

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ  
Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

15.03.01 Машиностроение

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Машины и технология обработки металлов давлением

(профиль)

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему Разработка технологического процесса и элемента оборудования  
«Литьевая форма» для изготовления детали «Крыльчатка водяного насоса»

Студент(ка)	<u>Д.Ю. Македон</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Руководитель	<u>А.В. Скрипачев</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Консультанты	<u>И.В. Дерябин</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
	<u>И.В. Краснопевцева</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой д-р техн. наук, доц. В.В. Ельцов  
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) \_\_\_\_\_  
(личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

Тольятти 2017

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»  
Институт машиностроения  
Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой «СОМДиРП» \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ д-р техн.наук, доц. В.В. Ельцов

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

### ЗАДАНИЕ

#### на выполнение бакалаврской работы

Студент Македон Дмитрий Юрьевич

1. Тема Разработка технологического процесса и элемента оборудования «литьевая форма» для изготовления детали «Крыльчатка водяного насоса»

2. Срок сдачи студентом законченной выпускной квалификационной работы 06.06.2017г.

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: \_\_\_\_\_

программа выпуска 315000 шт/год, \_\_\_\_\_ материал:  
ударопрочный стеклонаполненный полиамид ПА66 «Зайтел».

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов, разделов): 1.Состояние вопроса. 2.Разработка технологического процесса изготовления детали. 3.Выбор оборудования и средств автоматизации. 4.Разработка конструкции литьевой формы. 5. Безопасность и экологичность проекта.

6. Экономическая часть. \_\_\_\_\_

5. Ориентировочный перечень графического и иллюстративного материала:

1. Сравнительный технологический анализ (А1). 2. Комплекс оборудования (А1).

3. Литьевая форма (разрез – А0). 4. Литьевая форма (план –А0).

6. Консультанты по разделам:

ст. преподаватель Дерябин И.В.

канд.экон.наук, доц. Краснопевцева И.В.

7. Дата выдачи задания « 24 » апреля 2017г.

Руководитель бакалаврской работы

\_\_\_\_\_ (подпись)

А.В. Скрипачев

\_\_\_\_\_ (И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_ (подпись)

Д.Ю. Македон

\_\_\_\_\_ (И.О. Фамилия)

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
 федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
 высшего образования  
 «Тольяттинский государственный университет»  
**Институт машиностроения**  
 Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

УТВЕРЖДАЮ:  
 Зав. кафедрой «СОМДиРП» \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_ д-р техн. наук, доц. В.В. Ельцов

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

**КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН  
 выполнения бакалаврской работы**

Студента Македон Дмитрия Юрьевича  
 по теме Разработка технологического процесса и элемента оборудования «литьевая форма»  
 для изготовления детали «Крыльчатка водяного насоса»

Наименование раздела работы	Плановый срок выполнения раздела	Фактический срок выполнения раздела	Отметка о выполнении	Подпись руководителя
1. Состояние вопроса.	03.04.2017	04.04.2017	выполнено	
2. Разработка технологического процесса изготовления детали.	10.04.2017	14.04.2017	выполнено	
3. Выбор оборудования и средств автоматизации.	17.04.2017	21.04.2017	выполнено	
4. Разработка конструкции литьевой формы.	02.05.2017	04.05.2017	выполнено	
5. Безопасность и экологичность проекта.	10.05.2017	12.05.2017	выполнено	
6. Экономическая часть.	15.05.2017	14.05.2017	выполнено	
7. Разработка чертежей.	29.05.2017	05.06.2017	выполнено	
8. Подготовка доклада и презентации.	02.06.2017	07.06.2017	выполнено	

Руководитель выпускной квалификационной работы

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_  
 (подпись) **А.В. Скрипачев**  
 (И.О. Фамилия)  
 \_\_\_\_\_  
 (подпись) **Д.Ю. Македон**  
 (И.О. Фамилия)

## АННОТАЦИЯ

Бакалаврская работа посвящена проектированию нового технологического процесса изготовления детали “ Крыльчатка водяного насоса”.

В работе рассчитаны параметры технологического процесса литья: гнездность формы, объем впрыска, усилие запирания формы, выбрано оборудование – термопластавтомат SOUND FTN 90 (C).

Произведены следующие расчеты модернизации литейной формы:

- расчеты на прочность для выбора материала деталей литейной формы;
- расчет элементов систем формы, их количества и взаимного расположения;
- расчет системы литниковых каналов и системы вентиляционных каналов;
- расчет системы термостатирования и системы удаления изделий из формы;
- расчет максимального давления в оформляющей полости, толщины стенок матрицы, исполнительных размеров матрицы и пуансона.

В работе уделено внимание обеспечению экологичности и безопасности технического объекта, доказана экономическая эффективность нового технологического процесса.

Рассмотрены меры по обеспечению безопасности и экологичности проекта, а также проведено экономическое обоснование работы.

# СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
АННОТАЦИЯ.....	4
ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА .....	8
1.1 Анализ технологичности детали .....	8
1.2 Анализ базовой технологии изготовления детали.....	10
1.3 Выявление недостатков базовой технологии.....	13
1.4 Задачи бакалаврской работы.....	14
2 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ.....	15
2.1 Схема предлагаемого технологического процесса изготовления детали.....	15
2.2 Определение гнездности и объема отливки для заполнения гнезд .....	17
2.3 Определение энергосиловых параметров литья .....	18
3 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ И СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ .....	21
3.1 Выбор типоразмера оборудования и его основные технические характеристики.....	21
3.2 Описание и расчет средств автоматизации .....	23
4 РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ЛИТЬЕВОЙ ФОРМЫ.....	26
4.1 Состав, конструкция и работа литейной формы .....	26
4.2 Прочностные расчеты и выбор материалов деталей формы .....	29
4.3 Определение числа и расположения элементов системы литейной формы.....	32
4.3.1 Система литниковых каналов .....	32
4.3.2 Система вентиляционных газоотводящих каналов .....	35
4.3.3 Система термостатирования (система охлаждения и регулирования температуры формы).....	36
4.4 Система удаления изделий и литника из формы .....	39
4.5 Определение толщины стенки матрицы.....	40

4.6 Определение исполнительных размеров оформляющих деталей .....	41
5 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРОЕКТА .....	42
6 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	47
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	55
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	56
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	59

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время, при повышенном спросе на литьевую продукцию из полимерных материалов и возрастающих требованиях к ее качеству, ключевым вопросом для ее производителей является наличие литьевых форм с оптимальным для переработчика соотношением «цена/качество».

Решить такой вопрос производитель способен только при условии тщательного контроля технологического процесса, соответствии геометрии изделия особенностям полимерного материала и способа его переработки, а также точного воспроизведения размеров и качества поверхности.

Потребность в использовании пластмассовых изделий возрастает с каждым годом, что способствует быстрому росту их производства. Полимерные материалы отличаются высокой прочностью, износостойкостью и одновременно малым удельным весом и простотой в изготовлении. Пластмассы применяются во всех областях промышленности.

Проектирование литьевых форм для изготовления пластмассовых изделий требует от инженеров знаний таких дисциплин, как: обработка материалов давлением, детали машин, гидравлика и пр. Глубокий анализ технологического процесса литья позволяет проектировщикам выбрать наиболее рациональную конструкцию литьевой формы, обеспечивающую изготовление изделия без наличия дефектов.

Современная литьевая форма представляет собой целый комплекс взаимосвязанных между собой систем, работающих в автоматическом режиме. Известно множество методов переработки пластмасс в изделия: экструзия, каландрирование, вакуум-формование, выдувание и др. Однако наиболее применяемым способом является литье под давлением, которое имеет ряд преимуществ перед другими способами изготовления деталей:

- 1) полимер нагревается в литьевой машине, следовательно, расплав поступает в форму уже нагретый, что обеспечивает высокую производительность процесса;

- 2) после удаления детали из формы не требуется его дальнейшая механическая обработка, кроме зачистки следов литника при необходимости; изделие получается с гладкой поверхностью и высокой точностью размеров;
- 3) в литевой форме практически отсутствуют трущиеся поверхности, кроме направляющих колонок и втулок, что обеспечивает ее малый износ;
- 4) методом литья под давлением возможно изготовление изделий самой сложной формы и конфигурации, любой фактуры и цвета;
- 5) технологический процесс полностью автоматизирован.

К недостаткам метода литья под давлением можно отнести следующие:

- 1) долгий срок окупаемости литевых форм из-за больших начальных затрат на их изготовление;
- 2) ограничение по толщине стенки изделия.

Целью работы является снижение себестоимости изготовления изделия за счет перехода на современные полимерные материалы.

# 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

## 1.1 Анализ технологичности детали

Анализ технологичности изделия необходимо проводить для наиболее рационального проектирования литейной формы, которая должна обеспечить качество изделия, его основные показатели. Небольшие изменения, внесенные в конструкцию изделия и не влияющие на его дальнейшую эксплуатацию и прочностные показатели, могут существенно упростить конструкцию литейной формы и сделать процесс изготовления детали менее трудоемким.

Нетехнологичность детали невозможно устранить только выбором оптимальной конструкции литейной формы. Типичной ошибкой при анализе на технологичность является перенос требований к технологичности металлических изделий на пластмассовые. Полимеры резко отличаются от металлов и сплавов по своим свойствам и структуре, поэтому при анализе изделия на технологичность необходимо руководствоваться только стандартами и требованиями к производству пластмассовых изделий.

Конфигурация пластмассовых изделий должна обеспечивать рациональное течение полимера в литейной форме, точность изготовления, уменьшение остаточных напряжений, уменьшение коробления изделия и цикла его изготовления.

