которой представлен в приложении В.

С помощью новых возможностей будет осуществляться более быстрый поиск рационального варианта размерной структуры при проектировании ТП механообработки.

8 МЕТОДИКА ВЫЯВЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ВАРИАНТА РАЗМЕРНОЙ СТРУКТУРЫ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ «KON7 ПЛЮС»

Рассмотрим методику выявления наиболее рациональной размерной структуры по программе «KON7 плюс» с учетом особенностей расчета припуска, влияния колебания припуска, запаса точности и частоты вхождения звеньев в размерные цепи [28, 30]. Составим алгоритм (рисунок 8.1).

Применим данную методику для размерного анализа по программе «KON7 плюс» детали «Шкив», рассмотренной ранее при исследовании особенностей расчета минимального припуска (см. рисунок 6.2), используя размерную схему (см. рисунок 6.3), и выявим наиболее рациональную размерную структуру.

Рассчитаем стартовый вариант размерной структуры (исходные данные приведены в таблице 8.1 результатов расчета). Таблица 3 выводится, т.е. условие по балансу допусков выполняется.

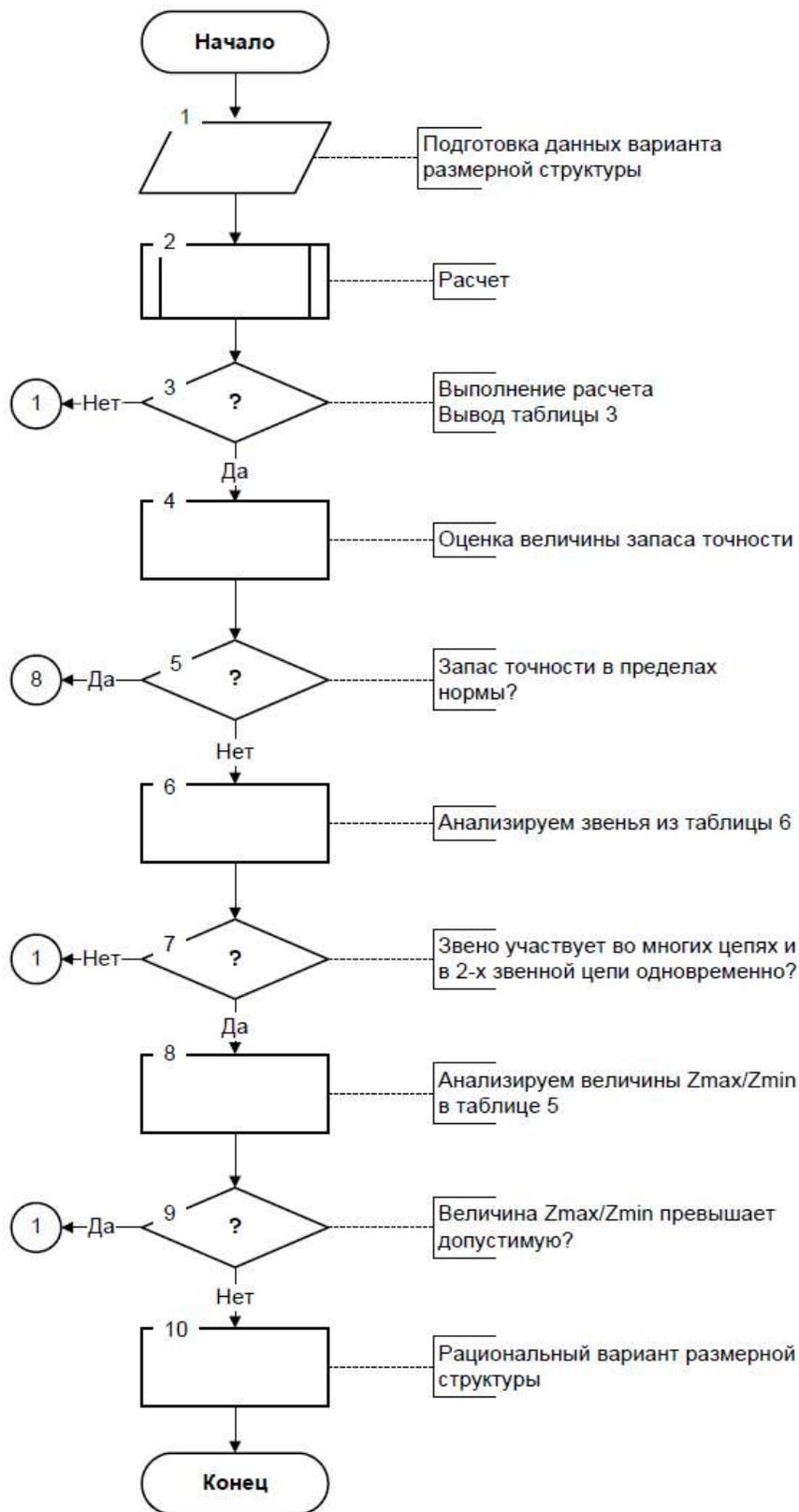


Рисунок 8.1 – Методика выявления рациональной размерной структуры

**Таблица 8.1 – Результаты расчета для размерного анализа
ТП детали «Шкив»**

Исходные данные и результаты анализа технологических размерных цепей Программа KON7 (C) Калачев О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)											
Текст пользователя						Шкив					
Таблица 1 - Исходные данные (проверьте правильность ввода!)											
Сведения о заготовке:											
Материал.....						чугун					
Способ получения.....						Литьё в земляные формы					
Класс (степень) точности..						2					
Габаритный размер по направлению технологических размеров...						150.000					

Замыкающие звенья				Составляющие звенья: размеры А				Поп-		Отклонения	
Р-черт.размер. Z-припуск				заготовки <-->, затем мех.обработки О-->				реч-		допуска DT	

Зве-	Границы	Предел.значения		Зве-	Границы	Метод обработки		Сист	раз-		
но	P: л-п	-----		но	<----->			дому	мер,	-----	
	Z: н-с	max	min		База-->			ска	мм	Верх.	Нижнее

-16.05.2014-9:24:59-----											
P1	14	17	23.200	22.800	A1	11	20	Литьё в земляные формы	ось	40	0.000 0.000
P2	9	17	43.560	43.440	A2	4	20	Литьё в земляные формы	ось	155	0.000 0.000
P3	3	9	26.000	25.790	A3	4	7	Литьё в земляные формы	ось	155	0.000 0.000
P4	6	17	61.000	60.600	A4	1	11	Литьё в земляные формы	ось	115	0.000 0.000
P5	6	7	6.300	5.300	A5	7	2	Точение от необр.пов.	отв	150	0.000 0.000
P6	6	13	36.500	36.250	A6	2	5	Точение черновое	отв	150	0.000 0.000
P7	9	12	9.180	8.720	A7	2	19	Точение черновое	вал	150	0.000 0.000
P8	8	12	16.215	15.785	A8	2	6	Точение чистовое	отв	150	0.000 0.000
P9	12	16	21.760	21.240	A9	6	18	Точение чистовое	вал	40	0.000 0.000
Z1	2	1	0.000	0.000	A10	18	10	Точение черновое	отв	150	0.000 0.000
Z2	3	2	0.000	0.000	A11	18	15	Точение черновое	отв	150	0.000 0.000
Z3	5	4	0.000	0.000	A12	6	17	Шлифование однократное	вал	40	0.000 0.000
Z4	6	5	0.000	0.000	A13	17	9	Шлифование однократное	отв	40	0.000 0.000
Z5	9	10	0.000	0.000	A14	17	3	Точение чистовое	вал	150	0.000 0.000
Z6	10	11	0.000	0.000	A15	17	14	Точение чистовое	отв	150	0.000 0.000
Z7	14	15	0.000	0.000	A16	17	13	Точение чистовое	отв	150	0.000 0.000
Z8	17	18	0.000	0.000	A17	17	16	Точение чистовое	отв	150	0.000 0.000
Z9	18	19	0.000	0.000	A18	17	12	Точение чистовое	отв	150	0.000 0.000
Z10	19	20	0.000	0.000	A19	17	8	Точение чистовое	отв	150	0.000 0.000

Таблица 2 - Результаты поиска уравнений размерных цепей и последовательности их решения											

Номер	Неизв.		Уравнения в символьной форме								
решения	звено										

1		A15	P1=+A15								
2		A13	P2=+A13								
3		A12	P4=+A12								
4		A14	P3=-A13+A14								
5		A16	P6=-A16+A12								
6		A18	P7=-A18+A13								
7		A9	Z8=-A12+A9								
8		A19	P8=-A18+A19								
9		A17	P9=-A17+A18								
10		A8	Z2=-A14+A8+A12								
11		A10	Z5=-A10-A12+A9+A13								
12		A11	Z7=-A11-A12+A9+A15								
13		A5	P5=-A8+A5								
14		A6	Z4=-A6+A8								
15		A7	Z9=-A8-A9+A7								
16		A3	Z3=-A5+A3+A6								
17		A2	Z10=-A3-A7+A2+A5								
18		A1	Z6=-A1-A3-A8-A9+A2+A5+A10								
19		A4	Z1=-A2-A5+A1+A3+A4								

** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей **											
KON7 (C) Калачев О.Н., 2014											
Решается разм. цепь 1 типа "P" с неизв. звеном A15											
с о с т а в ц е п и :											
увелич. звено A15 :											
маx= 0.000 min= 0.000											
замык. звено - констр. размер P1 :											
маx= 23.200 min= 22.800											

```

результаты расчёта звена A15 :      max= 23.200  min= 22.800
следовательно, расч. допуск=      0.400
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.084 : верхн. откл.= 0.084  нижн. откл.= 0.000
принимаем расчётный размер звена A15 с учётом технолог. допуска:
номинал= 22.800                      max= 22.884  min= 22.800
Решается разм. цепь 2 типа "P" с неизв. звеном A13
с о с т а в  ц е п и :
увелич. звено A13 :                  max= 0.000  min= 0.000
замык. звено - констр. размер P2 :   max= 43.560  min= 43.440
результаты расчёта звена A13 :      max= 43.560  min= 43.440
следовательно, расч. допуск=      0.120
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.025 : верхн. откл.= 0.025  нижн. откл.= 0.000
принимаем расчётный размер звена A13 с учётом технолог. допуска:
номинал= 43.440                      max= 43.465  min= 43.440
Решается разм. цепь 3 типа "P" с неизв. звеном A12
с о с т а в  ц е п и :
увелич. звено A12 :                  max= 0.000  min= 0.000
замык. звено - констр. размер P4 :   max= 61.000  min= 60.600
результаты расчёта звена A12 :      max= 61.000  min= 60.600
следовательно, расч. допуск=      0.400
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.030 : верхн. откл.= 0.030  нижн. откл.= 0.000
принимаем расчётный размер звена A12 с учётом технолог. допуска:
номинал= 61.000                      max= 61.000  min= 60.971
Решается разм. цепь 4 типа "P" с неизв. звеном A14
с о с т а в  ц е п и :
уменьш. звено A13 :                  max= 43.465  min= 43.440
увелич. звено A14 :                  max= 0.000  min= 0.000
замык. звено - констр. размер P3 :   max= 26.000  min= 25.790
результаты расчёта звена A14 :      max= 69.440  min= 69.255
следовательно, расч. допуск=      0.185
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.120 : верхн. откл.= 0.120  нижн. откл.= 0.000
принимаем расчётный размер звена A14 с учётом технолог. допуска:
номинал= 69.440                      max= 69.440  min= 69.320
Решается разм. цепь 5 типа "P" с неизв. звеном A16
с о с т а в  ц е п и :
уменьш. звено A16 :                  max= 0.000  min= 0.000
увелич. звено A12 :                  max= 61.000  min= 60.971
замык. звено - констр. размер P6 :   max= 36.500  min= 36.250
результаты расчёта звена A16 :      max= 24.721  min= 24.500
следовательно, расч. допуск=      0.221
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.084 : верхн. откл.= 0.084  нижн. откл.= 0.000
принимаем расчётный размер звена A16 с учётом технолог. допуска:
номинал= 24.500                      max= 24.584  min= 24.500
Решается разм. цепь 6 типа "P" с неизв. звеном A18
с о с т а в  ц е п и :
уменьш. звено A18 :                  max= 0.000  min= 0.000
увелич. звено A13 :                  max= 43.465  min= 43.440
замык. звено - констр. размер P7 :   max= 9.180  min= 8.720
результаты расчёта звена A18 :      max= 34.720  min= 34.285
следовательно, расч. допуск=      0.435
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.100 : верхн. откл.= 0.100  нижн. откл.= 0.000
принимаем расчётный размер звена A18 с учётом технолог. допуска:
номинал= 34.285                      max= 34.384  min= 34.285
Решается разм. цепь 7 типа Z8 с неизв. звеном A9
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.110
с о с т а в  ц е п и :
уменьш. звено A12 :                  max= 61.000  min= 60.971
увелич. звено A9 :                  max= 0.000  min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.120 : верхн. откл.= 0.120  нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A9 :
номинал= 61.230                      max= 61.230  min= 61.110
припуск по звену A9 Z8 :
допуск= 0.149                        max= 0.259  min= 0.110
Решается разм. цепь 8 типа "P" с неизв. звеном A19
с о с т а в  ц е п и :
уменьш. звено A18 :                  max= 34.384  min= 34.285
увелич. звено A19 :                  max= 0.000  min= 0.000
замык. звено - констр. размер P8 :   max= 16.215  min= 15.785
результаты расчёта звена A19 :      max= 50.499  min= 50.169
следовательно, расч. допуск=      0.331

```

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.120 : верхн. откл.= 0.120 нижн. откл.= 0.000
принимает расчётный размер звена A19 с учётом технолог. допуска:
номинал= 50.169 max= 50.288 min= 50.169

Решается разм. цепь 9 типа "P" с неизв. звеном A17
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A17 : max= 0.000 min= 0.000
увелич. звено A18 : max= 34.384 min= 34.285
замык. звено - констр. размер P9 : max= 21.760 min= 21.240
результаты расчёта звена A17 : max= 13.045 min= 12.624
следовательно, расч. допуск= 0.421

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.084 : верхн. откл.= 0.084 нижн. откл.= 0.000
принимает расчётный размер звена A17 с учётом технолог. допуска:
номинал= 12.624 max= 12.708 min= 12.624

Решается разм. цепь 10 типа Z2 с неизв. звеном A8
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.380
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A14 : max= 69.440 min= 69.320
увелич. звено A8 : max= 0.000 min= 0.000
увелич. звено A12 : max= 61.000 min= 60.971

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.084 : верхн. откл.= 0.084 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A8 :
номинал= 8.849 max= 8.933 min= 8.849
припуск по звену A5 Z2 :
допуск= 0.233 max= 0.613 min= 0.380

===== звено A для расчета припуска - из другой РЦ !!! =====

Решается разм. цепь 11 типа Z5 с неизв. звеном A10
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.210
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A10 : max= 0.000 min= 0.000
уменьш. звено A12 : max= 61.000 min= 60.971
увелич. звено A9 : max= 61.230 min= 61.110
увелич. звено A13 : max= 43.465 min= 43.440

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.340 : верхн. откл.= 0.340 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A10 :
номинал= 43.000 max= 43.340 min= 43.000
припуск по звену A10 Z5 :
допуск= 0.514 max= 0.724 min= 0.210

Решается разм. цепь 12 типа Z7 с неизв. звеном A11
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.210
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A11 : max= 0.000 min= 0.000
уменьш. звено A12 : max= 61.000 min= 60.971
увелич. звено A9 : max= 61.230 min= 61.110
увелич. звено A15 : max= 22.884 min= 22.800

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.280 : верхн. откл.= 0.280 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A11 :
номинал= 22.420 max= 22.700 min= 22.420
припуск по звену A11 Z7 :
допуск= 0.513 max= 0.723 min= 0.210

Решается разм. цепь 13 типа "P" с неизв. звеном A5
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A8 : max= 8.933 min= 8.849
увелич. звено A5 : max= 0.000 min= 0.000
замык. звено - констр. размер P5 : max= 6.300 min= 5.300
результаты расчёта звена A5 : max= 15.149 min= 14.233
следовательно, расч. допуск= 0.916

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.520 : верхн. откл.= 0.520 нижн. откл.= 0.000
принимает расчётный размер звена A5 с учётом технолог. допуска:
номинал= 14.233 max= 14.753 min= 14.233

Решается разм. цепь 14 типа Z4 с неизв. звеном A6
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.210
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A6 : max= 0.000 min= 0.000
увелич. звено A8 : max= 8.933 min= 8.849

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.280 : верхн. откл.= 0.280 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A6 :
номинал= 8.359 max= 8.639 min= 8.359
припуск по звену A6 Z4 :
допуск= 0.364 max= 0.574 min= 0.210

Решается разм. цепь 15 типа Z9 с неизв. звеном A7

```

припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.210
с о с т а в   ц е п и :
уменьш. звено A8 :                max=  8.933   min=  8.849
уменьш. звено A9 :                max= 61.230   min= 61.110
увелич. звено A7 :                max=  0.000   min=  0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.400 : верхн. откл.= 0.400  нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A7 :
номинал= 70.773                    max= 70.773   min= 70.373
припуск по звену A7   Z9 :
допуск=  0.604                      max=  0.814   min=  0.210
Решается разм. цепь 16 типа Z3 с неизв. звеном A3
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 1.000
с о с т а в   ц е п и :
уменьш. звено A5 :                max= 14.753   min= 14.233
увелич. звено A3 :                max=  0.000   min=  0.000
увелич. звено A6 :                max=  8.639   min=  8.359
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 1.000 : верхн. откл.= 0.500  нижн. откл.= -0.500
расчётный размер звена A3 :
номинал=  7.894                    max=  8.394   min=  7.394
припуск по звену A2   Z3 :
допуск=  1.800                      max=  2.800   min=  1.000
===== звено A для расчета припуска - из другой РЦ !!! =====
Решается разм. цепь 17 типа Z10 с неизв. звеном A2
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.900
с о с т а в   ц е п и :
уменьш. звено A3 :                max=  8.394   min=  7.394
уменьш. звено A7 :                max= 70.773   min= 70.373
увелич. звено A2 :                max=  0.000   min=  0.000
увелич. звено A5 :                max= 14.753   min= 14.233
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 1.600 : верхн. откл.= 0.800  нижн. откл.= -0.800
расчётный размер звена A2 :
номинал= 66.633                    max= 67.433   min= 65.834
припуск по звену A1   Z10 :
допуск=  3.520                      max=  4.420   min=  0.900
===== звено A для расчета припуска - из другой РЦ !!! =====
Решается разм. цепь 18 типа Z6 с неизв. звеном A1
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.900
с о с т а в   ц е п и :
уменьш. звено A1 :                max=  0.000   min=  0.000
уменьш. звено A3 :                max=  8.394   min=  7.394
уменьш. звено A8 :                max=  8.933   min=  8.849
уменьш. звено A9 :                max= 61.230   min= 61.110
увелич. звено A2 :                max= 67.433   min= 65.834
увелич. звено A5 :                max= 14.753   min= 14.233
увелич. звено A10 :               max= 43.340   min= 43.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 1.000 : верхн. откл.= 0.500  нижн. откл.= -0.500
расчётный размер звена A1 :
номинал= 43.110                    max= 43.610   min= 42.610
припуск по звену A1   Z6 :
допуск=  4.664                      max=  5.564   min=  0.900
Решается разм. цепь 19 типа Z1 с неизв. звеном A4
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.900
с о с т а в   ц е п и :
уменьш. звено A2 :                max= 67.433   min= 65.834
уменьш. звено A5 :                max= 14.753   min= 14.233
увелич. звено A1 :                max= 43.610   min= 42.610
увелич. звено A3 :                max=  8.394   min=  7.394
увелич. звено A4 :                max=  0.000   min=  0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 1.000 : верхн. откл.= 0.500  нижн. откл.= -0.500
расчётный размер звена A4 :
номинал= 33.583                    max= 34.083   min= 33.083
припуск по звену A4   Z1 :
допуск=  5.120                      max=  6.020   min=  0.900

```

Таблица 3 - Результаты расчета технологических РЦ по программе KON7 (С) Калачёв О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)

Замыкающие звенья			Составляющие звенья			
Р - черт.размер, Z - припуск			А - размеры заготовки и механообработки			
-----kon7-122-120 D1 zz GRA HA-----						
Ин-декс	Гра-ницы	Предел.значения	Ин-декс	Гра-ницы	Метод обработки	Отклонения

звена	звена	max	min	звена	звена		Верхнее	Нижнее
---16.05.2014-9:24:59---								
P1	14	17	23.200	22.800	A1	11 20	Литьё в земляные формы	43.110 0.500 -0.500
P2	9	17	43.560	43.440	A2	4 20	Литьё в земляные формы	66.633 0.800 -0.800
P3	3	9	26.000	25.790	A3	4 7	Литьё в земляные формы	7.894 0.500 -0.500
P4	6	17	61.000	60.600	A4	1 11	Литьё в земляные формы	33.583 0.500 -0.500
P5	6	7	6.300	5.300	A5	7 2	Точение от необр.пов.	14.233 0.520 0.000
P6	6	13	36.500	36.250	A6	2 5	Точение черновое	8.359 0.280 0.000
P7	9	12	9.180	8.720	A7	2 19	Точение черновое	70.773 0.000 -0.400
P8	8	12	16.215	15.785	A8	2 6	Точение чистовое	8.849 0.084 0.000
P9	12	16	21.760	21.240	A9	6 18	Точение чистовое	61.230 0.000 -0.120
Z1	2	1	6.020	0.900	A10	18 10	Точение черновое	43.000 0.340 0.000
Z2	3	2	0.613	0.380	A11	18 15	Точение черновое	22.420 0.280 0.000
Z3	5	4	2.800	1.000	A12	6 17	Шлифование однократное	61.000 0.000 -0.029
Z4	6	5	0.574	0.210	A13	17 9	Шлифование однократное	43.440 0.025 0.000
Z5	9	10	0.724	0.210	A14	17 3	Точение чистовое	69.440 0.000 -0.120
Z6	10	11	5.564	0.900	A15	17 14	Точение чистовое	22.800 0.084 0.000
Z7	14	15	0.723	0.210	A16	17 13	Точение чистовое	24.500 0.084 0.000
Z8	17	18	0.259	0.110	A17	17 16	Точение чистовое	12.624 0.084 0.000
Z9	18	19	0.814	0.210	A18	17 12	Точение чистовое	34.285 0.100 0.000
Z10	19	20	4.420	0.900	A19	17 8	Точение чистовое	50.169 0.120 0.000

Таблица 4 - Баланс допусков в каждой размерной цепи

№ реш	Неизв звено	Номинал	Верхнее Нижнее	Запас точн.	Уравнения в символической форме Баланс допусков
1	A15	22.800	0.084 0.000	0.316	$P1 = +A15$ $0.400 = > 0.084$
2	A13	43.440	0.025 0.000	0.096	$P2 = +A13$ $0.120 = > 0.025$
3	A12	61.000	0.000 -0.029	0.370	$P4 = +A12$ $0.400 = > 0.029$
4	A14	69.440	0.000 -0.120	0.066	$P3 = -A13 + A14$ $0.210 = > 0.025 + 0.120$
5	A16	24.500	0.084 0.000	0.137	$P6 = -A16 + A12$ $0.250 = > 0.084 + 0.029$
6	A18	34.285	0.100 0.000	0.336	$P7 = -A18 + A13$ $0.460 = > 0.100 + 0.025$
7	A9	61.230	0.000 -0.120	0.000	$Z8 = -A12 + A9$ $0.149 = > 0.029 + 0.120$
8	A19	50.169	0.120 0.000	0.211	$P8 = -A18 + A19$ $0.430 = > 0.100 + 0.120$
9	A17	12.624	0.084 0.000	0.337	$P9 = -A17 + A18$ $0.520 = > 0.084 + 0.100$
10	A8	8.849	0.084 0.000	0.000	$Z2 = -A14 + A8 + A12$ $0.233 = > 0.120 + 0.084 + 0.029$
11	A10	43.000	0.340 0.000	0.000	$Z5 = -A10 - A12 + A9 + A13$ $0.514 = > 0.340 + 0.029 + 0.120 + 0.025$
12	A11	22.420	0.280 0.000	0.000	$Z7 = -A11 - A12 + A9 + A15$ $0.513 = > 0.280 + 0.029 + 0.120 + 0.084$
13	A5	14.233	0.520 0.000	0.396	$P5 = -A8 + A5$ $1.000 = > 0.084 + 0.520$
14	A6	8.359	0.280 0.000	0.000	$Z4 = -A6 + A8$ $0.364 = > 0.280 + 0.084$
15	A7	70.773	0.000 -0.400	0.000	$Z9 = -A8 - A9 + A7$ $0.604 = > 0.084 + 0.120 + 0.400$
16	A3	7.894	0.500 -0.500	0.000	$Z3 = -A5 + A3 + A6$ $1.800 = > 0.520 + 1.000 + 0.280$

17	A2	66.633	0.800	0.000	Z10=-A3-A7+A2+A5	
			-0.800		3.520=>1.000+0.400+1.600+0.520	
18	A1	43.110	0.500	0.000	Z6=-A1-A3-A8-A9+A2+A5+A10	
			-0.500		4.664=>1.000+1.000+0.084+0.120+1.600+0.520+0.340	
19	A4	33.583	0.500	0.000	Z1=-A2-A5+A1+A3+A4	
			-0.500		5.120=>1.600+0.520+1.000+1.000+1.000	

Таблица 5 - Припуски последней обработки каждой поверхности детали						
№пов	№Z	Zmin	Zmax	ДопускZ	Zmax/Zmin	Сумма допусков
3	11	0.380	0.613	0.233	1.613	
6	13	0.210	0.574	0.364	2.733	
9	14	0.210	0.724	0.514	3.448	
14	16	0.210	0.723	0.513	3.443	
17	17	0.110	0.259	0.149	2.359	

1.774						

Таблица 6 - Частота вхождения каждого звена в размерные цепи						
Звено	Число вхожд	Номер РЦ (Зам. зв. РЦ)				
A1	2	10, 15 (Z1, Z6)				
A2	3	10, 15, 19 (Z1, Z6, Z10)				
A3	4	10, 12, 15, 19 (Z1, Z3, Z6, Z10)				
A4	1	10 (Z1)				
A5	5	5, 10, 12, 15, 19 (P5, Z1, Z3, Z6, Z10)				
A6	2	12, 13 (Z3, Z4)				
A7	2	18, 19 (Z9, Z10)				
A8	5	5, 11, 13, 15, 18 (P5, Z2, Z4, Z6, Z9)				
A9	5	14, 15, 16, 17, 18 (Z5, Z6, Z7, Z8, Z9)				
A10	2	14, 15 (Z5, Z6)				
A11	1	16 (Z7)				
A12	6	4, 6, 11, 14, 16, 17 (P4, P6, Z2, Z5, Z7, Z8)				
A13	4	2, 3, 7, 14 (P2, P3, P7, Z5)				
A14	2	3, 11 (P3, Z2)				
A15	2	1, 16 (P1, Z7)				
A16	1	6 (P6)				
A17	1	9 (P9)				
A18	3	7, 8, 9 (P7, P8, P9)				
A19	1	8 (P8)				

Конец заказа Шкив						
KON7 в. 122_120 D1 zz GRA HA 2014						

Переходим к оценке величины запаса точности. Из таблицы 4 результатов расчета замечаем слишком большое значение данной величины при выполнении размера A12.

Далее анализируем частоту вхождения звена A12 в размерные цепи по таблице 6. Данное звено участвует во многих уравнениях. Следовательно, переходим к оценке величин отношений Z_{max}/Z_{min} .

Анализируя результаты расчета из таблицы 5, видим, что отношения Z_{max}/Z_{min} при обработке поверхностей 9 и 14 превышают допустимые. Чтобы их скорректировать, можно изменить метод окончательной обработки на более точный или применить более рациональную схему базирования. Но при этом может увеличиться запас точно-

сти. Для выбора более рационального варианта размерной схемы или окончательной обработки необходимо выяснить, насколько ответственными являются поверхности 9 и 14.

Окончательная обработка этих поверхностей уже достаточно точная, судя по исходным данным, поэтому, если принимается решение проводить корректировку, то необходимо выбрать еще более точные методы окончательной обработки поверхностей 9 и 14 и изменить схему базирования.

Поверхности 9 и 14 формируются при получении размеров A13 и A15, при этом базовой является поверхность 17. Выберем другую базовую поверхность. Наиболее целесообразно отдать предпочтение поверхностям, получаемым при окончательной обработке, т.е. поверхностям 3 и 6. Сначала выберем поверхность 6.

При выполнении размера A14 также имеет смысл выбрать в качестве базовой поверхность 6, чтобы дополнительно не переустанавливать заготовку для получения этого размера.

Новый вариант размерной схемы и новые исходные данные представлены на рисунках 8.2 и 8.3.

Проведем расчет нового варианта размерной структуры детали «Шкив» по программе «KON7 плюс». Его результаты представлены в приложении Г.

По результатам таблицы 5 (рисунок 8.4) видно, что значения отношений Z_{\max}/Z_{\min} при обработке поверхностей 9 и 14 изменились незначительно. Поэтому назначим более точный метод при обработке размеров A13 и A15 – «шлифование тонкое» (рисунок 8.5) и проведем расчет по программе «KON7 плюс», результаты которого представлены в приложении Г.

Из результатов повторного расчета следует (рисунок 8.6), что значение отношения Z_{\max}/Z_{\min} при обработке поверхности 14 стало меньше допустимой величины, а при обработке поверхности 9 еще требует корректировки.

Для этого рассмотрим уравнение с замыкающим звеном-припуском Z5, при снятии которого формируется поверхность 9. В частности, проанализируем баланс допусков для этого уравнения (рисунок 8.7).

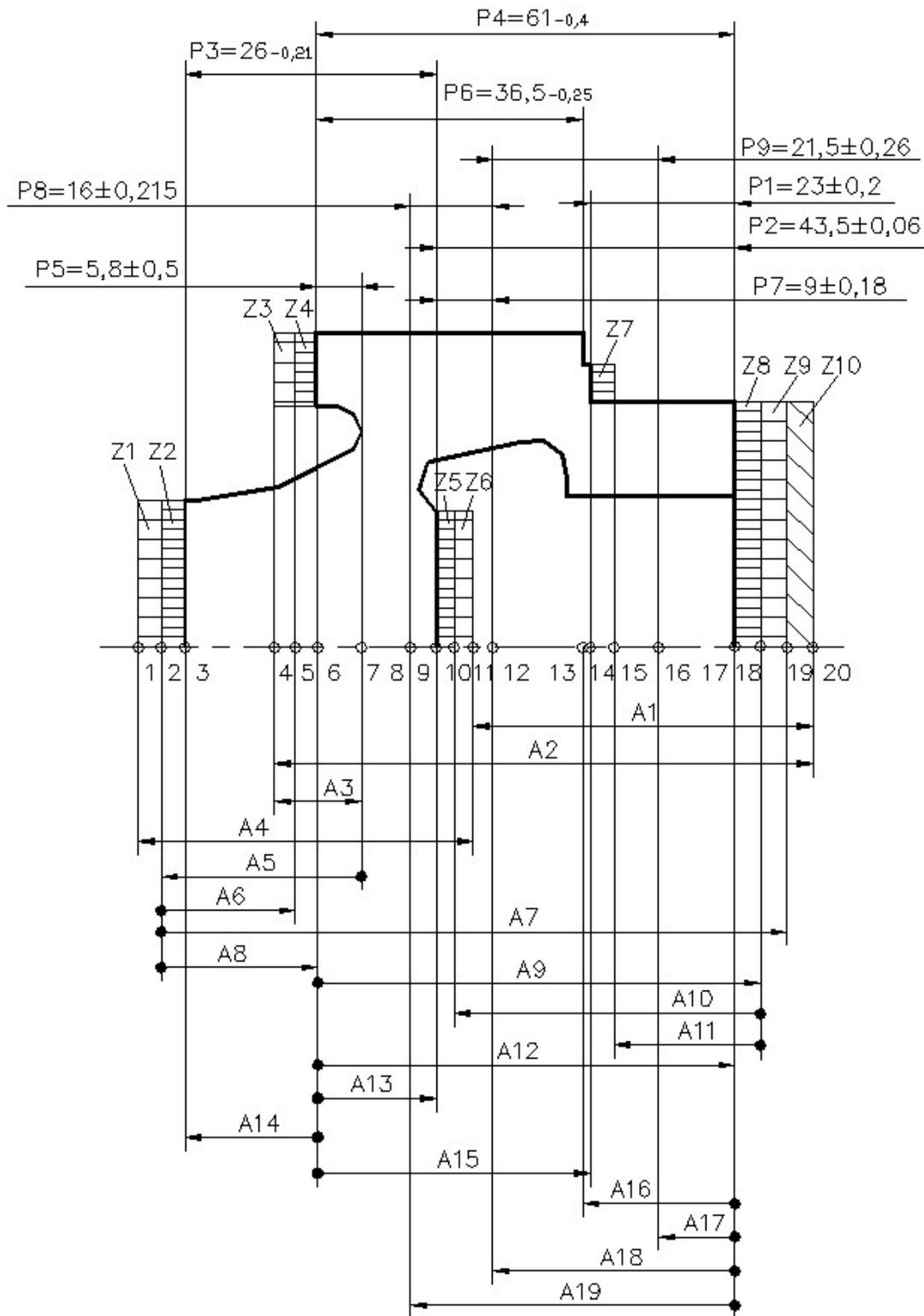


Рисунок 8.2 – Новый вариант размерной схемы детали «Шкив»

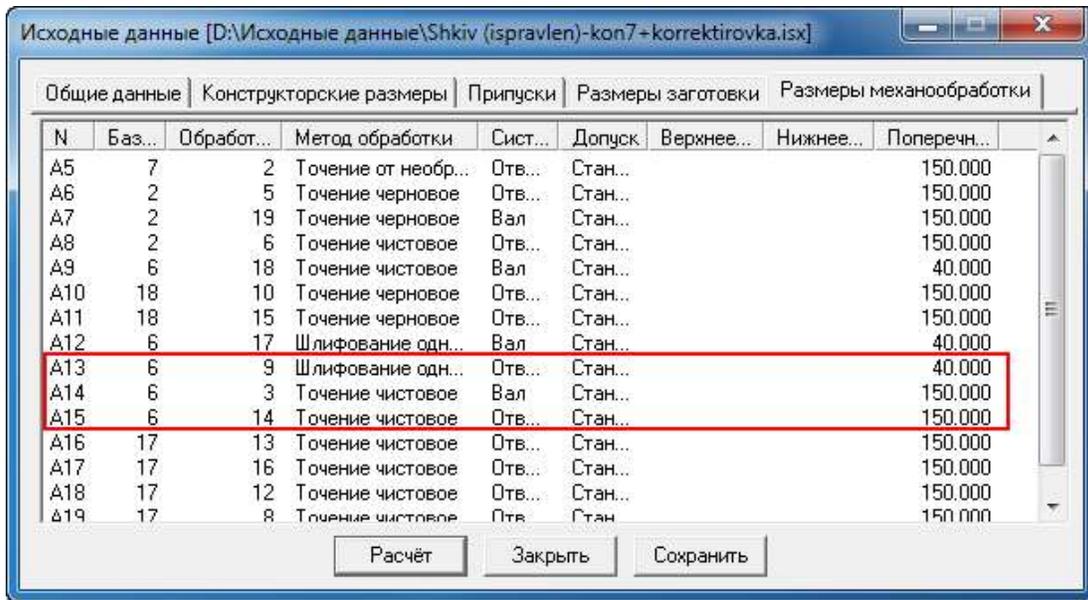


Рисунок 8.3 – Новые исходные данные для расчета детали «Шкив»

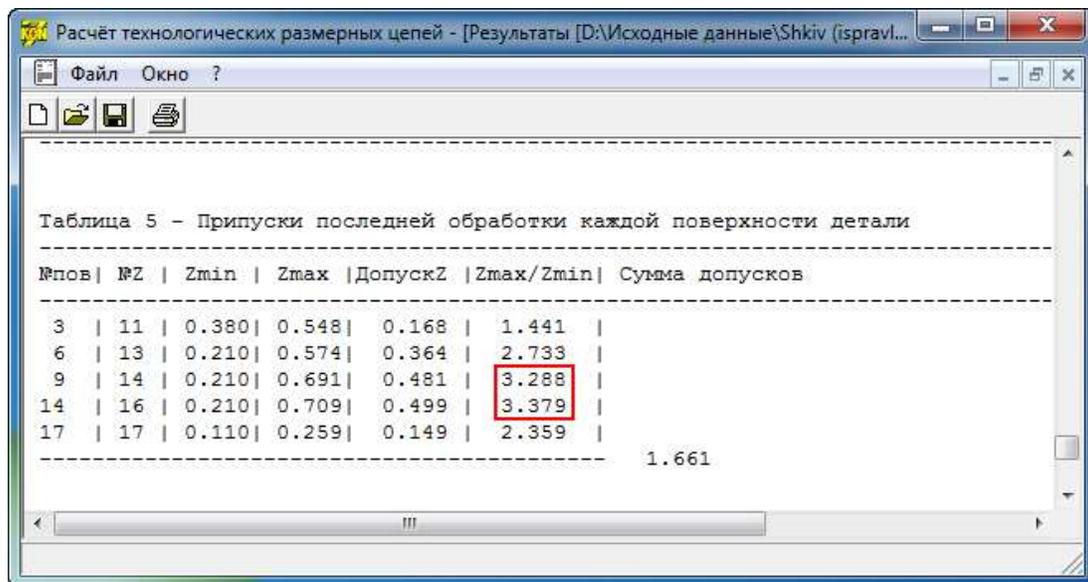


Рисунок 8.4 – Результат расчета нового варианта размерной структуры детали «Шкив»

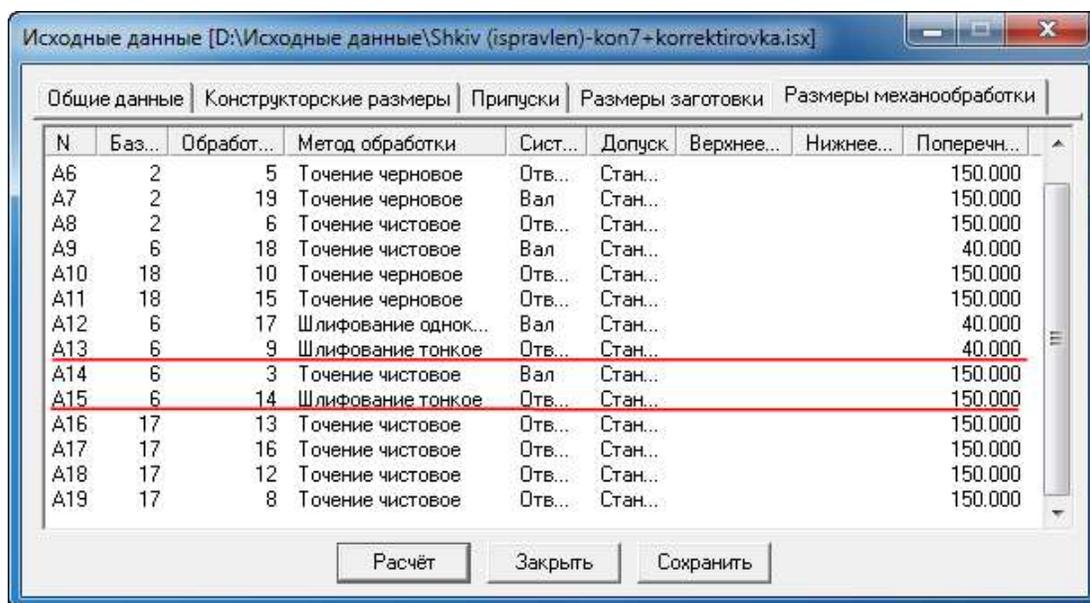


Рисунок 8.5 – Назначение более точного метода при обработке по размерам A13 и A15

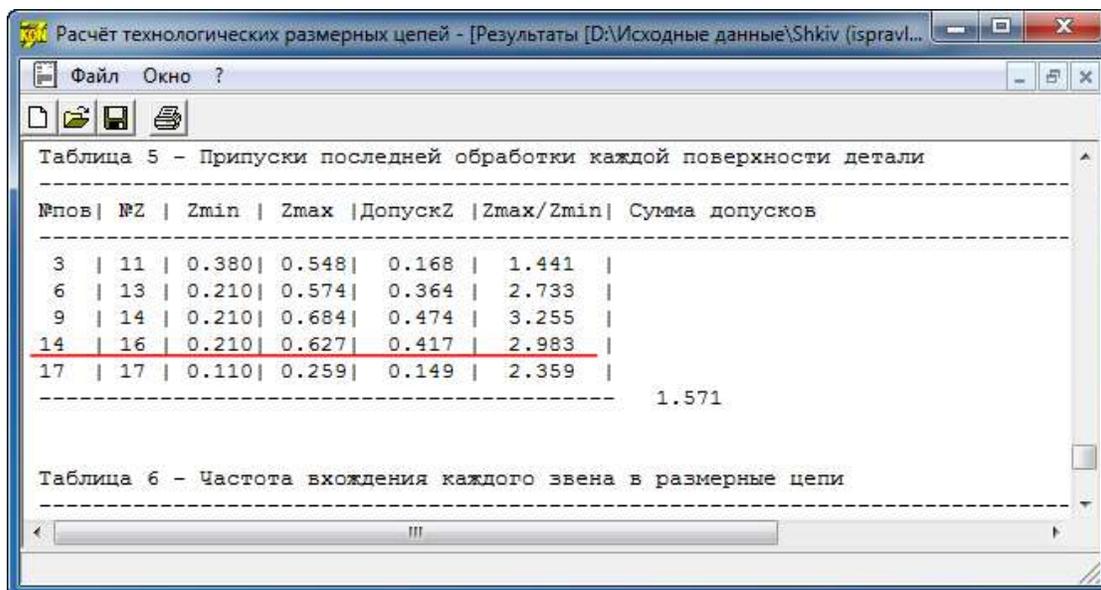
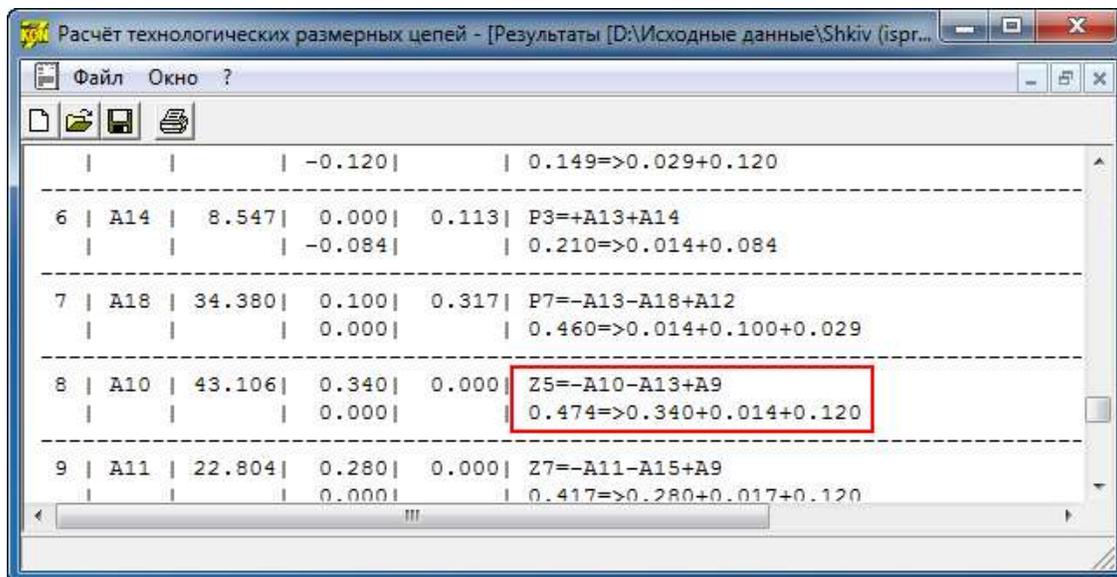


Рисунок 8.6 – Результат повторного расчета



№ звена	Обозначение	Размер	Допуск	Вклад	Уравнение	Результат
			-0.120			0.149 => 0.029 + 0.120
6	A14	8.547	0.000	0.113	P3 = +A13 + A14	0.210 => 0.014 + 0.084
7	A18	34.380	0.100	0.317	P7 = -A13 - A18 + A12	0.460 => 0.014 + 0.100 + 0.029
8	A10	43.106	0.340	0.000	Z5 = -A10 - A13 + A9	0.474 => 0.340 + 0.014 + 0.120
9	A11	22.804	0.280	0.000	Z7 = -A11 - A15 + A9	0.417 => 0.280 + 0.017 + 0.120

Рисунок 8.7 – Баланс допусков для уравнения с замыкающим звеном Z5

В данное уравнение входят составляющие звенья – A10, A13 и A9. Для корректировки отношения Z_{max}/Z_{min} необходимо сузить допуски на эти звенья. Допуск на звено A10 уменьшать не целесообразно, т.к. данный размер получается на предварительной операции, где должен использоваться более грубый метод обработки. Для получения звена A13 был назначен очень точный метод – «шлифование тонкое», поэтому его допуск также не целесообразно сужать. Для оставшегося звена A9 назначим пользовательский допуск, более узкий по сравнению с допуском, назначенным системой. Будем уменьшать допуск с некоторым шагом, равным, например, 0,020, пока отношение Z_{max}/Z_{min} не будет превышать допустимую величину.