Соблюдение оптимальной конструкции изделия сводится к следующему:

- 1) назначать допуски, регламентируемые применительно к пластмассовым изделиям;
- 2) назначать технологические уклоны, необходимые для свободного извлечения детали из формы;
- 3) избегать любого рода поднутряющих элементов;
- 4) для облегчения заполнения формы расплавом изделия должны иметь закругления;
- 5) для увеличения прочности получаемой детали допускается введение арматуры;

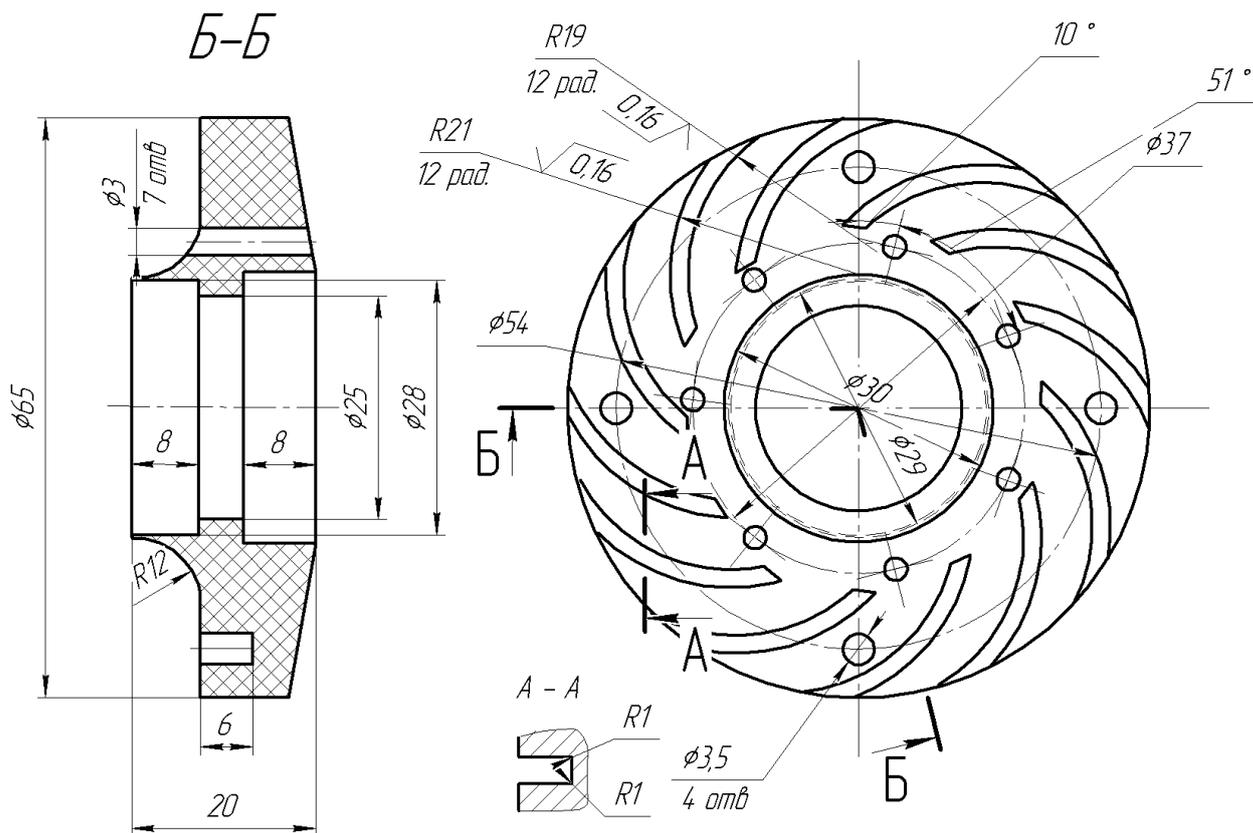


Рисунок 1.1 – Крыльчатка водяного насоса

6) конфигурация изделия должна обеспечивать применение неразъемных матриц и пуансонов, что не усложняет и не удорожает литевную форму;

7) при конструировании литевной формы, а именно исполнительных размеров оформляющих изделие деталей, необходимо учитывать усадку полимера;

8) спроектированная литевная форма должна удовлетворять требованиям безопасности и экологичности, надежности и долговечности; обеспечивать полную автоматизацию процесса изготовления изделия и минимальную его себестоимость.

## 1.2 Анализ базовой технологии изготовления детали

Базовый процесс позволяет изготовить деталь «Крыльчатка водяного насоса» обработкой резанием стали 45 ГОСТ 1050-74.

Операция 1 представлена на рисунке 1.2: резка прутка осуществляется на токарном отрезном станке.

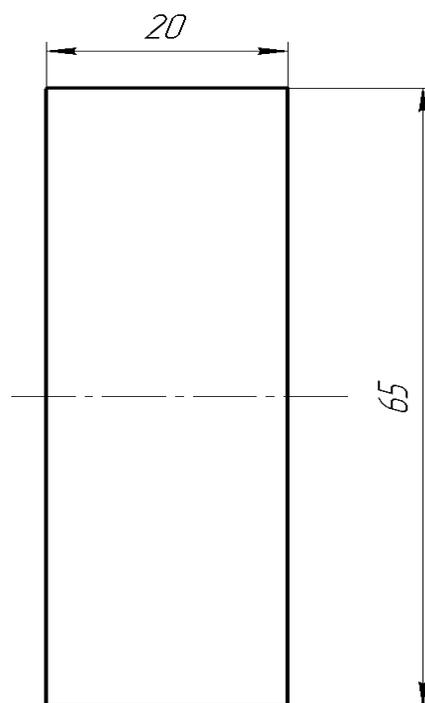


Рисунок 1.2 – Резка прутка на заготовки

Операция 2 представлена на рисунке 1.3: фрезерование детали на фрезерном станке.

Операция 3 представлена на рисунке 1.4: расточка отверстий производится на токарном расточном станке.

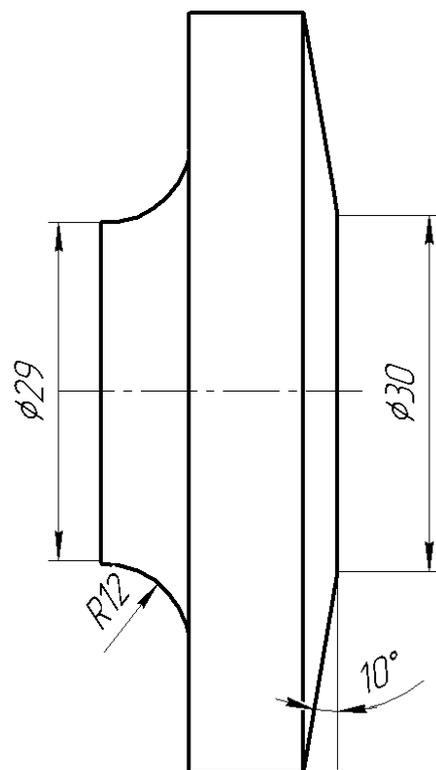


Рисунок 1.3 – Фрезерование детали

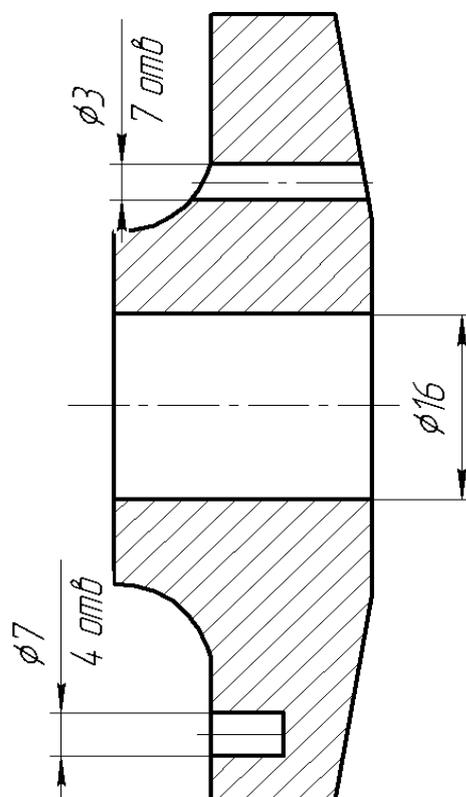


Рисунок 1.4 – Расточка отверстий

Операция 4 представлена на рисунке 1.5: расточка радиусных пазов на токарном станке.

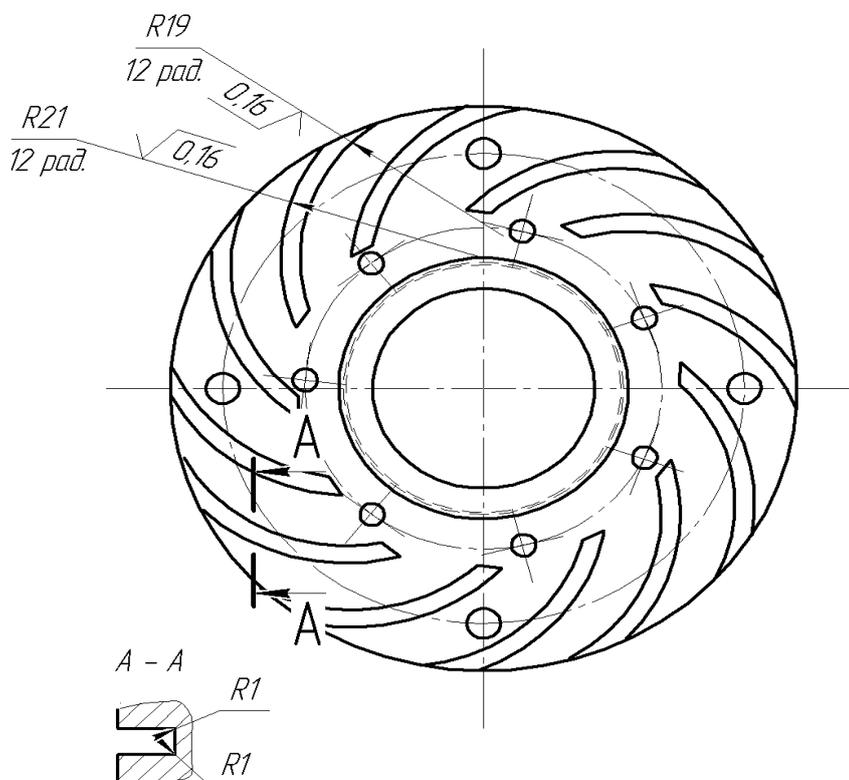


Рисунок 1.5 – Расточка пазов

Операция 5: шлифование отверстия производится на круглошлифовальном станке.

### 1.3 Выявление недостатков базовой технологии

В базовом технологическом процессе деталь изготавливается из стали за пять операций на различном оборудовании, что делает его трудоемким. Стоимость стали гораздо больше стоимости полимерных материалов, следовательно, процесс неэкономичен. Кроме того сталь имеет большой удельный вес, что утяжеляет конструкцию водяного насоса и негативно влияет на его износостойкость.

#### 1.4 Задачи бакалаврской работы

Чтобы достигнуть цели работы, необходимо решить следующие задачи:

- 1) разработать новый вариант технологического процесса изготовления изделия, устраняющий недостатки базового;
- 2) рассчитать основные параметры и спроектировать литьевую форму для изготовления изделия;
- 3) рассчитать объем впрыска и усилие смыкания формы; выбрать оборудование;
- 4) рассчитать экономическую эффективность процесса;
- 5) рассмотреть процесс на предмет экологичности и безопасности.

## 2 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ

### 2.1 Схема предлагаемого технологического процесса изготовления детали

В проектном варианте технологии изготовления детали, представленном на рисунке 2.1, предложено изготавливать деталь методом литья под давлением из ударопрочного стеклонаполненного полиамида ПА66 «Зайтел».

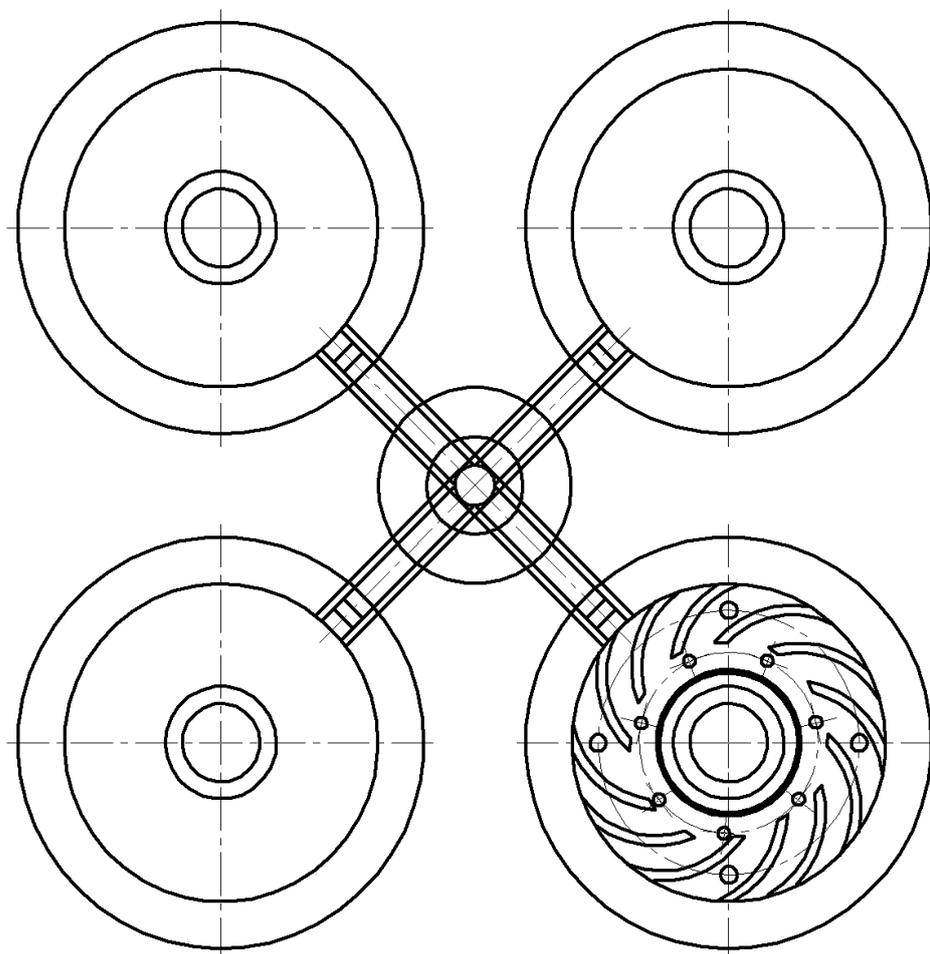


Рисунок 2.1 – Литниковая система предлагаемого технологического процесса

Материал полиамид ПА66 в виде гранул или порошка загружается через бункер в цилиндр литьевой машины, где происходит его пластикация. По

окончании пластикация сопло литьевой машины подводится к замкнутой форме и посредством инъекции расплав поступает в оформляющие полости формы сначала через литниковую втулку, а затем по разводящим литниковым каналам. Далее расплав заполняет гнезда, происходит охлаждение отливки. Когда расплав затвердеет во впускном канале, сопло термопластавтомата отводится, форма размыкается и изделие с литником удаляется напровал.

При проектировании литьевой формы не следует рассматривать ее только с кинематической точки зрения, как формующий инструмент и только. Литьевая форма имеет достаточное количество функций, для понимания которых необходимо обратиться к самому процессу литья.

Цикл литья под давлением состоит из трех основных стадий. Первая стадия, когда расплав еще находится в цилиндре литьевой машины; вторая – когда расплав поступает в форму; третья – когда изделие извлекается из нее. Каждая стадия характеризуется различными процессами, происходящими во время цикла литья.

На первой стадии происходит нагрев полимера в цилиндре машины электронагревательными элементами и вследствие трения о витки шнека. Происходит пластикация полимера – нагрев и перемешивание его до однородного состояния, как по температуре, так и по составу и вязкости расплава. Пластикация обеспечивает необходимое вязкотекучее состояние полимера, что в свою очередь влияет на давление литья и характер заполнения литниковой системы и гнезд расплавом. В процессе нагревания термопласта увеличивается в объеме и под давлением поступает через сопло в форму.

На второй стадии происходит заполнение расплавом оформляющей полости, образовывается структура материала, который в процессе охлаждения уплотняется. При заполнении литниковой системы расплавом слои, прилегающие к охлаждаемым стенкам формы, застывают, в то время как внутренние слои остаются горячими. В результате трения горячих слоев о холодные на их границе могут возникать напряжения сдвига, что приводит к появлению в изделии температурных напряжений. Кроме того застывшие слои

в разводящих каналах уменьшают их эффективное сечение, происходит потеря температуры и давления литья. Неправильное (турбулентное) течение расплава в форме может привести к релаксации ориентации молекул полимера и возникновению в изделии ориентационных напряжений, что сразу отражается на качестве изделия.

Расплав заполняет гнезда под нарастающим давлением и после полного заполнения производится досылка материала в форму для восполнения уменьшающегося объема отливки вследствие остывания и усадки материала. Когда расплав затвердевает во впускном канале, доступ его в гнездо прекращается. Начинается охлаждение изделий. По мере охлаждения давление в форме снижается, происходит уплотнение отливки вследствие усадки полимера. Остаточное давление также может способствовать возникновению в изделии остаточных напряжений.

После окончания охлаждения изделия наступает третья стадия процесса, связанная с удалением изделия и охлаждения его на воздухе. Способы сталкивания изделий различны и все они могут способствовать возникновению дефектов в изделии. Кроме того, необходимо отделять литник от изделия и зачищать при необходимости следы от него.

Охлаждения изделия вне формы приводит к его дополнительной усадке, после которой все размеры изделия должны соответствовать заданным размерам на чертеже.

Таким образом, правильно спроектированная литевая формы с учетом конструкции изделия и анализа его технологичности обеспечивает длительное его хранение, легкую сборку, удобную эксплуатацию, высокое качество и производительность процесса.

## 2.2 Определение гнездности и объема отливки для заполнения гнезд

Гнездность принимается по массе детали.

Масса детали:

$$m = V \cdot \rho, \quad (2.1)$$

где  $V = 0,000307\text{м}^3$  - объем детали,

$\rho = 1370\text{кг}/\text{м}^3$  - плотность полимера.

$$m = 0,000307 \cdot 1370 = 0,42\text{кг}$$

Для  $m = 0,42\text{кг}$  гнездность  $n_0 = 4$ .

Объем впрыска:

$$Q_0 = n_0 V_u \frac{k_1}{\beta_1}, \quad (2.2)$$

где  $k_1 = 1,02$  - коэффициент, учитывающий объем литников в расчете на одну деталь,

$\beta_1 = 0,7$  - коэф. исп. машины.

$$Q_0 = 4 \cdot 30,7 \cdot \frac{1,02}{0,7} = 178\text{см}^3$$

### 2.3 Определение энергосиловых параметров литья

Основным фактором, который влияет на заполнение гнезд расплавом и усадку полимера на стадии выдержки под давлением, является давление расплава в оформляющей полости. При проектировании литьевых форм рассчитывают максимальное давление, которое может развиваться в гнезде в процессе уплотнения материала. Расчет также необходим и для предотвращения распирания формы и для дальнейшего расчета оформляющих деталей на прочность и жесткость с целью предотвращения их деформации.

Усилие запирания  $P_0$  для соединения полуформ:

$$P_0 = P_{\max} \cdot n_0 \cdot F_{np} \cdot k_2 \cdot k_3, \quad (2.3)$$

где  $P_{\max}$  - давление расплава:

$$P_{\max} = p \cdot K_m \cdot K_l^{d_n/d_m} \cdot K_k^{A/B}, \quad (2.4)$$

где  $p = 49 \text{ МПа}$  - давление при литье,

$K_m = 1,05$  - коэффициент материала,

$K_n = 1,05$  - коэффициент, учитывающий объем литников,

$d_n = 3,5 \text{ см}$  - диаметр пальцевого канала,

$d_m = 1,5 \text{ см}$  - диаметр точечного канала,

$K_k = 1$  - коэффициент конфигурации детали,

$A = 65 \text{ см}$  - длина детали,

$B = 20 \text{ см}$  - ширина детали.

$$P_{\max} = p \cdot K_m \cdot K_n^{d_n/d_m} \cdot K_k^{A/B} = 49 \cdot 1,05 \cdot 1,05^{3,5/1,5} \cdot 1^{65/20} = 57 \text{ МПа}.$$

Форма многогнездная, следовательно, усилие необходимо увеличить на 10%:

$$P_{\max} = P_{\max} + 10\% = 57 + 10\% = 60 \text{ МПа}$$

Следовательно:

$$P_0 = 60 \cdot 10^6 \cdot 4 \cdot 0,00269 \cdot 1,11 \cdot 1,25 = 896 \text{ кН}.$$

Пластиковая производительность:

$$A_0 = m \cdot n_0 \cdot \frac{k_1}{\tau_{охл}}, \quad (2.5)$$

где  $\tau_{охл}$  - время охлаждения:

$$\tau_{охл} = \frac{0,405}{a} \left( \frac{\delta^2}{2} \right) \cdot \left( \ln 1,27 - \ln \frac{t_k - t_\phi}{t_n - t_\phi} \right), \quad (2.6)$$

где  $a = 1,08 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$  - температуропроводность материала,

$\delta = 0,02 \text{ м}$  - двойная толщина изделия,

$t_\phi = 100^\circ \text{ C}$  - температура формы,

$t_k = 25^\circ \text{ C} + t_\phi = 25 + 100 = 125^\circ \text{ C}$ ,

$t_n = 295^\circ \text{ C}$  - температура расплава,

$$\tau_{oxl} = \frac{0,405}{1,08 \cdot 10^{-7}} \left( \frac{0,02^2}{4} \right) \cdot \left( \ln 1,27 - \ln \frac{125-100}{295-100} \right) = 36c, \quad A_0 = 52 \cdot 4 \cdot \frac{1,02}{36} = 5,9 \text{ } \frac{\text{g}}{\text{c}}.$$

## 3 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ И СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ

### 3.1 Выбор типоразмера оборудования и его основные технические характеристики

Оборудование – термопластавтомат выбирается по параметрам:  $Q_o, P_o, W_o$ :

SOUND FTN 90 (C)

$Q_n = 179 \text{ см}^3$  - объем впрыска;

$P_n = 900 \text{ кН}$  – усилие смыкания формы;

$W_n = 117 \text{ см}^3/\text{с}$  – скорость впрыска.