Если допуск $TA9=0,100$, то при снятии припуска Z5 отношение $Z_{max}/Z_{min}=3,160 > 3$ (рисунок 8.8).

Если допуск $TA9=0,080$, то при снятии припуска Z5 отношение $Z_{max}/Z_{min}=3,064 > 3$ (рисунок 8.9).

Если допуск $TA9=0,060$, то при снятии припуска Z5 отношение $Z_{max}/Z_{min}=2,969 < 3$ (рисунок 8.10).

Таким образом, значение Z_{max}/Z_{min} не превышает установленную нами ранее допустимую величину. Остановим дальнейшее сокращение пользовательского допуска на значении $TA9=0,060$ и попробуем его расширить, не превышая значение $TA9=0,080$.

Если допуск $TA9=0,070$, то при снятии припуска Z5 отношение $Z_{max}/Z_{min}=3,017 > 3$ (рисунок 8.11).

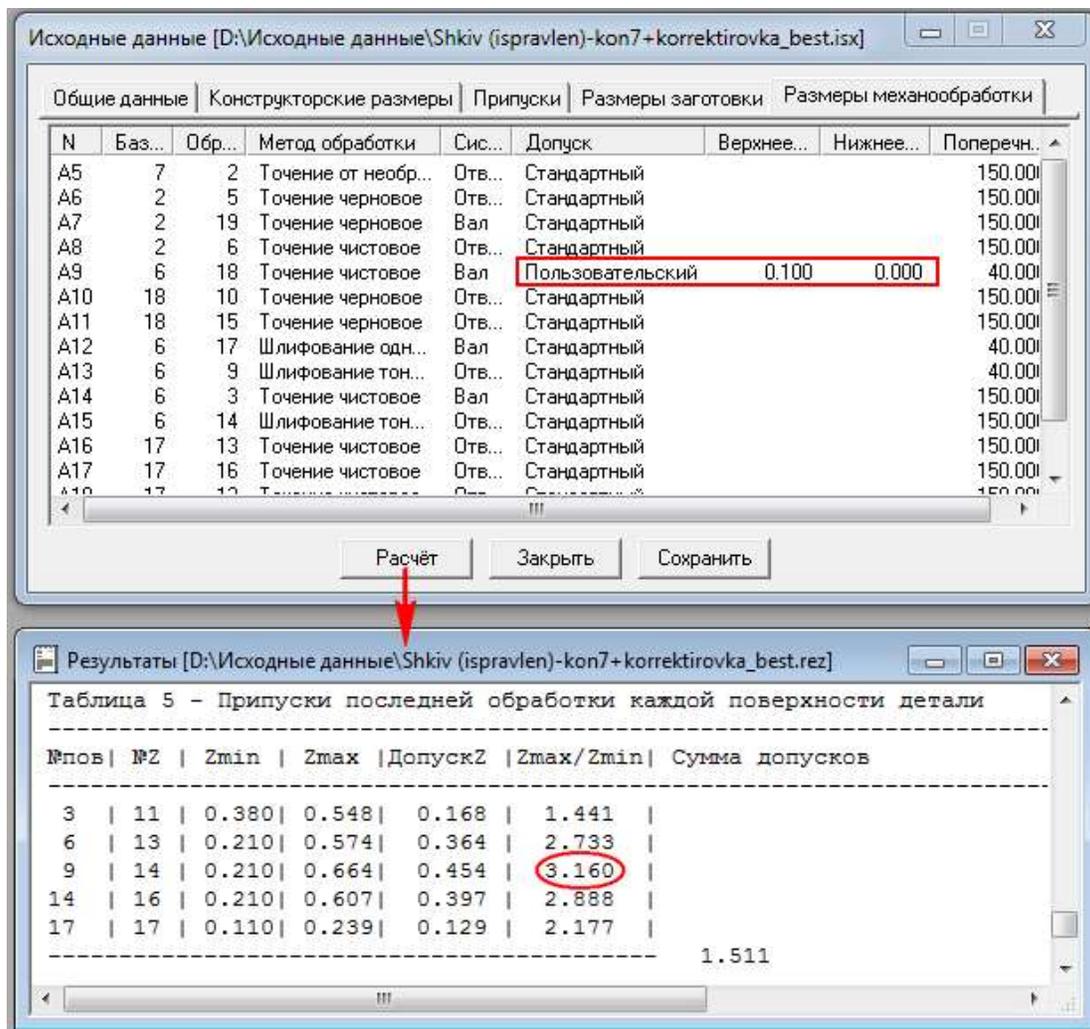


Рисунок 8.8 – Значение Z_{max}/Z_{min} при $TA_9=0,100$

Значение Z_{max}/Z_{min} превысило допустимую величину, значит, снова будем сужать допуск TA_9 , например, с шагом 0,001.

Если допуск $TA_9=0,069$, то при снятии припуска Z_5 отношение $Z_{max}/Z_{min}=3,012>3$ (рисунок 8.12).

Если допуск $TA_9=0,068$, то при снятии припуска Z_5 отношение $Z_{max}/Z_{min}=3,007>3$ (рисунок 8.13).

Если допуск $TA_9=0,067$, то при снятии припуска Z_5 отношение $Z_{max}/Z_{min}=3,002>3$ (рисунок 8.14).

Если допуск $TA_9=0,066$, то при снятии припуска Z_5 отношение $Z_{max}/Z_{min}=2,998<3$ (рисунок 8.15).

Значение Z_{max}/Z_{min} не превышает допустимую величину, поэтому остановим процесс «ограничения» допуска на значении $TA_9=0,066$. В данном случае заметим уменьшение величины суммар-

ного колебания припусков на последних стадиях обработки по сравнению с предыдущими расчетами.

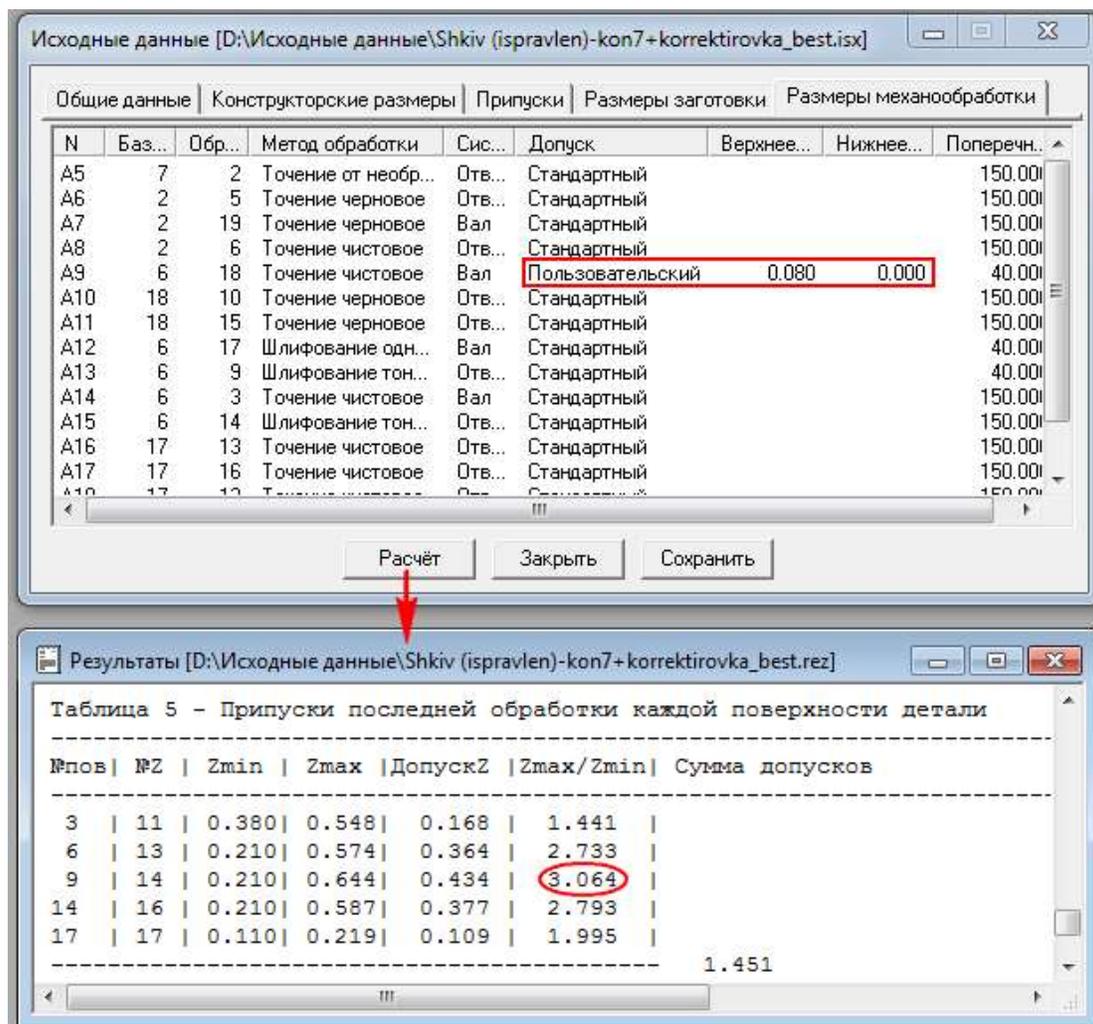


Рисунок 8.9 – Значение Z_{max}/Z_{min} при $TA9=0,080$

Таким образом, если поверхности 9 и 14 являются ответственными исходя из служебного назначения детали «Шкив», примем измененный вариант размерной структуры как наиболее близкий к рациональному.

Результаты расчета этого варианта и распечатки всех вариантов исходных данных размерного анализа детали «Шкив» представлены в приложении Г.

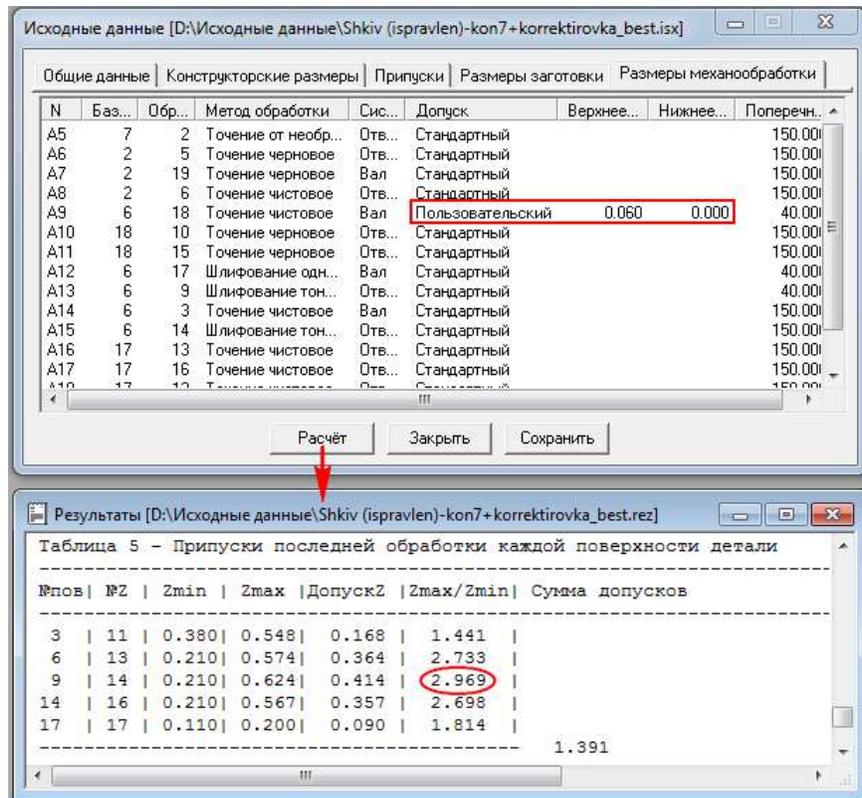


Рисунок 8.10 – Значение Zmax/Zmin при TA9=0,060

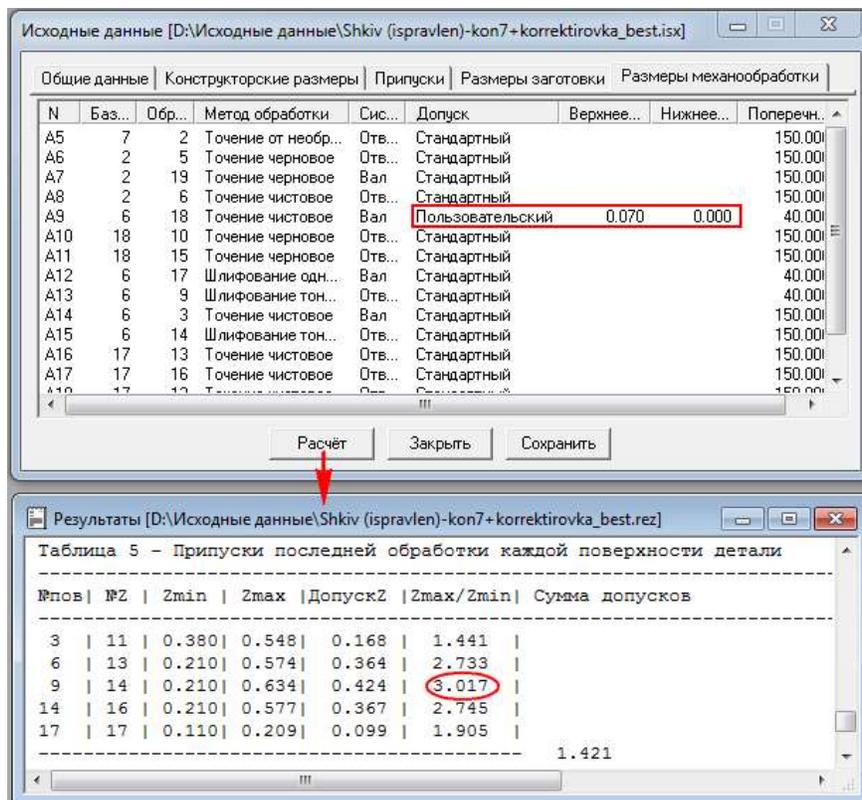


Рисунок 8.11 – Значение Zmax/Zmin при TA9=0,070

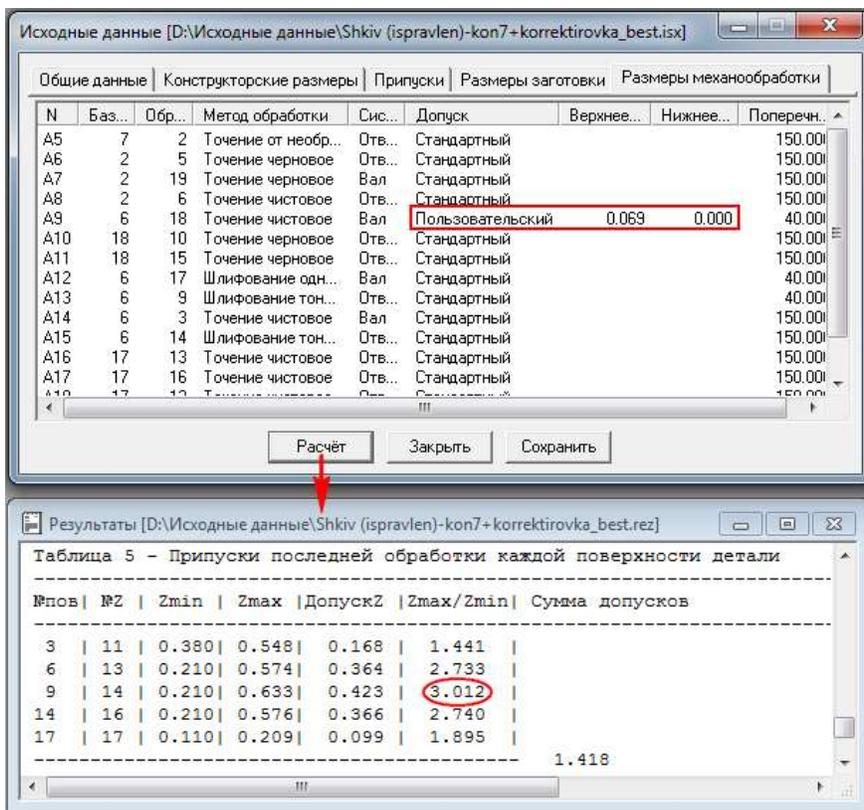


Рисунок 8.12 – Значение Z_{max}/Z_{min} при $TA9=0,069$

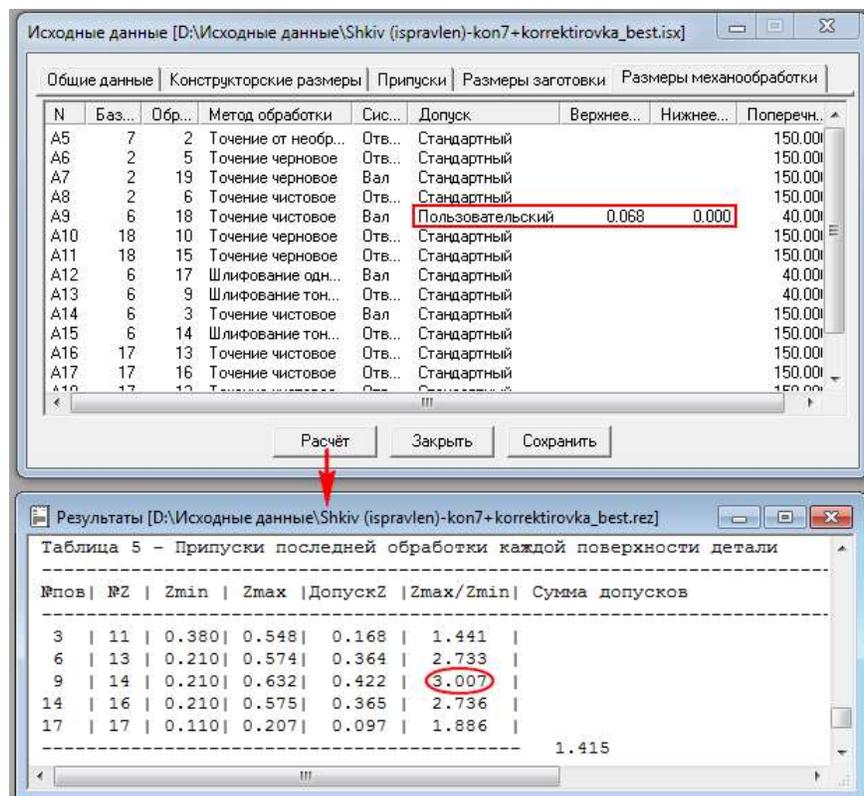


Рисунок 8.13 – Значение Z_{max}/Z_{min} при $TA9=0,068$

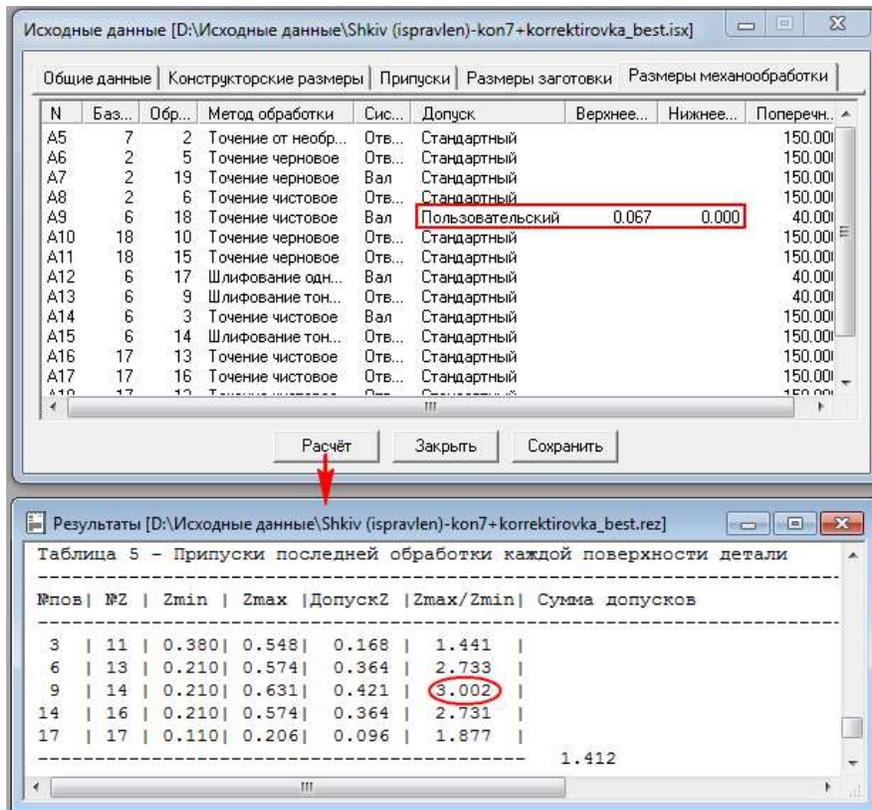


Рисунок 8.14 – Значение Z_{max}/Z_{min} при $TA9=0,067$

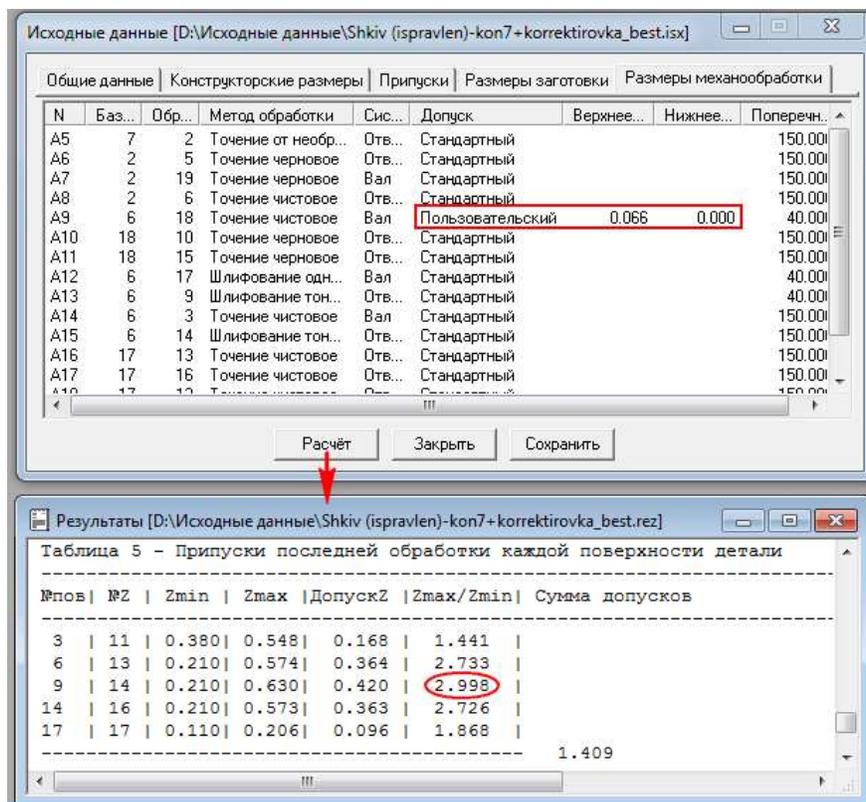


Рисунок 8.15 – Значение Z_{max}/Z_{min} при $TA9=0,066$

Выводы

В данной главе показана методика поиска рационального варианта размерной структуры при проектировании ТП механообработки.

С помощью новой программы «KON7 плюс» по предлагаемой нами методике (см. рисунок 8.1) был проведен размерный анализ ТП механообработки детали «Шкив» и найден такой вариант размерной структуры, который в дальнейшем рекомендуется для использования в технологической документации ТП изготовления детали.

9 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОСТРОЕНИЯ «ЛИНЕЙНОГО» ГРАФА

9.1 Обоснование необходимости автоматического построения графовых структур

Весьма трудоемкой задачей при проведении технологических размерных расчетов является построение графа размерной структуры (размерных изменений заготовки), который необходим для выявления контуров размерных цепей с целью качественного анализа варианта структуры и последующего решения. Недостатком традиционных графовых структур, приведенных ранее, является произвольный характер расположения ребер в пространстве, не связанный с визуальным представлением обрабатываемой заготовки. Указанного недостатка лишен предлагаемый нами «линейный» граф, в котором на одной оси последовательно располагаются все вершины графа, связанные дугообразными ребрами – звеньями размерных цепей. Такой граф соответствует размерной схеме, принятой в подходе Б.С. Мордвинова. При этом он лишен недостатка традиционной размерной схемы – разноуровневого расположения звеньев, затрудняющего выявление размерных цепей.

На предлагаемом нами [31] «линейном» графе легко просматриваются границы поверхностей детали и заготовки, а начало и конец каждого звена исходит из вершины графа. Структура «линейного» графа показана на рисунке 9.1, *а*. Здесь припуски отображаются зигзагообразной линией сплайна синего цвета. Конструкторские размеры – сплайном черного цвета. Технологические размеры – сплайном розового цвета выше оси с номерами вершин, если граница технологической базы справа, и ниже линии, если слева. Размеры заготовки – сплайном зеленого цвета.

Каждое звено помечается индексом в своей группе звеньев.

Выявление размерной цепи по такому графу начинается с выбора замыкающего звена, от одной из границ которого необходимо пройти по составляющим звеньям до выхода на противоположную границу замыкающего звена, т.е. аналогично традиционному.

На рисунке 9.1, *б, в, г* показаны примеры выявленных размерных цепей для варианта (рисунок 9.2) размерного анализа детали «Шкив» с замыкающими звеньями P1, P7 и Z3 из графа (см. рисунок 9.1, *а*).

Построение графа может быть автоматизировано при наличии таблицы – списка вершин с указанием типа звеньев, метода получе-

ния звена, границ звеньев. Такая информация формируется программой KON7 в виде файла с расширением .isx. Пример листинга файла показан на рисунке 9.2.

Файл состоит из двух частей. Для построения графа представляет интерес вторая часть, разделенная на левую и правую зону. В левой зоне построчно записана информация по замыкающим звеньям, в правой – по составляющим звеньям размерных цепей.

Структура файла жестко predeterminedена программой KON7, поэтому может быть проанализирована программно для автоматического построения описанного выше графа.

9.2 Разработка блок-схемы предлагаемой программы GrafKON

Рассмотрим алгоритм автоматического построения графа в виде блок-схемы программы, названной GrafKON, образованной двумя функциями grafkon (рисунок 9.3) и spl (рисунок 9.4).

Функция grafkon

Блок 1. Главной функцией выполняются настройки системы AutoCAD: отключается «эхо» (режим вывода команд в командную строку); определяется формат зоны изображения, отключаются объектные привязки, определяется режим отрисовки сетки, выводится название программы.

Блок 2. Ввод имени файла с расширением .isx, для которого строится граф.

Блок 3. Открывается файл для чтения.

Блок 4. Начинается цикл для поиска «текста пользователя» в первых 11 строках файла.

Блок 5. 3-я строка найдена.

Блок 6. В 3-й строке выделяется «текст пользователя» и выводится на печать.

Блок 7. Считывается 12-я строка файла для последующего выделения информации в блоке 10.

Блок 8. Обнуление счетчиков трех видов звеньев для печати их индексов на сплайнах.

Блок 9. Проверка достижения конца файла.

Блок 10. Выделение из строки границ трех видов звеньев, кода метода получения составляющих звеньев, максимального значения конструкторского размера.

Блок 11. Проверка условия: конструкторский размер или припуск?

a)

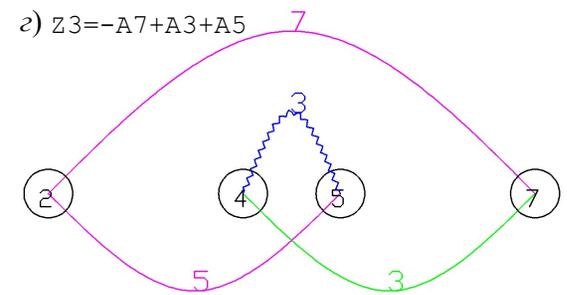
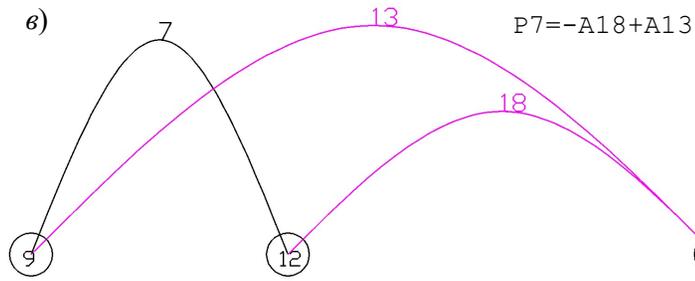
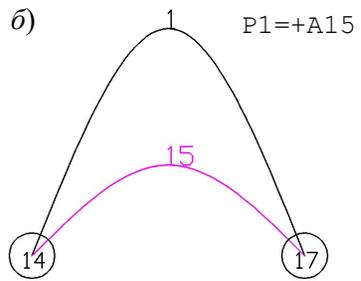
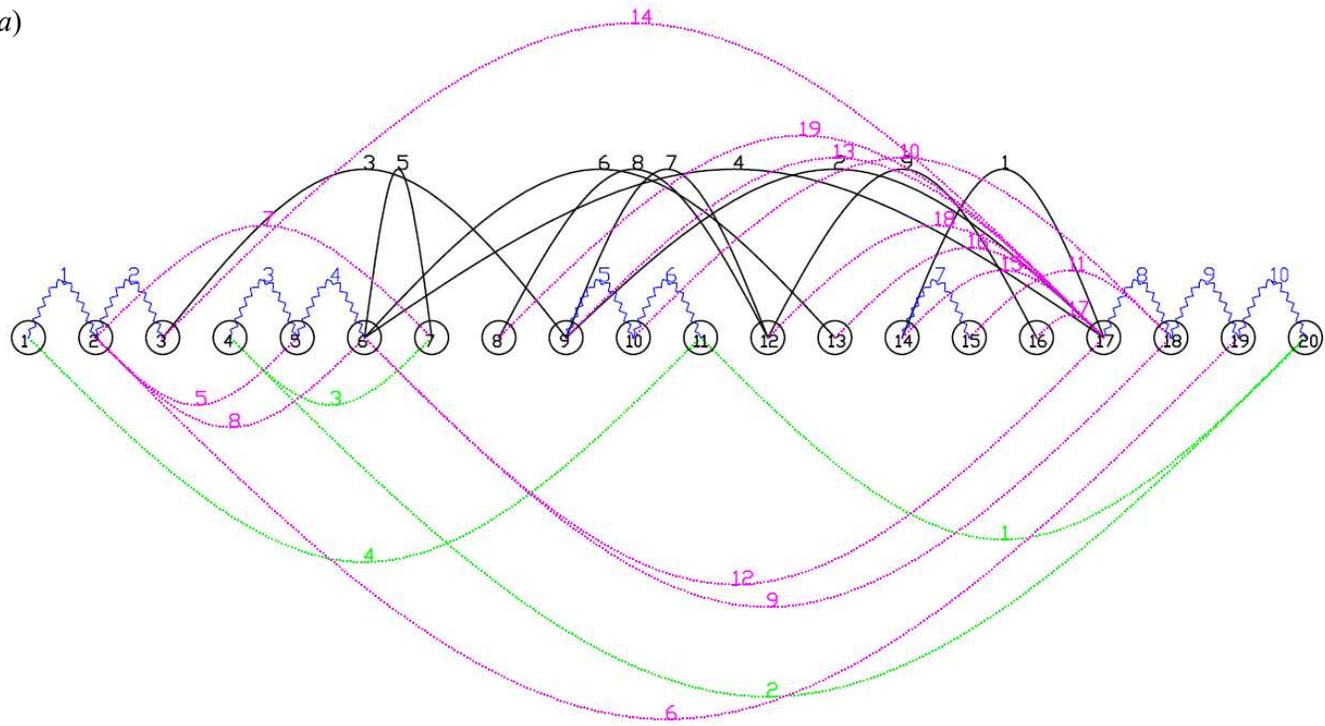


Рисунок 9.1 – Структура «линейного» графа

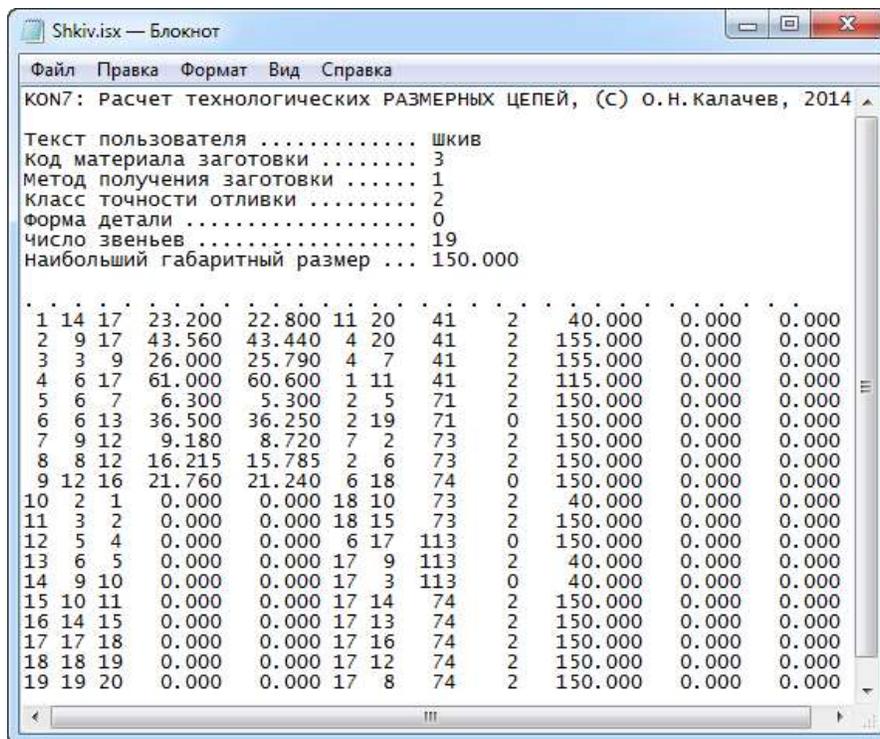


Рисунок 9.2 – Файл исходных данных (пример)

Блок 12. Отрисовка конструкторского размера – формирование параметров для функции `spl`.

Блок 13. Отрисовка сплайна по трем точкам, простановка индекса размера.

Блок 14. Подготовка параметров для отрисовки припуска.

Блок 15. Отрисовка сплайна по трем точкам, простановка индекса размера.

Блок 16. Подготовка параметров отрисовки технологического размера: заготовка или механообработка.

Блок 17. Отрисовка сплайна по трем точкам, простановка индекса размера.

Блок 18. Цикл для построения номера вершины графа.

Блок 19. Отрисовка окружности и номера вершины графа.

Блок 20. Конец функции `grafkon`.

Функция `spl`

Блок 1. Чтение границ звеньев размерных цепей из функции `grafkon`.

Блок 2. Вычисление точек начальной и конечной вершин, средней точки сплайна; отрисовка сплайна – ребра графа, простановка номера звена.

Далее следует выход из функции `spl`.

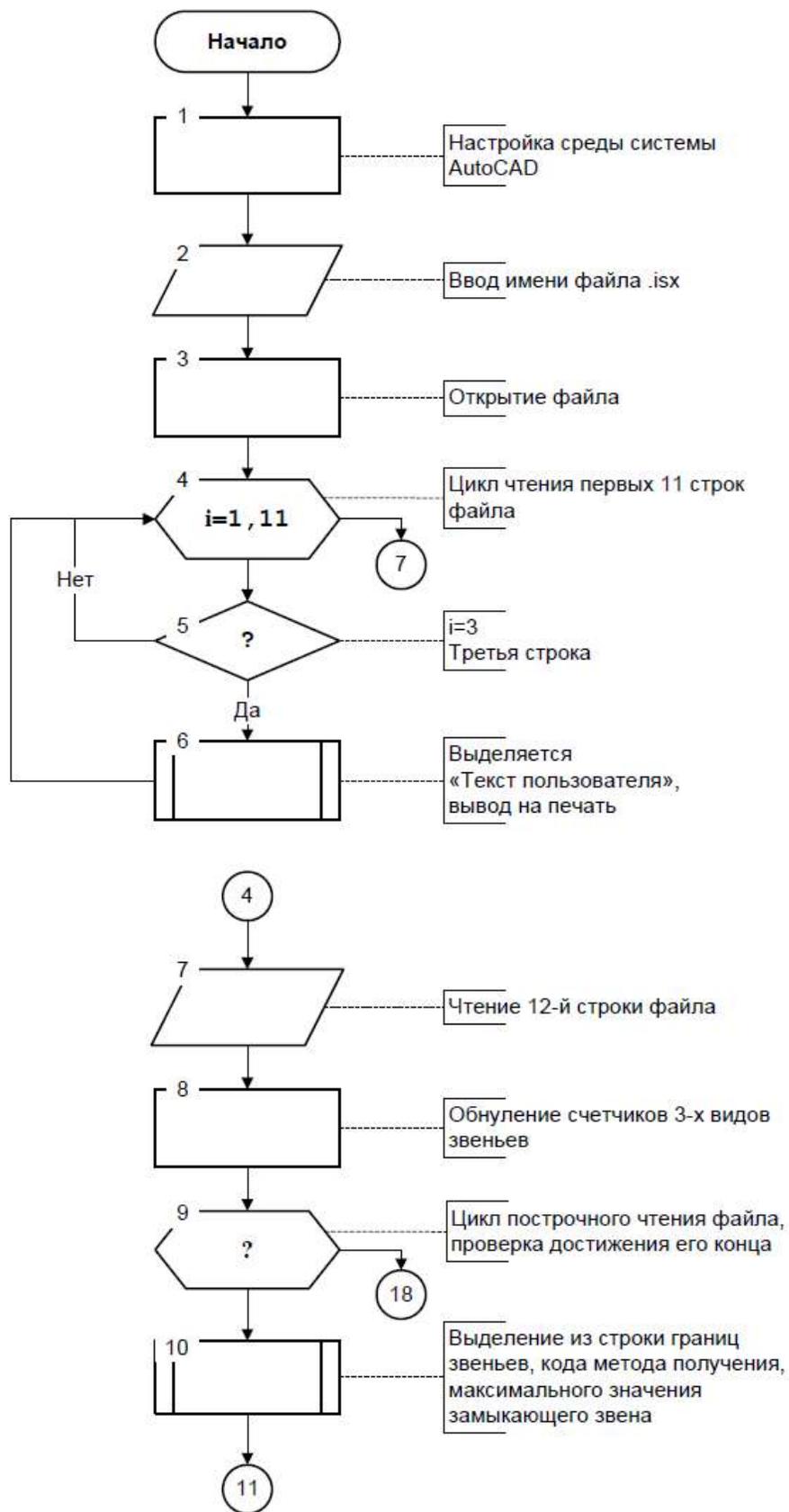


Рисунок 9.3 – Функция **grafkon** (начало)

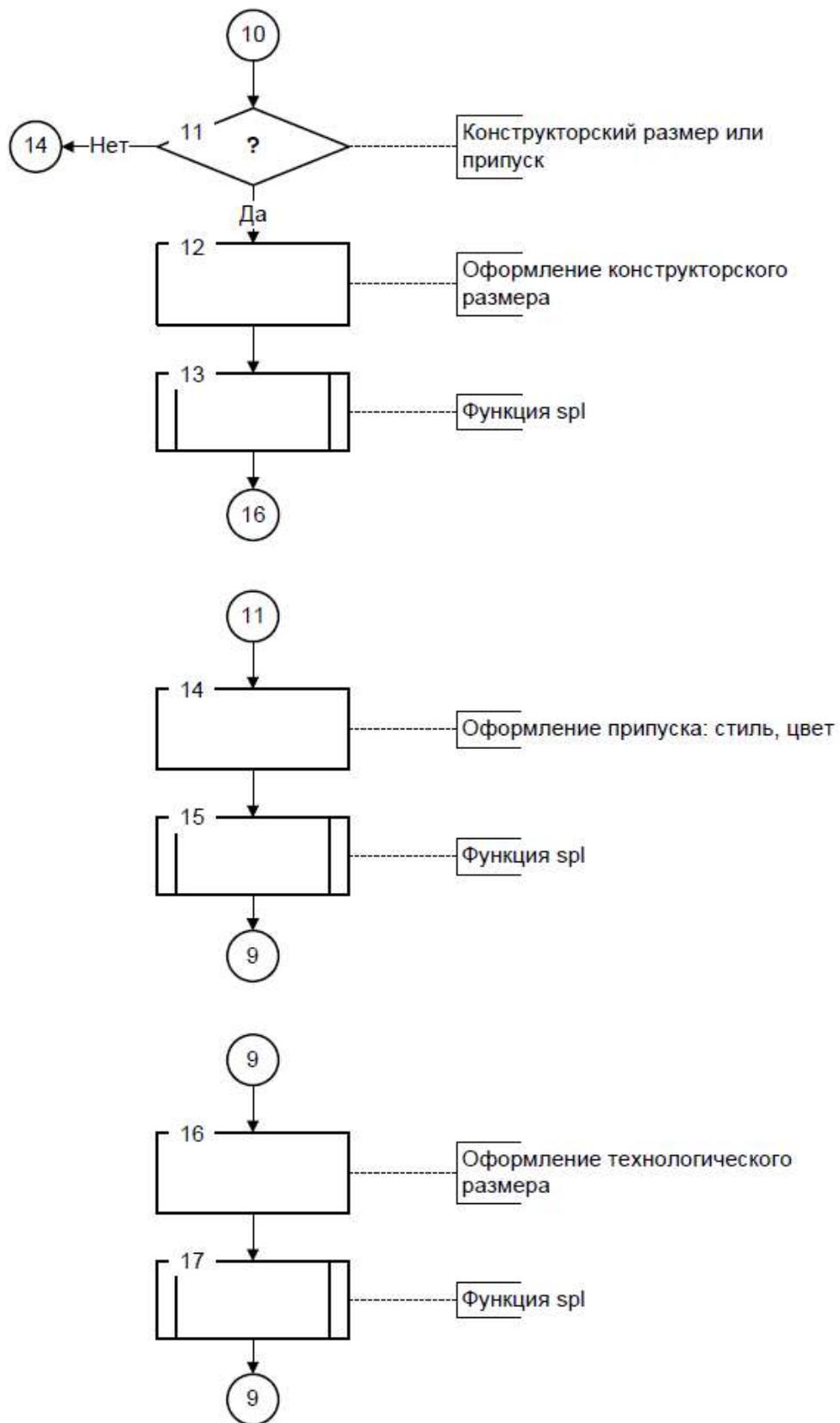


Рисунок 9.3 – Функция `grafkon` (продолжение)

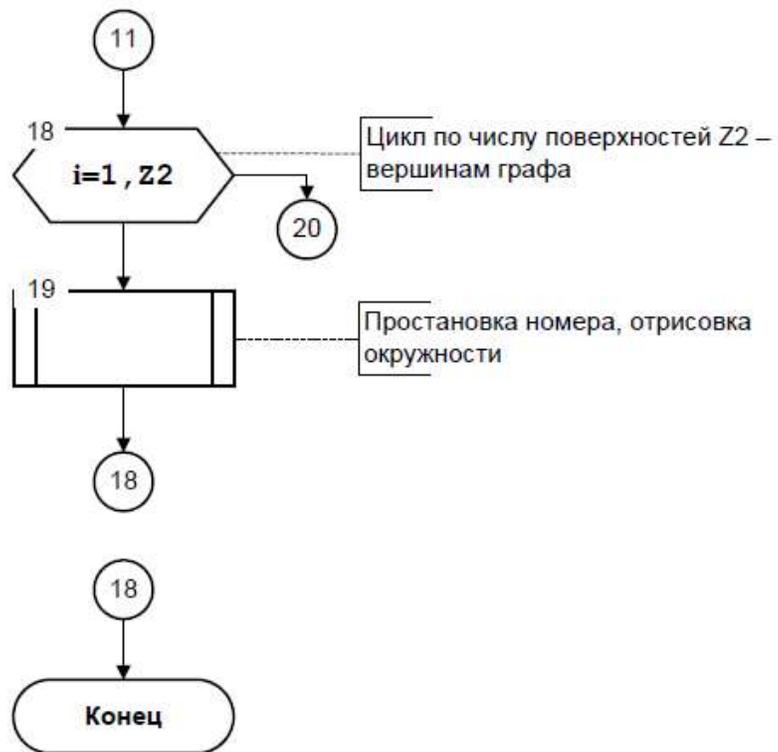


Рисунок 9.3 – Функция **grafkon** (окончание)



Рисунок 9.4 – Функция **spl**

9.3 Программная реализация алгоритма автоматического построения графа на языке AutoLISP в среде AutoCAD

Выбор языка AutoLISP для создания графовой структуры связан с его широким распространением среди пользователей AutoCAD, который используется как средство отображения результата построения.

AutoLISP является подмножеством функционального языка искусственного интеллекта. LISP разработан в 50-х гг. прошлого века в Массачусетском технологическом институте (англ. Massachusetts Institute of Technology, MIT) и адаптирован компанией Autodesk для графических построений в AutoCAD начиная с его самых ранних версий.

Далее приведен текст программы GrafKON на языке AutoLISP с комментариями, обозначенными знаком «;».

```
;С Программа GrafKON Калачев О.Н., Калачева Д.А. 2014
KalachevON@ystu.ru
;Предназначена для автоматического построения графа размер-
ной структуры ТП по файлу исходных данных программы KON7.
;Для использования необходимо ввести по запросу имя файла
????.isx
;=====
(defun spl(ak bk y ym7 kkk)
  (setq p1 (list (* 6 ak) y 0)
        p2 (list (/ (+ (* 6 bk) (* 6 ak)) 2.) ym7 0)
        p3 (list (* 6 bk) y 0)
        )
    (command "_spline" p1 p2 p3 "" "" "")
    (command "_text" p2 0.8 "0" kkk)
  );конец функции spl
;=====
(defun grafkon ();начало функции grafkon
  (vl-load-com)
  (command "_limits" "" "297,210")
  ;;(command "_zoom" "w" "-10,-10" "90,90" "")
  (command "_erase" "_all" "")
  (command "_osnap" "_none")
  (setvar "gridmode" 1)
  (setvar "griddisplay" 2)
  (COMMAND "_color" 7)
  (command "_text" "8,110" 1. "0." "GrafKON Калачев О.Н.
2014 С v12")
  (setq y 100. ); уровень вершин по координате y

  (setq ffff (getstring T "\n Имя файла= ")) ;имя файла с
пробелами
```

```

    (setq fil2 (open ffff "r"));открытие файла
;тестовый пример в файле JM_107_100101a.ISX
    (setvar "CMDECHO" 0)
    (setq i 1);начальное значение счетчика строк
    (while (<= i 11);цикл по строкам "шапки"
      (setq kkk (read-line fil2));чтение строки
      (if (= i 3);условие для поиска строки текста пользова-
теля
        (progn (setq textt (substr kkk 34 40));выделение зна-
чения текста
          (command "_text" "6,103" 1. "90." textt);печать текста
          )
        );конец чтения строки
      (setq i (+ i 1));актуализация счетчика строк
    )
;начальные значения
    (setq k1 1
n1 1
f1 1
i 1
    )
    (setq kkk (read-line fil2));чтение первой строки массива
данных

    (while (/= kkk nil);цикл анализа строк

      (setq kod1 (substr kkk 33 3)
DX1 (substr kkk 18 3)
ak1 (substr kkk 4 2);границы замыкающих звеньев
bk1 (substr kkk 7 2)
a1 (substr kkk 26 2);границы составляющих звеньев
b1 (substr kkk 29 2)
      )
      (setq ak (atof ak1);символы - числа
bk (atof bk1)
a (atof a1)
b (atof b1)
dx (atof dx1)
kod (atof kod1)
      )
;расчет высоты в зависимости от удаленности
      (setq ym2 (- y (* 2 (- b a))));координата y для состав-
ляющих звеньев
      (setq ym7 (+ y (* 1.5 (- bk ak))));координата y конструк-
торских размеров
      (COMMAND "_LTSCALE" ".01" "");масштаб линий
      (if (> dx 0);конструкторский или припуск
;конструкторский размер:
        (progn
(COMMAND "_-LINETYPE" "_set" "continuous" "");непрерывная
(COMMAND "_color" 7);черный цвет

```

```

(setq kkk k1)
(spl ak bk y ym7 kkk); обращение к функции

;;; (setq p1 (list (* 6 ak) y 0); первая точка
;;;      p2 (list (/ (+ (* 6 bk) (* 6 ak)) 2.) ym7 0)
;;;      p3 (list (* 6 bk) y 0); третья точка
;;; )
;;; (command "_text" p2 0.8 "0" k1); имя звена
(setq k1 (+ k1 1)); индекс следующего звена
)
;припуск
(progn
(COMMAND "_LINETYPE" "_set" "зигзаг" "")
(COMMAND "_color" 5)
(setq ym 105.); фиксированная высота припуска

(setq ym7 ym kkk n1)
(spl ak bk y ym7 kkk) ; обращение к функции

;;; (setq p1 (list (* 6 ak) y 0)
;;;      p2 (list (/ (+ (* 6 bk) (* 6 ak)) 2.) ym 0)
;;;      p3 (list (* 6 bk) y 0)
;;; )
;;; (command "_text" p2 0.8 "0" n1)
(setq n1 (+ n1 1)); индекс следующего припуска
)
)
;;; (command "_spline" p1 p2 p3 "" "" ""); построение
сплайна
;технологический размер
(COMMAND "_LINETYPE" "_set" "пунктирная" "")
(COMMAND "_LTSCALE" ".02" "")
(if (> kod 70); механообработка или заготовка
(COMMAND "_color" 6); цвет механообработка
(COMMAND "_color" 3); цвет заготовка
)

(setq ak a bk b ym7 ym2 kkk f1)
(spl ak bk y ym7 kkk)

;;; (setq p1 (list (* 6 a) y 0)
;;;      p2 (list (/ (+ (* 6 b) (* 6 a)) 2.) ym2 0)
;;;      p3 (list (* 6 b) y 0)
;;; )
;;; (command "_spline" p1 p2 p3 "" "" "")
;;; (command "_text" p2 0.8 "0" f1)
(setq f1 (+ f1 1)); индекс следующего технол размера

(setq i (+ i 1)); счетчик строк массива
(setq kkk (read-line fil2)); чтение строки массива

```

```

); конец цикла чтения строк
(close fil2);закрыть файл
(setq z2 i);число строк массива+1
;вершины графа и их номера
(COMMAND "_LINETYPE" "_set" "continuous" "")
(COMMAND "_color" 7)
(setq i 1)
;цикл по поверхностям
(while (<= i z2);цикл по поверхностям
  (setq pt (list (* 6 i) y 0));центр окружности
  (command "_circle" pt 1.5 "")
  (setq ptc (polar pt (- (/ pi 2.)) 0.8));точка вставки
текста
  (setq pt10 (polar ptc pi 0.5))
  (command "_text" pt10 1. "0" i);печать номера поверхно-
сти
  (setq i (+ i 1));обновление счетчика
)
(setvar "CMDECHO" 1);восстановление вывода эха
(princ);очистка командой строки
);конец функции grafkon
;=====
(grafkon);вызов функции построения графа

```

9.4 Пример использования программы GrafKON

Загружаем систему AutoCAD 2014 (рисунок 9.5).

Правой кнопкой мыши выбираем меню «Параметры» и прописываем путь доступа к файлам программы GrafKON с расширением .lsp и исходных данных с расширением .isx (рисунок 9.6).

Затем в ленточном меню выбираем вкладку «Управление» и загружаем редактор Visual LISP (рисунок 9.7).

В окне редактора открываем файл последней версии программы GrafKON с именем граф13.LSP (рисунок 9.8).

Далее выбираем команду «Загрузить активное окно редактора» (рисунок 9.9) – активизируется окно AutoCAD, в котором запрашивается имя файла с расширением .isx.

Построим граф размерной структуры для рассмотренной в данном исследовании детали «тело вращения», запишем имя файла – «тело vrasch.isx» (рисунок 9.10), содержание которого (рисунок 9.11) соответствует размерной схеме на рисунке 4.21.

После нажатия клавиши Enter система выводит граф (рисунок 9.12), а также имя файла с расширением .isx, текст пользователя и название программы.



Рисунок 9.5 – Загрузка системы AutoCAD 2014

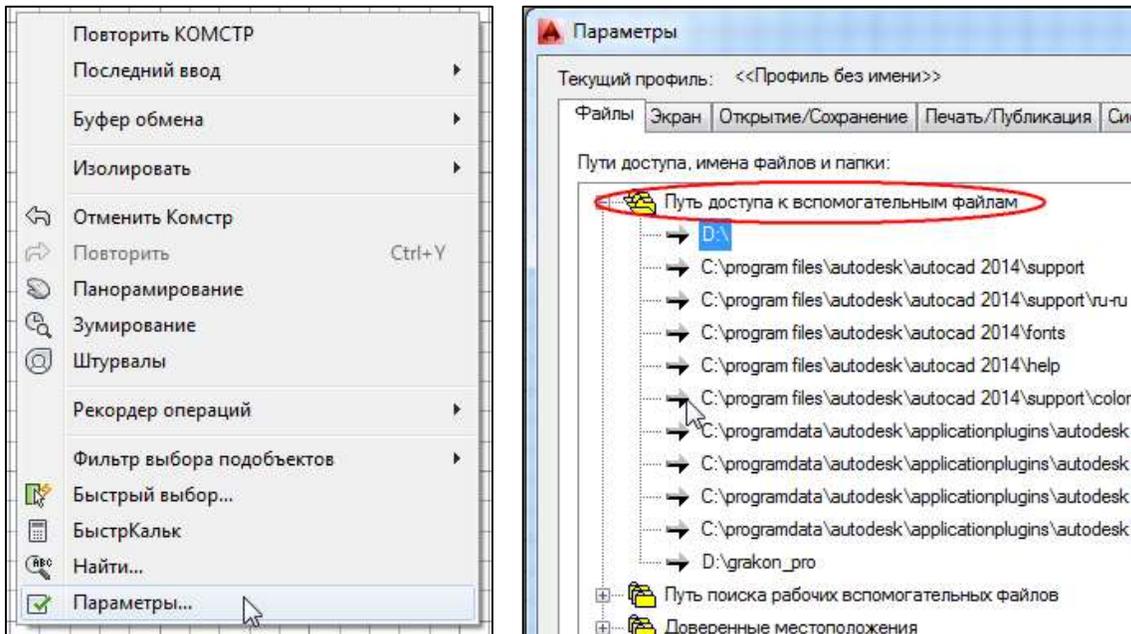


Рисунок 9.6 – Указание папки, в которой находятся файлы

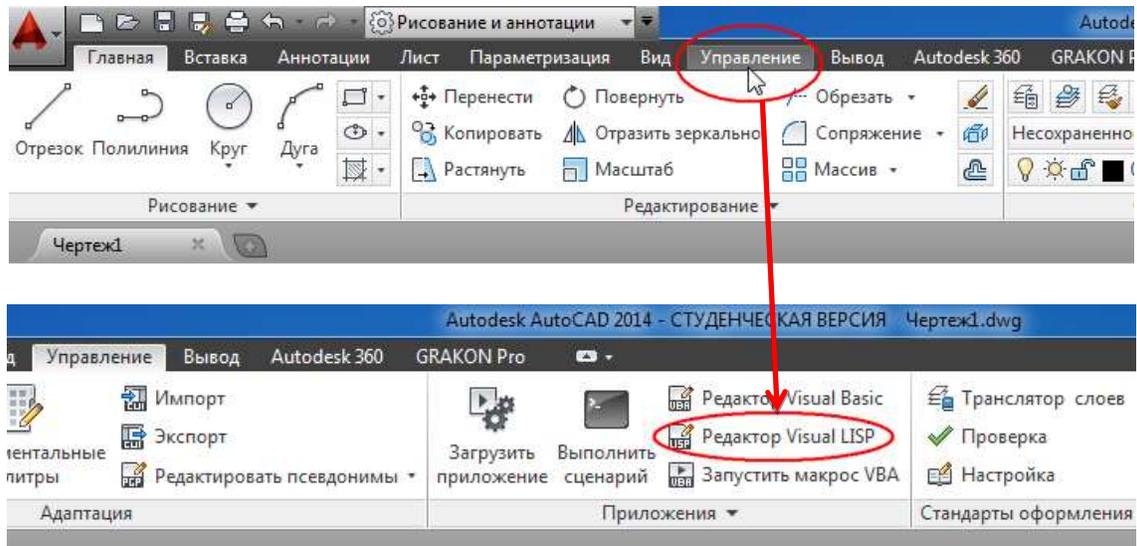


Рисунок 9.7 – Выбор редактора Visual LISP

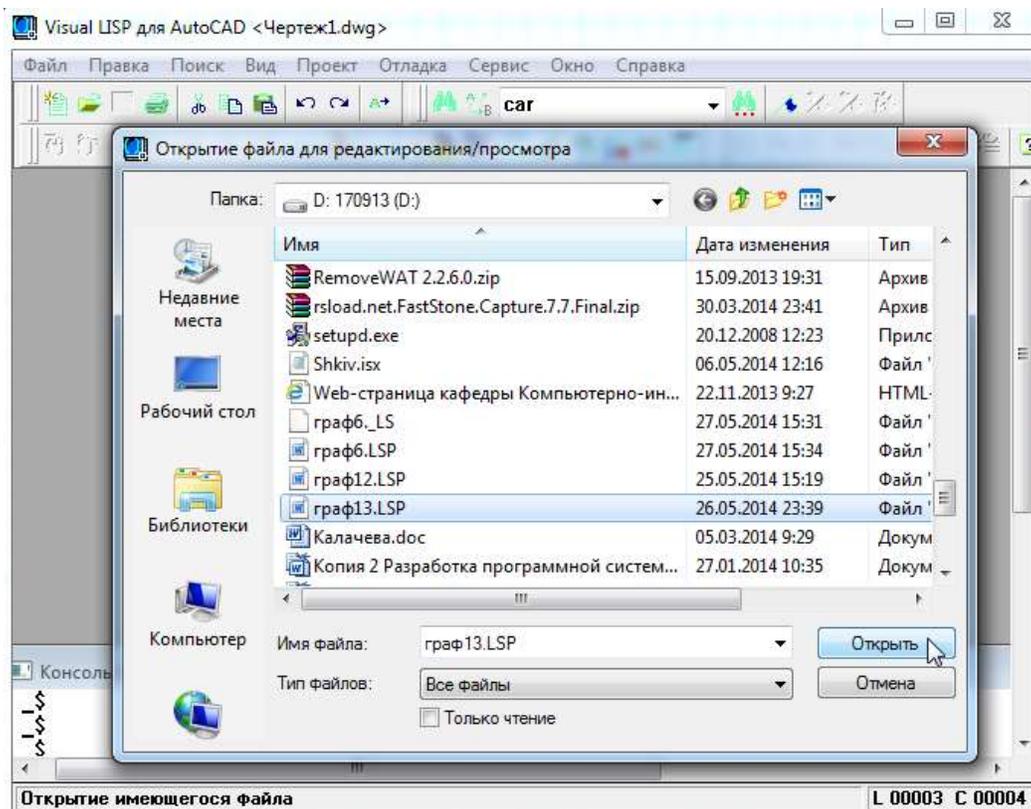


Рисунок 9.8 – Открытие файла программы GrafKON

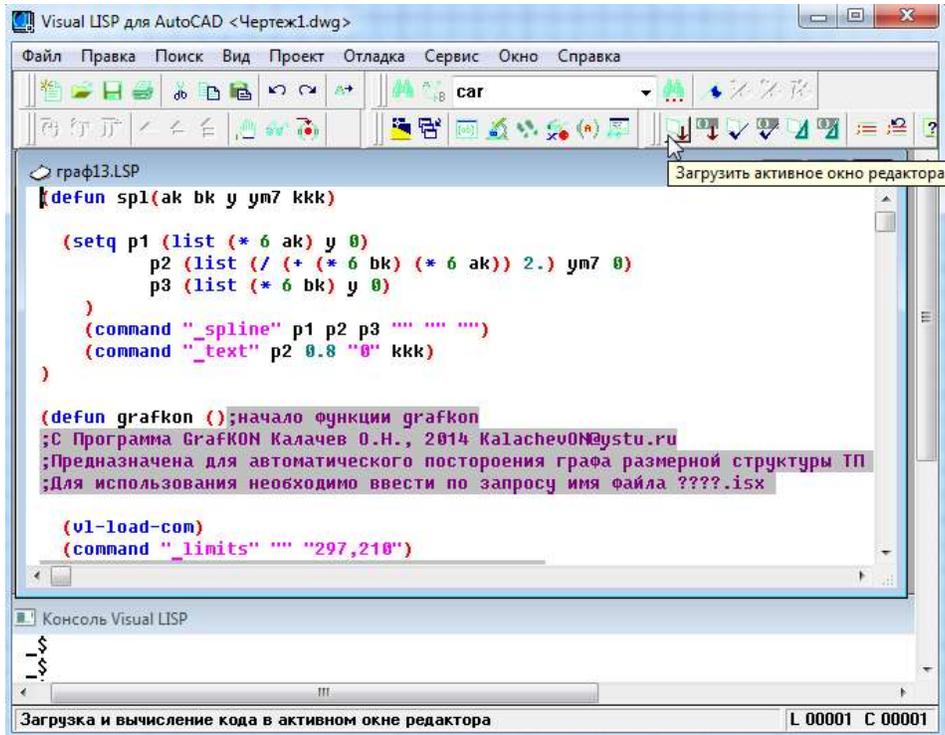


Рисунок 9.9 – Открытие файла программы GrafKON

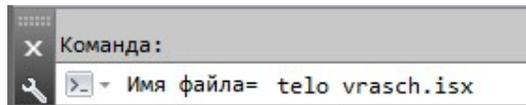


Рисунок 9.10 – Ввод имени файла с расширением .isx

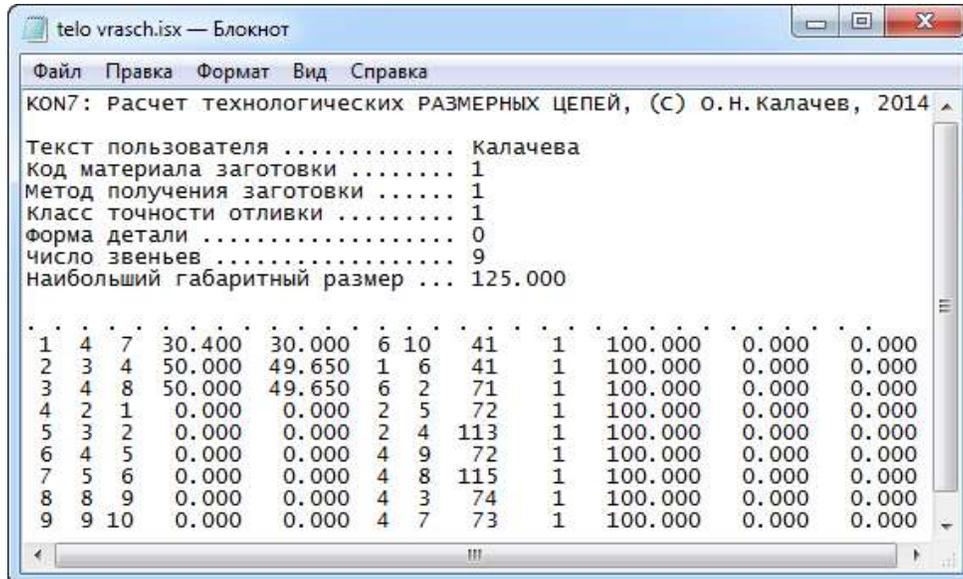


Рисунок 9.11 – Структура файла telo vrasch.isx

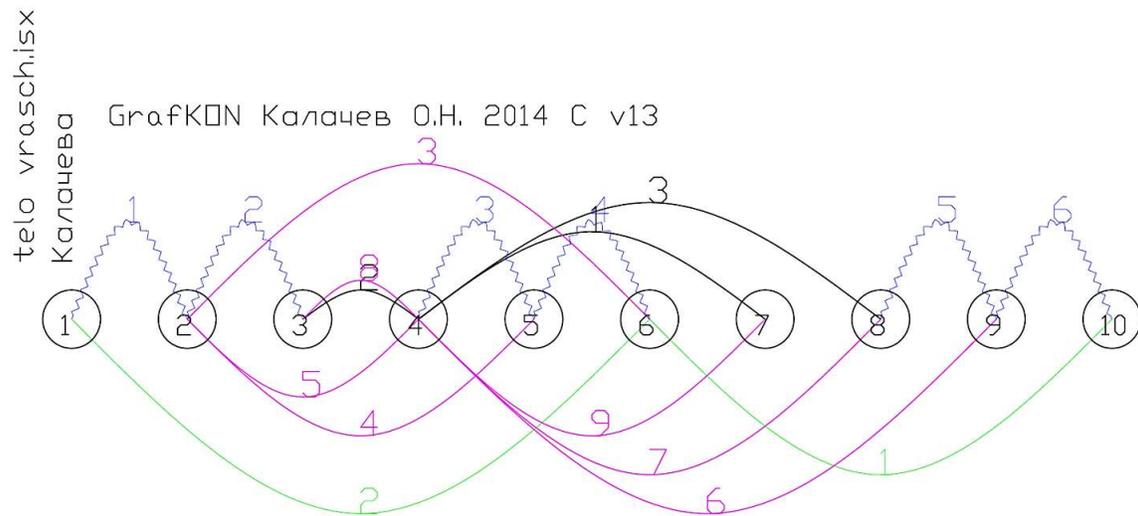


Рисунок 9.12 – Граф размерной структуры детали типа «тело вращения»

Выводы

В данной главе представлена разработка и реализация на языке AutoLISP в программе GrafKON алгоритма автоматического построения графа размерных изменений заготовки.

«Линейный» граф, построенный автоматически, в отличие от традиционного графа, построенного вручную, повторяет вид детали, т.е. поверхности расположены в таком же порядке, как в размерной схеме. Здесь более наглядно видно, какие припуски и в какой последовательности снимаются с заготовки для получения поверхностей готовой детали, какое направление имеют технологические размеры.

Данный граф может использоваться для качественного анализа вариантов размерных структур при выборе наиболее рациональной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам исследования получены следующие результаты.

1. На примере нескольких вариантов размерных схем обработки типовой детали «тело вращения» выполнен поиск наиболее рациональной размерной структуры с наименьшим суммарным колебанием припусков на заключительных этапах формирования поверхностей при выполнении ограничения по балансу допусков и по величине отношения максимального припуска к минимальному.

2. Обоснована возможность уменьшения запаса точности при расчете одного из вариантов размерной структуры расширением допуска на технологический размер с целью выбора более «дешевого» метода обработки с учетом частоты вхождения составляющих звеньев в размерные цепи.

3. Классифицированы ситуации, возникающие при расчете наименьшего значения припуска, выявлен наиболее сложный случай, когда припуск рассчитывается по составляющему звену, не входящему в текущую размерную цепь. Для всех рассмотренных случаев разработан единый алгоритм расчета наименьшего значения припуска и реализован в программе «KON7плюс». При этом учтена возможность неправильного ввода границ припуска пользователем.

Каждая вышеуказанная ситуация подробно рассмотрена и пояснена на примерах схем для определения возможных значений припусков и допусков при размерном анализе ТП механообработки деталей «тело вращения» и «Шкив».

4. На основе проведенных исследований разработаны и программно реализованы в «KON7плюс» алгоритмы:

- поиска значений Z_{\max} , Z_{\min} , их отношения, колебаний припусков, суммы колебаний припусков на последних стадиях обработки;
- поиска частоты вхождения звеньев в размерные цепи.

5. Предложена методика анализа и рационализации размерной структуры на основе применения программы «KON7плюс» с учетом особенностей расчета припуска, влияния колебания припуска, запаса точности и частоты вхождения звеньев в размерные цепи.

6. Разработан и реализован на языке AutoLISP в программе GrafKON алгоритм автоматического построения графа размерных изменений заготовки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Кувалдин, Ю.И.** Расчет припусков и промежуточных размеров при обработке резанием: учебное пособие для практических занятий, курсового и дипломного проектирования / Ю.И. Кувалдин, В.Д. Перовицких. – Киров: Изд-во ВятГУ, 2005. – 163 с.

2. **Масягин, В.Б.** Расширение областей теоретического и практического применения размерного анализа в машиностроении / Scientific World. – URL: <http://www.sworld.com.ua/index.php/ru/conference/the-content-of-conferences/archives-of-individual-conferences/dec-2013>

3. **Оськин, Д.А.** Совершенствование расчета технологических размеров на основе выявления обратных связей между допусками и условиями обработки: дис. ... канд. техн. наук. – Омск, 2007. – 201 с.

4. **Косилова, А.Г.** Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 1 / под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 656 с.

5. Базы для нанесения размеров / ViktoriaStar.RU. – URL: <http://www.viktoriastar.ru/bazi-dlia-nanesenia-razmerov.html>

6. **Матвеев, В.В.** Размерный анализ технологических процессов / В.В. Матвеев, М.М. Тверской, Ф.И. Бойков. – М.: Машиностроение, 1982. – 264 с.

7. **Мордвинов, Б.С.** Расчет линейных технологических размеров и допусков при проектировании технологического процесса механической обработки / Б.С. Мордвинов, Л.Е. Яценко, В.Б. Васильев. – Иркутск: Иркутский госуниверситет, 1980. – 104 с.

8. **Иващенко, И.А.** Технологические размерные расчеты и способы их автоматизации / И.А. Иващенко. – М.: Машиностроение, 1975. – 222 с.

9. **Балакшин, Б.С.** Основы технологии машиностроения. М., «Машиностроение», 1969. – 560 с.

10. **Соколовский, А.П.** Научные основы технологии машиностроения / А.П. Соколовский. – М.: Машгиз, 1955. – 515 с.

11. Основы технологии машиностроения / В.М. Кован, В.С. Корсаков, А.Г. Косилова, М.А. Калинин, Н.М. Капустин, М.Д. Солодов; под ред. В.С. Корсакова. – М.: Машиностроение, 1977. – 416 с.

12. **Кован, В.М.** Расчет припусков на обработку в машиностроении : Справочное пособие / В.М. Кован. – М.: Машгиз, 1953. – 320 с.

13. **Маталин, А.А.** Технология машиностроения: Учебник для машиностроительных вузов по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты». – Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1985. – 496 с.

14. **Калачев, О.Н.** Автоматизация размерного анализа технологических процессов с помощью ЕС ЭВМ: Методические указания к практике

ским занятиям / Сост.: О.Н. Калачев, В.Т. Сеницын, А.М. Шапошников; Ярослав. политехн. ин-т, 1987. – 36 с.

15. **Калачев, О.Н.** Разработка САПР на основе моделирования и анализа размерных изменений заготовки в ходе проектирования технологических процессов // Вестник ЯГТУ: Сб. науч. тр. Вып. 3. – Ярославль: ЯГТУ, 2000. – С. 68-73.

16. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2001610834 РФ. Программный комплекс «KON7. Расчет технологических размерных цепей» / О.Н. Калачев. – 2001.

17. **Калачев, О.Н.** Интерактивное моделирование размерных изменений заготовки при проектировании технологического процесса механообработки // Информационные технологии. – 2001. – № 2. – С. 10-14, 58.

18. **Калачев, О.Н.** Автоматизация размерных расчетов на этапе проектирования технологического процесса механообработки / О.Н. Калачев, С.А. Погорелов // Вестник машиностроения. – 2002. – № 6. – С.54–58.

19. САПР в технологии машиностроения: Учебное пособие / В.Г. Митрофанов, О.Н. Калачев, А.Г. Схиртладзе и др. – Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 1995. – 298 с.

20. KON7 Построение и расчет технологических размерных цепей / Web-страница кафедры «Технология машиностроения». – URL: <http://tms.ystu.ru/>

21. **Шамин, В.Ю.** Теория и практика решения конструкторских и технологических размерных цепей: компьютерная версия учебного пособия. – 4-е изд., перер. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. – 530 с.

22. Проектирование операционных заготовок в среде САД-систем: методическое пособие / Д.Д. Куликов, В.С. Гусельников, В.С. Бабанин, Н.А. Шувал-Сергеев. – СПб.: Санкт-Петербургский гос. ун-т информационных технологий, механики и оптики, 2009.

23. **Артюх, Р.Л.** Повышение эффективности проектирования технологических процессов механической обработки на основе формирования оптимальной размерной структуры: дис. ... канд. техн. наук. – Омск, 2012. – 171 с.

24. **Белашов, В.А.** Размерный анализ технологий в редакторе технологических процессов РТП2000: Учебно-методическое пособие / В.А. Белашов, А.В. Белашов, М.В. Белашов. – Пенза: Пензенский гос. ун-т, 2008. – 49 с.

25. Research on Tolerance Analysis System Based on 3D Collaborative Design Platform / Scientific.Net / X.Y. Shao, K. Lin, L. Gao, H.B. Qiu. – URL: <http://www.scientific.net/AMR.44-46.253>

26. **Rădulescu, C.** Scheme analysis tree dimensions and tolerances processing / C. Rădulescu, L.M. Cîrîină; Universitatea "Constantin Brâncuși" din Târgu-Jiu. – URL: http://www.utgjiu.ro/rev_mec/mecanica/pdf/2011-01/17_radulescu.pdf

27. An approach for systematic process planning of gear transmission parts / diva-portal.org. – URL: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:160163/FULLTEXT01.pdf>

28. **Калачев, О.Н.** Способы решения технологических размерных цепей в программе KON7 с учетом колебания припуска и несовпадения баз / О.Н. Калачев, Д.А. Калачева // Сб. материалов Шестьдесят седьмой регион. науч.-техн. конференции. – Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2014. – 452 с. – С. 187.

29. **Калачев, О.Н.** Об учете колебания припусков при автоматизации расчета технологических размеров механообработки / О.Н. Калачев, Д.А. Калачева // Инновации в машиностроении: сборник трудов IX Международной научно-практической конференции; под. ред. А.М. Маркова, А.В. Балашова, М.В. Доц. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2018. – 537 с. – С. 253-257.

30. **Калачев, О.Н.** К уточнению расчета припусков при автоматизации размерного анализа технологического процесса механообработки / О.Н. Калачев, Д.А. Калачева // Информационные технологии. Проблемы и решения. – 2018. – Т. 1(5). – 508 с. – С. 88-92.

31. **Калачева, Д.А.** Использование «линейного» графа для отображения размерной структуры технологического процесса // Д.А. Калачева, О.Н. Калачев // Техника и технологии - 2014: сборник статей Международной научно-технической конференции; под общ. ред. М.Г. Шалыгина. – Брянск: НДМ, 2014. – 90 с. – С. 3-6.

32. **Масягин, В.Б.** Совершенствование теории размерного анализа на основе кромочной модели/ LAP LAMBERT Academic Publishing (22 ноября 2016 г.) 332 с.

33. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2001611748 РФ. GRAKON7. Автоматизированное проектирование размерной структуры механообработки / О.Н. Калачев. – 2001.

34. **Ашихмин, В.Н.** Выявление и расчет размерных цепей при размерном анализе технологических процессов / Портал информационно-образовательных ресурсов study.urfu.ru. – URL: http://study.urfu.ru/view/aid_view.aspx?AidId=9539

35. **Калачев, О.Н.** Компьютерная графика в размерном анализе технологических процессов механообработки / Яросл. политехн. ин-т. - Ярославль, 1994. - 12 с. - Деп. в Инфорприбор, ДР 5162 - пр 94.

36. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2014619255 РФ. KON7 плюс. Анализ размерной структуры технологического процесса механообработки и расчет технологических размеров / О.Н. Калачев, Д.А. Калачева. – 2014.

37. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2014619259 РФ. GrafKON. Построение графа размерной структуры технологического процесса механообработки / О.Н. Калачев, Д.А. Калачева. – 2014.

38. **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 компьютерных и информационных технологий. – 2012. – № 5. – С. 13-19.

39. **Калачев, О.Н.** Оценка логических ограничений структурной модели для расчета размеров механообработки / О.Н. Калачев, А.Ч. Ступар // XXIX Гагаринские чтения. Тезисы докладов Международной молодежной научной конференции. Секция 3. – М.: Ин-т проблем механики РАН, 2003. – С. 38-39.

40. **Калачев, О.Н.** Разработка интерактивной системы KON7 для расчета размеров механообработки / О.Н. Калачев, М.В. Тихомиров // Актуальные проблемы машиностроения: материалы I Междунар. науч.-техн. конф. – Владимир, 2001. – С. 155-157.

41. **Калачев, О.Н.** Моделирование размеров механообработки в среде AutoCAD 200х на основе использования приложения GRAKON7 / О.Н. Калачев, А.Д. Рехтер // САПР и графика. – 2002. – № 2. – С. 100-104.

42. Документация по программным продуктам: KON7 и GRAKON7: Отчет по ход НИР с ЯМЗ / Науч. руководитель О.Н. Калачев. – Ярославль: ЯГТУ, 2000. – 95 с. (рукопись).