Расчет гнездности:

1) гнездность, обусловленная объемом отливки:

$$n_Q = \frac{\beta_1 \cdot Q_n}{V_n \cdot k_1} = \frac{0,7 \cdot 179}{30,7 \cdot 1,02} = 4; \quad (3.1)$$

2) гнездность, обусловленная скоростью впрыска:

$$n_W = \frac{W_n \cdot \rho_m \cdot \tau_{охл}}{k_1 \cdot G_n} = \frac{117 \cdot 1,37 \cdot 36}{1,02 \cdot 42} = 134; \quad (3.2)$$

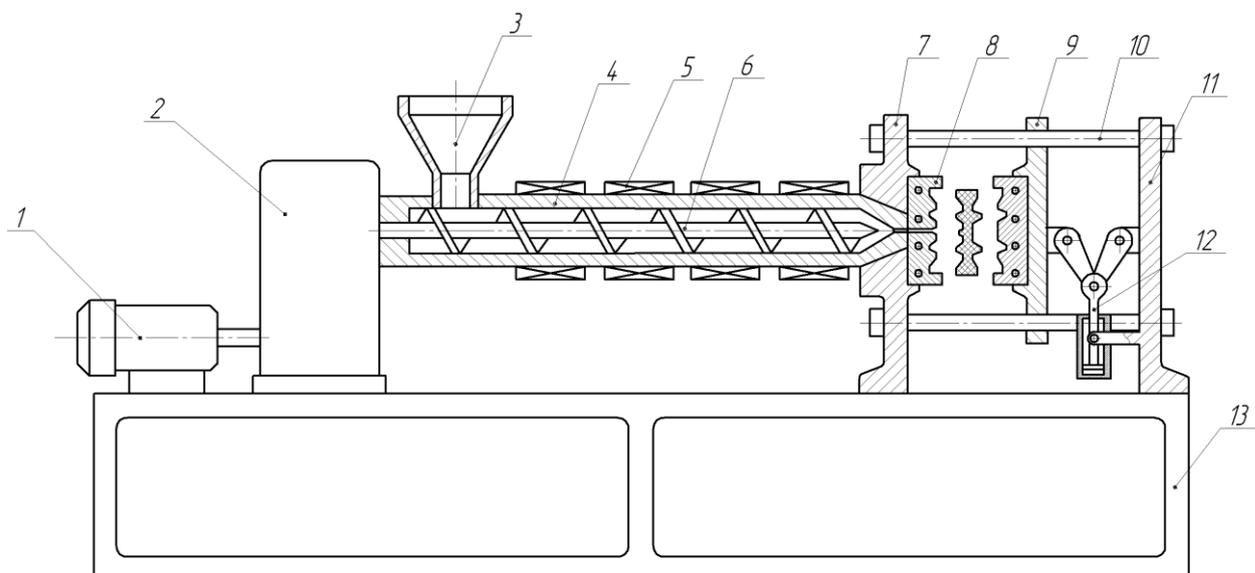
3) гнездность, обусловленная усилием запираания полуформ:

$$n_p = \frac{P_n}{P_{max} \cdot F_{пр} \cdot k_2 \cdot k_3} = \frac{900 \cdot 10^3}{57 \cdot 10^6 \cdot 0,00269 \cdot 1,11 \cdot 1,2} = 4. \quad (3.3)$$

Принимаем гнездность  $n = 4$ .

Общий вид термопластавтомата SOUND FTN 90 (C) представлен на рисунке 3.1, его технические характеристики занесены в таблицу 3.1.

Термопластавтомат работает следующим образом. Материал в виде гранул засыпается в загрузочное устройство 3 (см. приложение А), а затем поступает в цилиндр литьевой машины 4, где происходит его пластикация, для которой в цилиндре предусмотрены нагревательные элементы 5 и шнек 6. Сопло машины подводится к неподвижной плите 7 литьевой формы 8. Вращение шнека осуществляется посредством электродвигателя 1 через редуктор 2. Посредством гидромеханического привода 12 подвижная плита 9 по направляющим колоннам 10 подводится к неподвижной, таким образом,



1 – электродвигатель; 2 – редуктор; 3 – загрузочное устройство; 4 – цилиндр литьевой машины; 5 – нагревательные элементы; 6 – шнек; 7, 11 – неподвижные плиты; 8 – литьевая форма; 9 – подвижная плита; 10 – направляющие колонны; 12 – гидромеханический привод; 13 – станина

Рисунок 3.1 – Общий вид термопластавтомата SOUND FTN 90 (C)

Таблица 3.1 – Технические характеристики оборудования

Параметр	Значение параметра
Диаметр инжектора, мм	40
Объем впрыска номинальный, см	197
Давление литья (в цилиндре машины), МПа	150
Скорость впрыска, см <sup>3</sup> /с	117
Усилие смыкания полуформ (номинальное), кН	900
Высота литьевой формы, мм:	
максимальная	330
минимальная	110
Ход подвижной плиты, мм	320
Ход выталкивателя (наибольший), мм	90
Расстояние между колоннами, мм:	
по горизонтали	360
по вертикали	360
Габариты термопластавтомата, м	4,2x1,2x1,6

литьевая форма смыкается. Поворот шнека обеспечивает впрыск дозированного материала в форму. Затем происходит формование изделия, выдержка его под давлением и охлаждение. Затем подвижная полуформа отводится, литьевая форма размыкается и изделие удаляется на провал в приемную тару. Основные несущие элементы крепятся к станине термопластавтомата.

### 3.2 Описание и расчет средств автоматизации

К средствам автоматизации оборудования относятся: система перемещения деталей формы, система центрирования формы, механизм подвода сопла, механизм впрыска полимера в форму и система удаления деталей из формы.

Работа оборудования должна быть полностью автоматизирована, а значит исключить ручные приемы. Все перемещения деталей, направление перемещений, скорость зависят, прежде всего, от конфигурации самого изделия. Следовательно, чем проще изделия, тем проще подобрать необходимые кинематические пары.

К деталям системы перемещения формы относят: направляющие и центрирующие колонки и втулки, колонки возврата, выталкиватели, толкатели, контролкатели, сбрасыватели, сталкивающие плиты и др.

Система центрирования, ее надежная конструкция оказывают огромное влияние на качество получаемых при литье изделий. При неправильно спроектированной системе центрирования можно наблюдать такие дефекты, как: разнотолщинность изделия, образование спаев и коробление вследствие появления опережающих потоков и пр.

Назначение системы центрирования заключается в: центрировании подвижной полуформы относительно неподвижной; центрирование деталей непосредственно внутри каждой полуформы; центрирование при изготовлении литьевой формы и ее сборке. Основными центрирующими элементами системы

центрирования являются колонки и втулки, для наименьшего износа которых предусмотрены несквозные канавки для смазки.

Система удаления деталей с литником предназначена для свободного, беспрепятственного извлечения изделий с литником из матрицы, снятия их с пуансонов и сброса на провал в приемную тару. При расчете системы удаления необходимо учитывать усилие сталкивания для предотвращения негативного воздействия на изделия. Выталкиватели и сбрасыватели могут оставить нежелательные следы на поверхности изделий или даже деформировать их при сталкивании.

Расчет основных технических характеристик

Усилие, необходимое для перемещения сопла:

$$P_{расч.} = F_c \cdot p, \quad (3.4)$$

где  $F_c$  – площадь контакта сопла с формой:

$$F_c = \frac{\pi \cdot d_c^2}{4}, \quad (3.5)$$

где  $d_c$  – диаметр сопла,  $d_c = 100 \text{ мм} = 0,1 \text{ м}$ .

Следовательно

$$F_c = \frac{\pi \cdot 0,1^2}{4} = 0,0079 \text{ м}^2.$$

Расчетное усилие:

$$P_{расч.} = 0,0079 \cdot 0,4 \cdot 10^6 = 3200 \text{ Н} = 3,2 \text{ кН}.$$

Известно, что:

$$P_{расч.} = 2 \cdot p \cdot F_u, \quad (3.6)$$

где  $F_u$  – площадь сечения гидроцилиндров,  $F_u = \frac{\pi \cdot d_u^2}{4}$ .

Из (3.6) получим:

$$d_u = \sqrt{\frac{4 \cdot F_u}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot P_{расч.}}{2 \cdot p \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,2 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,4 \cdot 10^6 \cdot \pi}} = 0,071 \text{ м} = 71 \text{ мм}. \quad (3.7)$$

Известно, что:

$$[\sigma] = P_{расч.} \cdot 2 \cdot F_u,$$

где  $F_u$  – площадь сечения штока,  $F_u = \frac{\pi \cdot d_u^2}{4}$ ;

$[\sigma]$  – допускаемое напряжение;  $[\sigma] = 200 \text{ МПа}$ .

Диаметр штока гидроцилиндра:

$$d_u = \sqrt{\frac{4 \cdot F_u}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot P_{расч.}}{2 \cdot [\sigma] \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,2 \cdot 10^3}{2 \cdot 200 \cdot 10^6 \cdot \pi}} = 0,0032 \text{ м} = 3,2 \text{ мм}. \quad (3.9)$$

Назначаем диаметр штока равным 6 мм.

Расчет площади поперечного сечения кольца гидроцилиндра:

$$F_K = \frac{\pi \cdot (d_u^2 - d_u^2)}{4} = \frac{\pi \cdot (0,071^2 - 0,006^2)}{4} = 0,004 \text{ м}^2 = 4000 \text{ мм}^2. \quad (3.10)$$

## 4 РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ЛИТЬЕВОЙ ФОРМЫ

### 4.1 Состав, конструкция и работа литевой формы

Все основные системы формы состоят из отдельных деталей или из групп деталей, связанных между собой по функциональному признаку. «Литевая форма состоит из следующих основных систем:

- система размещения, установки и крепления форм;
- система литниковых каналов;
- система вентиляционных (газоотводящих каналов);
- система оформляющих деталей формы;
- система центрирования полуформ;
- система термостатирования;
- система удаления деталей;
- система перемещения деталей» [4].

Такое разделение структуры литевой формы на системы деталей является условным, так как детали, относящиеся к одной системе, в то же время могут принадлежать и другой. Так, например, матрица относится к системе оформляющих деталей, но, если в ней расположены каналы охлаждения, то она будет относиться и к системе регулирования температуры формы. Часто системы объединяют по общему функциональному признаку. Например, систему литниковых каналов объединяют с системой газоотводящих, а систему регулирования температуры формы с системой охлаждения. Тем не менее, разделение структуры литевой формы на системы необходимо для последующего усовершенствование каждой как в отдельности, так и совместно, а также конструктивного поиска новых решений. Кроме того такое разделение на системы позволяет классифицировать литевые формы, отличающиеся большим разнообразием.