Приложение А – Распечатка результатов расчета тестовой детали «телo вращения» по программе KON7

Распечатка результатов расчета детали «телo вращения» с допуском TA7=0,097

Исходные данные и результаты анализа технологических размерных цепей Программа KON7 (C) Калачев О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)											
Текст пользователя						Калачева					
Таблица 1 - Исходные данные (проверьте правильность ввода!)											
Сведения о заготовке:											
Материал.....						сталь					
Способ получения.....						Литьё в земляные формы					
Класс (степень) точности..						1					
Габаритный размер по направлению технологических размеров...						125.000					

Замыкающие звенья				Составляющие звенья: размеры А				Поп-		Отклонения	
Р-черт.размер. Z-припуск				заготовки <-->, затем мех.обработки 0-->				реч-		допуска DT	

-----14.06.2014-12:12:01-----											
Зве- но	Границы Р: л-п	Предел.значения Z: н-с	Предел.значения маx	Предел.значения min	Зве- но	Границы но <-->	Метод обработки База-->	Сист мер,	раз- 	допу- 	Отклоне-
P1	4 7	30.400	30.000	A1	6 10	Литьё в земляные формы	вал	100	0.000	0.000	
P2	3 4	50.000	49.650	A2	1 6	Литьё в земляные формы	вал	100	0.000	0.000	
P3	4 8	50.000	49.650	A3	6 2	Точение от необр.пов.	вал	100	0.000	0.000	
Z1	1 2	0.000	0.000	A4	2 5	Точение черновое	вал	100	0.000	0.000	
Z2	2 3	0.000	0.000	A5	2 4	Шлифование однократное	вал	100	0.000	0.000	
Z3	4 5	0.000	0.000	A6	4 9	Точение черновое	вал	100	0.000	0.000	
Z4	5 6	0.000	0.000	A7	4 8	Шлифование тонкое	вал	100	0.000	-0.097	
Z5	8 9	0.000	0.000	A8	4 3	Точение чистовое	вал	100	0.000	0.000	
Z6	9 10	0.000	0.000	A9	4 7	Точение однократное	вал	100	0.000	0.000	

Таблица 2 - Результаты поиска уравнений размерных цепей и последовательности их решения											
Номер решения	Неизв. звено	Уравнения в символьной форме									
1	A9	P1=+A9									
2	A8	P2=+A8									
3	A7	P3=+A7									
4	A5	Z2=-A8+A5									
5	A6	Z5=-A7+A6									
6	A4	Z3=-A5+A4									
7	A3	Z4=-A4+A3									
8	A2	Z1=-A3+A2									
9	A1	Z6=-A5-A6+A1+A3									

** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей **											
KON7 (C) Калачев О.Н., 2014											
Решается разм. цепь 1 типа "P" с неизв. звеном A9											
с о с т а в ц е п и :											
увелич. звено A9 : max= 0.000 min= 0.000											
замык. звено - констр. размер P1 : max= 30.400 min= 30.000											
результаты расчёта звена A9 : max= 30.400 min= 30.000											
следовательно, расч. допуск= 0.400											
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый											
системой= 0.340 : верхн. откл.= 0.340 нижн. откл.= 0.000											
принимаем расчётный размер звена A9 с учётом технолог. допуска:											
номинал= 30.400 max= 30.400 min= 30.060											
Решается разм. цепь 2 типа "P" с неизв. звеном A8											
с о с т а в ц е п и :											
увелич. звено A8 : max= 0.000 min= 0.000											
замык. звено - констр. размер P2 : max= 50.000 min= 49.650											
результаты расчёта звена A8 : max= 50.000 min= 49.650											
следовательно, расч. допуск= 0.350											
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый											
системой= 0.100 : верхн. откл.= 0.100 нижн. откл.= 0.000											
принимаем расчётный размер звена A8 с учётом технолог. допуска:											
номинал= 50.000 max= 50.000 min= 49.901											
Решается разм. цепь 3 типа "P" с неизв. звеном A7											

с о с т а в ц е п и :									
увелич. звено А7 :				max= 0.000		min= 0.000			
замык. звено - констр. размер РЗ :				max= 50.000		min= 49.650			
результаты расчёта звена А7 :				max= 50.000		min= 49.650			
следовательно, расч. допуск=		0.350							
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый									
системой= 0.017 :		верхн. откл.= 0.017		нижн. откл.= 0.000					
технологич. допуск, заданный пользователем= 0.097									
верх. откл.= 0.000		нижн. откл.= -0.097							
принимая расчётный размер звена А7 с учётом технолог. допуска:									
номинал= 50.000				max= 50.000		min= 49.904			
Решается разм. цепь 4 типа "Z" с неизв. звеном А5									
припуск ZMIN, рассчитанный системой=		0.360							
с о с т а в ц е п и :									
уменьш. звено А8 :				max= 50.000		min= 49.901			
увелич. звено А5 :				max= 0.000		min= 0.000			
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый									
системой= 0.030 :		верхн. откл.= 0.030		нижн. откл.= 0.000					
расчётный размер звена А5 :				max= 50.390		min= 50.360			
номинал= 50.390									
Решается разм. цепь 5 типа "Z" с неизв. звеном А6									
припуск ZMIN, рассчитанный системой=		0.230							
с о с т а в ц е п и :									
уменьш. звено А7 :				max= 50.000		min= 49.904			
увелич. звено А6 :				max= 0.000		min= 0.000			
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый									
системой= 0.400 :		верхн. откл.= 0.400		нижн. откл.= 0.000					
расчётный размер звена А6 :				max= 50.630		min= 50.230			
номинал= 50.630									
Решается разм. цепь 6 типа "Z" с неизв. звеном А4									
припуск ZMIN, рассчитанный системой=		0.230							
с о с т а в ц е п и :									
уменьш. звено А5 :				max= 50.390		min= 50.360			
увелич. звено А4 :				max= 0.000		min= 0.000			
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый									
системой= 0.400 :		верхн. откл.= 0.400		нижн. откл.= 0.000					
расчётный размер звена А4 :				max= 51.020		min= 50.620			
номинал= 51.020									
Решается разм. цепь 7 типа "Z" с неизв. звеном А3									
припуск ZMIN, рассчитанный системой=		0.700							
с о с т а в ц е п и :									
уменьш. звено А4 :				max= 51.020		min= 50.620			
увелич. звено А3 :				max= 0.000		min= 0.000			
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый									
системой= 0.740 :		верхн. откл.= 0.740		нижн. откл.= 0.000					
расчётный размер звена А3 :				max= 52.460		min= 51.720			
номинал= 52.460									
Решается разм. цепь 8 типа "Z" с неизв. звеном А2									
припуск ZMIN, рассчитанный системой=		0.700							
с о с т а в ц е п и :									
уменьш. звено А3 :				max= 52.460		min= 51.720			
увелич. звено А2 :				max= 0.000		min= 0.000			
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый									
системой= 0.800 :		верхн. откл.= 0.400		нижн. откл.= -0.400					
расчётный размер звена А2 :				max= 53.960		min= 53.160			
номинал= 53.560									
Решается разм. цепь 9 типа "Z" с неизв. звеном А1									
припуск ZMIN, рассчитанный системой=		0.700							
с о с т а в ц е п и :									
уменьш. звено А5 :				max= 50.390		min= 50.360			
уменьш. звено А6 :				max= 50.630		min= 50.230			
увелич. звено А1 :				max= 0.000		min= 0.000			
увелич. звено А3 :				max= 52.460		min= 51.720			
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый									
системой= 0.600 :		верхн. откл.= 0.300		нижн. откл.= -0.300					
расчётный размер звена А1 :				max= 50.600		min= 50.000			
номинал= 50.300									

Таблица 3 - Результаты расчета технологических РЦ по программе KON7 (С) Калачёв О.Н., 2014 -----									

Замыкающие звенья					Составляющие звенья				
Р - черт.размер, Z - припуск					А - размеры заготовки и механообработки				
-----kop7-116-120 D1 zz GRA-NA--									
Ин-	Гра-	Предел. значения		Ин-	Гра-	Метод обработки		Отклонения	
декс	ницы	max	min	декс	ницы	Номинал	-----		
звена	звена			звена	звена		Верхнее	Нижнее	

-----14.06.2014-12:12:01-----									

P1	4	7	30.400	30.000	A1	6	10	Литьё в земляные формы	50.300	0.300	-0.300
P2	3	4	50.000	49.650	A2	1	6	Литьё в земляные формы	53.560	0.400	-0.400
P3	4	8	50.000	49.650	A3	6	2	Точение от необр.пов.	52.460	0.000	-0.740
Z1	2	1	2.240	0.700	A4	2	5	Точение черновое	51.020	0.000	-0.400
Z2	3	2	0.489	0.360	A5	2	4	Шлифование однократное	50.390	0.000	-0.030
Z3	4	5	0.660	0.230	A6	4	9	Точение черновое	50.630	0.000	-0.400
Z4	5	6	1.840	0.700	A7	4	8	Шлифование тонкое	50.000	0.000	-0.097
Z5	8	9	0.726	0.230	A8	4	3	Точение чистовое	50.000	0.000	-0.100
Z6	9	10	2.470	0.700	A9	4	7	Точение однократное	30.400	0.000	-0.340

Таблица 4 - Баланс допусков в каждой размерной цепи

№ решения	Неизв. звено	Номинал	Верхнее отклон.	Нижнее отклон.	Запас точн.	Уравнения в символической форме Баланс допусков
1	A9	30.400	0.000	-0.340	0.060	P1=+A9 0.400=>0.340
2	A8	50.000	0.000	-0.100	0.250	P2=+A8 0.350=>0.100
3	A7	50.000	0.000	-0.097	0.253	P3=+A7 0.350=>0.097
4	A5	50.390	0.000	-0.030	-0.001	Z2=-A8+A5 0.129=>0.100+0.030
5	A6	50.630	0.000	-0.400	-0.001	Z5=-A7+A6 0.496=>0.097+0.400
6	A4	51.020	0.000	-0.400	0.000	Z3=-A5+A4 0.430=>0.030+0.400
7	A3	52.460	0.000	-0.740	0.000	Z4=-A4+A3 1.140=>0.400+0.740
8	A2	53.560	0.400	-0.400	0.000	Z1=-A3+A2 1.540=>0.740+0.800
9	A1	50.300	0.300	-0.300	0.000	Z6=-A5-A6+A1+A3 1.770=>0.030+0.400+0.600+0.740

Конец заказа Калачева KON7 в. 122_120 D1 zz GRA HA 2014

Распечатка результатов расчета детали «тело вращения» с допуском TA7=0,137

Исходные данные и результаты анализа технологических размерных цепей												
Программа KON7 (C) Калачев О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)												
Текст пользователя						Калачева						
Таблица 1 - Исходные данные (проверьте правильность ввода!)												
Сведения о заготовке:												
Материал.....						сталь						
Способ получения.....						Литьё в земляные формы						
Класс (степень) точности..						1						
Габаритный размер по направлению технологических размеров... 125.000												
Замыкающие звенья				Составляющие звенья: размеры А				Поп-		Отклонения		
Р-черт.размер. Z-припуск				заготовки <-->, затем мех.обработки О-->				реч-		допуска DT		
								ный		пользователя		
Зве-	Границы	Предел.значения	Зве-	Границы	Метод обработки	Сист	раз-					
но	Р: л-п	-----	но	<----->		дому	мер,	-----				
	Z: н-с	max	min	База-->		ска	мм	Верх.	Нижнее			
-----14.06.2014-12:14:20-----												
P1	4	7	30.400	30.000	A1	6	10	Литьё в земляные формы	вал	100	0.000	0.000
P2	3	4	50.000	49.650	A2	1	6	Литьё в земляные формы	вал	100	0.000	0.000
P3	4	8	50.000	49.650	A3	6	2	Точение от необр.пов.	вал	100	0.000	0.000
Z1	1	2	0.000	0.000	A4	2	5	Точение черновое	вал	100	0.000	0.000
Z2	2	3	0.000	0.000	A5	2	4	Шлифование однократное	вал	100	0.000	0.000
Z3	4	5	0.000	0.000	A6	4	9	Точение черновое	вал	100	0.000	0.000
Z4	5	6	0.000	0.000	A7	4	8	Шлифование тонкое	вал	100	0.000	-0.137

Z5	8	9	0.000	0.000	A8	4	3	Точение чистовое	вал	100	0.000	0.000
Z6	9	10	0.000	0.000	A9	4	7	Точение однократное	вал	100	0.000	0.000

Таблица 2 - Результаты поиска уравнений размерных цепей и последовательности их решения

Номер решения	Неизв. звено	Уравнения в символьной форме
1	A9	P1=+A9
2	A8	P2=+A8
3	A7	P3=+A7
4	A5	Z2=-A8+A5
5	A6	Z5=-A7+A6
6	A4	Z3=-A5+A4
7	A3	Z4=-A4+A3
8	A2	Z1=-A3+A2
9	A1	Z6=-A5-A6+A1+A3

** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей **

KON7 (С) Калачев О.Н., 2014

Решается разм. цепь 1 типа "P" с неизв. звеном A9

с о с т а в ц е п и :

увелич. звено A9 : max= 0.000 min= 0.000

замык. звено - констр. размер P1 : max= 30.400 min= 30.000

результаты расчёта звена A9 : max= 30.400 min= 30.000

следовательно, расч. допуск= 0.400

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый

системой= 0.340 : верхн. откл.= 0.340 нижн. откл.= 0.000

принимаем расчётный размер звена A9 с учётом технолог. допуска:

номинал= 30.400 max= 30.400 min= 30.060

Решается разм. цепь 2 типа "P" с неизв. звеном A8

с о с т а в ц е п и :

увелич. звено A8 : max= 0.000 min= 0.000

замык. звено - констр. размер P2 : max= 50.000 min= 49.650

результаты расчёта звена A8 : max= 50.000 min= 49.650

следовательно, расч. допуск= 0.350

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый

системой= 0.100 : верхн. откл.= 0.100 нижн. откл.= 0.000

принимаем расчётный размер звена A8 с учётом технолог. допуска:

номинал= 50.000 max= 50.000 min= 49.901

Решается разм. цепь 3 типа "P" с неизв. звеном A7

с о с т а в ц е п и :

увелич. звено A7 : max= 0.000 min= 0.000

замык. звено - констр. размер P3 : max= 50.000 min= 49.650

результаты расчёта звена A7 : max= 50.000 min= 49.650

следовательно, расч. допуск= 0.350

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый

системой= 0.017 : верхн. откл.= 0.017 нижн. откл.= 0.000

технологич. допуск, заданный пользователем= 0.137

верх. откл.= 0.000 нижн. откл.= -0.137

принимаем расчётный размер звена A7 с учётом технолог. допуска:

номинал= 50.000 max= 50.000 min= 49.864

Решается разм. цепь 4 типа "Z" с неизв. звеном A5

припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.360

с о с т а в ц е п и :

уменьш. звено A8 : max= 50.000 min= 49.901

увелич. звено A5 : max= 0.000 min= 0.000

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый

системой= 0.030 : верхн. откл.= 0.030 нижн. откл.= 0.000

расчётный размер звена A5 :

номинал= 50.390 max= 50.390 min= 50.360

Решается разм. цепь 5 типа "Z" с неизв. звеном A6

припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.230

с о с т а в ц е п и :

уменьш. звено A7 : max= 50.000 min= 49.864

увелич. звено A6 : max= 0.000 min= 0.000

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый

системой= 0.400 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= 0.000

расчётный размер звена A6 :

номинал= 50.630 max= 50.630 min= 50.230

Решается разм. цепь 6 типа "Z" с неизв. звеном A4

припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.230

с о с т а в ц е п и :

уменьш. звено A5 : max= 50.390 min= 50.360

увелич. звено A4 : max= 0.000 min= 0.000

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый

системой= 0.400 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A4 :
номинал= 51.020 max= 51.020 min= 50.620

Решается разм. цепь 7 типа "Z" с неизв. звеном A3
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A4 : max= 51.020 min= 50.620
увелич. звено A3 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.740 : верхн. откл.= 0.740 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A3 :
номинал= 52.460 max= 52.460 min= 51.720

Решается разм. цепь 8 типа "Z" с неизв. звеном A2
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A3 : max= 52.460 min= 51.720
увелич. звено A2 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.800 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= -0.400
расчётный размер звена A2 :
номинал= 53.560 max= 53.960 min= 53.160

Решается разм. цепь 9 типа "Z" с неизв. звеном A1
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A5 : max= 50.390 min= 50.360
уменьш. звено A6 : max= 50.630 min= 50.230
увелич. звено A1 : max= 0.000 min= 0.000
увелич. звено A3 : max= 52.460 min= 51.720
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.600 : верхн. откл.= 0.300 нижн. откл.= -0.300
расчётный размер звена A1 :
номинал= 50.300 max= 50.600 min= 50.000

Таблица 3 - Результаты расчета технологических РЦ по программе KON7 (C) Калачёв О.Н., 2014

Замыкающие звенья			Составляющие звенья			kon7-116-120 D1 zz GRA-NA--		
P - черт.размер, Z - припуск			A - размеры заготовки и механообработки					
Ин-декс звена	Гра-ницы звена	Предел.значения	Ин-декс звена	Гра-ницы звена	Метод обработки	Номинал	Отклонения	
		max min					Верхнее	Нижнее
-----14.06.2014-12:14:20-----								
P1	4 7	30.400 30.000	A1	6 10	Литьё в земляные формы	50.300	0.300	-0.300
P2	3 4	50.000 49.650	A2	1 6	Литьё в земляные формы	53.560	0.400	-0.400
P3	4 8	50.000 49.650	A3	6 2	Точение от необр.пов.	52.460	0.000	-0.740
Z1	2 1	2.240 0.700	A4	2 5	Точение черновое	51.020	0.000	-0.400
Z2	3 2	0.489 0.360	A5	2 4	Шлифование однократное	50.390	0.000	-0.030
Z3	4 5	0.660 0.230	A6	4 9	Точение черновое	50.630	0.000	-0.400
Z4	5 6	1.840 0.700	A7	4 8	Шлифование тонкое	50.000	0.000	-0.137
Z5	8 9	0.766 0.230	A8	4 3	Точение чистовое	50.000	0.000	-0.100
Z6	9 10	2.470 0.700	A9	4 7	Точение однократное	30.400	0.000	-0.340

Таблица 4 - Баланс допусков в каждой размерной цепи

№ решения	Неизв. звено	Номинал	Верхнее отклон.	Нижнее отклон.	Запас точн.	Уравнения в символической форме
Баланс допусков						
1	A9					P1=+A9
		30.400	0.000	-0.340	0.060	0.400=>0.340
2	A8					P2=+A8
		50.000	0.000	-0.100	0.250	0.350=>0.100
3	A7					P3=+A7
		50.000	0.000	-0.137	0.213	0.350=>0.137
4	A5					Z2=-A8+A5
		50.390	0.000	-0.030	-0.001	0.129=>0.100+0.030
5	A6					Z5=-A7+A6
		50.630	0.000	-0.400	-0.001	0.536=>0.137+0.400
6	A4					Z3=-A5+A4
		51.020	0.000	-0.400	0.000	0.430=>0.030+0.400
7	A3					Z4=-A4+A3

		52.460	0.000	-0.740	0.000	1.140=>0.400+0.740
8	A2					Z1=-A3+A2
		53.560	0.400	-0.400	0.000	1.540=>0.740+0.800
9	A1					Z6=-A5-A6+A1+A3
		50.300	0.300	-0.300	0.000	1.770=>0.030+0.400+0.600+0.740

Конец заказа Калачева KON7 в. 122_120 D1 zz GRA HA 2014

Распечатка результатов расчета детали «тело вращения» с допуском TA7=0,177

Исходные данные и результаты анализа технологических размерных цепей
Программа KON7 (C) Калачев О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)

Текст пользователя Калачева

Таблица 1 - Исходные данные (проверьте правильность ввода!)
Сведения о заготовке:
Материал..... сталь
Способ получения..... Литьё в земляные формы
Класс (степень) точности.. 1
Габаритный размер по направлению технологических размеров... 125.000

Замыкающие звенья		Составляющие звенья: размеры А				Поп-	Отклонения
Р-черт.размер. Z-припуск		заготовки <-->, затем мех.обработки О-->				реч-	допуска DT
Зве-	Границы	Предел.значения	Зве-	Границы	Метод обработки	Сист раз-	пользователя
но P: л-п	-----	-----	но <----->	-----	-----	дону мер,	-----
Z: н-с	max	min	База-->	-----	-----	ска мм	Верх.
-----14.06.2014-12:14:49-----							
P1	4 7	30.400	30.000	A1	6 10	Литьё в земляные формы	вал 100 0.000 0.000
P2	3 4	50.000	49.650	A2	1 6	Литьё в земляные формы	вал 100 0.000 0.000
P3	4 8	50.000	49.650	A3	6 2	Точение от необр.пов.	вал 100 0.000 0.000
Z1	1 2	0.000	0.000	A4	2 5	Точение черновое	вал 100 0.000 0.000
Z2	2 3	0.000	0.000	A5	2 4	Шлифование однократное	вал 100 0.000 0.000
Z3	4 5	0.000	0.000	A6	4 9	Точение черновое	вал 100 0.000 0.000
Z4	5 6	0.000	0.000	A7	4 8	Шлифование тонкое	вал 100 0.000 -0.177
Z5	8 9	0.000	0.000	A8	4 3	Точение чистовое	вал 100 0.000 0.000
Z6	9 10	0.000	0.000	A9	4 7	Точение однократное	вал 100 0.000 0.000

Таблица 2 - Результаты поиска уравнений размерных цепей и последовательности их решения

Номер	Неизв.	Уравнения в символьной форме
решения	звено	
1	A9	P1=+A9
2	A8	P2=+A8
3	A7	P3=+A7
4	A5	Z2=-A8+A5
5	A6	Z5=-A7+A6
6	A4	Z3=-A5+A4
7	A3	Z4=-A4+A3
8	A2	Z1=-A3+A2
9	A1	Z6=-A5-A6+A1+A3

** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей **
KON7 (C) Калачев О.Н., 2014

Решается разм. цепь 1 типа "P" с неизв. звеном A9
с о с т а в ц е п и :
увелич. звено A9 : max= 0.000 min= 0.000
замык. звено - констр. размер P1 : max= 30.400 min= 30.000
результаты расчёта звена A9 : max= 30.400 min= 30.000
следовательно, расч. допуск= 0.400
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.340 : верхн. откл.= 0.340 нижн. откл.= 0.000
принимая расчётный размер звена A9 с учётом технолог. допуска:
номинал= 30.400 max= 30.400 min= 30.060

Решается разм. цепь 2 типа "P" с неизв. звеном A8
с о с т а в ц е п и :
увелич. звено A8 : max= 0.000 min= 0.000
замык. звено - констр. размер P2 : max= 50.000 min= 49.650
результаты расчёта звена A8 : max= 50.000 min= 49.650

следовательно, расч. допуск= 0.350
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.100 : верхн. откл.= 0.100 нижн. откл.= 0.000
принимаем расчётный размер звена А8 с учётом технолог. допуска:
номинал= 50.000 max= 50.000 min= 49.901

Решается разм. цепь 3 типа "P" с неизв. звеном А7
с о с т а в ц е п и :
увелич. звено А7 : max= 0.000 min= 0.000
замык. звено - констр. размер P3 : max= 50.000 min= 49.650
результаты расчёта звена А7 : max= 50.000 min= 49.650

следовательно, расч. допуск= 0.350
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.017 : верхн. откл.= 0.017 нижн. откл.= 0.000
технологич. допуск, заданный пользователем= 0.177
верх. откл.= 0.000 нижн. откл.= -0.177
принимаем расчётный размер звена А7 с учётом технолог. допуска:
номинал= 50.000 max= 50.000 min= 49.824

Решается разм. цепь 4 типа "Z" с неизв. звеном А5
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.360
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено А8 : max= 50.000 min= 49.901
увелич. звено А5 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.030 : верхн. откл.= 0.030 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена А5 :
номинал= 50.390 max= 50.390 min= 50.360

Решается разм. цепь 5 типа "Z" с неизв. звеном А6
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.230
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено А7 : max= 50.000 min= 49.824
увелич. звено А6 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.400 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена А6 :
номинал= 50.630 max= 50.630 min= 50.230

Решается разм. цепь 6 типа "Z" с неизв. звеном А4
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.230
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено А5 : max= 50.390 min= 50.360
увелич. звено А4 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.400 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена А4 :
номинал= 51.020 max= 51.020 min= 50.620

Решается разм. цепь 7 типа "Z" с неизв. звеном А3
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено А4 : max= 51.020 min= 50.620
увелич. звено А3 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.740 : верхн. откл.= 0.740 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена А3 :
номинал= 52.460 max= 52.460 min= 51.720

Решается разм. цепь 8 типа "Z" с неизв. звеном А2
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено А3 : max= 52.460 min= 51.720
увелич. звено А2 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.800 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= -0.400
расчётный размер звена А2 :
номинал= 53.560 max= 53.960 min= 53.160

Решается разм. цепь 9 типа "Z" с неизв. звеном А1
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено А5 : max= 50.390 min= 50.360
уменьш. звено А6 : max= 50.630 min= 50.230
увелич. звено А1 : max= 0.000 min= 0.000
увелич. звено А3 : max= 52.460 min= 51.720
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.600 : верхн. откл.= 0.300 нижн. откл.= -0.300
расчётный размер звена А1 :
номинал= 50.300 max= 50.600 min= 50.000

Таблица 3 - Результаты расчета технологических РЦ по программе KON7 (С) Калачёв О.Н., 2014 -----

Замыкающие звенья				Составляющие звенья				kop7-116-120 D1 zz GRA-NA--		
P - черт.размер, Z - припуск				A - размеры заготовки и механообработки						
Ин-декс звена	Гра-ницы звена	Предел.значения		Ин-декс звена	Гра-ницы звена	Метод обработки	Номинал	Отклонения		
		max	min					Верхнее	Нижнее	
P1	4 7	30.400	30.000	A1	6 10	Литьё в земляные формы	50.300	0.300	-0.300	
P2	3 4	50.000	49.650	A2	1 6	Литьё в земляные формы	53.560	0.400	-0.400	
P3	4 8	50.000	49.650	A3	6 2	Точение от необр.пов.	52.460	0.000	-0.740	
Z1	2 1	2.240	0.700	A4	2 5	Точение черновое	51.020	0.000	-0.400	
Z2	3 2	0.489	0.360	A5	2 4	Шлифование однократное	50.390	0.000	-0.030	
Z3	4 5	0.660	0.230	A6	4 9	Точение черновое	50.630	0.000	-0.400	
Z4	5 6	1.840	0.700	A7	4 8	Шлифование тонкое	50.000	0.000	-0.176	
Z5	8 9	0.806	0.230	A8	4 3	Точение чистовое	50.000	0.000	-0.100	
Z6	9 10	2.470	0.700	A9	4 7	Точение однократное	30.400	0.000	-0.340	

Таблица 4 - Баланс допусков в каждой размерной цепи

№ решения	Неизв. звено	Номинал	Верхнее отклон.	Нижнее отклон.	Запас точн.	Уравнения в символьной форме
1	A9	30.400	0.000	-0.340	0.060	P1=+A9 0.400=>0.340
2	A8	50.000	0.000	-0.100	0.250	P2=+A8 0.350=>0.100
3	A7	50.000	0.000	-0.176	0.173	P3=+A7 0.350=>0.176
4	A5	50.390	0.000	-0.030	-0.001	Z2=-A8+A5 0.129=>0.100+0.030
5	A6	50.630	0.000	-0.400	-0.001	Z5=-A7+A6 0.576=>0.176+0.400
6	A4	51.020	0.000	-0.400	0.000	Z3=-A5+A4 0.430=>0.030+0.400
7	A3	52.460	0.000	-0.740	0.000	Z4=-A4+A3 1.140=>0.400+0.740
8	A2	53.560	0.400	-0.400	0.000	Z1=-A3+A2 1.540=>0.740+0.800
9	A1	50.300	0.300	-0.300	0.000	Z6=-A5-A6+A1+A3 1.770=>0.030+0.400+0.600+0.740

Конец заказа Калачева KON7 в. 122_120 D1 zz GRA NA 2014

Распечатка результатов расчета детали «тело вращения» с допуском TA7=0,227

Исходные данные и результаты анализа технологических размерных цепей									
Программа KON7 (C) Калачев О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA NA)									
Текст пользователя					Калачева				
Таблица 1 - Исходные данные (проверьте правильность ввода!)									
Сведения о заготовке:									
Материал.....					сталь				
Способ получения.....					Литьё в земляные формы				
Класс (степень) точности..					1				
Габаритный размер по направлению технологических размеров...					125.000				
Замыкающие звенья				Составляющие звенья: размеры A				Поп- Отклонения	
P-черт.размер. Z-припуск				заготовки <-->, затем мех.обработки O-->				реч- допусков DT	
								ный пользователя	
Зве-но	Границы	Предел.значения		Зве-но	Границы	Метод обработки	Сист-раз-	допу-мер,	
P:	л-п	max	min	Z:	н-с	База-->	мер,	ска	мм
								Верх.	Нижнее

P1	4	7	30.400	30.000	A1	6	10	Литьё в земляные формы	вал	100	0.000	0.000
P2	3	4	50.000	49.650	A2	1	6	Литьё в земляные формы	вал	100	0.000	0.000
P3	4	8	50.000	49.650	A3	6	2	Точение от необр.пов.	вал	100	0.000	0.000
Z1	1	2	0.000	0.000	A4	2	5	Точение черновое	вал	100	0.000	0.000
Z2	2	3	0.000	0.000	A5	2	4	Шлифование однократное	вал	100	0.000	0.000
Z3	4	5	0.000	0.000	A6	4	9	Точение черновое	вал	100	0.000	0.000
Z4	5	6	0.000	0.000	A7	4	8	Шлифование тонкое	вал	100	0.000	-0.227
Z5	8	9	0.000	0.000	A8	4	3	Точение чистовое	вал	100	0.000	0.000
Z6	9	10	0.000	0.000	A9	4	7	Точение однократное	вал	100	0.000	0.000

Таблица 2 - Результаты поиска уравнений размерных цепей и последовательности их решения

Номер решения	Неизв. звено	Уравнения в символьной форме
1	A9	P1=+A9
2	A8	P2=+A8
3	A7	P3=+A7
4	A5	Z2=-A8+A5
5	A6	Z5=-A7+A6
6	A4	Z3=-A5+A4
7	A3	Z4=-A4+A3
8	A2	Z1=-A3+A2
9	A1	Z6=-A5-A6+A1+A3

** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей **
KON7 (С) Калачев О.Н., 2014

Решается разм. цепь 1 типа "P" с неизв. звеном A9

с о с т а в ц е п и :

увелич. звено A9 : max= 0.000 min= 0.000

замык. звено - констр. размер P1 : max= 30.400 min= 30.000

результаты расчёта звена A9 : max= 30.400 min= 30.000

следовательно, расч. допуск= 0.400

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый

системой= 0.340 : верхн. откл.= 0.340 нижн. откл.= 0.000

принимаем расчётный размер звена A9 с учётом технолог. допуска:

номинал= 30.400 max= 30.400 min= 30.060

Решается разм. цепь 2 типа "P" с неизв. звеном A8

с о с т а в ц е п и :

увелич. звено A8 : max= 0.000 min= 0.000

замык. звено - констр. размер P2 : max= 50.000 min= 49.650

результаты расчёта звена A8 : max= 50.000 min= 49.650

следовательно, расч. допуск= 0.350

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый

системой= 0.100 : верхн. откл.= 0.100 нижн. откл.= 0.000

принимаем расчётный размер звена A8 с учётом технолог. допуска:

номинал= 50.000 max= 50.000 min= 49.901

Решается разм. цепь 3 типа "P" с неизв. звеном A7

с о с т а в ц е п и :

увелич. звено A7 : max= 0.000 min= 0.000

замык. звено - констр. размер P3 : max= 50.000 min= 49.650

результаты расчёта звена A7 : max= 50.000 min= 49.650

следовательно, расч. допуск= 0.350

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый

системой= 0.017 : верхн. откл.= 0.017 нижн. откл.= 0.000

технологич. допуск, заданный пользователем= 0.227

верх. откл.= 0.000 нижн. откл.= -0.227

принимаем расчётный размер звена A7 с учётом технолог. допуска:

номинал= 50.000 max= 50.000 min= 49.773

Решается разм. цепь 4 типа "Z" с неизв. звеном A5

припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.360

с о с т а в ц е п и :

уменьш. звено A8 : max= 50.000 min= 49.901

увелич. звено A5 : max= 0.000 min= 0.000

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый

системой= 0.030 : верхн. откл.= 0.030 нижн. откл.= 0.000

расчётный размер звена A5 :

номинал= 50.390 max= 50.390 min= 50.360

Решается разм. цепь 5 типа "Z" с неизв. звеном A6

припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.230

с о с т а в ц е п и :

уменьш. звено A7 : max= 50.000 min= 49.773

увелич. звено A6 : max= 0.000 min= 0.000

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый

системой= 0.400 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= 0.000

расчётный размер звена A6 :

номинал=	50.630	max=	50.630	min=	50.230
Решается разм. цепь 6 типа "Z" с неизв. звеном A4					
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.230					
с о с т а в ц е п и :					
уменьш. звено A5 :		max=	50.390	min=	50.360
увелич. звено A4 :		max=	0.000	min=	0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый					
системой= 0.400 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= 0.000					
расчётный размер звена A4 :					
номинал=	51.020	max=	51.020	min=	50.620
Решается разм. цепь 7 типа "Z" с неизв. звеном A3					
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700					
с о с т а в ц е п и :					
уменьш. звено A4 :		max=	51.020	min=	50.620
увелич. звено A3 :		max=	0.000	min=	0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый					
системой= 0.740 : верхн. откл.= 0.740 нижн. откл.= 0.000					
расчётный размер звена A3 :					
номинал=	52.460	max=	52.460	min=	51.720
Решается разм. цепь 8 типа "Z" с неизв. звеном A2					
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700					
с о с т а в ц е п и :					
уменьш. звено A3 :		max=	52.460	min=	51.720
увелич. звено A2 :		max=	0.000	min=	0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый					
системой= 0.800 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= -0.400					
расчётный размер звена A2 :					
номинал=	53.560	max=	53.960	min=	53.160
Решается разм. цепь 9 типа "Z" с неизв. звеном A1					
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700					
с о с т а в ц е п и :					
уменьш. звено A5 :		max=	50.390	min=	50.360
уменьш. звено A6 :		max=	50.630	min=	50.230
увелич. звено A1 :		max=	0.000	min=	0.000
увелич. звено A3 :		max=	52.460	min=	51.720
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый					
системой= 0.600 : верхн. откл.= 0.300 нижн. откл.= -0.300					
расчётный размер звена A1 :					
номинал=	50.300	max=	50.600	min=	50.000

Таблица 3 - Результаты расчета технологических РЦ по программе KON7 (С) Калачёв О.Н., 2014 -----

Замыкающие звенья				Составляющие звенья				kon7-116-120 D1 zz GRA-NA--		
Р - черт.размер, Z - припуск				А - размеры заготовки и механообработки						
Ин-декс звена	Гра-ницы звена	Предел.значения	max min	Ин-декс звена	Гра-ницы звена	Метод обработки	Номинал	Отклонения		
							Верхнее	Нижнее		
-----14.06.2014-12:15:16-----										
P1	4 7	30.400	30.000	A1	6 10	Литьё в земляные формы	50.300	0.300	-0.300	
P2	3 4	50.000	49.650	A2	1 6	Литьё в земляные формы	53.560	0.400	-0.400	
P3	4 8	50.000	49.650	A3	6 2	Точение от необр.пов.	52.460	0.000	-0.740	
Z1	2 1	2.240	0.700	A4	2 5	Точение черновое	51.020	0.000	-0.400	
Z2	3 2	0.489	0.360	A5	2 4	Шлифование однократное	50.390	0.000	-0.030	
Z3	4 5	0.660	0.230	A6	4 9	Точение черновое	50.630	0.000	-0.400	
Z4	5 6	1.840	0.700	A7	4 8	Шлифование тонкое	50.000	0.000	-0.227	
Z5	8 9	0.856	0.230	A8	4 3	Точение чистовое	50.000	0.000	-0.100	
Z6	9 10	2.470	0.700	A9	4 7	Точение однократное	30.400	0.000	-0.340	

Таблица 4 - Баланс допусков в каждой размерной цепи

№ решения	Неизв. звено	Номинал	Верхнее отклон.	Нижнее отклон.	Запас точн.	Уравнения в символической форме
Баланс допусков						
1	A9					P1=+A9
		30.400	0.000	-0.340	0.060	0.400=>0.340
2	A8					P2=+A8
		50.000	0.000	-0.100	0.250	0.350=>0.100
3	A7					P3=+A7
		50.000	0.000	-0.227	0.123	0.350=>0.227
4	A5					Z2=-A8+A5
		50.390	0.000	-0.030	-0.001	0.129=>0.100+0.030

5	A6	50.630	0.000	-0.400	-0.001	Z5=-A7+A6 0.626=>0.227+0.400
6	A4	51.020	0.000	-0.400	0.000	Z3=-A5+A4 0.430=>0.030+0.400
7	A3	52.460	0.000	-0.740	0.000	Z4=-A4+A3 1.140=>0.400+0.740
8	A2	53.560	0.400	-0.400	0.000	Z1=-A3+A2 1.540=>0.740+0.800
9	A1	50.300	0.300	-0.300	0.000	Z6=-A5-A6+A1+A3 1.770=>0.030+0.400+0.600+0.740

Конец заказа Калачева KON7 в. 122_120 D1 zz GRA HA 2014

Распечатка результатов расчета детали «тело вращения» с допуском TA7=0,277

Исходные данные и результаты анализа технологических размерных цепей
Программа KON7 (C) Калачев О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)

Текст пользователя Калачева

Таблица 1 - Исходные данные (проверьте правильность ввода!)

Сведения о заготовке:
 Материал..... сталь
 Способ получения..... Литьё в земляные формы
 Класс (степень) точности.. 1
 Габаритный размер по направлению технологических размеров... 125.000

Замыкающие звенья		Составляющие звенья: размеры А		Поп-	Отклонения
Р-черт.размер. Z-припуск		заготовки <-->, затем мех.обработки 0-->		реч-	допуска DT
Зве-	Границы	Предел.значения	Зве- Границы	Метод обработки	Сист раз-
но	Р: л-п	-----	но	<----->	допу мер,
Z: н-с	max	min	База-->		ска мм Верх. Нижнее
-14.06.2014-12:15:45-					
P1	4	7	30.400 30.000	A1 6	10 Литьё в земляные формы вал 100 0.000 0.000
P2	3	4	50.000 49.650	A2 1	6 Литьё в земляные формы вал 100 0.000 0.000
P3	4	8	50.000 49.650	A3 6	2 Точение от необр.пов. вал 100 0.000 0.000
Z1	1	2	0.000 0.000	A4 2	5 Точение черновое вал 100 0.000 0.000
Z2	2	3	0.000 0.000	A5 2	4 Шлифование однократное вал 100 0.000 0.000
Z3	4	5	0.000 0.000	A6 4	9 Точение черновое вал 100 0.000 0.000
Z4	5	6	0.000 0.000	A7 4	8 Шлифование тонкое вал 100 0.000 -0.277
Z5	8	9	0.000 0.000	A8 4	3 Точение чистовое вал 100 0.000 0.000
Z6	9	10	0.000 0.000	A9 4	7 Точение однократное вал 100 0.000 0.000

Таблица 2 - Результаты поиска уравнений размерных цепей и последовательности их решения

Номер решения	Неизв. звено	Уравнения в символьной форме
1	A9	P1=+A9
2	A8	P2=+A8
3	A7	P3=+A7
4	A5	Z2=-A8+A5
5	A6	Z5=-A7+A6
6	A4	Z3=-A5+A4
7	A3	Z4=-A4+A3
8	A2	Z1=-A3+A2
9	A1	Z6=-A5-A6+A1+A3

** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей **
 KON7 (C) Калачев О.Н., 2014
 Решается разм. цепь 1 типа "Р" с неизв. звеном А9
 с о с т а в ц е п и :
 увелич. звено А9 : max= 0.000 min= 0.000
 замык. звено - констр. размер P1 : max= 30.400 min= 30.000
 результаты расчёта звена А9 : max= 30.400 min= 30.000
 следовательно, расч. допуск= 0.400
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый

системой= 0.340 : верхн. откл.= 0.340 нижн. откл.= 0.000
 принимаем расчётный размер звена A9 с учётом технолог. допуска:
 номинал= 30.400 max= 30.400 min= 30.060

Решается разм. цепь 2 типа "P" с неизв. звеном A8
 с о с т а в ц е п и :
 увелич. звено A8 : max= 0.000 min= 0.000
 замык. звено - констр. размер P2 : max= 50.000 min= 49.650
 результаты расчёта звена A8 : max= 50.000 min= 49.650
 следовательно, расч. допуск= 0.350
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
 системой= 0.100 : верхн. откл.= 0.100 нижн. откл.= 0.000
 принимаем расчётный размер звена A8 с учётом технолог. допуска:
 номинал= 50.000 max= 50.000 min= 49.901

Решается разм. цепь 3 типа "P" с неизв. звеном A7
 с о с т а в ц е п и :
 увелич. звено A7 : max= 0.000 min= 0.000
 замык. звено - констр. размер P3 : max= 50.000 min= 49.650
 результаты расчёта звена A7 : max= 50.000 min= 49.650
 следовательно, расч. допуск= 0.350
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
 системой= 0.017 : верхн. откл.= 0.017 нижн. откл.= 0.000
 технологич. допуск, заданный пользователем= 0.277
 верх. откл.= 0.000 нижн. откл.= -0.277
 принимаем расчётный размер звена A7 с учётом технолог. допуска:
 номинал= 50.000 max= 50.000 min= 49.724

Решается разм. цепь 4 типа "Z" с неизв. звеном A5
 припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.360
 с о с т а в ц е п и :
 уменьш. звено A8 : max= 50.000 min= 49.901
 увелич. звено A5 : max= 0.000 min= 0.000
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
 системой= 0.030 : верхн. откл.= 0.030 нижн. откл.= 0.000
 расчётный размер звена A5 :
 номинал= 50.390 max= 50.390 min= 50.360

Решается разм. цепь 5 типа "Z" с неизв. звеном A6
 припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.230
 с о с т а в ц е п и :
 уменьш. звено A7 : max= 50.000 min= 49.724
 увелич. звено A6 : max= 0.000 min= 0.000
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
 системой= 0.400 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= 0.000
 расчётный размер звена A6 :
 номинал= 50.630 max= 50.630 min= 50.230

Решается разм. цепь 6 типа "Z" с неизв. звеном A4
 припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.230
 с о с т а в ц е п и :
 уменьш. звено A5 : max= 50.390 min= 50.360
 увелич. звено A4 : max= 0.000 min= 0.000
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
 системой= 0.400 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= 0.000
 расчётный размер звена A4 :
 номинал= 51.020 max= 51.020 min= 50.620

Решается разм. цепь 7 типа "Z" с неизв. звеном A3
 припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700
 с о с т а в ц е п и :
 уменьш. звено A4 : max= 51.020 min= 50.620
 увелич. звено A3 : max= 0.000 min= 0.000
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
 системой= 0.740 : верхн. откл.= 0.740 нижн. откл.= 0.000
 расчётный размер звена A3 :
 номинал= 52.460 max= 52.460 min= 51.720

Решается разм. цепь 8 типа "Z" с неизв. звеном A2
 припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700
 с о с т а в ц е п и :
 уменьш. звено A3 : max= 52.460 min= 51.720
 увелич. звено A2 : max= 0.000 min= 0.000
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
 системой= 0.800 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= -0.400
 расчётный размер звена A2 :
 номинал= 53.560 max= 53.960 min= 53.160

Решается разм. цепь 9 типа "Z" с неизв. звеном A1
 припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700
 с о с т а в ц е п и :
 уменьш. звено A5 : max= 50.390 min= 50.360
 уменьш. звено A6 : max= 50.630 min= 50.230
 увелич. звено A1 : max= 0.000 min= 0.000
 увелич. звено A3 : max= 52.460 min= 51.720

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
 системой= 0.600 : верхн. откл.= 0.300 нижн. откл.= -0.300
 расчётный размер звена A1 :
 номинал= 50.300 max= 50.600 min= 50.000

Таблица 3 - Результаты расчета технологических РЦ по программе KON7 (C) Калачёв О.Н., 2014 -----

Замыкающие звенья				Составляющие звенья							
P - черт.размер, Z - припуск				A - размеры заготовки и механообработки				kop7-116-120 D1 zz GRA-NA--			
Ин- декс звена	Гра- ницы звена	Предел.значения		Ин- декс звена	Гра- ницы звена	Метод обработки		Номинал	Отклонения		
		max	min						Верхнее	Нижнее	
P1	4 7	30.400	30.000	A1	6 10	Литьё в земляные формы		50.300	0.300	-0.300	
P2	3 4	50.000	49.650	A2	1 6	Литьё в земляные формы		53.560	0.400	-0.400	
P3	4 8	50.000	49.650	A3	6 2	Точение от необр.пов.		52.460	0.000	-0.740	
Z1	2 1	2.240	0.700	A4	2 5	Точение черновое		51.020	0.000	-0.400	
Z2	3 2	0.489	0.360	A5	2 4	Шлифование однократное		50.390	0.000	-0.030	
Z3	4 5	0.660	0.230	A6	4 9	Точение черновое		50.630	0.000	-0.400	
Z4	5 6	1.840	0.700	A7	4 8	Шлифование тонкое		50.000	0.000	-0.277	
Z5	8 9	0.906	0.230	A8	4 3	Точение чистовое		50.000	0.000	-0.100	
Z6	9 10	2.470	0.700	A9	4 7	Точение однократное		30.400	0.000	-0.340	

Таблица 4 - Баланс допусков в каждой размерной цепи

№ решения	Неизв. звено	Номинал	Верхнее отклон.	Нижнее отклон.	Запас точн.	Уравнения в символической форме Баланс допусков
1	A9	30.400	0.000	-0.340	0.060	P1=+A9 0.400=>0.340
2	A8	50.000	0.000	-0.100	0.250	P2=+A8 0.350=>0.100
3	A7	50.000	0.000	-0.277	0.073	P3=+A7 0.350=>0.277
4	A5	50.390	0.000	-0.030	-0.001	Z2=-A8+A5 0.129=>0.100+0.030
5	A6	50.630	0.000	-0.400	-0.001	Z5=-A7+A6 0.676=>0.277+0.400
6	A4	51.020	0.000	-0.400	0.000	Z3=-A5+A4 0.430=>0.030+0.400
7	A3	52.460	0.000	-0.740	0.000	Z4=-A4+A3 1.140=>0.400+0.740
8	A2	53.560	0.400	-0.400	0.000	Z1=-A3+A2 1.540=>0.740+0.800
9	A1	50.300	0.300	-0.300	0.000	Z6=-A5-A6+A1+A3 1.770=>0.030+0.400+0.600+0.740

Конец заказа Калачева KON7 в. 122_120 D1 zz GRA NA 2014

Распечатка результатов расчета детали «тело вращения» с допуском TA7=0,317

Исходные данные и результаты анализа технологических размерных цепей
 Программа KON7 (C) Калачев О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA NA)

Текст пользователя Калачева
 Таблица 1 - Исходные данные (проверьте правильность ввода!)
 Сведения о заготовке:
 Материал..... сталь
 Способ получения..... Литьё в земляные формы
 Класс (степень) точности.. 1
 Габаритный размер по направлению технологических размеров... 125.000

Замыкающие звенья | Составляющие звенья: размеры A | Поп- | Отклонения

Р-черт.размер. Z-припуск заготовки <-->, затем мех.обработки О-->										реч- допуски DT				
Зве- Границы Предел.значения Зве- Границы Метод обработки Сист раз-										ный пользователя				
но	Р: л-п	-----		но	->					допу	мер,	-----		
	Z: н-с	max	min	База-->					ска	мм	Верх.	Нижнее		
-----14.06.2014-12:16:08-----														
P1	4	7	30.400	30.000	A1	6	10	Литьё в земляные формы	вал	100	0.000	0.000		
P2	3	4	50.000	49.650	A2	1	6	Литьё в земляные формы	вал	100	0.000	0.000		
P3	4	8	50.000	49.650	A3	6	2	Точение от необр.пов.	вал	100	0.000	0.000		
Z1	1	2	0.000	0.000	A4	2	5	Точение черновое	вал	100	0.000	0.000		
Z2	2	3	0.000	0.000	A5	2	4	Шлифование однократное	вал	100	0.000	0.000		
Z3	4	5	0.000	0.000	A6	4	9	Точение черновое	вал	100	0.000	0.000		
Z4	5	6	0.000	0.000	A7	4	8	Шлифование тонкое	вал	100	0.000	-0.317		
Z5	8	9	0.000	0.000	A8	4	3	Точение чистовое	вал	100	0.000	0.000		
Z6	9	10	0.000	0.000	A9	4	7	Точение однократное	вал	100	0.000	0.000		

Таблица 2 - Результаты поиска уравнений размерных цепей и последовательности их решения

Номер решения	Неизв. звено	Уравнения в символьной форме
1	A9	P1=+A9
2	A8	P2=+A8
3	A7	P3=+A7
4	A5	Z2=-A8+A5
5	A6	Z5=-A7+A6
6	A4	Z3=-A5+A4
7	A3	Z4=-A4+A3
8	A2	Z1=-A3+A2
9	A1	Z6=-A5-A6+A1+A3

** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей **
KON7 (С) Калачев О.Н., 2014

Решается разм. цепь 1 типа "Р" с неизв. звеном А9

с о с т а в ц е п и :

увелич. звено А9 : max= 0.000 min= 0.000
замык. звено - констр. размер P1 : max= 30.400 min= 30.000
результаты расчёта звена А9 : max= 30.400 min= 30.000
следовательно, расч. допуск= 0.400

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.340 : верхн. откл.= 0.340 нижн. откл.= 0.000

принимаем расчётный размер звена А9 с учётом технолог. допуска:
номинал= 30.400 max= 30.400 min= 30.060

Решается разм. цепь 2 типа "Р" с неизв. звеном А8

с о с т а в ц е п и :

увелич. звено А8 : max= 0.000 min= 0.000
замык. звено - констр. размер P2 : max= 50.000 min= 49.650
результаты расчёта звена А8 : max= 50.000 min= 49.650
следовательно, расч. допуск= 0.350

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.100 : верхн. откл.= 0.100 нижн. откл.= 0.000

принимаем расчётный размер звена А8 с учётом технолог. допуска:
номинал= 50.000 max= 50.000 min= 49.901

Решается разм. цепь 3 типа "Р" с неизв. звеном А7

с о с т а в ц е п и :

увелич. звено А7 : max= 0.000 min= 0.000
замык. звено - констр. размер P3 : max= 50.000 min= 49.650
результаты расчёта звена А7 : max= 50.000 min= 49.650
следовательно, расч. допуск= 0.350

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.017 : верхн. откл.= 0.017 нижн. откл.= 0.000

технологич. допуск, заданный пользователем= 0.317
верх. откл.= 0.000 нижн. откл.= -0.317
принимаем расчётный размер звена А7 с учётом технолог. допуска:
номинал= 50.000 max= 50.000 min= 49.684

Решается разм. цепь 4 типа "Z" с неизв. звеном А5

припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.360

с о с т а в ц е п и :

уменьш. звено А8 : max= 50.000 min= 49.901
увелич. звено А5 : max= 0.000 min= 0.000

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.030 : верхн. откл.= 0.030 нижн. откл.= 0.000

расчётный размер звена А5 :
номинал= 50.390 max= 50.390 min= 50.360

Решается разм. цепь 5 типа "Z" с неизв. звеном А6

припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.230

с о с т а в ц е п и :		
уменьш. звено А7 :	max= 50.000	min= 49.684
увелич. звено А6 :	max= 0.000	min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый системой= 0.400 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= 0.000		
расчётный размер звена А6 :		
номинал= 50.630	max= 50.630	min= 50.230
Решается разм. цепь 6 типа "Z" с неизв. звеном А4 припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.230		
с о с т а в ц е п и :		
уменьш. звено А5 :	max= 50.390	min= 50.360
увелич. звено А4 :	max= 0.000	min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый системой= 0.400 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= 0.000		
расчётный размер звена А4 :		
номинал= 51.020	max= 51.020	min= 50.620
Решается разм. цепь 7 типа "Z" с неизв. звеном А3 припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700		
с о с т а в ц е п и :		
уменьш. звено А4 :	max= 51.020	min= 50.620
увелич. звено А3 :	max= 0.000	min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый системой= 0.740 : верхн. откл.= 0.740 нижн. откл.= 0.000		
расчётный размер звена А3 :		
номинал= 52.460	max= 52.460	min= 51.720
Решается разм. цепь 8 типа "Z" с неизв. звеном А2 припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700		
с о с т а в ц е п и :		
уменьш. звено А3 :	max= 52.460	min= 51.720
увелич. звено А2 :	max= 0.000	min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый системой= 0.800 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= -0.400		
расчётный размер звена А2 :		
номинал= 53.560	max= 53.960	min= 53.160
Решается разм. цепь 9 типа "Z" с неизв. звеном А1 припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700		
с о с т а в ц е п и :		
уменьш. звено А5 :	max= 50.390	min= 50.360
уменьш. звено А6 :	max= 50.630	min= 50.230
увелич. звено А1 :	max= 0.000	min= 0.000
увелич. звено А3 :	max= 52.460	min= 51.720
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый системой= 0.600 : верхн. откл.= 0.300 нижн. откл.= -0.300		
расчётный размер звена А1 :		
номинал= 50.300	max= 50.600	min= 50.000

Таблица 3 - Результаты расчета технологических РЦ по программе KON7 (С) Калачёв О.Н., 2014 -----

Замыкающие звенья				Составляющие звенья			
Р - черт.размер, Z - припуск				А - размеры заготовки и механообработки			
-----kon7-116-120 D1 zz GRA-NA-----							
Ин- декс звена	Гра- звена	Предел.значения		Ин- декс звена	Гра- звена	Метод обработки	Отклонения
		max	min				Номинал Верхнее Нижнее
-----14.06.2014-12:16:08-----							
P1	4	7	30.400 30.000	A1	6	10	Литьё в земляные формы 50.300 0.300 -0.300
P2	3	4	50.000 49.650	A2	1	6	Литьё в земляные формы 53.560 0.400 -0.400
P3	4	8	50.000 49.650	A3	6	2	Точение от необр.пов. 52.460 0.000 -0.740
Z1	2	1	2.240 0.700	A4	2	5	Точение черновое 51.020 0.000 -0.400
Z2	3	2	0.489 0.360	A5	2	4	Шлифование однократное 50.390 0.000 -0.030
Z3	4	5	0.660 0.230	A6	4	9	Точение черновое 50.630 0.000 -0.400
Z4	5	6	1.840 0.700	A7	4	8	Шлифование тонкое 50.000 0.000 -0.317
Z5	8	9	0.946 0.230	A8	4	3	Точение чистовое 50.000 0.000 -0.100
Z6	9	10	2.470 0.700	A9	4	7	Точение однократное 30.400 0.000 -0.340

Таблица 4 - Баланс допусков в каждой размерной цепи

№ решения	Неизв. звено	Номинал	Верхнее отклон.	Нижнее отклон.	Запас точн.	Уравнения в символической форме Баланс допусков
1	A9					P1=+A9
		30.400	0.000	-0.340	0.060	0.400=>0.340
2	A8					P2=+A8

			50.000	0.000	-0.100	0.250	0.350=>0.100
3	A7		50.000	0.000	-0.317	0.033	P3=+A7 0.350=>0.317
4	A5		50.390	0.000	-0.030	-0.001	Z2=-A8+A5 0.129=>0.100+0.030
5	A6		50.630	0.000	-0.400	-0.001	Z5=-A7+A6 0.716=>0.317+0.400
6	A4		51.020	0.000	-0.400	0.000	Z3=-A5+A4 0.430=>0.030+0.400
7	A3		52.460	0.000	-0.740	0.000	Z4=-A4+A3 1.140=>0.400+0.740
8	A2		53.560	0.400	-0.400	0.000	Z1=-A3+A2 1.540=>0.740+0.800
9	A1		50.300	0.300	-0.300	0.000	Z6=-A5-A6+A1+A3 1.770=>0.030+0.400+0.600+0.740
Конец заказа Калачева KON7 в. 122_120 D1 zz GRA HA 2014							

Распечатка результатов расчета детали «тело вращения» с допуском TA7=0,061

Исходные данные и результаты анализа технологических размерных цепей												
Программа KON7 (C) Калачев О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)												
Текст пользователя						Калачева						
Таблица 1 - Исходные данные (проверьте правильность ввода!)												
Сведения о заготовке:												
Материал..... сталь												
Способ получения..... Литьё в земляные формы												
Класс (степень) точности.. 1												
Габаритный размер по направлению технологических размеров... 125.000												
Замыкающие звенья				Составляющие звенья: размеры А				Поп-	Отклонения			
Р-черт.размер. Z-припуск				заготовки <-->, затем мех.обработки O-->				реч-	допуска DT			
								ный	пользователя			
Зве-	Границы	Предел. значения		Зве-	Границы	Метод обработки		Сист	раз-			
но	Р: л-п	-----		но	<----->			допу	мер,		-----	
Z: н-с	max	min		База-->				ска	мм	Верх.	Нижнее	
-----14.06.2014-12:23:40-----												
P1	4	7	30.400	30.000	A1	6	10	Литьё в земляные формы	вал	100	0.000	0.000
P2	3	4	50.000	49.650	A2	1	6	Литьё в земляные формы	вал	100	0.000	0.000
P3	4	8	50.000	49.650	A3	6	2	Точение от необр.пов.	вал	100	0.000	0.000
Z1	1	2	0.000	0.000	A4	2	5	Точение черновое	вал	100	0.000	0.000
Z2	2	3	0.000	0.000	A5	2	4	Шлифование однократное	вал	100	0.000	0.000
Z3	4	5	0.000	0.000	A6	4	9	Точение черновое	вал	100	0.000	0.000
Z4	5	6	0.000	0.000	A7	4	8	Шлифование тонкое	вал	100	0.000	-0.061
Z5	8	9	0.000	0.000	A8	4	3	Точение чистовое	вал	100	0.000	0.000
Z6	9	10	0.000	0.000	A9	4	7	Точение однократное	вал	100	0.000	0.000

Таблица 2 - Результаты поиска уравнений размерных цепей и последовательности их решения												
Номер	Неизв.	Уравнения в символьной форме										
решения	звено											
1	A9	P1=+A9										
2	A8	P2=+A8										
3	A7	P3=+A7										
4	A5	Z2=-A8+A5										
5	A6	Z5=-A7+A6										
6	A4	Z3=-A5+A4										
7	A3	Z4=-A4+A3										
8	A2	Z1=-A3+A2										
9	A1	Z6=-A5-A6+A1+A3										

** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей **												
KON7 (C) Калачев О.Н., 2014												
Решается разм. цепь 1 типа "P" с неизв. звеном A9												

```

с о с т а в   ц е п и :
увелич. звено А9      :           max=  0.000   min=  0.000
замык. звено - констр. размер Р1  :   max= 30.400   min= 30.000
результаты расчёта звена А9      :   max= 30.400   min= 30.000
следовательно, расч. допуск=      0.400
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.340 : верхн. откл.= 0.340   нижн. откл.= 0.000
принимаям расчётный размер звена А9 с учётом технолог. допуска:
номинал= 30.400           max= 30.400   min= 30.060
Решается разм. цепь 2 типа "Р" с неизв. звеном А8
с о с т а в   ц е п и :
увелич. звено А8      :           max=  0.000   min=  0.000
замык. звено - констр. размер Р2  :   max= 50.000   min= 49.650
результаты расчёта звена А8      :   max= 50.000   min= 49.650
следовательно, расч. допуск=      0.350
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.100 : верхн. откл.= 0.100   нижн. откл.= 0.000
принимаям расчётный размер звена А8 с учётом технолог. допуска:
номинал= 50.000           max= 50.000   min= 49.901
Решается разм. цепь 3 типа "Р" с неизв. звеном А7
с о с т а в   ц е п и :
увелич. звено А7      :           max=  0.000   min=  0.000
замык. звено - констр. размер Р3  :   max= 50.000   min= 49.650
результаты расчёта звена А7      :   max= 50.000   min= 49.650
следовательно, расч. допуск=      0.350
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.017 : верхн. откл.= 0.017   нижн. откл.= 0.000
технологич. допуск, заданный пользователем=  0.061
верх. откл.=  0.000   нижн. откл.= -0.061
принимаям расчётный размер звена А7 с учётом технолог. допуска:
номинал= 50.000           max= 50.000   min= 49.940
Решается разм. цепь 4 типа "Z" с неизв. звеном А5
припуск ZMIN, рассчитанный системой=  0.360
с о с т а в   ц е п и :
уменьш. звено А8      :           max= 50.000   min= 49.901
увелич. звено А5      :           max=  0.000   min=  0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.030 : верхн. откл.= 0.030   нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена А5      :           max= 50.390   min= 50.360
номинал= 50.390
Решается разм. цепь 5 типа "Z" с неизв. звеном А6
припуск ZMIN, рассчитанный системой=  0.230
с о с т а в   ц е п и :
уменьш. звено А7      :           max= 50.000   min= 49.940
увелич. звено А6      :           max=  0.000   min=  0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.400 : верхн. откл.= 0.400   нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена А6      :           max= 50.630   min= 50.230
номинал= 50.630
Решается разм. цепь 6 типа "Z" с неизв. звеном А4
припуск ZMIN, рассчитанный системой=  0.230
с о с т а в   ц е п и :
уменьш. звено А5      :           max= 50.390   min= 50.360
увелич. звено А4      :           max=  0.000   min=  0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.400 : верхн. откл.= 0.400   нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена А4      :           max= 51.020   min= 50.620
номинал= 51.020
Решается разм. цепь 7 типа "Z" с неизв. звеном А3
припуск ZMIN, рассчитанный системой=  0.700
с о с т а в   ц е п и :
уменьш. звено А4      :           max= 51.020   min= 50.620
увелич. звено А3      :           max=  0.000   min=  0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.740 : верхн. откл.= 0.740   нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена А3      :           max= 52.460   min= 51.720
номинал= 52.460
Решается разм. цепь 8 типа "Z" с неизв. звеном А2
припуск ZMIN, рассчитанный системой=  0.700
с о с т а в   ц е п и :
уменьш. звено А3      :           max= 52.460   min= 51.720
увелич. звено А2      :           max=  0.000   min=  0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.800 : верхн. откл.= 0.400   нижн. откл.= -0.400
расчётный размер звена А2      :           max= 53.960   min= 53.160
номинал= 53.560
Решается разм. цепь 9 типа "Z" с неизв. звеном А1

```

припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A5 : max= 50.390 min= 50.360
уменьш. звено A6 : max= 50.630 min= 50.230
увелич. звено A1 : max= 0.000 min= 0.000
увелич. звено A3 : max= 52.460 min= 51.720
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.600 : верхн. откл.= 0.300 нижн. откл.=-0.300
расчётный размер звена A1 :
номинал= 50.300 max= 50.600 min= 50.000

Таблица 3 - Результаты расчета технологических РЦ по программе KON7 (С) Калачёв О.Н., 2014

Замыкающие звенья				Составляющие звенья				kop7-116-120 D1 zz GRA-NA--		
Р - черт.размер, Z - припуск				А - размеры заготовки и механообработки						
Ин-декс звена	Гра-ницы звена	Предел.значения		Ин-декс звена	Гра-ницы звена	Метод обработки	Номинал	Отклонения		
		max	min					Верхнее	Нижнее	
14.06.2014-12:23:40										
P1	4 7	30.400	30.000	A1	6 10	Литьё в земляные формы	50.300	0.300	-0.300	
P2	3 4	50.000	49.650	A2	1 6	Литьё в земляные формы	53.560	0.400	-0.400	
P3	4 8	50.000	49.650	A3	6 2	Точение от необр.пов.	52.460	0.000	-0.740	
Z1	2 1	2.240	0.700	A4	2 5	Точение черновое	51.020	0.000	-0.400	
Z2	3 2	0.489	0.360	A5	2 4	Шлифование однократное	50.390	0.000	-0.030	
Z3	4 5	0.660	0.230	A6	4 9	Точение черновое	50.630	0.000	-0.400	
Z4	5 6	1.840	0.700	A7	4 8	Шлифование тонкое	50.000	0.000	-0.060	
Z5	8 9	0.690	0.230	A8	4 3	Точение чистовое	50.000	0.000	-0.100	
Z6	9 10	2.470	0.700	A9	4 7	Точение однократное	30.400	0.000	-0.340	

Таблица 4 - Баланс допусков в каждой размерной цепи

№ решения	Неизв. звено	Номинал	Верхнее отклон.	Нижнее отклон.	Запас точн.	Уравнения в символической форме
Баланс допусков						
1	A9	30.400	0.000	-0.340	0.060	P1=+A9 0.400=>0.340
2	A8	50.000	0.000	-0.100	0.250	P2=+A8 0.350=>0.100
3	A7	50.000	0.000	-0.060	0.289	P3=+A7 0.350=>0.060
4	A5	50.390	0.000	-0.030	-0.001	Z2=-A8+A5 0.129=>0.100+0.030
5	A6	50.630	0.000	-0.400	-0.001	Z5=-A7+A6 0.460=>0.060+0.400
6	A4	51.020	0.000	-0.400	0.000	Z3=-A5+A4 0.430=>0.030+0.400
7	A3	52.460	0.000	-0.740	0.000	Z4=-A4+A3 1.140=>0.400+0.740
8	A2	53.560	0.400	-0.400	0.000	Z1=-A3+A2 1.540=>0.740+0.800
9	A1	50.300	0.300	-0.300	0.000	Z6=-A5-A6+A1+A3 1.770=>0.030+0.400+0.600+0.740

Конец заказа Калачева KON7 в. 122_120 D1 zz GRA HA 2014

Приложение В – Программный код системы «KON7 плюс»

```

#include "kon7.h"
#include "kon7rez.h"

void ErrorMessage(char* msg)
{
    int n=1+strlen(msg)+1024;
    char *buf=new char[n];
    strcpy(buf,msg);
    strcat(buf,"\nПромежуточная информация для анализа данного варианта размерной схемы выво-
дится в файле с расширением rez.");
    MessageBox(hwndMain,buf,0,MB_OK|MB_ICONERROR);
    delete[] buf;
}

double
IM1[8][6]={71,72,74,75,113,107,81,73,84,85,114,115,91,82,94,112,120,121,101,83,0,106,0,0,111,9
2,0,0,0,0,93,0,0,0,0,102,0,0,0,0,103,0,0,0,0};
double F16[4]={25.,75.,150.,250.};
double F17[3]={18.,80.,180.};
double
F3[6][12]={520.,620.,740.,870.,1000.,1150.,1550.,1800.,2000.,2200.,2400.,2700.,280.,340.,400.,
460.,530.,600.,760.,900.,1000.,1100.,1200.,1500.,84.,100.,120.,140.,160.,185.,250.,280.,300.,3
50.,400.,480.,45.,50.,60.,70.,80.,90.,120.,140.,150.,170.,200.,250.,21.,25.,30.,35.,40.,47.,62
.,70.,80.,90.,100.,120.,14.,17.,20.,23.,27.,30.,40.,45.,50.,55.,60.,70.};
double F4[10]={60.,100.,160.,250.,360.,500.,630.,800.,1000.,1250.};
double F7[5]={120.,260.,500.,1250.,3150.};
double
F5[2][20]={1.2,1.5,1.8,2.1,2.5,3.0,3.5,4.0,4.5,5.0,0.8,1.0,1.2,1.5,1.8,2.2,2.5,3.0,3.5,4.0,0.9
,1.2,1.5,2.0,2.5,3.0,3.5,4.0,4.5,5.0,0.6,0.8,1.0,1.2,1.5,2.0,2.2,2.5,3.0,3.5};
double F6[8]={50.,120.,260.,500.,800.,1250.,2000.,3150.};
double
F9[8][15]={0.2,0.3,0.4,0.6,0.8,0.5,0.5,0.8,1.0,1.2,1.0,1.0,1.0,1.2,1.5,0.3,0.4,0.6,0.8,1.0,0.8
,0.8,1.0,1.2,1.5,1.5,1.5,1.5,1.8,2.0,0.0,0.6,0.8,1.0,1.2,1.0,1.0,1.2,1.5,2.0,2.0,2.0,2.2,2
.5,0.0,0.0,1.0,1.2,1.4,0.0,0.0,1.5,2.0,2.5,2.5,2.5,2.5,3.0,3.5,0.0,0.0,0.0,1.4,1.6,0.0,0.0,0.0
,2.5,3.0,0.0,0.0,0.0,4.0,5.0,0.0,0.0,0.0,1.6,2.0,0.0,0.0,0.0,3.0,4.0,0.0,0.0,0.0,5.0,6.0,0.0,0
.0,0.0,0.0,2.5,0.0,0.0,0.0,5.0,0.0,0.0,0.0,0.0,7.0,0.0,0.0,0.0,0.0,3.0,0.0,0.0,0.0,0.0,6.0
,0.0,0.0,0.0,0.0,9.0};
double F10[10]={60.,100.,160.,250.,400.,630.,1000.,1250.,1600.,2000.};
double
F11[7][10]={1.00,1.10,1.20,1.30,1.40,1.70,2.00,2.30,2.70,3.10,0.80,0.90,1.00,1.10,1.20,1.40,1.
70,2.00,2.40,2.80,0.40,0.50,0.50,0.60,0.80,1.00,1.20,0.50,0.00,0.00,0.40,0.50,0.50,0.60,0.80,1
.00,1.20,1.50,0.00,0.00,0.60,0.70,0.80,0.90,1.00,1.20,1.50,1.70,2.00,2.50,0.20,0.30,0.40,0.50,
0.60,0.80,0.00,0.00,0.00,0.00,0.12,0.15,0.20,0.30,0.40,0.40,0.00,0.00,0.00,0.00};
double F12[4][4]={1.,.3,.25,2.,1.3,.4,.35,4.,1.8,.5,4,5.,2.3,.5,.5,6.};
double F13[7]={30.,120.,260.,500.,1000.,2000.,3000.};
double
F14[6][14]={0.060,0.120,0.200,0.300,0.400,0.600,0.800,0.080,0.120,0.200,0.300,0.400,0.600,0.80
0,0.050,0.110,0.150,0.250,0.300,0.500,0.700,0.080,0.120,0.200,0.300,0.400,0.550,0.700,0.040,0.
080,0.120,0.200,0.300,0.450,0.600,0.060,0.080,0.120,0.200,0.300,0.500,0.600,0.010,0.020,0.030,
0.040,0.050,0.060,0.080,0.010,0.020,0.030,0.040,0.100,0.200,0.400,0.006,0.010,0.016,0.025,0.04
0,0.050,0.065,0.005,0.010,0.016,0.025,0.040,0.050,0.060,0.002,0.004,0.006,0.010,0.020,0.040,0.
050,0.002,0.003,0.005,0.010,0.020,0.040,0.050};
double
F15[6][3]={.24,.18,.18,.12,.06,.06,.06,.03,.03,.03,.01,.01,.01,0.01,0.01,0.005,0.005,0.005};
double F2[12]={30.,50.,80.,120.,180.,260.,500.,630.,800.,1000.,1250.,3500.};
char* F43[3]={"отв","вал","ось"};
char* F45[11]= {"","","","","","","",
                "Точение",
                "Фрез-ние",
                "Протяг-ние",
                "Строгание",
                "Шлифование"};
char* F46[5]= {" от необр.пов.",
                " черновое",
                " однократное",
                " чистовое",
                " тонкое"};
char F47[DIMSIZE][OBRABOTKA_NEWNAME_SIZE+1];
double IM25[13]={11,12,13,21,22,41,42,43,44,45,46,47,48};
char* F40[3]= {"сталь",
                "цв. металл (сплав)",
                "чугун"};

```

```

char* F41[13] ={"Прокат горяч.обыч.точн.",
               "Прокат горяч.повыш.точн.",
               "Прокат калиброванный",
               "Штамповка обычн.точности",
               "Штамповка повыш.точности",
               "Литьё в земляные формы",
               "Литьё,песч.формы руч.форм",
               "Литьё,песч.формы маш.форм",
               "Литьё в кокиль",
               "Литьё в оболочковые формы",
               "Литьё,кокиль с песч.стерж",
               "Литьё по выплавл.моделям",
               "Литьё под давлением"};
char* F42[4]= {"на ножницах",
               "дисковыми пилами",
               "отрезными резцами",
               "на прессах"};
char* LL1[7]={"+", " ", "-", "0", "7", "K", "H"};
char* IJK[2]={"P", "Z"};
double F18[3]={1.15,1.4,1.8};
double F19[14]={0.2,0.3,0.5,0.7,0.9,1.1,1.3,0.3,0.5,0.7,1.0,1.3,1.6,1.9};
double F20[9]={50.,120.,260.,500.,630.,800.,1000.,1250.,3000.};
double
F21[3][9]={0.35,0.45,0.60,0.70,0.80,0.95,1.25,1.50,1.80,0.25,0.32,0.45,0.52,0.65,0.75,0.90,1.2
0,1.40,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00};
double F22[14]={0.05,0.10,0.20,0.40,0.60,0.80,1.00,0.15,0.25,0.40,0.60,0.80,1.30,1.50};
double
F23[3][8]={.6,.6,.6,.4,.2,.4,.13,.05,0.,.5,.5,.3,.14,.3,.09,.15,.8,.8,.8,.5,.28,.5,.2,.05};

void kon7(char* out,ISX* d)
{
  int i,j;
  BOOL error_flag;
  int error_A,error_P;
  char* error_P_IJK;
  double dop;

  char buf[1024],*msg;
  static int
Z,Z1Z,V1,S3,H3[DIMSIZE],T,H1[DIMSIZE][DIMSIZE],H2[DIMSIZE][DIMSIZE],T5[DIMSIZE][DIMSIZE],T1,TT
,H33,H11,H22;
  static int
I,IKAR,J3,I2,I2A,J1,J2,JZ2,IS,IM5[DIMSIZE],IM6[DIMSIZE],IS1,IR20,IM7[DIMSIZE],IM8[DIMSIZE],J,N
,LX,N1[DIMSIZE],L,L1,M,K,K1,N2M[DIMSIZE],IR21,N11M[DIMSIZE][DIMSIZE],N15[DIMSIZE],LKN,L6,L5,N4
M[DIMSIZE],N4[DIMSIZE],I1,N5[DIMSIZE],K2,K11[DIMSIZE],K22[DIMSIZE],I4,KF60[DIMSIZE],J4,I5,II,J
J,IH1,IH1A,IP,I3,IR2;
  static double
X,IA[DIMSIZE],IB[DIMSIZE],IMN,AX[DIMSIZE],AN[DIMSIZE],FX,FN,GX,GN,AXX,ANN,PPP,D1,DX1,DN1,DD[DI
MSIZE],DX2[DIMSIZE],DN2[DIMSIZE],DR,D2,AH1,AH[DIMSIZE],PF,RT,ZN,ZN1[DIMSIZE],ZNN[DIMSIZE],ZNM[
DIMSIZE],FX1,GN1;
  static char* LL2[DIMSIZE];
  static int N11[DIMSIZE][DIMSIZE];
  static double A1A[DIMSIZE],B1B[DIMSIZE];
  static int H33A,IR2A,BKZZ,AKZZ;
  ZeroMemory(N11,sizeof(N11));
  ZeroMemory(H3,sizeof(H3));
  ZeroMemory(H1,sizeof(H1));
  ZeroMemory(H2,sizeof(H2));
  ZeroMemory(T5,sizeof(T5));
  ZeroMemory(IM5,sizeof(IM5));
  ZeroMemory(IM6,sizeof(IM6));
  ZeroMemory(IM7,sizeof(IM7));
  ZeroMemory(IM8,sizeof(IM8));
  ZeroMemory(N1,sizeof(N1));
  ZeroMemory(N2M,sizeof(N2M));
  ZeroMemory(N11M,sizeof(N11M));
  ZeroMemory(N15,sizeof(N15));
  ZeroMemory(N4M,sizeof(N4M));
  ZeroMemory(N4,sizeof(N4));
  ZeroMemory(N5,sizeof(N5));
  ZeroMemory(K11,sizeof(K11));
  ZeroMemory(K22,sizeof(K22));
  ZeroMemory(KF60,sizeof(KF60));
  ZeroMemory(IA,sizeof(IA));
  ZeroMemory(IB,sizeof(IB));
}

```

```

ZeroMemory (AX, sizeof (AX));
ZeroMemory (AN, sizeof (AN));
ZeroMemory (DD, sizeof (DD));
ZeroMemory (DX2, sizeof (DX2));
ZeroMemory (DN2, sizeof (DN2));
ZeroMemory (AH, sizeof (AH));
ZeroMemory (ZN1, sizeof (ZN1));
ZeroMemory (ZNN, sizeof (ZNN));
ZeroMemory (LL2, sizeof (LL2));
ZeroMemory (A1A, sizeof (A1A));
ZeroMemory (B1B, sizeof (B1B));
ZeroMemory (ZNM, sizeof (ZNM)); //120D 250202

//m779:
/*
static char LL[100];
static int IR0=0; //1;
static int IR1=0; //1;
static int IR3=0; //0;
static int Z1 =0; //8;
static double PR2=0; //133.0;
static int KOH=0; //1;
static int AK[100]; //={2,5,5,1,3,4,6,9};
static int BK[100]; //={8,8,7,2,4,5,7,8};
static double DX[100]; //={67.2,15.0,12.82,0,0,0,0,0};
static double DN[100]; //={66.,14.88,12.58,0,0,0,0,0};
static double A[100]; //={9,9,9,9,4,8,5,5};
static double B[100]; //={1,3,2,4,8,5,6,7};
static int IR[100][2]; //={0,21,0,21,0,71,0,71,0,73,0,74,1,72,1,74};
//{21,0,21,0,71,0,71,0,73,0,74,0,72,1,74,1};
static double DT[100]; //={32.,133.,32.,133.,133.,133.,133.,133.};
static double DPX[100]; //={0,0,0,0,0,0,0,0};
static double DPN[100]; //={0,0,0,0,0,0,0,0};
*/

IKAR=0;
if (d->KOH==17 || d->KOH==10) d->KOH=1;
printf (out+lstrlen (out), " Исходные данные и результаты анализа технологических раз-
мерных цепей\n");
printf (out+lstrlen (out), " Программа KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014 (в.122_120 D1
zz GRA HA)\n");
printf (out+lstrlen (out), "\n");
printf (out+lstrlen (out), " Текст пользователя %s\n", d->LL);
printf (out+lstrlen (out), "\n");
printf (out+lstrlen (out), "Таблица 1 - Исходные данные (проверьте правильность ввода!)\n");
IMN=50;
for (I=1; I<=d->Z1; I++) {
IR2=d->IR[I-1][2-1];
if (IR2>=IMN) continue;
IMN=IR2;
}
for (J3=1; J3<=13; J3++)
if (IMN==IM25[J3-1]) break;
//m830:
printf (out+lstrlen (out), " Сведения о заготовке:\n");
printf (out+lstrlen (out), " Материал..... %s\n", F40[d->IR0-1]);
printf (out+lstrlen (out), " Способ получения..... %s\n", F41[J3-1]);
if (IMN>13) goto m834;
printf (out+lstrlen (out), " Резка..... %s\n", F42[d->IR1-1]);
m834:
if (IMN<=22) goto m836;
printf (out+lstrlen (out), " Класс (степень) точности.. %d\n", d->IR1+1);
goto m839;
m836:
printf (out+lstrlen (out), " Класс (степень) точности.. ---\n");
m839:
printf (out+lstrlen (out), " Габаритный размер по направлению технологических размеров...
%7.3f\n", d->PR2);

printf (out+lstrlen (out), "-----\n");
printf (out+lstrlen (out), " Замыкающие звенья | Составляющие звенья: размеры А
|Поп-| Отклонения \n");
printf (out+lstrlen (out), " Р-черт.размер. Z-припуск | заготовки <-->, затем
мех.обработки O--> |реч-| допуска DT \n");

```

```

    sprintf(out+lstrlen(out), "-----\n");
    printf("-----|ный | пользователя\n");
    printf(out+lstrlen(out), "Зве-|Границы| Предел.значения |Зве-|Границы|      Метод обработки
|Сист|раз-|          \n");
    printf(out+lstrlen(out), " но |P: л-п |-----| но |<----->|
|допу|мер, |-----\n");
    printf(out+lstrlen(out), "      |Z: н-с | max   | min   |      |База-->|
|ска | мм |Верх. |Нижнее\n");
    //  sprintf(out+lstrlen(out), "-----\n");
    -----\n");
    i=lstrlen(out);
    sprintf(out+lstrlen(out), "-----%s-%s-
", DateToStr(), TimeToStr());
    for(i=lstrlen(out)-i; i<93; i++) lstrcat(out, "-"); lstrcat(out, "\n");

    for (I=1; I<=d->Z1; I++) {
        I2=d->IR[I-1][1-1]+1;
        if (d->DX[I-1]==0) goto m854;
        J1=I;
        J2=I;
        IS=1;
        goto m855;
    m854:
        IS=2;
        J1=I-J2;
    m855:
        IM5[I-1]=J1;
        IM6[I-1]=IS;
        IR2=d->IR[I-1][2-1];
        if (IR2>48) goto m856;
        IS1=J3;
        sprintf(out+lstrlen(out), "%s%-3d|%3d %3d|%8.3f|%8.3f|A%-3d|%3.0f %3.0f|%-25s|%-
4s|%4.0f|%6.3f|%6.3f\n",
            IJK[IS-1], J1, d->AK[I-1], d->BK[I-1], d->DX[I-1], d->DN[I-1], I, d->A[I-1], d->B[I-1], F41[J3-
1], F43[I2-1], d->DT[I-1], d->DPX[I-1], d->DPN[I-1]);
        goto m853;
    m856:
        IR20=IR2/10;
        IM7[I-1]=IR20;
        IR21=IR2-IR20*10;
        IM8[I-1]=IR21;
        sprintf(out+lstrlen(out), "%s%-3d|%3d %3d|%8.3f|%8.3f|A%-3d|%3.0f %3.0f|%-25s|%-
4s|%4.0f|%6.3f|%6.3f\n",
            IJK[IS-1], J1, d->AK[I-1], d->BK[I-1], d->DX[I-1], d->DN[I-1], I, d->A[I-1], d->B[I-1], F47[I-
1][0]?F47[I-1]:lstrcat(lstrcpy(buf, F45[IR20-1]), F46[IR21-1]), F43[I2-1], d->DT[I-1], d->DPX[I-
1], d->DPN[I-1]);
    m853:;
    }
    J22=J2;
    sprintf(out+lstrlen(out), "-----\n");
    -----\n");

    for (I=1; I<=d->Z1; I++) {
        for (J=1; J<=d->Z1; J++) {
            N11[I-1][J-1]=0;
            H2[I-1][J-1]=0;
            H1[I-1][J-1]=0;
        }
    }
    N=d->Z1+1;
    LX=0;
    //  sprintf(out+lstrlen(out), " Блок 1\n");
    for (I=1; I<=d->Z1; I++) {
        A1A[I-1]=d->A[I-1];
        B1B[I-1]=d->B[I-1];
    }
    for (Z=1; Z<=d->Z1; Z++) {
        N1[1-1]=1;
        for (J=1; J<=DIMSIZE; J++)
            N1[J+1-1]=N1[J-1]+1;
        L=d->Z1;
        d->A[L+1-1]=d->AK[Z-1];
        d->B[L+1-1]=d->BK[Z-1];
    m11:
        L1=L;
        M=1;