«Система размещения, установки и крепления форм» [13] включает все несущие, крепежные детали, элементы их взаимного крепления. При расчете и выборе данной системы необходимо учитывать, прежде всего, размеры плит

термопластавтомата и размеры формы как по площади, так и по толщине. Данная система определяет конструктивную взаимосвязь литейной формы и литейной машины.

«Система литниковых и вентиляционных каналов включает различные типы каналов для перекачивания полимера из цилиндра машины в оформляющие гнезда, сопло, краны, распределители и нагреватели, терморегуляторы, литниковые втулки, литниковые и вентиляционные каналы, которые могут располагаться в деталях других систем формы» [13].

К системе оформляющих деталей относятся детали форм, поверхности которых приходят в непосредственный контакт с материалом. Это, прежде всего, матрицы и пуансоны, а также: оформляющие поверхности вставок, толкателей, съемников, резьбовых элементов, знаков и др.

Система центрирования предназначена для предотвращения смещения оси пуансона и матрицы. «К ней относятся все элементы центрирования литейной формы: конические выступы; направляющие колонки и втулки; центрирующие штифты и отверстия для них; отверстия под пуансоны, матрицы и оформляющие знаки; посадочные и опорные поверхности деталей (и стационарных, и перемещающихся); отверстия под литниковую и центральную втулки; фиксирующие опоры (конические, цилиндрические, плоские) и др.» [13].

Система термостатирования предназначена для равномерного охлаждения деталей в литейной форме до необходимой конечной температуры. При расчете элементов данной системы необходимо учитывать теплофизические характеристики материалов деталей литейной формы и хладагентов, а также проектировать рациональное их течение по каналам. «К системе относятся все каналы охлаждения на деталях формы и специальных съемных деталях; элементы, служащие для подсоединения шлангов, уплотняющие элементы и канавки для их размещения, а также специальные устройства для регулирования и поддержания температуры охлаждающей жидкости внутри и вне формы» [4].

Система удаления предназначена для извлечения отливок из матрицы и литниковых каналов, снятия их с пуансонов и выталкивания из литниковых каналов, а также сброса через люк машины в приемную тару. При этом обязательно рассчитываются усилия, необходимые для удаления изделий и их возможное негативное воздействие на изделия. Система включает: выталкиватели, толкатели, штоки, тяги, сталкивающие плиты, пружинные сбрасыватели, то есть все элементы, обеспечивающие выталкивание изделий и их сброс. В эту систему также входят детали и узлы, которые возвращают всю систему в исходное положение. Это разного рода устройства (пневматические, гидравлические, электрические), передачи (зубчатые, ременные, цепные), обеспечивающие не только удаление отливок, но и свертывание изделий в случае наличия резьбовых поверхностей.

Назначение системы перемещения заключается в перемещении всех подвижных деталей относительно корпуса литейной формы. «Система включает: наклонные поводки, кулисы, пружины, а также различные типы их привода (пневматические, гидравлические и другие устройства в совокупности с зубчатыми, винтовыми, червячными и другими передачами)» [13].

Нежелательным, но возможным считается наличие некоторых ручных операций, касающихся установки или съема кассет, знаков, разъемных матриц и пуансонов, арматуры.

#### Работа литейной формы

Литейная форма, представленная на рисунке 4.1, состоит из неподвижной и подвижной полуформ. В неподвижной полуформе расположены (см. приложение Б): фланец неподвижный 28, основание неподвижное 18, плита матриц неподвижная 19, обоймы 21, матрицы неподвижные 22, литниковая втулка 27. В подвижной полуформе расположены: подвижный фланец 10, подвижное основание 1, плита опорная 3, брус 4, плиты 5, 6, 16, хвостовик 29, центральные знаки 8, выталкиватели 7 и 12, центральная втулка 26, плита матриц подвижная 20, матрицы подвижные 24, контролкатели 15.

Направляющие колонки возврата 35 и центрирующие втулки 36 служат для центрирования полуформ и перемещения подвижной плиты к неподвижной. После того, как полуформы сомкнулись, между матрицей и пуансоном образуется гнездо, в котором и оформляется изделие. Расплав с помощью шнека поступает в оформляющие гнезда через литниковую втулку 27 и литниковые разводящие каналы. Затем производится оформление изделий, выдержка изделий под давлением и последующее их охлаждение. По охлаждающим каналам подается хладагент, который и осуществляет охлаждение изделий, циркулируя в форме и поддерживая определенную температуру. Размыкание полуформ осуществляется посредством подвижной плиты. При размыкании формы плита матриц 19 остается неподвижной, а плита опорная 3, брус 4 и подвижное основание 1 перемещаются. Плита с выталкивателями 7 и 12 остается неподвижной, прижимая изделие к матрице. Когда плита опорная 3 достигнет плиты 5, она увлекает ее вместе с выталкивателями за собой и изделие с литником удаляется на провал.

#### 4.2 Прочностные расчеты и выбор материалов деталей формы

Усилие выталкивателей от давления литья, определяется по формуле:

$$P_q = q \cdot F, \quad (4.1)$$

где  $q=49\text{МПа}$ ,  $F= \pi d^2 / 4$ .

В форме имеется два вида выталкивателей, следовательно, усилие  $P_q$  необходимо рассчитывать для каждого из них:

$$P_{q1} = 49 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot 0,0035^2 / 4 = 471,2\text{Н}$$

$$P_{q2} = 49 \cdot 10^6 \cdot \pi (0,028^2 - 0,025^2) / 4 = 6115,9\text{Н}$$

Усилие размыкания:

$$P_{\text{разм}} = 0,1 P_0 \quad (4.2)$$

$$P_{\text{разм}} = 0,1 \cdot 896\text{кН} = 89600\text{Н}.$$

Усилие размыкания является максимальным, поэтому расчеты проводятся по этому усилию.



1) Расчет толкателей на смятие:

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 = \frac{P_{\max}}{F \cdot m_1 + F_2 \cdot m_2} \leq [\sigma_{сж}] \quad (4.3)$$

$$\sigma = \frac{89600}{\pi \cdot 0,0035^2 \cdot 4/4 + \pi \cdot 0,0008^2 \cdot 4/4} = 221 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{сж} = 230 \text{ МПа}$$

$$221 \text{ МПа} \leq 230 \text{ МПа}$$

Условие выполняется.

2) Расчет толкателей на контактную прочность:

$$\sigma_k = P_{\max} / F_k \cdot m \leq [\sigma_{см}] \quad (4.4)$$

$$\sigma_k = 89600 / \pi \cdot 0,0035^2 \cdot 4/4 = 229 \text{ МПа}$$

$$229 \text{ МПа} \leq 230 \text{ МПа}$$

Условие выполняется.

3) Расчет толкателей на устойчивость.

$$P_K = \frac{\pi^2 \cdot E}{\mu^2 \cdot l_{\max}^2} \cdot \left( \frac{J_4}{n_4^2} + \frac{J_8}{n_8^2} \right), \quad (4.5)$$

где  $J$  - момент инерции толкателей;

$n$  - количество толкателей;

$E$  - модуль упругости,  $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ ;

$\mu$  - коэффициент длины стержня,  $\mu = \frac{1}{2}$ .

Выражаем из формулы 4.5 длину толкателей:

$$l_{\max} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\mu^2 P_{\max}} \left( \frac{J_4}{n_4^2} + \frac{J_8}{n_8^2} \right)} \quad (4.6)$$

$$J = \frac{\pi d^4}{64};$$

$$J_4 = \frac{3,14 \cdot 0,0035^4}{64} = 7,36 \cdot 10^{-12} \text{ м}^4;$$

$$J_8 = \frac{3,14 \cdot 0,0008^4}{64} = 201 \cdot 10^{-12} \text{ м}^4.$$

$$l_{\max} = \sqrt{\frac{3,14^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{\frac{1}{2} \cdot 89600} \left( \frac{7,36 \cdot 10^{-12}}{4^2} + \frac{201 \cdot 10^{-12}}{4^2} \right)} = 0,25 \text{ м} = 250 \text{ мм}$$

Принимаем длину выталкивателей 105 мм и 80 мм.

Для оформляющих деталей (матриц и пуансонов), направляющих колонок и втулок назначаем марку материала – «сталь 4Х5МФС с твердостью 50HRC» [13]. Остальные детали литьевой формы из стали 40Х с твердостью 60HRC.

#### 4.3 Определение числа и расположение элементов систем литьевой формы

##### 4.3.1 Система литниковых каналов

Литниковая система – это система литьевой формы, которая служит для подачи полимера в оформляющие полости формы через сопло термопластавтомата. Затвердевший в литниковом канале материал называется литником. Назначение литниковой системы заключается в обеспечении поступления расплава в форму с минимальными потерями температуры и давления. Таким образом, конструкция и размеры литниковых каналов существенно влияют на качество получаемых изделий, расход полимера, производительность технологического процесса и пр.

При неправильном проектировании литниковых каналов в изделия появляются повышенные напряжения, которые приводят к короблению. Следы течения материала на поверхности изделия, неполное заполнение гнезд, неравномерная усадка – все это причины ошибок, допущенных при проектировании литниковой системы.

«В общем виде литниковая система включает три основных элемента:

- 1) центральный канал, по которому расплав из цилиндра литьевой машины подается в форму;
- 2) разводящий канал, соединяющие центральный и впускной;
- 3) впускной канал, по которому полимер поступает непосредственно в оформляющее гнездо» [4].

Наличие всех трех элементов необязательно. Все зависит от конфигурации изделия и литьевой формы. Одногнездная литьевая форма,

например, имеет только один центральный литник. В нашем случае необходимо наличие всех трех элементов литниковой системы, поэтому расчет проводится по всем трем каналам.

Центральный литник.

Диаметр литниковой втулки:

$$d_1 = 2\sqrt{\frac{Q_0}{\pi v \tau}}, \quad (4.7)$$

$$Q_0 = 178 \text{ см}^3: v = 450 \text{ см/с}, \tau = 3 \text{ с}.$$

$$d_2 = 2\sqrt{\frac{178}{\pi \cdot 450 \cdot 3}} = 0,51 \text{ см} = 5,1 \text{ мм}$$

Выбираем  $d_2$  и  $L$ , рекомендуемый угол  $\alpha = 3^\circ$  [14, табл.7]

$$d_2 = 7,9 \text{ мм}$$

$$L = 55 \text{ мм}$$

Втулка представлена на рисунке 4.2: ГОСТ 1435-74  $L = 55 \text{ мм}$ ,  $D = 20 \text{ мм}$ .