```

```

    for (J=1;J<=L;J++){
        J1=N1[J-1];
        for (K=J;K<=L1;K++){
            K1=N1[K+1-1];
            if (d->A[J1-1]!=d->A[K1-1] && d->A[J1-1]!=d->B[K1-1]) goto m7;
            goto m8;
m7:;
        }
        goto m6;
m8:
        for (K=J;K<=L1;K++){
            K1=N1[K+1-1];
            if (d->B[J1-1]!=d->A[K1-1] && d->B[J1-1]!=d->B[K1-1]) goto m9;
            N1[M-1]=J1;
            goto m1;
m9:;
        }
        goto m6;
m1:
        L1=L1+1;
        M=M+1;
        N1[L+M-1]=J1;
m6:;
    }
    N1[M-1]=N;
    if (L==M-1) goto m12;
    L=M-1;
    goto m11;
m12:
    N2M[Z-1]=L;
    if (N2M[Z-1]<=LX) goto m10;
    LX=N2M[Z-1];
m10:
    for (J=1;J<=L;J++){
        N11[Z-1][J-1]=N1[J-1];
    }
    //m2:;
    }
    //? if (d->KOH==1) PRINT 603,N11
    //? 603 FORMAT (' ',40(I2,1X))
    // sprintf(out+lstrlen(out)," Блок 2\n");
    for (J=1;J<=d->Z1;J++){
        for (I=1;I<=LX;I++){
            N11M[J-1][I-1]=0;
        }
        for (Z=1;Z<=d->Z1;Z++){
            N15[Z-1]=N2M[Z-1];
            L=N15[Z-1];
            for (J=1;J<=L;J++){
                N11M[Z-1][J-1]=N11[Z-1][J-1];
            }
        }
        //m5:;
    }
    Z1Z=d->Z1;
    S3=0;
    LKN=0;
m20:
    LKN=LKN+1;
    if (LKN<300) goto m601;
    // sprintf(out+lstrlen(out),"Размерные цепи не решаются LK=%d\n",LKN);
    msg=out+lstrlen(out);
    sprintf(out+lstrlen(out),"Ошибки в структуре технологического процесса - размерные цепи не
    могут быть решены\n");
    ErrorMessage(msg);
    sprintf(out+lstrlen(out)," -----
    -----\n");
    sprintf(out+lstrlen(out),"      Состав цепей:\n");
    for (I=1;I<=d->Z1;I++){
        I5=IM5[I-1];
        IS=IM6[I-1];
        L=N2M[I-1];
        sprintf(out+lstrlen(out),"      %3d | %s%d=",I,IJK[IS-1],I5);
        for (J=1;J<=L;J++) sprintf(out+lstrlen(out),"A%d ",N11[I-1][J-1]);
        sprintf(out+lstrlen(out)," \n");
    }
    goto m777;
m601:
    L6=0;

```

```

L5=0;
N4M[l-1]=0;
for (Z=1;Z<=d->Z1;Z++){
    if(N15[Z-1]-1<0) goto m21;
    else if(N15[Z-1]-1==0) goto m26;
    else goto m22;
m26:
    L5=L5+1;
    N4[L5-1]=Z;
    goto m21;
m22:
    L6=L6+1;
    N4M[L6-1]=Z;
m21:;
}
//? if(d->KOH==1) PRINT 604, N4
//? if(d->KOH==1) PRINT 604, N4M
//m28:
for (I=1;I<=L5;I++){
    Z=N4[I-1];
    I1=N2M[Z-1];
    for (L=1;L<=I1;L++){
        V1=N11M[Z-1][L-1];
        if (V1==0) goto m29;
        if (d->KOH==2) sprintf(out+lstrlen(out)," %2d %2d %2d\n",Z, I1, V1);
        if (L6==0) goto m33;
        for (J=1;J<=L6;J++){
            K=N4M[J-1];
            J2=N2M[K-1];
            for (L1=1;L1<=J2;L1++){
                if (N11M[K-1][L1-1]!=V1) goto m30;
                N11M[K-1][L1-1]=0;
                N15[K-1]=N15[K-1]-1;
                goto m24;
m30:;
            }
m24:;
        }
m33:
        S3=S3+1;
        N5[S3-1]=Z;
        H3[Z-1]=V1;
        N15[Z-1]=N15[Z-1]-1;
m29:;
    }
//m23:;
}
//m4:
if (S3<d->Z1) goto m20;
//? if (d->KOH==1) PRINT 603, N5
//? if (d->KOH==1) PRINT 603, H3
// sprintf(out+lstrlen(out)," Блок 3\n");
for (Z=1;Z<=d->Z1;Z++){
    for (J=1;J<=LX;J++){
        N11M[Z-1][J-1]=N11[Z-1][J-1];
    }
    for (Z=1;Z<=d->Z1;Z++){
        L=N2M[Z-1];
        J1=d->Z1+1;
        d->A[J1-1]=d->AK[Z-1];
        d->B[J1-1]=d->BK[Z-1];
        J2=J1;
m41:
        M=0;
        for (J=1;J<=L;J++){
            I=N11M[Z-1][J-1];
            if (d->B[J1-1]==d->A[I-1]) goto m43;
            if (d->B[J1-1]!=d->B[I-1]) goto m44;
            X=d->A[I-1];
            d->A[I-1]=d->B[I-1];
            d->B[I-1]=X;
m43:
            J1=I;
            goto m42;
m44:
            M=M+1;

```

```

        N11M[Z-1][M-1]=I;
m42:;
    }
    L=M;
    if(d->B[J1-1]!=d->A[J2-1]) goto m41;
    K1=0;
    K2=0;
    T1=-1;
    if(d->AK[Z-1]>d->BK[Z-1]) T1=1;
    M=N2M[Z-1];
    for (J=1;J<=M;J++){
        I=N11[Z-1][J-1];
        T=-1;
        if(d->A[I-1]>d->B[I-1]) T=1;
        TT=T*T1;
        if(TT<0) goto m46;
        K1=K1+1;
        H1[Z-1][K1-1]=I;
        goto m45;
m46:
        K2=K2+1;
        H2[Z-1][K2-1]=I;
m45:
        if(I!=H3[Z-1]) goto m47;
        T5[Z-1][I-1]=TT;
m47:;
    }
    K11[Z-1]=K1;
    K22[Z-1]=K2;
//m40:;
    }
    /*? if(d->KOH==1) PRINT 604, H1
    /*? if(d->KOH==1) PRINT 603, H2
    /*? if(d->KOH==1) PRINT 604, K11
    /*? if(d->KOH==1) PRINT 603, K22
    /*? if(d->KOH==1) PRINT 604, N11
    sprintf(out+lstrlen(out),"\n");
    sprintf(out+lstrlen(out),"Таблица 2 - Результаты поиска уравнений размерных цепей и последо-
    вательности их решения\n");
    sprintf(out+lstrlen(out),"-----\n");
    sprintf(out+lstrlen(out),"-----\n");
    sprintf(out+lstrlen(out),"      Номер | Неизв. |          Уравнения в символьной форме\n");
    sprintf(out+lstrlen(out),"      решения| звено | \n");
    sprintf(out+lstrlen(out),"-----\n");
    for (I=1;I<=d->Z1;I++){
        J=N5[I-1];
        J1=K11[J-1];
        if(J1==0) goto m871;
        for (I1=1;I1<=J1;I1++){
            I4=H1[J-1][I1-1];
            LL2[I1-1]=LL1[3-1];
            IA[I1-1]=d->A[I4-1];
            IB[I1-1]=d->B[I4-1];
            KF60[I1-1]=I4;
        }
m871:
        I2=K22[J-1];
        for (I1=1;I1<=I2;I1++){
            I4=H2[J-1][I1-1];
            J4=J1+I1;
            LL2[J4-1]=LL1[1-1];
            IA[J4-1]=d->A[I4-1];
            IB[J4-1]=d->B[I4-1];
            KF60[J4-1]=I4;
        }
        I5=IM5[J-1];
        IS=IM6[J-1];
        sprintf(out+lstrlen(out),"      %2d | A%-3d | %s%d=",I,H3[J-1],IJK[IS-1],I5);
        for (I1=1;I1<=J4;I1++) sprintf(out+lstrlen(out)," %sA%d",LL2[I1-1],KF60[I1-1]);
        sprintf(out+lstrlen(out),"\n");
    }
m870:
    sprintf(out+lstrlen(out),"-----\n");

```

```

// sprintf(out+lstrlen(out)," Блок 4\n");
for (I=1;I<=d->Z1;I++){
    d->A[I-1]=A1A[I-1];
    d->B[I-1]=B1B[I-1];
}
if (d->KOH==13) d->KOH=1;
if (d->KOH==1) sprintf(out+lstrlen(out)," ** Информация о ходе расчёта технологических раз-
меров при решении разм. цепей **\n KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014\n");
for (I=1;I<=DIMSIZE;I++){
    AX[I-1]=0.;
    AN[I-1]=0.;
}
for (II=1;II<=d->Z1;II++){
    JJ=N5 [II-1];
    H33=H3 [JJ-1];
    IR2=d->IR [H33-1] [2-1];
    if (d->KOH==15) sprintf(out+lstrlen(out)," Номер решения=%3d      неизв. звено=A-3%d      код
метода= %3d\n",II,H33,IR2);
    if (IR2<70) goto m810;
    for (I2=1;I2<=8;I2++){
        for (IH1=1;IH1<=6;IH1++){
            if (IR2==IM1 [I2-1] [IH1-1]) goto m810;
m810:
            if (d->DX [JJ-1]==0) goto m52;
            if (d->KOH==1) sprintf(out+lstrlen(out)," Решается разм. цепь %3d типа \"P\" с неизв. зве-
ном A%-3d\n      с о с т а в      ц е п и : \n",II,H33);
            FX=0.;
            FN=0.;
            I1=K11 [JJ-1];
            if (I1==0) goto m290;
            for (L=1;L<=I1;L++){
                H11=H1 [JJ-1] [L-1];
                FX=FX+AX [H11-1];
                if (d->KOH==15) sprintf(out+lstrlen(out)," %3d %10.5f %10.5f\n",H11,AX [H11-1],AN [H11-
1]);
                if (d->KOH==1) sprintf(out+lstrlen(out),"      уменьш. звено A%-3d:
max=%8.3f min=%8.3f\n",H11,AX [H11-1],AN [H11-1]);
                FN=FN+AN [H11-1];
            }
m290:
            I1=K22 [JJ-1];
            GX=0.;
            GN=0.;
            for (L=1;L<=I1;L++){
                H22=H2 [JJ-1] [L-1];
                GX=GX+AX [H22-1];
                if (d->KOH==1) sprintf(out+lstrlen(out),"      увелич. звено A%-3d:
max=%8.3f min=%8.3f\n",H22,AX [H22-1],AN [H22-1]);
                if (d->KOH==15) sprintf(out+lstrlen(out)," %3d %10.5f %10.5f\n",H22,AX [H22-1],AN [H22-
1]);
                GN=GN+AN [H22-1];
            }
            if (d->KOH==1) sprintf(out+lstrlen(out),"      замык. звено - констр. размер P%-3d:
max=%8.3f min=%8.3f\n",IM5 [JJ-1],d->DX [JJ-1],d->DN [JJ-1]);
            if (T5 [JJ-1] [H33-1]<0 ) goto m55;
            if (d->KOH==15) sprintf(out+lstrlen(out)," %5d\n",T5 [JJ-1] [H33-1]);
            AXX=GN-FX-d->DN [JJ-1];
            ANN=GX-FN-d->DX [JJ-1];
            goto m58;
m55:
            AXX=FN-GX+d->DX [JJ-1];
            ANN=FX-GN+d->DN [JJ-1];
m58:
            AX [H33-1]=AXX;
            AN [H33-1]=ANN;
            if (d->KOH==15) sprintf(out+lstrlen(out)," GN=%10.5f FX=%10.5f DN=%10.5f GX=%10.5f
FN=%10.5f DX (JJ)=%10.5f\n",GN,FX,d->DN [JJ-1],GX,FN,d->DX [JJ-1]);
            if (d->KOH==15) sprintf(out+lstrlen(out)," H33=%3d AXX=%8.3f ANN=%8.3f\n",H33,AXX,ANN);
            PPP=AXX-ANN;
            if (d->KOH==1) {
                sprintf(out+lstrlen(out),"      результаты расчёта звена A%-3d:      max=%8.3f
min=%8.3f\n",H33,AXX,ANN);
                sprintf(out+lstrlen(out),"      следовательно, расч. допуск=%10.3f\n",PPP);
            }
//m56:

```

```

    IP=1;
m115:
    if(IR2<70) goto m57;
    for(I3=1;I3<=12;I3++){
        if(AXX<=F2[I3-1]) goto m61;
    }
    D1=F3[IH1-1][7-1]/1000;
    if(d->КОН==1) sprintf(out+lstrlen(out)," Допуски для размеров более 500мм в программе
не предусмотрены. Принимаем для размера D1=%8.4f",D1);
m61:
    D1=F3[IH1-1][I3-1]/1000;
    DX1=D1;
    DN1=0;
    goto m800;
m57:
    if(IR2>13) goto m63;
    for(I=1;I<=4;I++){
        if(d->DT[H33-1]<=F16[I-1]) goto m78;
    }
m78:
    X=F12[I-1][d->IR1-1];
    DX1=X;
    DN1=-X;
    D1=2*X;
    goto m800;
m63:
    if(IR2>22) goto m64;
    for(I1=1;I1<=10;I1++){
        if(AXX<=F4[I1-1]) goto m66;
    }
m66:
    DX1=F5[d->IR0-1][I1-1];
    DN1=-F5[d->IR0-1][I1+10-1];
    D1=DX1-DN1;
    goto m800;
m64:
    if(d->IR0==2) goto m67;
    for(I1=1;I1<=8;I1++){
        if(AXX<=F6[I1-1]) goto m69;
    }
m69:
    for(J=1;J<=5;J++){
        if(d->PR2<=F7[J-1]) goto m71;
    }
m71:
    I2=J+5*d->IR1;
    DX1=F9[I1-1][I2-1];
    DN1=-DX1;
    D1=2*DX1;
    goto m800;
m67:
    I1=IR2-41;
    for(I=1;I<=10;I++){
        if(d->PR2<=F10[I-1]) goto m73;
    }
m73:
    if(I1==7 && d->PR2>500) goto m74;
    DX1=F11[I1-1][I-1];
    DN1=-DX1;
    D1=2*DX1;
    goto m800;
m74:
    msg=out+lstrlen(out);
    sprintf(out+lstrlen(out)," Литьё под давлением предусмотрено для габаритных размеров не
более 400 мм. Измените исходные данные\n");
    ErrorMessage(msg);
    goto m777;
m800:
    if(d->КОН==1) {
        sprintf(out+lstrlen(out)," технолог. допуск заданного метода получения звена,
предлагаемый\n");
        sprintf(out+lstrlen(out)," системой=%6.3f : верхн. откл.=%6.3f нижн.
откл.=%6.3f\n",D1,DX1,DN1);
    }
    if(d->DPX[H33-1]==0 && d->DPN[H33-1]==0) goto m3800;
    DX1=d->DPX[H33-1];
    DN1=d->DPN[H33-1];
    D1=DX1-DN1;

```

```

    if(d->КОН==1) {
        sprintf(out+lstrlen(out), "                технологич. допуск, заданный пользовате-
лем=%8.3f\n", D1);
        sprintf(out+lstrlen(out), "                верх. откл.=%8.3f   нижн. откл.=%8.3f\n", DX1, DN1);
    }
m3800:
    DD[H33-1]=D1;
    DX2[H33-1]=DX1;
    DN2[H33-1]=DN1;
    if(d->КОН==15) sprintf(out+lstrlen(out), " %10.5f %10.5f %10.5f\n", DX1, DN1, D1);
    if(IP==1) goto m77;
    goto m116;
m77:
    DR=AXX-ANN;
    if(DR>0) goto m80;
m81:
    msg=out+lstrlen(out);
    if(d->КОН==15) {
        sprintf(out+lstrlen(out), "Точность конструкторских размеров не может быть достигнута,
т.к. расчётный технологический допуск DR - \n");
        sprintf(out+lstrlen(out), "получается отрицательным или меньше допуска DT выбранного ме-
тода обработки.\n");
        sprintf(out+lstrlen(out), "Проанализируйте уравнение из табл. 2 с номером %2d.\n", II);
    }
    sprintf(out+lstrlen(out), "Расчётный допуск DR звена А%-3d отрицательный или жестче допуска
DT, выдерживаемого станком.\n", H33);
    sprintf(out+lstrlen(out), "Требуемая точность замыкающего звена НЕ обеспечивается.\n");
    sprintf(out+lstrlen(out), "Необходимо внести изменения в ТП. Расчёт прерывается.\n");
    sprintf(out+lstrlen(out), "Номер последней анализируемой цепи= %2d. Справка: DT=%6.3f,
DR=%6.3f.\n", II, D1, DR);
    ErrorMsg(msg);
    IKAR=IKAR+1;
    if(IKAR==1) goto m1005;
    if(d->КОН==1) {error_flag=TRUE; goto m7777;}
m1005:
    d->КОН=1;
    msg=out+lstrlen(out);
    sprintf(out+lstrlen(out), "Внимание!!! С целью анализа возникшей ситуации расчёт повторяет-
ся заново, \n");
    sprintf(out+lstrlen(out), "при этом снимается ограничение по допуску: на искомое звено А%-
3d\n", H33);
    sprintf(out+lstrlen(out), "вместо технологического допуска DT метода обработки назначается
жесткий расчётный допуск DR.\n");
    ErrorMsg(msg);
    goto m870;
m80:
    D1=D1-0.0005;
    if(DR>=D1) goto m82;
    D2=D1/2;
    if(IKAR==1) goto m1004;
    goto m81;
m1004:
    if(DR<D2) goto m81;
    msg=out+lstrlen(out);
    sprintf(out+lstrlen(out), "Внимание! Система назначает на звено А%-3d жесткий расчётный
допуск.\n", H33);
    sprintf(out+lstrlen(out), "Практически это означает, что при получении звена точность стан-
ка будет \n");
    sprintf(out+lstrlen(out), "условно повышена с целью анализа оставшихся цепей. Справка:
DT=%6.3f, DR=%6.3f\n", D1, DR);
    ErrorMsg(msg);
    D1=DR;
m82:
    if(d->IR[H33-1][1-1]!=2) goto m83;
    AH1=(AXX+ANN)/2;
    DX1=D1/2;
    DN1=-DX1;
    goto m801;
m83:
    if(d->IR[H33-1][1-1]==0) goto m84;
    AH1=AXX;
    DX1=0;
    DN1=-D1;
    goto m801;
m84:

```

```

    AH1=ANN;
    DX1=D1;
    DN1=0;
m801:
    AH[H33-1]=AH1;
    DX2[H33-1]=DX1;
    DN2[H33-1]=DN1;
    AX[H33-1]=AH1+DX1;
    AN[H33-1]=AH1+DN1;
    if(d->KOH==1) {
        sprintf(out+lstrlen(out),"           принимаем расчётный размер звена A%-3d с учётом тех-
нолог. допуска:\n",H33);
        sprintf(out+lstrlen(out),"           номинал=%8.3f           max=%8.3f
min=%8.3f\n",AH1,AX[H33-1],AN[H33-1]);
    }
    if(d->KOH==15) {
        sprintf(out+lstrlen(out),"H33=%3d AH1=%8.4f %7.4f %7.4f AH=%8.4f
AN=%8.4f\n",H33,AH1,DX1,DN1,AX[H33-1],AN[H33-1]);
    }
    goto m50;
m52:
    for(I=1;I<=d->Z1;I++){
        if(d->IR[I-1][2-1]>70 && d->B[I-1]==d->BK[JJ-1]) goto m2517;
        if(d->IR[I-1][2-1]<70 && (d->B[I-1]==d->BK[JJ-1] || d->A[I-1]==d->BK[JJ-1])) goto m2517;
    }
m2517:
    BKZZ=I;
    for(I=1;I<=d->Z1;I++){
        if(d->IR[I-1][2-1]>70 && d->B[I-1]==d->AK[JJ-1]) goto m2518;
        if(d->IR[I-1][2-1]<70 && (d->B[I-1]==d->AK[JJ-1] || d->A[I-1]==d->AK[JJ-1])) goto m2518;
    }
m2518:
    AKZZ=I;
    if(AKZZ>BKZZ) goto m2519;
    H33A=d->BK[JJ-1];
    d->BK[JJ-1]=d->AK[JJ-1];
    d->AK[JJ-1]=H33A;
m2519:
    for(I=1;I<=d->Z1;I++){
        if(d->IR[I-1][2-1]>70 && d->B[I-1]==d->BK[JJ-1]) goto m1517;
        if(d->IR[I-1][2-1]<70 && (d->B[I-1]==d->BK[JJ-1] || d->A[I-1]==d->BK[JJ-1])) goto m1517;
    }
    msg=out+lstrlen(out);
    sprintf(out+lstrlen(out)," Припуск Z%-3d Проверьте границы примыкающих
размеров!\n",IM5[JJ-1]);
    ErrorMsg(msg);
    goto m777;
m1517:
    H33A=I;

//Номер звена, по которому опред припуск

    IR2A=d->IR[H33A-1][2-1];
    if(IR2A<70) goto m90;
    for(I2=1;I2<=7;I2++){
        if(d->DT[H33A-1]<=F13[I2-1]) goto m92;
    }
m92:
    for(I2A=1;I2A<=8;I2A++)
    for(IH1A=1;IH1A<=6;IH1A++)
    if(IR2A==IM1[I2A-1][IH1A-1]) goto m8010;
m8010:
    PF=F14[IH1A-1][I2+7*d->IR3-1];
    RT=F15[IH1A-1][d->IR0-1];
    ZN=PF+RT;
    goto m16;
m90:
    if(IR2A<=13) goto m95;
    if(IR2A<=22) goto m15;
    goto m108;
m95:
    if(d->IR1-2<0) goto m96;
    else if(d->IR1-2==0) goto m97;
    else goto m98;
m96:

```

```

    PF=0.2*d->DT[H33A-1];
    ZN=PF+0.3;
    goto m16;
m97:
    PF=0.01*d->DT[H33A-1];
    ZN=PF+0.2;
    goto m16;
m98:
    if(d->IR1>3) goto m99;
    PF=0.045*d->DT[H33A-1];
    ZN=PF+0.2;
    goto m16;
m99:
    PF=0.2*d->DT[H33A-1];
    for(I=1;I<=3;I++)
        if(d->DT[H33A-1]<=F17[I-1]) goto m701;
m701:
    ZN=PF+F18[I-1];
    goto m16;
m15:
    for(I=1;I<=7;I++)
        if(d->DT[H33A-1]<=F13[I-1]) goto m705;
m705:
    PF=F19[I+7*d->IR3-1];
    for(I=1;I<=9;I++)
        if(d->DT[H33A-1]<=F20[I-1]) goto m706;
    ZN=F21[d->IR0-1][I-1];
    if(d->IR1==1) goto m706;
    ZN=ZN-0.15;
m706:
    ZN=ZN+PF;
    goto m16;
m108:
    for(I=1;I<=7;I++)
        if(d->DT[H33A-1]<=F13[I-1]) goto m710;
m710:
    PF=F22[I+7*d->IR3-1];
    I1=IR2A-41;
    ZN=PF+F23[d->IR0-1][I1+1-1];
m16:
    if(d->KOH==1) {
        sprintf(out+lstrlen(out)," Решается разм. цепь %3d типа Z%-3d с неизв. звеном A%-
3d\n",II,IM5[JJ-1],H33);
        sprintf(out+lstrlen(out),"           припуск ZMIN, рассчитанный системой=%8.3f\n",ZN);
    }
    if(d->DN[JJ-1]==0) goto m3090;
    ZN=d->DN[JJ-1];
    if(d->KOH==1) sprintf(out+lstrlen(out),"           припуск, заданный
пользователем=%8.3f",ZN);
m3090:
    ZN1[H33-1]=ZN;
    ZNN[JJ-1]=ZN;
    if(d->KOH==15) sprintf(out+lstrlen(out),"H33=%3d ZN=%10.5f PF=%10.5f
RT=%10.5f\n",H33,ZN,PF,RT);
    if(d->KOH==1) sprintf(out+lstrlen(out),"           с о с т а в   ц е п и   :\n");
    FX=0.;
    FX1=0.;//-----280501
    I1=K11[JJ-1];
    for(L=1;L<=I1;L++){
        H11=H1[JJ-1][L-1];
        if(d->KOH==1) sprintf(out+lstrlen(out),"           уменьш. звено A%-3d:
max=%8.3f   min=%8.3f\n",H11,AX[H11-1],AN[H11-1]);
        if(d->KOH==15) sprintf(out+lstrlen(out),"%3d   %10.5f   %10.5f\n",H11,AX[H11-1],AN[H11-1]);
        FX=FX+AX[H11-1];
        FX1=FX1+AN[H11-1];//-----
    }
    GN=0.;
    GN1=0.;//-----
    I1=K22[JJ-1];
    for(L=1;L<=I1;L++){
        H22=H2[JJ-1][L-1];
        if(d->KOH==1) sprintf(out+lstrlen(out),"           увелич. звено A%-3d:
max=%8.3f   min=%8.3f\n",H22,AX[H22-1],AN[H22-1]);
        GN=GN+AN[H22-1];
        GN1=GN1+AX[H22-1];//-----
    }

```

```

    }
    if(T5[JJ-1][H33-1]<0) goto m713;
    if(d->KOH==15) sprintf(out+lstrlen(out),"%5d\n",T5[JJ-1][H33-1]);
    AXX=GN-FX-ZN;
    goto m714;
m713:
    ANN=ZN+FX-GN;
    AXX= ANN;
m714:
    IP=2;
    if(d->KOH==15) sprintf(out+lstrlen(out),"GN=%10.5f FX=%10.5f ZN=%10.5f\n",GN,FX,ZN);
    goto m115;
m116:
    if(IR2<70) goto m117;
    if(d->IR[H33-1][1-1]==0) goto m718;
    if(d->IR[H33-1][1-1]==1) goto m7718;
    if(d->IR[H33-1][1-1]==2) goto m7618;
m718:
    if(T5[JJ-1][H33-1]<0) goto m720;
    AH1=AXX-D1;
    goto m804;
m720:
    AH1=ANN;
m804:
    DX1=D1;
    DN1=0;
    goto m803;
m7718:
    if(T5[JJ-1][H33-1]<0) goto m7720;
    AH1=AXX;
    goto m8802;
m7720:
    AH1=ANN+D1;
m8802:
    DX1=0;
    DN1=-D1;
    goto m803;
m7618:
    if(T5[JJ-1][H33-1]<0) goto m7620;
    AH1=AXX-D1/2;
    goto m7902;
m7620:
    AH1=ANN+D1/2;
m7902:
    DX1=D1/2;
    DN1=-D1/2;
m803:
    AH[H33-1]=AH1;
    DX2[H33-1]=DX1;
    DN2[H33-1]=DN1;
    AX[H33-1]=AH1+DX1;
    AN[H33-1]=AH1+DN1;
    if(T5[JJ-1][H33-1]<0) goto m3333;
    ZNM[JJ-1]=GN1-FX1-AN[H33-1];
    goto m3334;
m3333:
    ZNM[JJ-1]=GN1+AX[H33-1]-FX1;
m3334:
    if(d->KOH==15) sprintf(out+lstrlen(out),"H33=%3d AH1=%8.4f %7.4f %7.4f AH=%8.4f
AN=%8.4f\n",H33,AH1,DX1,DN1,AX[H33-1],AN[H33-1]);
    if(d->KOH==1) {
        sprintf(out+lstrlen(out),"                расчётный размер звена A%-3d:\n",H33);
        sprintf(out+lstrlen(out),"                номинал=%8.3f                                max=%8.3f
min=%8.3f\n",AH1,AX[H33-1],AN[H33-1]);
        dop=ZNM[JJ-1]-ZNN[JJ-1];
        sprintf(out+lstrlen(out),"                припуск по звену A%-3d  Z%-3d:\n",H33A,IM5[JJ-1]);
        sprintf(out+lstrlen(out),"                допуск=%8.3f                                max=%8.3f
min=%8.3f\n", dop,ZNM[JJ-1],ZNN[JJ-1]);
    }
    //////////////////////////////////////
    I1=K11[JJ-1];
    for(L=1;L<=I1;L++){
        H11=H1[JJ-1][L-1];
        if(H11==H33A) goto m50;
    }

```

```

I1=K22[JJ-1];
for (L=1;L<=I1;L++){
H22=H2[JJ-1][L-1];
if (H22==H33A) goto m50;
}
printf(out+lstrlen(out)," ===== звено А для расчета припуска - из другой РЦ !!!
===== \n");
////////////////////////////////////
goto m50;
m117:
if (T5[JJ-1][H33-1]<0) goto m721;
if (d->KOH==15) printf(out+lstrlen(out),"%5d\n",T5[JJ-1][H33-1]);
AH1=AXX-DX1;
goto m803;
m721:
AH1=ANN-DN1;
goto m803;
m50:;
}

printf(out+lstrlen(out),"\n");
printf(out+lstrlen(out),"Таблица 3 - Результаты расчета технологических РЦ\n");
printf(out+lstrlen(out),"по программе KON7 (С) Калачёв О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA
HA)\n");
printf(out+lstrlen(out),"-----\n");
printf(out+lstrlen(out)," Замыкающие звенья | Составляющие зве-
нья \n");
printf(out+lstrlen(out)," Р - черт.размер, Z - припуск | А - размеры заготовки и
механообработки \n");
printf(out+lstrlen(out),"-----\n");
---kon7-122-120 D1 zz GRA HA--\n");
printf(out+lstrlen(out)," Ин- | Гра- | Предел.значения | Ин- | Гра- |
| Отклонения \n");
printf(out+lstrlen(out),"декс | ницы |-----|декс | ницы | Метод обработки
|Номинал |-----\n");
printf(out+lstrlen(out),"звена| звена | max | min |звена| звена |
| Верхнее|Нижнее \n");
//printf(out+lstrlen(out),"-----\n");
-----\n");

i=lstrlen(out);
printf(out+lstrlen(out),"-----%s-%s-
",DateToStr(),TimeToStr());
for (i=lstrlen(out)-i;i<96;i++) lstrcat(out,"-"); lstrcat(out,"\n");

for (I=1;I<=d->Z1;I++){
J1=IM5[I-1];
IS=IM6[I-1];
IR2=d->IR[I-1][2-1];
if (IR2>48) goto m1006;
if (IS==2) goto m2000;
printf(out+lstrlen(out),"s%-3d |%3d %3d|%8.3f|%8.3f| A%-3d|%3.0f %3.0f|%-
25s|%8.3f|%7.3f|%7.3f\n",IJK[IS-1],J1,d->AK[I-1],d->BK[I-1],d->DX[I-1],d->DN[I-1],I,d->A[I-
1],d->B[I-1],F41[IS1-1],AH[I-1],DX2[I-1],DN2[I-1]);
goto m885;
m2000:
printf(out+lstrlen(out),"s%-3d |%3d %3d|%8.3f|%8.3f| A%-3d|%3.0f %3.0f|%-
25s|%8.3f|%7.3f|%7.3f\n",IJK[IS-1],J1,d->AK[I-1],d->BK[I-1],ZNM[I-1],ZNN[I-1],I,d->A[I-1],d-
>B[I-1],F41[IS1-1],AH[I-1],DX2[I-1],DN2[I-1]);
goto m885;
m1006:
IR20=IM7[I-1];
IR21=IM8[I-1];
if (IS==2) goto m1027;
printf(out+lstrlen(out),"s%-3d |%3d %3d|%8.3f|%8.3f| A%-3d|%3.0f %3.0f|%-
25s|%8.3f|%7.3f|%7.3f\n",IJK[IS-1],J1,d->AK[I-1],d->BK[I-1],d->DX[I-1],d->DN[I-1],I,d->A[I-
1],d->B[I-1],F47[I-1][0]?F47[I-1]:lstrcat(lstrcpy(buf,F45[IR20-1]),F46[IR21-1]),AH[I-1],DX2[I-
1],DN2[I-1]);
goto m885;
m1027:
printf(out+lstrlen(out),"s%-3d |%3d %3d|%8.3f|%8.3f| A%-3d|%3.0f %3.0f|%-
25s|%8.3f|%7.3f|%7.3f\n",IJK[IS-1],J1,d->AK[I-1],d->BK[I-1],ZNM[I-1],ZNN[I-1],I,d->A[I-1],d-
>B[I-1],F47[I-1][0]?F47[I-1]:lstrcat(lstrcpy(buf,F45[IR20-1]),F46[IR21-1]),AH[I-1],DX2[I-
1],DN2[I-1]);
m885:;

```

```

}
printf(out+lstrlen(out), "-----\n");
-----\n");

II=d->Z1; /*
error_flag=FALSE;
m7777: //переход сюда при ошибке
printf(out+lstrlen(out), "\n");
printf(out+lstrlen(out), "Таблица 4 - Баланс допусков в каждой размерной цепи\n");
printf(out+lstrlen(out), "-----\n");
-----\n");
printf(out+lstrlen(out), " № |Неизв|Номинал|Верхнее| Запас | Уравнения в символьной
форме\n");
printf(out+lstrlen(out), "реш|звено| |Нижнее | точн. | Баланс допусков\n");
printf(out+lstrlen(out), "-----\n");
-----\n");

int J1_2, IS_2;
// for(I=1; I<=d->Z1; I++){
for(I=1; I<=II; I++){
J=N5[I-1];
J1=K11[J-1];
if(J1==0) goto m871_2;
for(I1=1; I1<=J1; I1++){
I4=H1[J-1][I1-1];
LL2[I1-1]=LL1[3-1];
IA[I1-1]=d->A[I4-1];
IB[I1-1]=d->B[I4-1];
KF60[I1-1]=I4;
}
m871_2:
I2=K22[J-1];
for(I1=1; I1<=I2; I1++){
I4=H2[J-1][I1-1];
J4=J1+I1;
LL2[J4-1]=LL1[1-1];
IA[J4-1]=d->A[I4-1];
IB[J4-1]=d->B[I4-1];
KF60[J4-1]=I4;
}
I5=IM5[J-1];
IS=IM6[J-1];
error_A=H3[J-1]; error_P_IJK=IJK[IS-1]; error_P=I5;

double dd, dd2;
// for(i=1; i<=d->Z1; i++){
for(i=1; i<=II; i++){
J1_2=IM5[i-1]; //n
IS_2=IM6[i-1]; //IJK[IS_2-1]='P' or 'Z'
if(IJK[IS-1]==IJK[IS_2-1] && I5==J1_2) break;
}
if(IS_2==2) dd=ZNM[i-1]-ZNN[i-1];
else dd=d->DX[i-1]-d->DN[i-1];
// dd=round(dd*1000.)/1000.;
for(I1=1; I1<=J4; I1++){
i=KF60[I1-1];
dd2=(DX2[i-1]-DN2[i-1]);
// dd2=round(dd2*1000.)/1000.;
dd=dd-dd2;
}
dd=round(dd*1000.)/1000.;

i=H3[J-1];
if(error_flag && I==II) printf(out+lstrlen(out), "%2d | A%-3d| | | |%7.3f|
%s%d=", I, H3[J-1], dd, IJK[IS-1], I5);
else printf(out+lstrlen(out), "%2d | A%-3d| %7.3f| %7.3f| %7.3f|
%s%d=", I, H3[J-1], AH[i-1], DX2[i-1], dd, IJK[IS-1], I5);
for(I1=1; I1<=J4; I1++) printf(out+lstrlen(out), "%sA%d", LL2[I1-1], KF60[I1-1]);
printf(out+lstrlen(out), "\n");
if(error_flag && I==II) printf(out+lstrlen(out), " | | | | | ");
else printf(out+lstrlen(out), " | | | | | %7.3f| | |
", DN2[i-1]);

// for(i=1; i<=d->Z1; i++){
for(i=1; i<=II; i++){

```

```

    J1_2=IM5[i-1]; //n
    IS_2=IM6[i-1]; //IJK[IS_2-1]='P' or 'Z'
    if(IJK[IS-1]==IJK[IS_2-1] && I5==J1_2) break;
}
if(IS_2==2) sprintf(out+lstrlen(out), "%.3f=>", ZNM[i-1]-ZNN[i-1]);
else sprintf(out+lstrlen(out), "%.3f=>", d->DX[i-1]-d->DN[i-1]);
for(I1=1; I1<=J4; I1++){
    i=KF60[I1-1];
    if(error_flag && I==II && error_A==i)
sprintf(out+lstrlen(out), "%s[%f]", I1==1?"": "+", DX2[i-1]-DN2[i-1]);
    else sprintf(out+lstrlen(out), "%s%.3f", I1==1?"": "+", DX2[i-1]-DN2[i-1]);
}
    sprintf(out+lstrlen(out), "\n");

    sprintf(out+lstrlen(out), "-----\n");
}
if(error_flag){
//    sprintf(out+lstrlen(out), "A%d %s%d DT=%f DR=%f\n", error_A, error_P_IJK, error_P, D1, DR);
    sprintf(out+lstrlen(out), "Для обеспечения точности конструкторского размера %s%d необходи-
мо выполнить\n", error_P_IJK, error_P);
    sprintf(out+lstrlen(out), "технологический размер A%d с расчетным допуском DR=%.3f, который
отрицательный\n", error_A, DR);
    sprintf(out+lstrlen(out), "или жестче (более, чем в 2 раза) технологического допуска
DT=%.3f выбранного метода обработки.\n", D1);
    sprintf(out+lstrlen(out), "Требуемая точность замыкающего звена НЕ обеспечивается!\n");
    sprintf(out+lstrlen(out), "Расчет оставшихся технологических размеров продолжать не целесо-
образно.\n");
    sprintf(out+lstrlen(out), "\n");
    sprintf(out+lstrlen(out), "Рекомендации.\n");
    sprintf(out+lstrlen(out), "1. Технологический размер A%d должен выполняться с более высокой
точностью, т.е. с более жестким допуском.\n", error_A);
    sprintf(out+lstrlen(out), " Например, вместо \"чернового точения\" следует выбрать
\"чистовое точение\" или задать непосредственно\n");
    sprintf(out+lstrlen(out), " числовое значение технологического допуска в поле
\"пользовательский\".\n");
    sprintf(out+lstrlen(out), " Следует помнить, что на начальных операциях механообработки
необоснованный выбор узкого допуска недопустим!\n");
    sprintf(out+lstrlen(out), "2. Следует повысить точность других технологических размеров,
образующих данную цепь.\n");
    sprintf(out+lstrlen(out), "3. Возможно, следует ввести дополнительную обработку одной из
поверхностей с указанием на размерной схеме\n");
    sprintf(out+lstrlen(out), " нового припуска.\n");
    sprintf(out+lstrlen(out), "4. Радикальное изменение размерной структуры технологического
процесса - выбор более рациональной\n");
    sprintf(out+lstrlen(out), " схемы базирования, обеспечивающей соблюдение принципа единства
баз в большинстве уравнений размерных цепей.\n");
    sprintf(out+lstrlen(out), "-----\n");
}
//////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
//sprintf(out+lstrlen(out), "=====\n");
//sprintf(out+lstrlen(out), "Z1=%d, J2=%d, JZ2=%d\n", d->Z1, J2, JZ2);
//sprintf(out+lstrlen(out), "AK[i]=");
//for(i=0; i<d->Z1; i++) sprintf(out+lstrlen(out), "%d, ", d->AK[i]);
//sprintf(out+lstrlen(out), "\n");
//sprintf(out+lstrlen(out), "BK[i]=");
//for(i=0; i<d->Z1; i++) sprintf(out+lstrlen(out), "%d, ", d->BK[i]);
//sprintf(out+lstrlen(out), "\n");

int ZM[DIMSIZE], ZK, ZZ1, Z50, Z51, NP, M1[DIMSIZE], M2[DIMSIZE];
memset(ZM, 0, sizeof(ZM));
    sprintf(out+lstrlen(out), "\n");
//    sprintf(out+lstrlen(out), " - Поверхности детали:\n");
    ZK=1;
    ZZ1=d->Z1+1;
    for(Z50=1; Z50<ZZ1; Z50++){
        for(Z51=1; Z51<=JZ2; Z51++){
            if(d->AK[Z51-1]==Z50 || d->BK[Z51-1]==Z50){
//                sprintf(out+lstrlen(out), "%s%d", ZK==1?"": ", ", Z50);
                ZM[ZK-1]=Z50;
                ZK=ZK+1;
                break;
            }
        }
    }
}