Разводящие каналы.

Разводящие каналы соединяют оформляющие полости с центральным литниковым каналом. При проектировании данного элемента литниковой системы всегда необходимо стремиться укорачивать разводящие каналы, чтобы снизить расход материала, потери давления и температуры, а также возможность появления ориентационных напряжений в будущем изделии.

В данной работе спроектирована трапециевидальная форма сечения канала, чертеж которого представлен на рисунке 4.3, следовательно, размеры разводящего канала находятся по определенному значению  $d_3$ :

$$H = 0,5d_3 \sqrt[3]{\pi * (1 + \sin \alpha + R \cos \alpha) / (R + \text{tg} \alpha)^2 * \cos \alpha)} \quad (4.8)$$

$$\text{при } \alpha = 10^\circ \text{ и } R=1: H = 0,85d_3$$

дэ определяем по диаграмме [14, с.60]:  $d_3 = 4 \text{ мм}$

$$H = 0,85 \cdot 4 = 3,4 \text{ мм}.$$

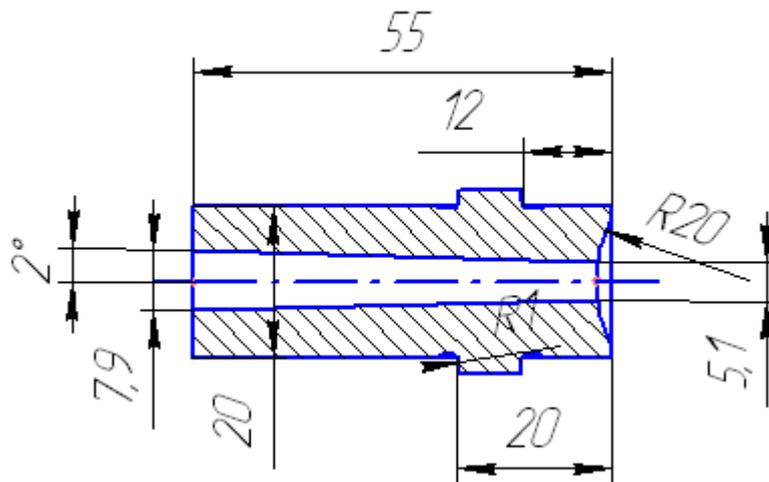


Рисунок 4.2 – Втулка литниковая

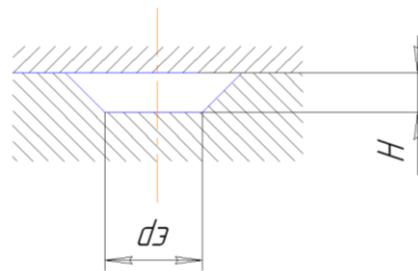


Рисунок 4.3 – Разводящий канал (сечение)

Впускные каналы.

Питатели (впускные каналы) представляют собой последнее звено в литниковой системе. Они подводят материал непосредственно к оформляющему гнезду, в значительной степени определяя качества получаемых изделий. Весьма важной и ответственной задачей инженера является правильный расчет размеров и числа питателей, а также проектирование их месторасположения.

Для эффективного решения данной задачи необходимо руководствоваться следующими требованиями, предъявляемыми к проектированию литниковых каналов:

- длину впускных каналов проектировать довольно малой величины для уменьшения потерь давления при прохождении материала через канал;

- площадь сечения каналов проектировать достаточно малой для обеспечения беспрепятственного автоматического отделения литника от изделия без необходимости зачистки места от его следов;

- площадь сечения каналов не должна быть слишком малой, чтобы не было затруднено заполнение полости, что приведет к возникновению внутренних напряжений в изделии, появлению усадочных раковин и складок в зоне впуска.

В бакалаврской работе используется впускной канал с круглым сечением.

Расчет характеристического размера изделия:

$$H = \frac{2V_{изд}}{S_{изд}} = \frac{2 \cdot 0,0000307}{0,044} = 1,4 \text{ мм} \quad (4.9)$$

В зависимости от размера  $H$ , определяем:

$$H > 3,3 ,$$

тогда диаметр впускного канала

$$d_g = 0,85H = 1,2 \text{ мм}, \quad l = 1,1 \text{ мм}.$$

#### 4.3.2 Система вентиляционных газоотводящих каналов

В оформляющей полости всегда есть воздух и газы, которые выделились из полимера. При поступлении расплава в оформляющее гнездо, воздух и газы сжимаются, препятствуя полному его заполнению. Температура этих газов может в момент подачи в форму материала может достигать 300—400 °С. В результате на изделии могут появиться такие дефекты, как: пережоги; спаи в результате раздвоения потоков; недоливы в местах скопления воздуха и газов. Если газ растворится в отливке, то в изделии можно будет наблюдать пористость, что приводит к уменьшению прочности и деформации изделия.

Для предотвращения появления выше описанных дефектов в литевой форме предусматривают вентиляционные (газоотводящие) каналы, которые располагают в местах, наиболее удаленных от места впуска, где происходит их защемление и сжатие. Именно в эти места полости, имеющие максимальное

сопротивление течению материала, расплав гонит воздух и выделяющиеся газы.

«Площадь сечения вентиляционных каналов  $f$  выбирают в зависимости от времени впрыска  $\tau$  по графику» [14, с.110]:

$$\tau = 3c$$

$$f = 8 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^2 / \text{см}^3$$

Площадь сечения газоотводящего канала одного гнезда:

$$X_{cp} = 0,3\% \text{ - среднее значение усадки материала;}$$

Объем гнезда определяется по формуле:

$$V_2 = V \left(1 + \frac{X_{cp}}{100}\right) = 30,7 \cdot \left(1 + \frac{0,3}{100}\right) = 30,8 \text{ см}^3$$

$$F = f \cdot V_2 = 8 \cdot 10^{-3} \cdot 30,8 = 0,2 \text{ мм}^2$$

Общая величина каналов:

$$B = \frac{F}{e},$$

где  $e$  - максимальная глубина газоотводящего канала, для полиамида ПА66:  $e = 0,05 \text{ мм}$ .

$$B = \frac{0,2}{0,05} = 4 \text{ мм}.$$

$$\text{Ширина канала } b = \frac{B}{n} = \frac{4}{8} = 0,5 \text{ мм}.$$

Расчеты показывают, что роль газоотводящих каналов могут играть зазоры между оформляющими и другими деталями формы.

#### 4.3.3 Система термостатирования (система охлаждения и регулирования температуры формы)

Для того чтобы полимер затвердел в оформляющей полости, необходимо отвести от него определенное количество теплоты.

От того насколько эффективно происходит отвод тепла в значительной степени зависит продолжительность цикла литья. На качество изделия огромное влияние оказывает режим литья.

Настраивая высокую температуру формы можно достичь:

- высоких механических показателей полимеров;
- качественную блестящую поверхность изделия;
- правильно ориентированную в направлении течения структуру полимера и как следствие меньшие внутренние напряжения;
- отсутствие растрескивания изделия и стабильность размеров в процессе эксплуатации и под действием агрессивных сред;

Слишком низкая температура формы приведет к рассеиванию размеров изделия, усадке, короблению, увеличению цикла литья.

Быстрое охлаждение изделий тем не менее имеет свои недостатки. В первую очередь это температурные напряжения, в результате появления которых при эксплуатации изделия при повышенных температурах возможно появление вторичной усадки и коробления. На быстро охлаждаемых стенках формы может конденсироваться влага, которая отрицательно повлияет на качество поверхности изделия.

Правильный расчет и проектирование системы термостатирования, обеспечивающей поддержание требуемого теплового режима, заключается в составлении теплового баланса и определении площади поперечного сечения и длины охлаждающих каналов.

Расчет охлаждающих каналов.

Количество теплоты, которое материал отдаст хладагенту:

$$Q_M = C_M \cdot m \cdot (t_n - t_{cp}) \quad (4.10)$$

где  $C_M$  – удельная теплоемкость материала,

(для полиамида ПА66:  $C_M = 1970 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{C}}$ );

$t_{cp}$  – средняя температура детали после охлаждения:

$$\frac{t_{cp} - t_{\phi}}{t_n - t_{\phi}} = \frac{8}{\pi^2} \exp \left( \frac{-\frac{\pi^2}{4} \cdot a \cdot \tau_{охл}}{\delta^2} \right), \quad (4.11)$$

$$\frac{t_{cp} - 100}{295 - 100} = \frac{8}{\pi^2} \exp \left( \frac{-\frac{3,14^2}{4} \cdot 1,08 \cdot 10^{-7} \cdot 36}{0,02^2} \right),$$

$$t_{cp} = 262^{\circ}C.$$

$$Q_M = 1970 \cdot 0,042 \cdot (295 - 262) = 2730 \text{ Дж}.$$

Количество теплоты, которое заберет хладагент:

$$Q_x = c_x \cdot g_x \cdot (t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}}), \quad (4.12)$$

где  $c_x$  – теплоемкость воды,  $c_x = 4180 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}^{\circ}\text{C}}$ ;

$t_{\text{вых}}$  – температура хладагента при выходе из формы;

$t_{\text{вх}}$  – температура хладагента при входе в форму,  $(t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}}) = 5^{\circ}\text{C}$ ;

$g_x$  – расход воды.

Тепловой баланс:

$$Q_M = Q_x, \quad (4.13)$$

$$C_M \cdot G_u \cdot (t_u - t_{\phi}) = c_x \cdot g_x \cdot (t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}}).$$

Отсюда,

$$g_x = \frac{Q_M}{c_x (t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}})} \quad (4.14)$$

$$g_x = \frac{2730}{4180 \cdot 5} = 0,131 \text{ кг}.$$

Расход хладагента через матрицу:

$$g_x^M = g_x \frac{F^M}{F_{\text{общ}}}, \quad (4.15)$$

где  $F^M$  – площадь матрицы,

$$F^M = 0,013 \text{ м}^2;$$

$$g_x^M = 0,131 \frac{0,013}{0,028} = 0,61 \text{ кг}.$$

Площадь сечения каналов:

$$f_k = \frac{g_x^M}{\rho_x \tau_y \omega}, \quad (4.16)$$

где  $g_x$  – плотность хладагента,  $g_x = 1000 \text{ кг/м}^2$ ;

$\tau_y$  – время цикла,  $\tau_y = 51 \text{ с}$ ;

$\omega$  – скорость течения воды,  $\omega = 1 \text{ м/с}$ .