```

```

    }
}
printf(out+lstrlen(out), "\n");
printf(out+lstrlen(out), "Таблица 5 - Припуски последней обработки каждой поверхности детали\n");
//мои изменения 260414 =====D:\====KON7\kon7_new8\KON7REZ.CPP=====020514=====
K=1;
NP=ZK-1; //число поверхностей детали
for (i=1; i<=NP; i++){ //перебор поверхностей детали
    for (j=JZ2+1; j<=d->Z1; j++){
        if (ZM[i-1]==d->AK[j-1] || ZM[i-1]==d->BK[j-1]){ //нашли припуск
            M1[K-1]=ZM[i-1]; //поверхность детали, к которой примыкает припуск
            M2[K-1]=j; //номер припуска по списку ввода
            K=K+1; //подготовка следующего элемента
            break;
        }
    }
}
K=K-1; //число припусков (не обязательно равно числу поверхностей детали)

printf(out+lstrlen(out), "-----\n");
printf(out+lstrlen(out), "№пов | №Z | Zmin | Zmax | ДопускZ | Zmax/Zmin | Сумма допусков\n");
printf(out+lstrlen(out), "-----\n");

GN=0.;
for (i=1; i<=K; i++){ //по числу поверхностей
    NP=M2[i-1];
    printf(out+lstrlen(out), "%2d | %2d | %6.3f | %6.3f | %6.3f | %6.3f | \n", M1[i-1], M2[i-1], ZNN[NP-1], ZNM[NP-1], ZNM[NP-1]-ZNN[NP-1], ZNM[NP-1]/ZNN[NP-1]);
    GN=GN+(ZNM[NP-1]-ZNN[NP-1]); // Изменения 1 мая 2014
}
printf(out+lstrlen(out), "----- %7.3f\n", GN);
printf(out+lstrlen(out), "\n");

////////////////////////////////////
printf(out+lstrlen(out), "\n");
printf(out+lstrlen(out), "Таблица 6 - Частота вхождения каждого звена в размерные цепи\n");
int Nzz[DIMSIZ][DIMSIZ], Nzck[DIMSIZ];
for (I=1; I<=d->Z1; I++){ //перебор номеров составляющих звеньев Ai
//printf(out+lstrlen(out), "A%d: ", I);
    N=1; //начальное значение индекса и счетчика суммы
    for (Z=1; Z<=d->Z1; Z++){ //перебор размерных цепей
        J1=N2M[Z-1]; //число звеньев в z-й цепи
        for (J=1; J<=J1; J++){ //перебор номеров звеньев в z-й цепи
            if (I==N11[Z-1][J-1]){
                Nzz[N-1][I-1]=Z; //записываем номер составляющего звена массив
                N++; //номер след. элемента в массиве
            }
        }
    }
    Nzck[I-1]=N-1; //число PC с I-м звеном
//printf(out+lstrlen(out), "=%d\n", N-1);
}
printf(out+lstrlen(out), "-----\n");
printf(out+lstrlen(out), "Звено|Число| Номер PC (Зам. зв. PC)\n");
printf(out+lstrlen(out), " |вход| \n");
printf(out+lstrlen(out), "-----\n");

for (i=1; i<=d->Z1; i++){
    printf(out+lstrlen(out), " A%-3d | %3d | ", i, Nzck[i-1]);
    for (j=1; j<=Nzck[i-1]; j++){
        Z=Nzz[j-1][i-1];
        printf(out+lstrlen(out), "%s%d", j==1?"":",", Z);
    }
    printf(out+lstrlen(out), " (");
    for (j=1; j<=Nzck[i-1]; j++){
        Z=Nzz[j-1][i-1];
        J1_2=IM5[Z-1]; //n
        IS_2=IM6[Z-1]; //IJK[IS_2-1]='P' or 'Z'
        printf(out+lstrlen(out), "%s%s%d", j==1?"":",", IJK[IS_2-1], J1_2);
    }
}

```

```
    }
    sprintf(out+lstrlen(out),"\n");
}
sprintf(out+lstrlen(out),"-----\n");
-----\n");

// goto m777;
//m1000:
// sprintf(out+lstrlen(out),"Исходные данные сформированы не полностью\n");
m777:
    sprintf(out+lstrlen(out),"  Конец заказа %s\n",d->LL);
    sprintf(out+lstrlen(out),"  KON7плюс в. 122_120 D1 zz GRA HA 2014\n");
//m778:
// goto m999;
//m1999:
// sprintf(out+lstrlen(out),"Внимание! Ошибки в исходных данных\n");
//m999:;
// sprintf(out+lstrlen(out),"Конец задания.....KON7плюс 2014\n");
}
```

Приложение Г – Распечатка результатов расчета детали «Шкив» по программе «KON7 плюс»

Распечатка результатов расчета детали «Шкив» с изменением схемы базирования

Исходные данные и результаты анализа технологических размерных цепей Программа KON7 (C) Калачев О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)												
Текст пользователя						Шкив						
Таблица 1 - Исходные данные (проверьте правильность ввода!)												
Сведения о заготовке:												
Материал.....						чугун						
Способ получения.....						Литьё в земляные формы						
Класс (степень) точности..						2						
Габаритный размер по направлению технологических размеров...						150.000						
Замыкающие звенья				Составляющие звенья: размеры А				Поп-		Отклонения		
Р-черт.размер. Z-припуск				заготовки <-->, затем мех.обработки О-->				реч-		допуска DT		
								ный		пользователя		
Зве-	Границы	Предел. значения		Зве-	Границы	Метод обработки		Сист	раз-			
но	P: л-п	-----		но	<----->			допу	мер,	-----		
Z: н-с		max	min		База-->			ска	мм	Верх.	Нижнее	
-----14.06.2014-12:40:55-----												
P1	14	17	23.200	22.800	A1	11	20	Литьё в земляные формы	ось	40	0.000	0.000
P2	9	17	43.560	43.440	A2	4	20	Литьё в земляные формы	ось	155	0.000	0.000
P3	3	9	26.000	25.790	A3	4	7	Литьё в земляные формы	ось	155	0.000	0.000
P4	6	17	61.000	60.600	A4	1	11	Литьё в земляные формы	ось	115	0.000	0.000
P5	6	7	6.300	5.300	A5	7	2	Точение от необр.пов.	отв	150	0.000	0.000
P6	6	13	36.500	36.250	A6	2	5	Точение черновое	отв	150	0.000	0.000
P7	9	12	9.180	8.720	A7	2	19	Точение черновое	вал	150	0.000	0.000
P8	8	12	16.215	15.785	A8	2	6	Точение чистовое	отв	150	0.000	0.000
P9	12	16	21.760	21.240	A9	6	18	Точение чистовое	вал	40	0.000	0.000
Z1	2	1	0.000	0.000	A10	18	10	Точение черновое	отв	150	0.000	0.000
Z2	3	2	0.000	0.000	A11	18	15	Точение черновое	отв	150	0.000	0.000
Z3	5	4	0.000	0.000	A12	6	17	Шлифование однократное	вал	40	0.000	0.000
Z4	6	5	0.000	0.000	A13	6	9	Шлифование однократное	отв	40	0.000	0.000
Z5	9	10	0.000	0.000	A14	6	3	Точение чистовое	вал	150	0.000	0.000
Z6	10	11	0.000	0.000	A15	6	14	Точение чистовое	отв	150	0.000	0.000
Z7	14	15	0.000	0.000	A16	17	13	Точение чистовое	отв	150	0.000	0.000
Z8	17	18	0.000	0.000	A17	17	16	Точение чистовое	отв	150	0.000	0.000
Z9	18	19	0.000	0.000	A18	17	12	Точение чистовое	отв	150	0.000	0.000
Z10	19	20	0.000	0.000	A19	17	8	Точение чистовое	отв	150	0.000	0.000

Таблица 2 - Результаты поиска уравнений размерных цепей и последовательности их решения												
Номер	Неизв.	Уравнения в символьной форме										
решения	звено											
1	A12	P4=+A12										
2	A15	P1=-A15+A12										
3	A13	P2=-A13+A12										
4	A16	P6=-A16+A12										
5	A9	Z8=-A12+A9										
6	A14	P3=+A13+A14										
7	A18	P7=-A13-A18+A12										
8	A10	Z5=-A10-A13+A9										
9	A11	Z7=-A11-A15+A9										
10	A19	P8=-A18+A19										
11	A17	P9=-A17+A18										
12	A8	Z2=-A14+A8										
13	A5	P5=-A8+A5										
14	A6	Z4=-A6+A8										
15	A7	Z9=-A8-A9+A7										
16	A3	Z3=-A5+A3+A6										
17	A2	Z10=-A3-A7+A2+A5										
18	A1	Z6=-A1-A3-A8-A9+A2+A5+A10										
19	A4	Z1=-A2-A5+A1+A3+A4										

** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей **												
KON7 (C) Калачев О.Н., 2014												


```

Решается разм. цепь 8 типа Z5 с неизв. звеном A10
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.210
с о с т а в   ц е п и :
уменьш. звено A10 :                max= 0.000   min= 0.000
уменьш. звено A13 :                max= 17.460  min= 17.440
увелич. звено A9 :                 max= 61.230  min= 61.110
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.340 : верхн. откл.= 0.340  нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A10 :
номинал= 43.099                    max= 43.440  min= 43.099
припуск по звену A10 Z5 :
допуск= 0.481                      max= 0.691   min= 0.210
Решается разм. цепь 9 типа Z7 с неизв. звеном A11
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.210
с о с т а в   ц е п и :
уменьш. звено A11 :                max= 0.000   min= 0.000
уменьш. звено A15 :                max= 37.899  min= 37.800
увелич. звено A9 :                 max= 61.230  min= 61.110
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.280 : верхн. откл.= 0.280  нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A11 :
номинал= 22.721                    max= 23.001  min= 22.721
припуск по звену A11 Z7 :
допуск= 0.499                      max= 0.709   min= 0.210
Решается разм. цепь 10 типа "P" с неизв. звеном A19
с о с т а в   ц е п и :
уменьш. звено A18 :                max= 34.480  min= 34.380
увелич. звено A19 :                max= 0.000   min= 0.000
замык. звено - констр. размер P8 : max= 16.215  min= 15.785
результаты расчёта звена A19 :    max= 50.595  min= 50.264
следовательно, расч. допуск= 0.331
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.120 : верхн. откл.= 0.120  нижн. откл.= 0.000
принимая расчётный размер звена A19 с учётом технолог. допуска:
номинал= 50.264                    max= 50.384  min= 50.264
Решается разм. цепь 11 типа "P" с неизв. звеном A17
с о с т а в   ц е п и :
уменьш. звено A17 :                max= 0.000   min= 0.000
увелич. звено A18 :                max= 34.480  min= 34.380
замык. звено - констр. размер P9 : max= 21.760  min= 21.240
результаты расчёта звена A17 :    max= 13.140  min= 12.720
следовательно, расч. допуск= 0.421
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.084 : верхн. откл.= 0.084  нижн. откл.= 0.000
принимая расчётный размер звена A17 с учётом технолог. допуска:
номинал= 12.720                    max= 12.803  min= 12.720
Решается разм. цепь 12 типа Z2 с неизв. звеном A8
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.380
с о с т а в   ц е п и :
уменьш. звено A14 :                max= 8.540   min= 8.456
увелич. звено A8 :                 max= 0.000   min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.084 : верхн. откл.= 0.084  нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A8 :
номинал= 8.920                     max= 9.004   min= 8.920
припуск по звену A5 Z2 :
допуск= 0.168                      max= 0.548   min= 0.380
===== звено A для расчета припуска - из другой РЦ !!! =====
Решается разм. цепь 13 типа "P" с неизв. звеном A5
с о с т а в   ц е п и :
уменьш. звено A8 :                max= 9.004   min= 8.920
увелич. звено A5 :                max= 0.000   min= 0.000
замык. звено - констр. размер P5 : max= 6.300   min= 5.300
результаты расчёта звена A5 :    max= 15.220  min= 14.304
следовательно, расч. допуск= 0.916
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.520 : верхн. откл.= 0.520  нижн. откл.= 0.000
принимая расчётный размер звена A5 с учётом технолог. допуска:
номинал= 14.304                    max= 14.823  min= 14.304
Решается разм. цепь 14 типа Z4 с неизв. звеном A6
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.210
с о с т а в   ц е п и :
уменьш. звено A6 :                max= 0.000   min= 0.000
увелич. звено A8 :                 max= 9.004   min= 8.920
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.280 : верхн. откл.= 0.280  нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A6 :

```

номинал=	8.430	max=	8.710	min=	8.430
припуск по звену А6	Z4 :				
допуск=	0.364	max=	0.574	min=	0.210
Решается разм. цепь 15 типа Z9	с неизв. звеном А7				
припуск ZMIN, рассчитанный системой=	0.210				
с о с т а в ц е п и :					
уменьш. звено А8 :		max=	9.004	min=	8.920
уменьш. звено А9 :		max=	61.230	min=	61.110
увелич. звено А7 :		max=	0.000	min=	0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый					
системой=	0.400	: верхн. откл.=	0.400	нижн. откл.=	0.000
расчётный размер звена А7 :					
номинал=	70.844	max=	70.844	min=	70.444
припуск по звену А7	Z9 :				
допуск=	0.604	max=	0.814	min=	0.210
Решается разм. цепь 16 типа Z3	с неизв. звеном А3				
припуск ZMIN, рассчитанный системой=	1.000				
с о с т а в ц е п и :					
уменьш. звено А5 :		max=	14.823	min=	14.304
увелич. звено А3 :		max=	0.000	min=	0.000
увелич. звено А6 :		max=	8.710	min=	8.430
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый					
системой=	1.000	: верхн. откл.=	0.500	нижн. откл.=	-0.500
расчётный размер звена А3 :					
номинал=	7.893	max=	8.393	min=	7.393
припуск по звену А2	Z3 :				
допуск=	1.799	max=	2.799	min=	1.000
=====	звено А для расчета припуска - из другой РЦ !!!	=====			
Решается разм. цепь 17 типа Z10	с неизв. звеном А2				
припуск ZMIN, рассчитанный системой=	0.900				
с о с т а в ц е п и :					
уменьш. звено А3 :		max=	8.393	min=	7.393
уменьш. звено А7 :		max=	70.844	min=	70.444
увелич. звено А2 :		max=	0.000	min=	0.000
увелич. звено А5 :		max=	14.823	min=	14.304
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый					
системой=	1.600	: верхн. откл.=	0.800	нижн. откл.=	-0.800
расчётный размер звена А2 :					
номинал=	66.634	max=	67.434	min=	65.834
припуск по звену А1	Z10 :				
допуск=	3.520	max=	4.420	min=	0.900
=====	звено А для расчета припуска - из другой РЦ !!!	=====			
Решается разм. цепь 18 типа Z6	с неизв. звеном А1				
припуск ZMIN, рассчитанный системой=	0.900				
с о с т а в ц е п и :					
уменьш. звено А1 :		max=	0.000	min=	0.000
уменьш. звено А3 :		max=	8.393	min=	7.393
уменьш. звено А8 :		max=	9.004	min=	8.920
уменьш. звено А9 :		max=	61.230	min=	61.110
увелич. звено А2 :		max=	67.434	min=	65.834
увелич. звено А5 :		max=	14.823	min=	14.304
увелич. звено А10 :		max=	43.440	min=	43.099
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый					
системой=	1.000	: верхн. откл.=	0.500	нижн. откл.=	-0.500
расчётный размер звена А1 :					
номинал=	43.209	max=	43.709	min=	42.709
припуск по звену А1	Z6 :				
допуск=	4.664	max=	5.564	min=	0.900
Решается разм. цепь 19 типа Z1	с неизв. звеном А4				
припуск ZMIN, рассчитанный системой=	0.900				
с о с т а в ц е п и :					
уменьш. звено А2 :		max=	67.434	min=	65.834
уменьш. звено А5 :		max=	14.823	min=	14.304
увелич. звено А1 :		max=	43.709	min=	42.709
увелич. звено А3 :		max=	8.393	min=	7.393
увелич. звено А4 :		max=	0.000	min=	0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый					
системой=	1.000	: верхн. откл.=	0.500	нижн. откл.=	-0.500
расчётный размер звена А4 :					
номинал=	33.554	max=	34.054	min=	33.054
припуск по звену А4	Z1 :				
допуск=	5.120	max=	6.020	min=	0.900

Таблица 3 - Результаты расчета технологических РЦ по программе KON7 (С) Калачёв О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)

Замыкающие звенья

|

Составляющие звенья

P - черт.размер, Z - припуск				A - размеры заготовки и механообработки				kop7-122-120 D1 zz GRA HA--		
Ин- декс звена	Гра- ницы звена	Предел.значения		Ин- декс звена	Гра- ницы звена	Метод обработки	Номинал	Отклонения		
		max	min					Верхнее	Нижнее	
-14.06.2014-12:40:55-										
P1	14 17	23.200	22.800	A1	11 20	Литьё в земляные формы	43.209	0.500	-0.500	
P2	9 17	43.560	43.440	A2	4 20	Литьё в земляные формы	66.634	0.800	-0.800	
P3	3 9	26.000	25.790	A3	4 7	Литьё в земляные формы	7.893	0.500	-0.500	
P4	6 17	61.000	60.600	A4	1 11	Литьё в земляные формы	33.554	0.500	-0.500	
P5	6 7	6.300	5.300	A5	7 2	Точение от необр.пов.	14.304	0.520	0.000	
P6	6 13	36.500	36.250	A6	2 5	Точение черновое	8.430	0.280	0.000	
P7	9 12	9.180	8.720	A7	2 19	Точение черновое	70.844	0.000	-0.400	
P8	8 12	16.215	15.785	A8	2 6	Точение чистовое	8.920	0.084	0.000	
P9	12 16	21.760	21.240	A9	6 18	Точение чистовое	61.230	0.000	-0.120	
Z1	2 1	6.020	0.900	A10	18 10	Точение черновое	43.099	0.340	0.000	
Z2	3 2	0.548	0.380	A11	18 15	Точение черновое	22.721	0.280	0.000	
Z3	5 4	2.799	1.000	A12	6 17	Шлифование однократное	61.000	0.000	-0.029	
Z4	6 5	0.574	0.210	A13	6 9	Шлифование однократное	17.440	0.021	0.000	
Z5	9 10	0.691	0.210	A14	6 3	Точение чистовое	8.540	0.000	-0.084	
Z6	10 11	5.564	0.900	A15	6 14	Точение чистовое	37.800	0.100	0.000	
Z7	14 15	0.709	0.210	A16	17 13	Точение чистовое	24.500	0.084	0.000	
Z8	17 18	0.259	0.110	A17	17 16	Точение чистовое	12.720	0.084	0.000	
Z9	18 19	0.814	0.210	A18	17 12	Точение чистовое	34.380	0.100	0.000	
Z10	19 20	4.420	0.900	A19	17 8	Точение чистовое	50.264	0.120	0.000	

Таблица 4 - Баланс допусков в каждой размерной цепи

№ реш	Неизв звено	Номинал	Верхнее Нижнее	Запас точн.	Уравнения в символьной форме Баланс допусков
1	A12	61.000	0.000 -0.029	0.370	$P4=+A12$ $0.400=>0.029$
2	A15	37.800	0.100 0.000	0.271	$P1=-A15+A12$ $0.400=>0.100+0.029$
3	A13	17.440	0.021 0.000	0.070	$P2=-A13+A12$ $0.120=>0.021+0.029$
4	A16	24.500	0.084 0.000	0.137	$P6=-A16+A12$ $0.250=>0.084+0.029$
5	A9	61.230	0.000 -0.120	0.000	$Z8=-A12+A9$ $0.149=>0.029+0.120$
6	A14	8.540	0.000 -0.084	0.106	$P3=+A13+A14$ $0.210=>0.021+0.084$
7	A18	34.380	0.100 0.000	0.310	$P7=-A13-A18+A12$ $0.460=>0.021+0.100+0.029$
8	A10	43.099	0.340 0.000	0.000	$Z5=-A10-A13+A9$ $0.481=>0.340+0.021+0.120$
9	A11	22.721	0.280 0.000	0.000	$Z7=-A11-A15+A9$ $0.499=>0.280+0.100+0.120$
10	A19	50.264	0.120 0.000	0.211	$P8=-A18+A19$ $0.430=>0.100+0.120$
11	A17	12.720	0.084 0.000	0.337	$P9=-A17+A18$ $0.520=>0.084+0.100$
12	A8	8.920	0.084 0.000	0.000	$Z2=-A14+A8$ $0.168=>0.084+0.084$
13	A5	14.304	0.520 0.000	0.396	$P5=-A8+A5$ $1.000=>0.084+0.520$
14	A6	8.430	0.280 0.000	0.000	$Z4=-A6+A8$ $0.364=>0.280+0.084$
15	A7	70.844	0.000 -0.400	0.000	$Z9=-A8-A9+A7$ $0.604=>0.084+0.120+0.400$

16	A3	7.893	0.500	0.000	Z3=-A5+A3+A6 1.799=>0.520+1.000+0.280
17	A2	66.634	0.800	0.000	Z10=-A3-A7+A2+A5 3.520=>1.000+0.400+1.600+0.520
18	A1	43.209	0.500	0.000	Z6=-A1-A3-A8-A9+A2+A5+A10 4.664=>1.000+1.000+0.084+0.120+1.600+0.520+0.340
19	A4	33.554	0.500	0.000	Z1=-A2-A5+A1+A3+A4 5.120=>1.600+0.520+1.000+1.000+1.000

Таблица 5 - Припуски последней обработки каждой поверхности детали

№пов	№Z	Zmin	Zmax	ДопускZ	Zmax/Zmin	Сумма допусков
3	11	0.380	0.548	0.168	1.441	
6	13	0.210	0.574	0.364	2.733	
9	14	0.210	0.691	0.481	3.288	
14	16	0.210	0.709	0.499	3.379	
17	17	0.110	0.259	0.149	2.359	
						1.661

Таблица 6 - Частота вхождения каждого звена в размерные цепи

Звено	Число вхожд	Номер РЦ (Зам. зв. РЦ)
A1	2	10,15 (Z1,Z6)
A2	3	10,15,19 (Z1,Z6,Z10)
A3	4	10,12,15,19 (Z1,Z3,Z6,Z10)
A4	1	10 (Z1)
A5	5	5,10,12,15,19 (P5,Z1,Z3,Z6,Z10)
A6	2	12,13 (Z3,Z4)
A7	2	18,19 (Z9,Z10)
A8	5	5,11,13,15,18 (P5,Z2,Z4,Z6,Z9)
A9	5	14,15,16,17,18 (Z5,Z6,Z7,Z8,Z9)
A10	2	14,15 (Z5,Z6)
A11	1	16 (Z7)
A12	6	1,2,4,6,7,17 (P1,P2,P4,P6,P7,Z8)
A13	4	2,3,7,14 (P2,P3,P7,Z5)
A14	2	3,11 (P3,Z2)
A15	2	1,16 (P1,Z7)
A16	1	6 (P6)
A17	1	9 (P9)
A18	3	7,8,9 (P7,P8,P9)
A19	1	8 (P8)

Конец заказа Шкив
KON7 в. 122_120 D1 zz GRA HA 2014

Распечатка результатов расчета детали «Шкив» после изменения методов обработки

Исходные данные и результаты анализа технологических размерных цепей												
Программа KON7 (C) Калачев О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)												
Текст пользователя						Шкив						
Таблица 1 - Исходные данные (проверьте правильность ввода!)												
Сведения о заготовке:												
Материал.....						чугун						
Способ получения.....						Литьё в земляные формы						
Класс (степень) точности..						2						
Габаритный размер по направлению технологических размеров...						150.000						
Замыкающие звенья						Составляющие звенья: размеры А						
Р-черт.размер. Z-припуск						заготовки <-->, затем мех.обработки 0-->						
						Поп- Отклонения						
						реч- допуска DT						
						ный пользователя						
Зве- Границы			Предел.значения			Зве- Границы			Метод обработки			
но P: л-п			-----			но <----->			Сист раз-			
Z: н-с			max min			База-->			допу мер,			
									ска мм Верх. Нижне			
-----14.06.2014-12:38:28-----												
P1	14	17	23.200	22.800	A1	11	20	Литьё в земляные формы	ось	40	0.000	0.000

P2		9	17	43.560	43.440	A2		4	20	Литьё в земляные формы		ось		155	0.000	0.000
P3		3	9	26.000	25.790	A3		4	7	Литьё в земляные формы		ось		155	0.000	0.000
P4		6	17	61.000	60.600	A4		1	11	Литьё в земляные формы		ось		115	0.000	0.000
P5		6	7	6.300	5.300	A5		7	2	Точение от необр.пов.		отв		150	0.000	0.000
P6		6	13	36.500	36.250	A6		2	5	Точение черновое		отв		150	0.000	0.000
P7		9	12	9.180	8.720	A7		2	19	Точение черновое		вал		150	0.000	0.000
P8		8	12	16.215	15.785	A8		2	6	Точение чистовое		отв		150	0.000	0.000
P9		12	16	21.760	21.240	A9		6	18	Точение чистовое		вал		40	0.000	0.000
Z1		2	1	0.000	0.000	A10		18	10	Точение черновое		отв		150	0.000	0.000
Z2		3	2	0.000	0.000	A11		18	15	Точение черновое		отв		150	0.000	0.000
Z3		5	4	0.000	0.000	A12		6	17	Шлифование однократное		вал		40	0.000	0.000
Z4		6	5	0.000	0.000	A13		6	9	Шлифование тонкое		отв		40	0.000	0.000
Z5		9	10	0.000	0.000	A14		6	3	Точение чистовое		вал		150	0.000	0.000
Z6		10	11	0.000	0.000	A15		6	14	Шлифование тонкое		отв		150	0.000	0.000
Z7		14	15	0.000	0.000	A16		17	13	Точение чистовое		отв		150	0.000	0.000
Z8		17	18	0.000	0.000	A17		17	16	Точение чистовое		отв		150	0.000	0.000
Z9		18	19	0.000	0.000	A18		17	12	Точение чистовое		отв		150	0.000	0.000
Z10		19	20	0.000	0.000	A19		17	8	Точение чистовое		отв		150	0.000	0.000

Таблица 2 - Результаты поиска уравнений размерных цепей и последовательности их решения

Номер решения	Неизв. звено	Уравнения в символьной форме
1	A12	P4=+A12
2	A15	P1=-A15+A12
3	A13	P2=-A13+A12
4	A16	P6=-A16+A12
5	A9	Z8=-A12+A9
6	A14	P3=+A13+A14
7	A18	P7=-A13-A18+A12
8	A10	Z5=-A10-A13+A9
9	A11	Z7=-A11-A15+A9
10	A19	P8=-A18+A19
11	A17	P9=-A17+A18
12	A8	Z2=-A14+A8
13	A5	P5=-A8+A5
14	A6	Z4=-A6+A8
15	A7	Z9=-A8-A9+A7
16	A3	Z3=-A5+A3+A6
17	A2	Z10=-A3-A7+A2+A5
18	A1	Z6=-A1-A3-A8-A9+A2+A5+A10
19	A4	Z1=-A2-A5+A1+A3+A4

** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей **
KON7 (С) Калачев О.Н., 2014

Решается разм. цепь 1 типа "P" с неизв. звеном A12

с о с т а в ц е п и :

увелич. звено A12 : max= 0.000 min= 0.000
замык. звено - констр. размер P4 : max= 61.000 min= 60.600
результаты расчёта звена A12 : max= 61.000 min= 60.600
следовательно, расч. допуск= 0.400
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.030 : верхн. откл.= 0.030 нижн. откл.= 0.000
принимая расчётный размер звена A12 с учётом технолог. допуска:
номинал= 61.000 max= 61.000 min= 60.971

Решается разм. цепь 2 типа "P" с неизв. звеном A15

с о с т а в ц е п и :

уменьш. звено A15 : max= 0.000 min= 0.000
увелич. звено A12 : max= 61.000 min= 60.971
замык. звено - констр. размер P1 : max= 23.200 min= 22.800
результаты расчёта звена A15 : max= 38.171 min= 37.800
следовательно, расч. допуск= 0.371
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.017 : верхн. откл.= 0.017 нижн. откл.= 0.000
принимая расчётный размер звена A15 с учётом технолог. допуска:
номинал= 37.800 max= 37.816 min= 37.800

Решается разм. цепь 3 типа "P" с неизв. звеном A13

с о с т а в ц е п и :

уменьш. звено A13 : max= 0.000 min= 0.000
увелич. звено A12 : max= 61.000 min= 60.971
замык. звено - констр. размер P2 : max= 43.560 min= 43.440
результаты расчёта звена A13 : max= 17.531 min= 17.440
следовательно, расч. допуск= 0.091
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.014 : верхн. откл.= 0.014 нижн. откл.= 0.000

```

принимает расчётный размер звена A13 с учётом технолог. допуска:
номинал= 17.440 max= 17.453 min= 17.440
Решается разм. цепь 4 типа "P" с неизв. звеном A16
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A16 : max= 0.000 min= 0.000
увелич. звено A12 : max= 61.000 min= 60.971
замык. звено - констр. размер P6 : max= 36.500 min= 36.250
результаты расчёта звена A16 : max= 24.721 min= 24.500
следовательно, расч. допуск= 0.221
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.084 : верхн. откл.= 0.084 нижн. откл.= 0.000
принимает расчётный размер звена A16 с учётом технолог. допуска:
номинал= 24.500 max= 24.584 min= 24.500
Решается разм. цепь 5 типа Z8 с неизв. звеном A9
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.110
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A12 : max= 61.000 min= 60.971
увелич. звено A9 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.120 : верхн. откл.= 0.120 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A9 :
номинал= 61.230 max= 61.230 min= 61.110
припуск по звену A9 Z8 :
допуск= 0.149 max= 0.259 min= 0.110
Решается разм. цепь 6 типа "P" с неизв. звеном A14
с о с т а в ц е п и :
увелич. звено A13 : max= 17.453 min= 17.440
увелич. звено A14 : max= 0.000 min= 0.000
замык. звено - констр. размер P3 : max= 26.000 min= 25.790
результаты расчёта звена A14 : max= 8.547 min= 8.350
следовательно, расч. допуск= 0.197
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.084 : верхн. откл.= 0.084 нижн. откл.= 0.000
принимает расчётный размер звена A14 с учётом технолог. допуска:
номинал= 8.547 max= 8.547 min= 8.463
Решается разм. цепь 7 типа "P" с неизв. звеном A18
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A13 : max= 17.453 min= 17.440
уменьш. звено A18 : max= 0.000 min= 0.000
увелич. звено A12 : max= 61.000 min= 60.971
замык. звено - констр. размер P7 : max= 9.180 min= 8.720
результаты расчёта звена A18 : max= 34.797 min= 34.380
следовательно, расч. допуск= 0.417
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.100 : верхн. откл.= 0.100 нижн. откл.= 0.000
принимает расчётный размер звена A18 с учётом технолог. допуска:
номинал= 34.380 max= 34.480 min= 34.380
Решается разм. цепь 8 типа Z5 с неизв. звеном A10
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.210
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A10 : max= 0.000 min= 0.000
уменьш. звено A13 : max= 17.453 min= 17.440
увелич. звено A9 : max= 61.230 min= 61.110
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.340 : верхн. откл.= 0.340 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A10 :
номинал= 43.106 max= 43.447 min= 43.106
припуск по звену A10 Z5 :
допуск= 0.474 max= 0.684 min= 0.210
Решается разм. цепь 9 типа Z7 с неизв. звеном A11
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.210
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A11 : max= 0.000 min= 0.000
уменьш. звено A15 : max= 37.816 min= 37.800
увелич. звено A9 : max= 61.230 min= 61.110
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.280 : верхн. откл.= 0.280 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A11 :
номинал= 22.804 max= 23.084 min= 22.804
припуск по звену A11 Z7 :
допуск= 0.417 max= 0.627 min= 0.210
Решается разм. цепь 10 типа "P" с неизв. звеном A19
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A18 : max= 34.480 min= 34.380
увелич. звено A19 : max= 0.000 min= 0.000
замык. звено - констр. размер P8 : max= 16.215 min= 15.785
результаты расчёта звена A19 : max= 50.595 min= 50.264

```

```

следовательно, расч. допуск= 0.331
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.120 : верхн. откл.= 0.120 нижн. откл.= 0.000
принимаем расчётный размер звена A19 с учётом технолог. допуска:
номинал= 50.264 max= 50.384 min= 50.264
Решается разм. цепь 11 типа "P" с неизв. звеном A17
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A17 : max= 0.000 min= 0.000
увелич. звено A18 : max= 34.480 min= 34.380
замык. звено - констр. размер P9 : max= 21.760 min= 21.240
результаты расчёта звена A17 : max= 13.140 min= 12.720
следовательно, расч. допуск= 0.421
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.084 : верхн. откл.= 0.084 нижн. откл.= 0.000
принимаем расчётный размер звена A17 с учётом технолог. допуска:
номинал= 12.720 max= 12.803 min= 12.720
Решается разм. цепь 12 типа Z2 с неизв. звеном A8
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.380
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A14 : max= 8.547 min= 8.463
увелич. звено A8 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.084 : верхн. откл.= 0.084 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A8 :
номинал= 8.927 max= 9.011 min= 8.927
припуск по звену A5 Z2 :
допуск= 0.168 max= 0.548 min= 0.380
===== звено A для расчета припуска - из другой PЦ !!! =====
Решается разм. цепь 13 типа "P" с неизв. звеном A5
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A8 : max= 9.011 min= 8.927
увелич. звено A5 : max= 0.000 min= 0.000
замык. звено - констр. размер P5 : max= 6.300 min= 5.300
результаты расчёта звена A5 : max= 15.227 min= 14.311
следовательно, расч. допуск= 0.916
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.520 : верхн. откл.= 0.520 нижн. откл.= 0.000
принимаем расчётный размер звена A5 с учётом технолог. допуска:
номинал= 14.311 max= 14.830 min= 14.311
Решается разм. цепь 14 типа Z4 с неизв. звеном A6
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.210
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A6 : max= 0.000 min= 0.000
увелич. звено A8 : max= 9.011 min= 8.927
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.280 : верхн. откл.= 0.280 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A6 :
номинал= 8.437 max= 8.717 min= 8.437
припуск по звену A6 Z4 :
допуск= 0.364 max= 0.574 min= 0.210
Решается разм. цепь 15 типа Z9 с неизв. звеном A7
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.210
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A8 : max= 9.011 min= 8.927
уменьш. звено A9 : max= 61.230 min= 61.110
увелич. звено A7 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.400 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A7 :
номинал= 70.850 max= 70.850 min= 70.450
припуск по звену A7 Z9 :
допуск= 0.604 max= 0.814 min= 0.210
Решается разм. цепь 16 типа Z3 с неизв. звеном A3
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 1.000
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A5 : max= 14.830 min= 14.311
увелич. звено A3 : max= 0.000 min= 0.000
увелич. звено A6 : max= 8.717 min= 8.437
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 1.000 : верхн. откл.= 0.500 нижн. откл.= -0.500
расчётный размер звена A3 :
номинал= 7.893 max= 8.393 min= 7.393
припуск по звену A2 Z3 :
допуск= 1.799 max= 2.799 min= 1.000
===== звено A для расчета припуска - из другой PЦ !!! =====
Решается разм. цепь 17 типа Z10 с неизв. звеном A2
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.900

```

с о с т а в ц е п и :

уменьш. звено А3 : max= 8.393 min= 7.393
уменьш. звено А7 : max= 70.850 min= 70.450
увелич. звено А2 : max= 0.000 min= 0.000
увелич. звено А5 : max= 14.830 min= 14.311
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 1.600 : верхн. откл.= 0.800 нижн. откл.= -0.800
расчётный размер звена А2 :
номинал= 66.633 max= 67.433 min= 65.834
припуск по звену А1 Z10 :
допуск= 3.519 max= 4.419 min= 0.900
===== звено А для расчета припуска - из другой РЦ !!! =====
Решается разм. цепь 18 типа Z6 с неизв. звеном А1
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.900
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено А1 : max= 0.000 min= 0.000
уменьш. звено А3 : max= 8.393 min= 7.393
уменьш. звено А8 : max= 9.011 min= 8.927
уменьш. звено А9 : max= 61.230 min= 61.110
увелич. звено А2 : max= 67.433 min= 65.834
увелич. звено А5 : max= 14.830 min= 14.311
увелич. звено А10 : max= 43.447 min= 43.106
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 1.000 : верхн. откл.= 0.500 нижн. откл.= -0.500
расчётный размер звена А1 :
номинал= 43.217 max= 43.717 min= 42.717
припуск по звену А1 Z6 :
допуск= 4.663 max= 5.563 min= 0.900
Решается разм. цепь 19 типа Z1 с неизв. звеном А4
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.900
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено А2 : max= 67.433 min= 65.834
уменьш. звено А5 : max= 14.830 min= 14.311
увелич. звено А1 : max= 43.717 min= 42.717
увелич. звено А3 : max= 8.393 min= 7.393
увелич. звено А4 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 1.000 : верхн. откл.= 0.500 нижн. откл.= -0.500
расчётный размер звена А4 :
номинал= 33.554 max= 34.054 min= 33.054
припуск по звену А4 Z1 :
допуск= 5.119 max= 6.019 min= 0.900

Таблица 3 - Результаты расчета технологических РЦ
по программе KON7 (С) Калачёв О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)

Замыкающие звенья				Составляющие звенья				-----kon7-122-120 D1 zz GRA HA-----			
Р - черт.размер, Z - припуск				А - размеры заготовки и механообработки							
Ин-декс звена	Гра-ницы звена	Предел.значения		Ин-декс звена	Гра-ницы звена	Метод обработки		Номинал	Отклонения		
		max	min						Верхнее	Нижнее	
P1	14 17	23.200	22.800	A1	11 20	Литьё в земляные формы	43.217	0.500	-0.500		
P2	9 17	43.560	43.440	A2	4 20	Литьё в земляные формы	66.633	0.800	-0.800		
P3	3 9	26.000	25.790	A3	4 7	Литьё в земляные формы	7.893	0.500	-0.500		
P4	6 17	61.000	60.600	A4	1 11	Литьё в земляные формы	33.554	0.500	-0.500		
P5	6 7	6.300	5.300	A5	7 2	Точение от необр.пов.	14.311	0.520	0.000		
P6	6 13	36.500	36.250	A6	2 5	Точение черновое	8.437	0.280	0.000		
P7	9 12	9.180	8.720	A7	2 19	Точение черновое	70.850	0.000	-0.400		
P8	8 12	16.215	15.785	A8	2 6	Точение чистовое	8.927	0.084	0.000		
P9	12 16	21.760	21.240	A9	6 18	Точение чистовое	61.230	0.000	-0.120		
Z1	2 1	6.019	0.900	A10	18 10	Точение черновое	43.106	0.340	0.000		
Z2	3 2	0.548	0.380	A11	18 15	Точение черновое	22.804	0.280	0.000		
Z3	5 4	2.799	1.000	A12	6 17	Шлифование однократное	61.000	0.000	-0.029		
Z4	6 5	0.574	0.210	A13	6 9	Шлифование тонкое	17.440	0.014	0.000		
Z5	9 10	0.684	0.210	A14	6 3	Точение чистовое	8.547	0.000	-0.084		
Z6	10 11	5.563	0.900	A15	6 14	Шлифование тонкое	37.800	0.017	0.000		
Z7	14 15	0.627	0.210	A16	17 13	Точение чистовое	24.500	0.084	0.000		
Z8	17 18	0.259	0.110	A17	17 16	Точение чистовое	12.720	0.084	0.000		
Z9	18 19	0.814	0.210	A18	17 12	Точение чистовое	34.380	0.100	0.000		
Z10	19 20	4.419	0.900	A19	17 8	Точение чистовое	50.264	0.120	0.000		

Таблица 4 - Баланс допусков в каждой размерной цепи

№ | Неизв | Номинал | Верхнее | Запас | Уравнения в символьной форме

реш звено	Нижнее	точн.	Баланс допусков
1 A12 61.000 0.000 0.370 P4=+A12 -0.029 0.400=>0.029			
2 A15 37.800 0.017 0.354 P1=-A15+A12 0.000 0.400=>0.017+0.029			
3 A13 17.440 0.014 0.077 P2=-A13+A12 0.000 0.120=>0.014+0.029			
4 A16 24.500 0.084 0.137 P6=-A16+A12 0.000 0.250=>0.084+0.029			
5 A9 61.230 0.000 0.000 Z8=-A12+A9 -0.120 0.149=>0.029+0.120			
6 A14 8.547 0.000 0.113 P3=+A13+A14 -0.084 0.210=>0.014+0.084			
7 A18 34.380 0.100 0.317 P7=-A13-A18+A12 0.000 0.460=>0.014+0.100+0.029			
8 A10 43.106 0.340 0.000 Z5=-A10-A13+A9 0.000 0.474=>0.340+0.014+0.120			
9 A11 22.804 0.280 0.000 Z7=-A11-A15+A9 0.000 0.417=>0.280+0.017+0.120			
10 A19 50.264 0.120 0.211 P8=-A18+A19 0.000 0.430=>0.100+0.120			
11 A17 12.720 0.084 0.337 P9=-A17+A18 0.000 0.520=>0.084+0.100			
12 A8 8.927 0.084 0.000 Z2=-A14+A8 0.000 0.168=>0.084+0.084			
13 A5 14.311 0.520 0.396 P5=-A8+A5 0.000 1.000=>0.084+0.520			
14 A6 8.437 0.280 0.000 Z4=-A6+A8 0.000 0.364=>0.280+0.084			
15 A7 70.850 0.000 0.000 Z9=-A8-A9+A7 -0.400 0.604=>0.084+0.120+0.400			
16 A3 7.893 0.500 0.000 Z3=-A5+A3+A6 -0.500 1.799=>0.520+1.000+0.280			
17 A2 66.633 0.800 0.000 Z10=-A3-A7+A2+A5 -0.800 3.519=>1.000+0.400+1.600+0.520			
18 A1 43.217 0.500 0.000 Z6=-A1-A3-A8-A9+A2+A5+A10 -0.500 4.663=>1.000+1.000+0.084+0.120+1.600+0.520+0.340			
19 A4 33.554 0.500 0.000 Z1=-A2-A5+A1+A3+A4 -0.500 5.119=>1.600+0.520+1.000+1.000+1.000			

Таблица 5 - Припуски последней обработки каждой поверхности детали

№пов	№Z	Zmin	Zmax	ДопускZ	Zmax/Zmin	Сумма допусков
3	11	0.380	0.548	0.168	1.441	
6	13	0.210	0.574	0.364	2.733	
9	14	0.210	0.684	0.474	3.255	
14	16	0.210	0.627	0.417	2.983	
17	17	0.110	0.259	0.149	2.359	
						1.571

Таблица 6 - Частота вхождения каждого звена в размерные цепи

Звено	Число	Номер РЦ (Зам. зв. РЦ)
вхожд		
A1	2	10,15 (Z1,Z6)

A2		3		10,15,19	(Z1,Z6,Z10)
A3		4		10,12,15,19	(Z1,Z3,Z6,Z10)
A4		1		10	(Z1)
A5		5		5,10,12,15,19	(P5,Z1,Z3,Z6,Z10)
A6		2		12,13	(Z3,Z4)
A7		2		18,19	(Z9,Z10)
A8		5		5,11,13,15,18	(P5,Z2,Z4,Z6,Z9)
A9		5		14,15,16,17,18	(Z5,Z6,Z7,Z8,Z9)
A10		2		14,15	(Z5,Z6)
A11		1		16	(Z7)
A12		6		1,2,4,6,7,17	(P1,P2,P4,P6,P7,Z8)
A13		4		2,3,7,14	(P2,P3,P7,Z5)
A14		2		3,11	(P3,Z2)
A15		2		1,16	(P1,Z7)
A16		1		6	(P6)
A17		1		9	(P9)
A18		3		7,8,9	(P7,P8,P9)
A19		1		8	(P8)

Конец заказа Шкив
KON7 в. 122_120 D1 zz GRA HA 2014

Распечатка результатов расчета наиболее рационального варианта размерной структуры детали «Шкив»

Исходные данные и результаты анализа технологических размерных цепей												
Программа KON7 (C) Калачев О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)												
Текст пользователя						Шкив						
Таблица 1 - Исходные данные (проверьте правильность ввода!)												
Сведения о заготовке:												
Материал.....						чугун						
Способ получения.....						Литьё в земляные формы						
Класс (степень) точности..						2						
Габаритный размер по направлению технологических размеров...						150.000						

Замыкающие звенья				Составляющие звенья: размеры А				Поп-		Отклонения		
Р-черт.размер. Z-припуск				заготовки <-->, затем мех.обработки 0-->				реч-		допуска DT		
								ный		пользователя		

Зве-	Границы	Предел.значения		Зве-	Границы	Метод обработки		Сист	раз-			
но	P: л-п	-----		но	<----->			допу	мер,	-----		
	Z: н-с	max	min		База-->			ска	мм	Верх.	Нижнее	
-----14.06.2014-12:54:39-----												
P1	14 17	23.200	22.800	A1	11 20	Литьё в земляные формы		ось	40	0.000	0.000	
P2	9 17	43.560	43.440	A2	4 20	Литьё в земляные формы		ось	155	0.000	0.000	
P3	3 9	26.000	25.790	A3	4 7	Литьё в земляные формы		ось	155	0.000	0.000	
P4	6 17	61.000	60.600	A4	1 11	Литьё в земляные формы		ось	115	0.000	0.000	
P5	6 7	6.300	5.300	A5	7 2	Точение от необр.пов.		отв	150	0.000	0.000	
P6	6 13	36.500	36.250	A6	2 5	Точение черновое		отв	150	0.000	0.000	
P7	9 12	9.180	8.720	A7	2 19	Точение черновое		вал	150	0.000	0.000	
P8	8 12	16.215	15.785	A8	2 6	Точение чистовое		отв	150	0.000	0.000	
P9	12 16	21.760	21.240	A9	6 18	Точение чистовое		вал	40	0.066	0.000	
Z1	2 1	0.000	0.000	A10	18 10	Точение черновое		отв	150	0.000	0.000	
Z2	3 2	0.000	0.000	A11	18 15	Точение черновое		отв	150	0.000	0.000	
Z3	5 4	0.000	0.000	A12	6 17	Шлифование однократное		вал	40	0.000	0.000	
Z4	6 5	0.000	0.000	A13	6 9	Шлифование тонкое		отв	40	0.000	0.000	
Z5	9 10	0.000	0.000	A14	6 3	Точение чистовое		вал	150	0.000	0.000	
Z6	10 11	0.000	0.000	A15	6 14	Шлифование тонкое		отв	150	0.000	0.000	
Z7	14 15	0.000	0.000	A16	17 13	Точение чистовое		отв	150	0.000	0.000	
Z8	17 18	0.000	0.000	A17	17 16	Точение чистовое		отв	150	0.000	0.000	
Z9	18 19	0.000	0.000	A18	17 12	Точение чистовое		отв	150	0.000	0.000	
Z10	19 20	0.000	0.000	A19	17 8	Точение чистовое		отв	150	0.000	0.000	

Таблица 2 - Результаты поиска уравнений размерных цепей и последовательности их решения

Номер решения	Неизв. звено	Уравнения в символической форме
1	A12	P4=+A12
2	A15	P1=-A15+A12
3	A13	P2=-A13+A12
4	A16	P6=-A16+A12
5	A9	Z8=-A12+A9


```

замык. звено - констр. размер P3 :      max= 26.000  min= 25.790
результаты расчёта звена A14 :          max=   8.547  min=   8.350
следовательно, расч. допуск=            0.197
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.084 : верхн. откл.= 0.084  нижн. откл.= 0.000
принимаем расчётный размер звена A14 с учётом технолог. допуска:
номинал=   8.547                          max=   8.547  min=   8.463
Решается разм. цепь 7 типа "P" с неизв. звеном A18
с о с т а в   ц е п и   :
уменьш. звено A13 :                       max= 17.453  min= 17.440
уменьш. звено A18 :                       max=   0.000  min=   0.000
увелич. звено A12 :                       max= 61.000  min= 60.971
замык. звено - констр. размер P7 :      max=   9.180  min=   8.720
результаты расчёта звена A18 :          max= 34.797  min= 34.380
следовательно, расч. допуск=            0.417
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.100 : верхн. откл.= 0.100  нижн. откл.= 0.000
принимаем расчётный размер звена A18 с учётом технолог. допуска:
номинал= 34.380                          max= 34.480  min= 34.380
Решается разм. цепь 8 типа Z5 с неизв. звеном A10
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.210
с о с т а в   ц е п и   :
уменьш. звено A10 :                       max=   0.000  min=   0.000
уменьш. звено A13 :                       max= 17.453  min= 17.440
увелич. звено A9 :                        max= 61.176  min= 61.110
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.340 : верхн. откл.= 0.340  нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A10 :
номинал= 43.106                          max= 43.447  min= 43.106
припуск по звену A10 Z5 :                max=   0.630  min=   0.210
допуск=   0.420
Решается разм. цепь 9 типа Z7 с неизв. звеном A11
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.210
с о с т а в   ц е п и   :
уменьш. звено A11 :                       max=   0.000  min=   0.000
уменьш. звено A15 :                       max= 37.816  min= 37.800
увелич. звено A9 :                        max= 61.176  min= 61.110
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.280 : верхн. откл.= 0.280  нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A11 :
номинал= 22.804                          max= 23.084  min= 22.804
припуск по звену A11 Z7 :                max=   0.573  min=   0.210
допуск=   0.363
Решается разм. цепь 10 типа "P" с неизв. звеном A19
с о с т а в   ц е п и   :
уменьш. звено A18 :                       max= 34.480  min= 34.380
увелич. звено A19 :                       max=   0.000  min=   0.000
замык. звено - констр. размер P8 :      max= 16.215  min= 15.785
результаты расчёта звена A19 :          max= 50.595  min= 50.264
следовательно, расч. допуск=            0.331
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.120 : верхн. откл.= 0.120  нижн. откл.= 0.000
принимаем расчётный размер звена A19 с учётом технолог. допуска:
номинал= 50.264                          max= 50.384  min= 50.264
Решается разм. цепь 11 типа "P" с неизв. звеном A17
с о с т а в   ц е п и   :
уменьш. звено A17 :                       max=   0.000  min=   0.000
увелич. звено A18 :                       max= 34.480  min= 34.380
замык. звено - констр. размер P9 :      max= 21.760  min= 21.240
результаты расчёта звена A17 :          max= 13.140  min= 12.720
следовательно, расч. допуск=            0.421
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.084 : верхн. откл.= 0.084  нижн. откл.= 0.000
принимаем расчётный размер звена A17 с учётом технолог. допуска:
номинал= 12.720                          max= 12.803  min= 12.720
Решается разм. цепь 12 типа Z2 с неизв. звеном A8
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.380
с о с т а в   ц е п и   :
уменьш. звено A14 :                       max=   8.547  min=   8.463
увелич. звено A8 :                       max=   0.000  min=   0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.084 : верхн. откл.= 0.084  нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A8 :
номинал=   8.927                          max=   9.011  min=   8.927
припуск по звену A5 Z2 :                max=   0.548  min=   0.380
допуск=   0.168
===== звено A для расчета припуска - из другой PЦ !!! =====

```

```

Решается разм. цепь 13 типа "P" с неизв. звеном А5
с о с т а в   ц е п и :
уменьш. звено А8 :                               max=   9.011   min=   8.927
увелич. звено А5 :                               max=   0.000   min=   0.000
замык. звено - констр. размер P5 :               max=   6.300   min=   5.300
результаты расчёта звена А5 :                   max=  15.227   min=  14.311
следовательно, расч. допуск=   0.916
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.520 : верхн. откл.= 0.520  нижн. откл.= 0.000
принимая расчётный размер звена А5 с учётом технолог. допуска:
номинал= 14.311                               max=  14.830   min=  14.311
Решается разм. цепь 14 типа Z4 с неизв. звеном А6
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.210
с о с т а в   ц е п и :
уменьш. звено А6 :                               max=   0.000   min=   0.000
увелич. звено А8 :                               max=   9.011   min=   8.927
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.280 : верхн. откл.= 0.280  нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена А6 :
номинал=   8.437                               max=   8.717   min=   8.437
припуск по звену А6   Z4 :
допуск=   0.364                               max=   0.574   min=   0.210
Решается разм. цепь 15 типа Z9 с неизв. звеном А7
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.210
с о с т а в   ц е п и :
уменьш. звено А8 :                               max=   9.011   min=   8.927
уменьш. звено А9 :                               max=  61.176   min=  61.110
увелич. звено А7 :                               max=   0.000   min=   0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.400 : верхн. откл.= 0.400  нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена А7 :
номинал=  70.797                               max=  70.797   min=  70.397
припуск по звену А7   Z9 :
допуск=   0.550                               max=   0.760   min=   0.210
Решается разм. цепь 16 типа Z3 с неизв. звеном А3
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 1.000
с о с т а в   ц е п и :
уменьш. звено А5 :                               max=  14.830   min=  14.311
увелич. звено А3 :                               max=   0.000   min=   0.000
увелич. звено А6 :                               max=   8.717   min=   8.437
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 1.000 : верхн. откл.= 0.500  нижн. откл.= -0.500
расчётный размер звена А3 :
номинал=   7.893                               max=   8.393   min=   7.393
припуск по звену А2   Z3 :
допуск=   1.799                               max=   2.799   min=   1.000
===== звено А для расчета припуска - из другой РЦ !!! =====
Решается разм. цепь 17 типа Z10 с неизв. звеном А2
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.900
с о с т а в   ц е п и :
уменьш. звено А3 :                               max=   8.393   min=   7.393
уменьш. звено А7 :                               max=  70.797   min=  70.397
увелич. звено А2 :                               max=   0.000   min=   0.000
увелич. звено А5 :                               max=  14.830   min=  14.311
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 1.600 : верхн. откл.= 0.800  нижн. откл.= -0.800
расчётный размер звена А2 :
номинал=  66.580                               max=  67.380   min=  65.780
припуск по звену А1   Z10 :
допуск=   3.519                               max=   4.419   min=   0.900
===== звено А для расчета припуска - из другой РЦ !!! =====
Решается разм. цепь 18 типа Z6 с неизв. звеном А1
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.900
с о с т а в   ц е п и :
уменьш. звено А1 :                               max=   0.000   min=   0.000
уменьш. звено А3 :                               max=   8.393   min=   7.393
уменьш. звено А8 :                               max=   9.011   min=   8.927
уменьш. звено А9 :                               max=  61.176   min=  61.110
увелич. звено А2 :                               max=  67.380   min=  65.780
увелич. звено А5 :                               max=  14.830   min=  14.311
увелич. звено А10 :                              max=  43.447   min=  43.106
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 1.000 : верхн. откл.= 0.500  нижн. откл.= -0.500
расчётный размер звена А1 :
номинал=  43.217                               max=  43.717   min=  42.717
припуск по звену А1   Z6 :
допуск=   4.609                               max=   5.509   min=   0.900

```

Решается разм. цепь 19 типа Z1 с неизв. звеном A4			
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.900			
с о с т а в ц е п и :			
уменьш. звено A2 :	max=	67.380	min= 65.780
уменьш. звено A5 :	max=	14.830	min= 14.311
увелич. звено A1 :	max=	43.717	min= 42.717
увелич. звено A3 :	max=	8.393	min= 7.393
увелич. звено A4 :	max=	0.000	min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый			
системой= 1.000 : верхн. откл.= 0.500 нижн. откл.= -0.500			
расчётный размер звена A4 :			
номинал= 33.500	max=	34.000	min= 33.000
припуск по звену A4 Z1 :			
допуск= 5.119	max=	6.019	min= 0.900

Таблица 3 - Результаты расчета технологических РЦ по программе KON7 (C) Калачёв О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)

Замыкающие звенья				Составляющие звенья				kop7-122-120 D1 zz GRA HA--		
P - черт. размер, Z - припуск				A - размеры заготовки и механообработки						
Ин-декс звена	Гра-ницы звена	Предел. значения max	Предел. значения min	Ин-декс звена	Гра-ницы звена	Метод обработки	Номинал	Отклонения		
								Верхнее	Нижнее	
-14.06.2014-12:54:39-										
P1	14 17	23.200	22.800	A1	11 20	Литьё в земляные формы	43.217	0.500	-0.500	
P2	9 17	43.560	43.440	A2	4 20	Литьё в земляные формы	66.580	0.800	-0.800	
P3	3 9	26.000	25.790	A3	4 7	Литьё в земляные формы	7.893	0.500	-0.500	
P4	6 17	61.000	60.600	A4	1 11	Литьё в земляные формы	33.500	0.500	-0.500	
P5	6 7	6.300	5.300	A5	7 2	Точение от необр. пов.	14.311	0.520	0.000	
P6	6 13	36.500	36.250	A6	2 5	Точение черновое	8.437	0.280	0.000	
P7	9 12	9.180	8.720	A7	2 19	Точение черновое	70.797	0.000	-0.400	
P8	8 12	16.215	15.785	A8	2 6	Точение чистовое	8.927	0.084	0.000	
P9	12 16	21.760	21.240	A9	6 18	Точение чистовое	61.176	0.000	-0.066	
Z1	2 1	6.019	0.900	A10	18 10	Точение черновое	43.106	0.340	0.000	
Z2	3 2	0.548	0.380	A11	18 15	Точение черновое	22.804	0.280	0.000	
Z3	5 4	2.799	1.000	A12	6 17	Шлифование однократное	61.000	0.000	-0.029	
Z4	6 5	0.574	0.210	A13	6 9	Шлифование тонкое	17.440	0.014	0.000	
Z5	9 10	0.630	0.210	A14	6 3	Точение чистовое	8.547	0.000	-0.084	
Z6	10 11	5.509	0.900	A15	6 14	Шлифование тонкое	37.800	0.017	0.000	
Z7	14 15	0.573	0.210	A16	17 13	Точение чистовое	24.500	0.084	0.000	
Z8	17 18	0.206	0.110	A17	17 16	Точение чистовое	12.720	0.084	0.000	
Z9	18 19	0.760	0.210	A18	17 12	Точение чистовое	34.380	0.100	0.000	
Z10	19 20	4.419	0.900	A19	17 8	Точение чистовое	50.264	0.120	0.000	

Таблица 4 - Баланс допусков в каждой размерной цепи

№ реш	Неизв звено	Номинал	Верхнее	Нижнее	Запас точн.	Уравнения в символической форме Баланс допусков
1	A12	61.000	0.000	-0.029	0.370	P4=+A12 0.400=>0.029
2	A15	37.800	0.017	0.000	0.354	P1=-A15+A12 0.400=>0.017+0.029
3	A13	17.440	0.014	0.000	0.077	P2=-A13+A12 0.120=>0.014+0.029
4	A16	24.500	0.084	0.000	0.137	P6=-A16+A12 0.250=>0.084+0.029
5	A9	61.176	0.000	-0.066	0.000	Z8=-A12+A9 0.096=>0.029+0.066
6	A14	8.547	0.000	-0.084	0.113	P3=+A13+A14 0.210=>0.014+0.084
7	A18	34.380	0.100	0.000	0.317	P7=-A13-A18+A12 0.460=>0.014+0.100+0.029
8	A10	43.106	0.340	0.000	0.000	Z5=-A10-A13+A9 0.420=>0.340+0.014+0.066
9	A11	22.804	0.280	0.000	0.000	Z7=-A11-A15+A9 0.363=>0.280+0.017+0.066

10	A19	50.264	0.120	0.211	P8=-A18+A19 0.430=>0.100+0.120
11	A17	12.720	0.084	0.337	P9=-A17+A18 0.520=>0.084+0.100
12	A8	8.927	0.084	0.000	Z2=-A14+A8 0.168=>0.084+0.084
13	A5	14.311	0.520	0.396	P5=-A8+A5 1.000=>0.084+0.520
14	A6	8.437	0.280	0.000	Z4=-A6+A8 0.364=>0.280+0.084
15	A7	70.797	0.000	0.000	Z9=-A8-A9+A7 -0.400 0.550=>0.084+0.066+0.400
16	A3	7.893	0.500	0.000	Z3=-A5+A3+A6 -0.500 1.799=>0.520+1.000+0.280
17	A2	66.580	0.800	0.000	Z10=-A3-A7+A2+A5 -0.800 3.519=>1.000+0.400+1.600+0.520
18	A1	43.217	0.500	0.000	Z6=-A1-A3-A8-A9+A2+A5+A10 -0.500 4.609=>1.000+1.000+0.084+0.066+1.600+0.520+0.340
19	A4	33.500	0.500	0.000	Z1=-A2-A5+A1+A3+A4 -0.500 5.119=>1.600+0.520+1.000+1.000+1.000

Таблица 5 - Припуски последней обработки каждой поверхности детали

№пов	№Z	Zmin	Zmax	ДопускZ	Zmax/Zmin	Сумма допусков
3	11	0.380	0.548	0.168	1.441	
6	13	0.210	0.574	0.364	2.733	
9	14	0.210	0.630	0.420	2.998	
14	16	0.210	0.573	0.363	2.726	
17	17	0.110	0.206	0.096	1.868	
						1.409

Таблица 6 - Частота вхождения каждого звена в размерные цепи

Звено	Число вхожд	Номер РЦ (Зам. зв. РЦ)
A1	2	10,15 (Z1,Z6)
A2	3	10,15,19 (Z1,Z6,Z10)
A3	4	10,12,15,19 (Z1,Z3,Z6,Z10)
A4	1	10 (Z1)
A5	5	5,10,12,15,19 (P5,Z1,Z3,Z6,Z10)
A6	2	12,13 (Z3,Z4)
A7	2	18,19 (Z9,Z10)
A8	5	5,11,13,15,18 (P5,Z2,Z4,Z6,Z9)
A9	5	14,15,16,17,18 (Z5,Z6,Z7,Z8,Z9)
A10	2	14,15 (Z5,Z6)
A11	1	16 (Z7)
A12	6	1,2,4,6,7,17 (P1,P2,P4,P6,P7,Z8)
A13	4	2,3,7,14 (P2,P3,P7,Z5)
A14	2	3,11 (P3,Z2)
A15	2	1,16 (P1,Z7)
A16	1	6 (P6)
A17	1	9 (P9)
A18	3	7,8,9 (P7,P8,P9)
A19	1	8 (P8)

Конец заказа Шкив
KON7 в. 122_120 D1 zz GRA HA 2014

Исходные данные анализа детали «Шкив» с изменением схемы базирования

KON7: Расчет технологических РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ, (С) О.Н.Калачев, 2014

Текст пользователя Шкив
 Код материала заготовки 3
 Метод получения заготовки 1
 Класс точности отливки 2
 Форма детали 0
 Число звеньев 19
 Наибольший габаритный размер ... 150.000

1	14	17	23.200	22.800	11	20	41	2	40.000	0.000	0.000
2	9	17	43.560	43.440	4	20	41	2	155.000	0.000	0.000
3	3	9	26.000	25.790	4	7	41	2	155.000	0.000	0.000
4	6	17	61.000	60.600	1	11	41	2	115.000	0.000	0.000
5	6	7	6.300	5.300	7	2	71	0	150.000	0.000	0.000
6	6	13	36.500	36.250	2	5	72	0	150.000	0.000	0.000
7	9	12	9.180	8.720	2	19	72	1	150.000	0.000	0.000
8	8	12	16.215	15.785	2	6	74	0	150.000	0.000	0.000
9	12	16	21.760	21.240	6	18	74	1	40.000	0.000	0.000
10	2	1	0.000	0.000	18	10	72	0	150.000	0.000	0.000
11	3	2	0.000	0.000	18	15	72	0	150.000	0.000	0.000
12	5	4	0.000	0.000	6	17	113	1	40.000	0.000	0.000
13	6	5	0.000	0.000	6	9	113	0	40.000	0.000	0.000
14	9	10	0.000	0.000	6	3	74	1	150.000	0.000	0.000
15	10	11	0.000	0.000	6	14	74	0	150.000	0.000	0.000
16	14	15	0.000	0.000	17	13	74	0	150.000	0.000	0.000
17	17	18	0.000	0.000	17	16	74	0	150.000	0.000	0.000
18	18	19	0.000	0.000	17	12	74	0	150.000	0.000	0.000
19	19	20	0.000	0.000	17	8	74	0	150.000	0.000	0.000

Исходные данные размерного анализа детали «Шкив» после изменения методов обработки

KON7: Расчет технологических РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ, (С) О.Н.Калачев, 2014

Текст пользователя Шкив
 Код материала заготовки 3
 Метод получения заготовки 1
 Класс точности отливки 2
 Форма детали 0
 Число звеньев 19
 Наибольший габаритный размер ... 150.000

1	14	17	23.200	22.800	11	20	41	2	40.000	0.000	0.000
2	9	17	43.560	43.440	4	20	41	2	155.000	0.000	0.000
3	3	9	26.000	25.790	4	7	41	2	155.000	0.000	0.000
4	6	17	61.000	60.600	1	11	41	2	115.000	0.000	0.000
5	6	7	6.300	5.300	7	2	71	0	150.000	0.000	0.000
6	6	13	36.500	36.250	2	5	72	0	150.000	0.000	0.000
7	9	12	9.180	8.720	2	19	72	1	150.000	0.000	0.000
8	8	12	16.215	15.785	2	6	74	0	150.000	0.000	0.000
9	12	16	21.760	21.240	6	18	74	1	40.000	0.000	0.000
10	2	1	0.000	0.000	18	10	72	0	150.000	0.000	0.000
11	3	2	0.000	0.000	18	15	72	0	150.000	0.000	0.000
12	5	4	0.000	0.000	6	17	113	1	40.000	0.000	0.000
13	6	5	0.000	0.000	6	9	115	0	40.000	0.000	0.000
14	9	10	0.000	0.000	6	3	74	1	150.000	0.000	0.000
15	10	11	0.000	0.000	6	14	115	0	150.000	0.000	0.000
16	14	15	0.000	0.000	17	13	74	0	150.000	0.000	0.000
17	17	18	0.000	0.000	17	16	74	0	150.000	0.000	0.000
18	18	19	0.000	0.000	17	12	74	0	150.000	0.000	0.000
19	19	20	0.000	0.000	17	8	74	0	150.000	0.000	0.000

Исходные данные размерного анализа детали «Шкив» с допуском TA9=0,100

KON7: Расчет технологических РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ, (С) О.Н.Калачев, 2014

Текст пользователя Шкив
 Код материала заготовки 3
 Метод получения заготовки 1
 Класс точности отливки 2
 Форма детали 0
 Число звеньев 19
 Наибольший габаритный размер ... 150.000

1	14	17	23.200	22.800	11	20	41	2	40.000	0.000	0.000
2	9	17	43.560	43.440	4	20	41	2	155.000	0.000	0.000
3	3	9	26.000	25.790	4	7	41	2	155.000	0.000	0.000
4	6	17	61.000	60.600	1	11	41	2	115.000	0.000	0.000
5	6	7	6.300	5.300	7	2	71	0	150.000	0.000	0.000
6	6	13	36.500	36.250	2	5	72	0	150.000	0.000	0.000
7	9	12	9.180	8.720	2	19	72	1	150.000	0.000	0.000
8	8	12	16.215	15.785	2	6	74	0	150.000	0.000	0.000
9	12	16	21.760	21.240	6	18	74	1	40.000	0.100	0.000
10	2	1	0.000	0.000	18	10	72	0	150.000	0.000	0.000
11	3	2	0.000	0.000	18	15	72	0	150.000	0.000	0.000
12	5	4	0.000	0.000	6	17	113	1	40.000	0.000	0.000
13	6	5	0.000	0.000	6	9	115	0	40.000	0.000	0.000
14	9	10	0.000	0.000	6	3	74	1	150.000	0.000	0.000
15	10	11	0.000	0.000	6	14	115	0	150.000	0.000	0.000
16	14	15	0.000	0.000	17	13	74	0	150.000	0.000	0.000
17	17	18	0.000	0.000	17	16	74	0	150.000	0.000	0.000
18	18	19	0.000	0.000	17	12	74	0	150.000	0.000	0.000
19	19	20	0.000	0.000	17	8	74	0	150.000	0.000	0.000

Исходные данные размерного анализа детали «Шкив» с допуском TA9=0,080

KON7: Расчет технологических РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ, (С) О.Н.Калачев, 2014

Текст пользователя Шкив
 Код материала заготовки 3
 Метод получения заготовки 1
 Класс точности отливки 2
 Форма детали 0
 Число звеньев 19
 Наибольший габаритный размер ... 150.000

1	14	17	23.200	22.800	11	20	41	2	40.000	0.000	0.000
2	9	17	43.560	43.440	4	20	41	2	155.000	0.000	0.000
3	3	9	26.000	25.790	4	7	41	2	155.000	0.000	0.000
4	6	17	61.000	60.600	1	11	41	2	115.000	0.000	0.000
5	6	7	6.300	5.300	7	2	71	0	150.000	0.000	0.000
6	6	13	36.500	36.250	2	5	72	0	150.000	0.000	0.000
7	9	12	9.180	8.720	2	19	72	1	150.000	0.000	0.000
8	8	12	16.215	15.785	2	6	74	0	150.000	0.000	0.000
9	12	16	21.760	21.240	6	18	74	1	40.000	0.080	0.000
10	2	1	0.000	0.000	18	10	72	0	150.000	0.000	0.000
11	3	2	0.000	0.000	18	15	72	0	150.000	0.000	0.000
12	5	4	0.000	0.000	6	17	113	1	40.000	0.000	0.000
13	6	5	0.000	0.000	6	9	115	0	40.000	0.000	0.000
14	9	10	0.000	0.000	6	3	74	1	150.000	0.000	0.000
15	10	11	0.000	0.000	6	14	115	0	150.000	0.000	0.000
16	14	15	0.000	0.000	17	13	74	0	150.000	0.000	0.000
17	17	18	0.000	0.000	17	16	74	0	150.000	0.000	0.000
18	18	19	0.000	0.000	17	12	74	0	150.000	0.000	0.000
19	19	20	0.000	0.000	17	8	74	0	150.000	0.000	0.000

Исходные данные размерного анализа детали «Шкив» с допуском TA9=0,060

KON7: Расчет технологических РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ, (С) О.Н.Калачев, 2014

Текст пользователя Шкив
 Код материала заготовки 3
 Метод получения заготовки 1
 Класс точности отливки 2
 Форма детали 0
 Число звеньев 19
 Наибольший габаритный размер ... 150.000

1	14	17	23.200	22.800	11	20	41	2	40.000	0.000	0.000
2	9	17	43.560	43.440	4	20	41	2	155.000	0.000	0.000
3	3	9	26.000	25.790	4	7	41	2	155.000	0.000	0.000
4	6	17	61.000	60.600	1	11	41	2	115.000	0.000	0.000
5	6	7	6.300	5.300	7	2	71	0	150.000	0.000	0.000
6	6	13	36.500	36.250	2	5	72	0	150.000	0.000	0.000
7	9	12	9.180	8.720	2	19	72	1	150.000	0.000	0.000
8	8	12	16.215	15.785	2	6	74	0	150.000	0.000	0.000
9	12	16	21.760	21.240	6	18	74	1	40.000	0.060	0.000
10	2	1	0.000	0.000	18	10	72	0	150.000	0.000	0.000
11	3	2	0.000	0.000	18	15	72	0	150.000	0.000	0.000
12	5	4	0.000	0.000	6	17	113	1	40.000	0.000	0.000
13	6	5	0.000	0.000	6	9	115	0	40.000	0.000	0.000
14	9	10	0.000	0.000	6	3	74	1	150.000	0.000	0.000
15	10	11	0.000	0.000	6	14	115	0	150.000	0.000	0.000
16	14	15	0.000	0.000	17	13	74	0	150.000	0.000	0.000
17	17	18	0.000	0.000	17	16	74	0	150.000	0.000	0.000
18	18	19	0.000	0.000	17	12	74	0	150.000	0.000	0.000
19	19	20	0.000	0.000	17	8	74	0	150.000	0.000	0.000

Исходные данные размерного анализа детали «Шкив» с допуском TA9=0,070

KON7: Расчет технологических РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ, (С) О.Н.Калачев, 2014

Текст пользователя Шкив
 Код материала заготовки 3
 Метод получения заготовки 1
 Класс точности отливки 2
 Форма детали 0
 Число звеньев 19
 Наибольший габаритный размер ... 150.000

1	14	17	23.200	22.800	11	20	41	2	40.000	0.000	0.000
2	9	17	43.560	43.440	4	20	41	2	155.000	0.000	0.000
3	3	9	26.000	25.790	4	7	41	2	155.000	0.000	0.000
4	6	17	61.000	60.600	1	11	41	2	115.000	0.000	0.000
5	6	7	6.300	5.300	7	2	71	0	150.000	0.000	0.000
6	6	13	36.500	36.250	2	5	72	0	150.000	0.000	0.000
7	9	12	9.180	8.720	2	19	72	1	150.000	0.000	0.000
8	8	12	16.215	15.785	2	6	74	0	150.000	0.000	0.000
9	12	16	21.760	21.240	6	18	74	1	40.000	0.070	0.000
10	2	1	0.000	0.000	18	10	72	0	150.000	0.000	0.000
11	3	2	0.000	0.000	18	15	72	0	150.000	0.000	0.000
12	5	4	0.000	0.000	6	17	113	1	40.000	0.000	0.000
13	6	5	0.000	0.000	6	9	115	0	40.000	0.000	0.000
14	9	10	0.000	0.000	6	3	74	1	150.000	0.000	0.000
15	10	11	0.000	0.000	6	14	115	0	150.000	0.000	0.000
16	14	15	0.000	0.000	17	13	74	0	150.000	0.000	0.000
17	17	18	0.000	0.000	17	16	74	0	150.000	0.000	0.000
18	18	19	0.000	0.000	17	12	74	0	150.000	0.000	0.000
19	19	20	0.000	0.000	17	8	74	0	150.000	0.000	0.000

Исходные данные размерного анализа детали «Шкив» с допуском TA9=0,069

KON7: Расчет технологических РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ, (С) О.Н.Калачев, 2014

Текст пользователя Шкив
 Код материала заготовки 3
 Метод получения заготовки 1
 Класс точности отливки 2
 Форма детали 0
 Число звеньев 19
 Наибольший габаритный размер ... 150.000

1	14	17	23.200	22.800	11	20	41	2	40.000	0.000	0.000
2	9	17	43.560	43.440	4	20	41	2	155.000	0.000	0.000
3	3	9	26.000	25.790	4	7	41	2	155.000	0.000	0.000
4	6	17	61.000	60.600	1	11	41	2	115.000	0.000	0.000
5	6	7	6.300	5.300	7	2	71	0	150.000	0.000	0.000
6	6	13	36.500	36.250	2	5	72	0	150.000	0.000	0.000
7	9	12	9.180	8.720	2	19	72	1	150.000	0.000	0.000
8	8	12	16.215	15.785	2	6	74	0	150.000	0.000	0.000
9	12	16	21.760	21.240	6	18	74	1	40.000	0.069	0.000
10	2	1	0.000	0.000	18	10	72	0	150.000	0.000	0.000
11	3	2	0.000	0.000	18	15	72	0	150.000	0.000	0.000
12	5	4	0.000	0.000	6	17	113	1	40.000	0.000	0.000
13	6	5	0.000	0.000	6	9	115	0	40.000	0.000	0.000
14	9	10	0.000	0.000	6	3	74	1	150.000	0.000	0.000
15	10	11	0.000	0.000	6	14	115	0	150.000	0.000	0.000
16	14	15	0.000	0.000	17	13	74	0	150.000	0.000	0.000
17	17	18	0.000	0.000	17	16	74	0	150.000	0.000	0.000
18	18	19	0.000	0.000	17	12	74	0	150.000	0.000	0.000
19	19	20	0.000	0.000	17	8	74	0	150.000	0.000	0.000

Исходные данные размерного анализа детали «Шкив» с допуском TA9=0,068

KON7: Расчет технологических РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ, (С) О.Н.Калачев, 2014

Текст пользователя Шкив
 Код материала заготовки 3
 Метод получения заготовки 1
 Класс точности отливки 2
 Форма детали 0
 Число звеньев 19
 Наибольший габаритный размер ... 150.000

1	14	17	23.200	22.800	11	20	41	2	40.000	0.000	0.000
2	9	17	43.560	43.440	4	20	41	2	155.000	0.000	0.000
3	3	9	26.000	25.790	4	7	41	2	155.000	0.000	0.000
4	6	17	61.000	60.600	1	11	41	2	115.000	0.000	0.000
5	6	7	6.300	5.300	7	2	71	0	150.000	0.000	0.000
6	6	13	36.500	36.250	2	5	72	0	150.000	0.000	0.000
7	9	12	9.180	8.720	2	19	72	1	150.000	0.000	0.000
8	8	12	16.215	15.785	2	6	74	0	150.000	0.000	0.000
9	12	16	21.760	21.240	6	18	74	1	40.000	0.068	0.000
10	2	1	0.000	0.000	18	10	72	0	150.000	0.000	0.000
11	3	2	0.000	0.000	18	15	72	0	150.000	0.000	0.000
12	5	4	0.000	0.000	6	17	113	1	40.000	0.000	0.000
13	6	5	0.000	0.000	6	9	115	0	40.000	0.000	0.000
14	9	10	0.000	0.000	6	3	74	1	150.000	0.000	0.000
15	10	11	0.000	0.000	6	14	115	0	150.000	0.000	0.000
16	14	15	0.000	0.000	17	13	74	0	150.000	0.000	0.000
17	17	18	0.000	0.000	17	16	74	0	150.000	0.000	0.000
18	18	19	0.000	0.000	17	12	74	0	150.000	0.000	0.000
19	19	20	0.000	0.000	17	8	74	0	150.000	0.000	0.000

Исходные данные размерного анализа детали «Шкив» с допуском TA9=0,067

KON7: Расчет технологических РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ, (С) О.Н.Калачев, 2014

Текст пользователя Шкив
 Код материала заготовки 3
 Метод получения заготовки 1
 Класс точности отливки 2
 Форма детали 0
 Число звеньев 19
 Наибольший габаритный размер ... 150.000

1	14	17	23.200	22.800	11	20	41	2	40.000	0.000	0.000
2	9	17	43.560	43.440	4	20	41	2	155.000	0.000	0.000
3	3	9	26.000	25.790	4	7	41	2	155.000	0.000	0.000
4	6	17	61.000	60.600	1	11	41	2	115.000	0.000	0.000
5	6	7	6.300	5.300	7	2	71	0	150.000	0.000	0.000
6	6	13	36.500	36.250	2	5	72	0	150.000	0.000	0.000
7	9	12	9.180	8.720	2	19	72	1	150.000	0.000	0.000
8	8	12	16.215	15.785	2	6	74	0	150.000	0.000	0.000
9	12	16	21.760	21.240	6	18	74	1	40.000	0.067	0.000
10	2	1	0.000	0.000	18	10	72	0	150.000	0.000	0.000
11	3	2	0.000	0.000	18	15	72	0	150.000	0.000	0.000
12	5	4	0.000	0.000	6	17	113	1	40.000	0.000	0.000
13	6	5	0.000	0.000	6	9	115	0	40.000	0.000	0.000
14	9	10	0.000	0.000	6	3	74	1	150.000	0.000	0.000
15	10	11	0.000	0.000	6	14	115	0	150.000	0.000	0.000
16	14	15	0.000	0.000	17	13	74	0	150.000	0.000	0.000
17	17	18	0.000	0.000	17	16	74	0	150.000	0.000	0.000
18	18	19	0.000	0.000	17	12	74	0	150.000	0.000	0.000
19	19	20	0.000	0.000	17	8	74	0	150.000	0.000	0.000

Исходные данные размерного анализа детали «Шкив» с допуском TA9=0,066

KON7: Расчет технологических РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ, (С) О.Н.Калачев, 2014

Текст пользователя Шкив
 Код материала заготовки 3
 Метод получения заготовки 1
 Класс точности отливки 2
 Форма детали 0
 Число звеньев 19
 Наибольший габаритный размер ... 150.000

1	14	17	23.200	22.800	11	20	41	2	40.000	0.000	0.000
2	9	17	43.560	43.440	4	20	41	2	155.000	0.000	0.000
3	3	9	26.000	25.790	4	7	41	2	155.000	0.000	0.000
4	6	17	61.000	60.600	1	11	41	2	115.000	0.000	0.000
5	6	7	6.300	5.300	7	2	71	0	150.000	0.000	0.000
6	6	13	36.500	36.250	2	5	72	0	150.000	0.000	0.000
7	9	12	9.180	8.720	2	19	72	1	150.000	0.000	0.000
8	8	12	16.215	15.785	2	6	74	0	150.000	0.000	0.000
9	12	16	21.760	21.240	6	18	74	1	40.000	0.066	0.000
10	2	1	0.000	0.000	18	10	72	0	150.000	0.000	0.000
11	3	2	0.000	0.000	18	15	72	0	150.000	0.000	0.000
12	5	4	0.000	0.000	6	17	113	1	40.000	0.000	0.000
13	6	5	0.000	0.000	6	9	115	0	40.000	0.000	0.000
14	9	10	0.000	0.000	6	3	74	1	150.000	0.000	0.000
15	10	11	0.000	0.000	6	14	115	0	150.000	0.000	0.000
16	14	15	0.000	0.000	17	13	74	0	150.000	0.000	0.000
17	17	18	0.000	0.000	17	16	74	0	150.000	0.000	0.000
18	18	19	0.000	0.000	17	12	74	0	150.000	0.000	0.000
19	19	20	0.000	0.000	17	8	74	0	150.000	0.000	0.000

Научное издание

О.Н. Калачев, Д.А. Калачева

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСОВ РАЗМЕРНОГО АНАЛИЗА
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МЕХАНООБРАБОТКИ
С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ РАСЧЕТА ПРИПУСКОВ

Редактор Л.С. Кокина

План 2022

Подписано в печать 2.12.2022. Формат 60x84 1/16. Бумага белая.
Печать ризограф. Усл. печ. л. 14,87. Уч.-изд. л. 14,85. Тираж 55. Заказ 48.

Отпечатано в Копировальном центре ЯГТУ

Ярославский государственный технический университет
150023, Ярославль, Московский пр., 88