Тогда

$$f_K^M = \frac{0,61}{1000 \cdot 51 \cdot 1} = 0,000012 \text{ м}^2.$$

Диаметр канала охлаждения:

$$d_K = 1,13 \sqrt{f_K} \quad (4.17)$$

$$d_K = 1,13 \sqrt{0,000012} = 0,004 \text{ м} = 4 \text{ мм}.$$

Общая длина каналов:

$$l_K \geq \frac{F^M}{\pi d_K} = \frac{0,013}{\pi \cdot 0,004} = 1,035 \text{ м}. \quad (4.18)$$

Диаметры охлаждающих каналов принимаем равными 8 мм и 14 мм.

#### 4.4 Система удаления изделий и литника из формы

Система удаления предназначена для беспрепятственного извлечения изделий с литником из матрицы, снятие их с пуансонов и сброс в приемную тару. Функцию системы выполняют узлы и детали, составляющие эту систему. Для их перемещения применяется возвратно-поступательное перемещение литьевой полуформы, либо специальные приводы. В данной работе для удаления изделий используется выталкиватели.

Усадке изделия в литьевой форме препятствуют оформляющие детали, что вызывает в изделии напряжения сжатия и напряжения. Нормальные силы, которые прижимают изделия к пуансону, препятствуют сталкиванию. При расчете усилия сталкивания учитывается не только наличие этих нормальных сил от усадки, но и шероховатость поверхности оформляющих деталей, коэффициента трения пластмассы о сталь, температура изделия в момент сталкивания.

Усилие, необходимое для выталкивания одного изделия:

$$P_{\text{разм}} = \pi \cdot d \cdot a \cdot m \tau, \quad (4.19)$$

где  $d$  – диаметр толкателя;

$a$  – толщина детали под выталкивателем;  $a=5\text{мм}$

$m$  – число толкателей;

$[\tau]$ - допускаемое напряжение;

$$[\tau] = (0,5 - 0,6)[\sigma]$$

$$[\sigma] = 32\text{МПа}; [\tau] = 16\text{МПа}$$

$$P_{\text{разм}} \leq 0,1P_n,$$

где  $n$  – число гнезд,  $P_n$  – номинальное усилие смыкания  $P_n=900\text{кН}$ .

В системе имеется четыре толкателя диаметром  $d=3,5\text{мм}$  и один толкатель, имеющий кольцевую торцевую поверхность, опирающуюся на стальную вставку. Следовательно, расчет производится только для толкателей, контактирующих с полимером:

$$P_{\text{разм}} = \pi \cdot 0,0035 \cdot 0,005 \cdot 4 \cdot 16 \cdot 10^6 = 3,5\text{кН},$$

$$3,5 \cdot 4 < 0,1 \cdot 900$$

$$35,4\text{кН} < 90\text{кН}.$$

Условие выполняется.

#### 4.5 Определение толщины стенки матрицы

Давление в оформляющей полости литейной формы изменяется от нуля до своего максимального значения. Слишком большое давление при высокой температуре стенок формы может привести к деформации оформляющих деталей. Для предотвращения этого производят расчет толщины стенки матрицы по максимальному давлению в полости.

Для круглой матрицы толщина стенки:

$$a = \frac{P_{\text{max}} \cdot r}{[\sigma]}, \text{ м}, \quad (4.20)$$

где  $r$  - радиус детали,  $\text{м}$ ;

$[\sigma]$  – напряжение материала матрицы  $[\sigma]=3 \cdot 10^8 \text{Па}$ ;

$$a = \frac{60 \cdot 10^6 \cdot 0,0325}{3 \cdot 10^8} = 0,007 \text{ м} = 7 \text{ мм.}$$

#### 4.6 Определение исполнительных размеров оформляющих деталей

В процессе оформления изделия в форме оно приобретает размеры и конфигурацию оформляющего гнезда.

Исполнительные размеры матрицы и пуансона необходимо рассчитывать в зависимости от допуска на изготовление изделия и усадки.

Исполнительные размеры, оформляющие наружные поверхности изделия (матрица):

$$L = \left[ L \left( 1 + \frac{X_{CP}}{100} - \Delta_{ИЗН} \right) \right]^{+\Delta_{ИЗГ}}$$

$$H = \left[ H \left( 1 + \frac{X_{CP}}{100} \right) - \Delta_{ИЗН} \right]^{+\Delta_{ИЗГ}}$$

$$l = \left[ l \left( 1 + \frac{X_{CP}}{100} \right) + \Delta_{ИЗН} \right]_{-\Delta_{ИЗН}}$$

$$h = \left[ h \left( 1 + \frac{X_{CP}}{100} \right) + \Delta_{ИЗН} \right]_{-\Delta_{ИЗН}}$$

где  $L, H$  – наибольшие размеры детали,  $L=65\text{мм}$ ,  $H=20\text{мм}$ ;  $l, h$  – наименьшие размеры детали,  $l=25\text{мм}$ ,  $h=12\text{мм}$ ;

$X_{CP}$  – усадка полимера,  $X_{CP}=0,3\%$ ;

$\Delta_{ИЗГ}$  – допуск на изготовление матрицы и пуансона;

$$L = \left[ 65 \cdot \left( 1 + \frac{0,3}{100} \right) + 0,2 \right]^{+0,190} = 65,4^{+0,190} \text{ мм};$$

$$H = \left[ 20 \cdot \left( 1 + \frac{0,3}{100} \right) + 0,2 \right]^{+0,130} = 20,3^{+0,130} \text{ мм};$$

$$l = \left[ 25 \cdot \left( 1 + \frac{0,3}{100} \right) + 0,2 \right]_{-0,130} = 25,3_{-0,130} \text{ мм};$$

$$h = \left[ 12 \cdot \left( 1 + \frac{0,3}{100} \right) + 0,2 \right]_{-0,090} = 12,2_{-0,090} \text{ мм}.$$

## 5 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

### 5.1 Характеристика технического объекта

Таблица 5.1 – Технологический паспорт технического объекта

Технологический процесс	Технологическая операция	Наименование должности работника,	Оборудование	Материалы
Изготовление пластмассового изделия	Литье под давлением	Оператор ТПА	Термопластавтомат, литьевая форма	Ударопрочный стеклонеполненный полиамид ПА66 «Зайтел».

### 5.2 Идентификация профессиональных рисков

Таблица 5.2 – Идентификация профессиональных рисков

Операция	Вредные и опасные факторы	Источники факторов
	Физические	
Литье пластмассы под давлением	«Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; передвигающиеся изделия, заготовки, материалы» [5].	«Термопластавтомат, литьевая форма» [14]
«Литье пластмассы под давлением» [14]	«Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов» [5].	«Расплавленный полимер, нагретая поверхность оборудования и формы» [14]
	Химические	
«Литье пластмассы под давлением» [14]	«Токсические через органы дыхания» [5]	«Нагретый до температуры плавления полимер» [14]

## 5.3 Методы и средства снижения рисков

Таблица 5.3 – Методы и средства устранения опасных и вредных факторов

Вредные и опасные факторы	Методы и средства защиты	Средства защиты
«Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; передвигающиеся изделия, заготовки, материалы» [5].	«Инструктаж по технике безопасности, ограждение литьевой формы в термопластавтомате» [5]	«Головной убор, нарукавники» [5].
«Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов» [14].	«Инструктаж по технике безопасности, тепловая изоляция нагретого оборудования (минеральная вата, стеклоткань, асбест), осуществление техпроцесса в герметично закрытом оборудовании» [5].	«Халат, костюм, сорочка х/б, тапочки кожаные, перчатки вязанные» [5].
«Токсические через органы дыхания» [5]	«Приточно-вытяжная вентиляция, совмещенная с воздушной системой отопления» [5]	«Респираторы, полумаски» [5]

## 5.4 Пожарная безопасность

### 5.4.1 Идентификация опасных факторов

Таблица 5.4.1 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие факторы
«Участок литья пластмасс под давлением» [14]	«Термопласт-автомат» [14]	В	«Повышенная температура окружающей среды; повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения; пониженная концентрация кислорода; снижение видимости в дыму» [5]	«Образующиеся токсичные вещества и материалы, попавшие в окружающую среду из разрушенных пожаром грузочных и разгрузочных устройств» [5]

## 5.4.2 Разработка средств и мероприятий по обеспечению пожарной безопасности

Таблица 5.4.2 – Средства обеспечения пожарной безопасности

Первичные средства пожаротушения	«Огнетушители (ОП-100, ОУ-80); песок, кошма» [5]
Мобильные средства пожаротушения	«Пожарные автомобили мотопомпы; приспособленные технические средства (тягачи, прицепы и тракторы)» [5]
Стационарные установки системы пожаротушения	«Водяные, газовые и порошковые установки систем пожаротушения» [5].
Средства пожарной автоматики	«Дымовые и тепловые датчики; приемно-контрольные приборы» [5].
Пожарное оборудование	«Пожарные рукава; пожарный инвентарь; пожарные колонки» [5].
Средства индивидуальной защиты	«Противогазы (ГП-7); носилки; защитные костюмы» [5].
Пожарный инструмент	«Пожарные багры, топоры; штыковые лопаты» [5].
Пожарные сигнализация, связь и оповещение	«Оповещатели о пожаре (звуковые, речевые); световые указатели «ВЫХОД»; ручные пожарные извещатели» [5].

## 5.4.3 Мероприятия по предотвращению пожара

Таблица 5.4.3 – Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Технологический процесс	Мероприятия	Нормативные требования
«Литье под давлением» [14]	«- обучение персонала требованиям ПБ; - соблюдение техники безопасности; - соблюдение последовательности и алгоритма технологического процесса; - наличие первичных средств пожаротушения; - своевременная уборка промасленной ветоши с рабочего места; - ограничение взрывоопасных материалов и компонентов на рабочем месте; - хранение взрывоопасных материалов и компонентов в соответствии с требованиями ПБ» [5].	«Требования согласно: 1. <u>Федеральному закону от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 03.07.2016) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"</u> . Статья 93.1. Требования пожарной безопасности к технологическому оборудованию с обращением пожароопасных, пожаровзрывоопасных и взрывоопасных технологических сред. 2. «ГОСТ 12.1.004-91. Межгосударственный стандарт. ССБТ. Общие требования»» [5]

## 5.5 Экологическая безопасность технического объекта

### 5.5.1 Анализ негативных экологических факторов

Таблица 5.5.1 – Идентификация негативных экологических факторов

Технический объект	Составляющие	Воздействие на атмосферу	Воздействие на гидросферу	Воздействие на литосферу
«Литье пластмасс под давлением» [14]	«Термопласт-автомат, сушильный шкаф» [14]	«Пыли пластмасс, фенол, формальдегид, углерода оксид, стирол, органические кислоты, аммиак» [5]	«Сброс в водоемы промышленных неочищенных сточных вод» [5].	«Загрязнение почвы токсичными отходами производства» [5]

### 5.5.2 Разработка мероприятий по снижению негативного воздействия на окружающую среду

Таблица 5.5.2 – Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия

Технический объект	«Литье пластмасс под давлением» [14]
Мероприятия по снижению воздействия на атмосферу	«Пылегазоочистные установки: аппараты мокрой очистки; пылесадительные камеры; циклоны; центробежные скрубберы; мокрые аппараты ударно-инерционного действия; установки каталитического дожигания растворителей» [5]
Мероприятия по снижению воздействия на гидросферу	«- уменьшение объема сточных вод, за счет организации малоотходных и безотходных технологий; - внедрение системы замкнутого оборотного водоснабжения; - принудительная очистка сточных производственных вод» [5].
Мероприятия по снижению воздействия на литосферу	«Совершенствование технологии производства, заключающееся в переработке отходов - повторной переплавке пластика» [5].

## 5.6 Заключение по разделу «Безопасность и экологичность технического объекта»

1. «В разделе «Безопасность и экологичность технического объекта» приведена характеристика технологического процесса литья пластмасс под давлением, перечислены должности работников, инженерно-техническое оборудование, расходные материалы (таблица 5.1)» [5].

2. «Проведена идентификация профессиональных рисков по осуществляемому технологическому процессу литья под давлением. В качестве опасных и вредных производственных факторов идентифицированы следующие: травматизм, ожоги, токсичность» [5].

3. «Разработаны организационно-технические методы и технические средства (технические устройства) устранения (снижения) негативного воздействия опасных и вредных производственных факторов, а именно: инструктажи по технике безопасности, ограждение литейной формы в термопластавтомате, тепловая изоляция нагретого оборудования; приточно-вытяжная вентиляция. Подобраны средства индивидуальной защиты для работников (таблица 5.3)» [5].

4. «Разработаны мероприятия по обеспечению пожарной безопасности технического объекта. Проведена идентификация класса пожара и опасных факторов пожара и разработка средств, методов и мер обеспечения пожарной безопасности (таблица 5.4.1). Разработаны средства, методы и меры обеспечения пожарной безопасности (таблица 5.4.2). Разработаны мероприятия по обеспечению пожарной безопасности на техническом объекте (таблица 5.4.3)» [5].

5. «Идентифицированы негативные экологические факторы (таблица 5.5.1) и разработаны организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия заданного технического объекта на окружающую среду (таблица 5.5.2)» [5].

## 6 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В базовом варианте процесс изготовления детали “Крыльчатка водяного насоса” производится на слесарных станках. Цикл изготовления протекает за 4,3 мин., за время которого происходит резка прутка на заготовки, фрезерование, расточка отверстий, расточка пазов, шлифование отверстий.

В проектном технологическом процессе предлагается изменить материал изделия со стали 45 на ударопрочный стеклонаполненный полиамид ПА66, и изготавливать ее методом литья под давлением. Техпроцесс осуществляется на термопластавтомате SOUND FTN 90 (С).

Затраты на изготовление литейной формы:

- затраты на материалы:  $M=6612,84\text{р.}$ ;
- заготовительные и транспортные расходы:  $TЗР=91,26\text{р.}$  (1,38% от  $M$ );
- зарплата:  $ЗПЛОСН.=127149,73\text{р.}$  ( $Tн/ч=894,35$  н/ч;  $Ст=142,17$  руб.);
- социальный налог:  $Сс= 45773,9\text{р.}$  (36% от  $ЗПЛОСН.$ );
- расходы на содержание оборудования:  $РСО=273244,76\text{р.}$  (214,9% от  $ЗПЛОСН.$ );
- расходы цеховые:  $Рцех=181696,96\text{р.}$  (142,9% от  $ЗПЛОСН.$ );
- себестоимость цеховая:  $Сцех=634569\text{р.}$

Таблица 6.1 – Характеристика инструмента и оборудования

Оборудование	Время, мин.		Мощность, кВт	Площадь, м <sup>2</sup>	Цена, руб.
	Штучное	Машинное			
<b>Базовый процесс</b>					
Токарный отрезной станок	0,9	1,1	6	0,84	160000
Фрезерный станок	0,8	1	9	1,53	280000
Токарный расточной станок	0,87	1,1	8	0,98	180000
Токарный расточной станок	0,9	1,1	8	0,98	180000
Круглошлифовальный станок	0,55	0,69	6	0,7	90000
<b>Предлагаемый процесс</b>					
Термопластавтомат SOUND FTN 90 (С).	0,25	0,17	17,5	5,352	350000

Таблица 6.2 – Характеристики инструмента

Инструмент	Стойкость, удары	Цена, руб.	Кол-во заточек	Цена одной заточки
<b>Базовый процесс</b>				
Резец	250	1200	10	67,86
Фреза	250	1500	25	152,69
Сверло	100	140	8	119,09
Сверло	100	140	8	119,09
Шлифовальный круг	100	90	30	30,54
<b>Предлагаемый процесс</b>				
Литьевая форма	1200000	634569		

Таблица 6.3 – Расчет количества и загрузки оборудования, количества рабочих и числа инструмента

Показатели	Расчетные формулы и расчет	Знач. показателя	
		Базовый	Проектн
Количество оборудования, шт.	$N_{об.} = t_{шт} \cdot N_{Г} / (\Phi_{Э} \cdot K_{ВН} \cdot 60)$		
	$N_{об.1} = 0,9 \cdot 315000 / (3972 \cdot 1,2 \cdot 60) = 0,99$	1	
	$N_{об.2} = 0,8 \cdot 315000 / (3972 \cdot 1,2 \cdot 60) = 0,88$	1	
	$N_{об.3} = 0,87 \cdot 315000 / (3972 \cdot 1,2 \cdot 60) = 0,96$	1	
	$N_{об.4} = 0,9 \cdot 315000 / (3972 \cdot 1,2 \cdot 60) = 0,99$	1	
	$N_{об.5} = 0,55 \cdot 315000 / (3972 \cdot 1,2 \cdot 60) = 0,61$	1	
	$N_{об.пр.} = 0,25 \cdot 315000 / (3972 \cdot 1,2 \cdot 60) = 0,28$		1
Коэффициент загрузки	$K_3 = n_{об.}^{Расч.} / n_{об.}^{Прин.}$		
	$K_{3.1} = 0,99$	0,99	
	$K_{3.2} = 0,96$	0,88	
	$K_{3.3} = 0,88$	0,96	
	$K_{3.4} = 0,61$	0,99	
	$K_{3.5} = 0,75$	0,61	
	$K_{3.пр.} = 0,28$		0,28
Численность рабочих, чел.	$P_{оп} = [t_{шт} \cdot N_{Г} \cdot (1 + K_0 / 100)] / (\Phi_{Эр} \cdot K_{МН} \cdot 60)$		
	$P_{оп1} = [0,9 \cdot 315000 \cdot (1 + 11,8 / 100)] / (1986 \cdot 1 \cdot 60) = 2,73 = 3 \cdot 2 \text{ смены} = 6$	6	
	$P_{оп2} = [0,8 \cdot 315000 \cdot (1 + 11,8 / 100)] / (1986 \cdot 1 \cdot 60) = 2,4 = 3 \cdot 2 \text{ смены} = 6$	6	
	$P_{оп3} = [0,87 \cdot 315000 \cdot (1 + 11,8 / 100)] / (1986 \cdot 1 \cdot 60) = 2,6 = 3 \cdot 2 \text{ смены} = 6$	6	
	$P_{оп4} = [0,9 \cdot 315000 \cdot (1 + 11,8 / 100)] / (1986 \cdot 1 \cdot 60) = 2,73 = 3 \cdot 2 \text{ смены} = 6$	6	
	$P_{оп5} = [0,55 \cdot 315000 \cdot (1 + 11,8 / 100)] / (1986 \cdot 1 \cdot 60) = 2 \cdot 2 \text{ смены} = 4$	4	
	$P_{оп.пр.} = [0,25 \cdot 315000 \cdot (1 + 11,8 / 100)] / (1986 \cdot 1 \cdot 60) = 1 \cdot 2 \text{ смены} = 2$		2

Продолжение таблицы 6.3

Показатели	Расчетные формулы и расчет	Знач. показателя	
		Базовый	Проектн
Число инструмента, шт.	$n = N_{Г} / T_{и.шт.}$		
	$n_{и.1} = 315000/250 \cdot 10 = 126$	126	
	$n_{и.2} = 315000/250 \cdot 25 = 51$	51	
	$n_{и.3} = 315000/100 \cdot 8 = 394$	394	
	$n_{и.4} = 315000/100 \cdot 8 = 394$	394	
	$n_{и.5} = 315000/100 \cdot 30 = 105$	105	
	$n_{ф.пр.} = 315000/1200000 = 1$		1

Таблица 6.4 – Расчет себестоимости базового и предлагаемого варианта изготовления изделия

Показатель	Расчет и формула	Значение показателя	
		Базовый	Предлаг.
Затраты на материал, руб.	$M = (M_3 \cdot C_M \cdot K_{ТЗ}) - (M_{отх} \cdot C_{отх})$ $M = (0,35 \cdot 157,5 \cdot 1,0133) - (0,2 \cdot 0,5) = 55,8$ $M = (0,044 \cdot 82,06 \cdot 1,0133) - (0,0015 \cdot 2,62) = 3,65$	55,8	3,65
Заработная плата рабочих, руб.	$Z_{пл} = P \cdot C_T \cdot \Phi_{Э.Р.} \cdot K_{Зпл} \cdot K_3 / N_{Г}$ $Z_{пл.б.} =$ $= (6 \cdot 0,99 + 6 \cdot 0,88 + 6 \cdot 0,96 + 6 \cdot 0,99 + 4 \cdot 0,61) \cdot 34,84 \cdot 1986 \cdot 2,24 / 315000 = 12,48$ $Z_{пл.пр.} = 1 \cdot 0,28 \cdot 34,84 \cdot 1986 \cdot 2,24 / 315000 = 0,14$	12,48	0,14
Амортизация и ремонт оборудования, руб.	$P_A = C_{об} \cdot (1 - B_p) \cdot H_A \cdot t_{шт} \cdot 1,3] /$ $/ \Phi_{Э} \cdot K_{вн} \cdot 60 \cdot 100$ $P_{A1} = 160000 \cdot (1 - 0,05) \cdot 8 \cdot 0,9 \cdot 1,3] /$ $/ 3972 \cdot 1,2 \cdot 60 \cdot 100 =$ $P_{A2} = 280000 \cdot (1 - 0,05) \cdot 8 \cdot 0,8 \cdot 1,3] /$ $/ 3972 \cdot 1,2 \cdot 60 \cdot 100 = 0,08$ $P_{A3} = 180000 \cdot (1 - 0,05) \cdot 8 \cdot 0,87 \cdot 1,3] /$ $/ 3972 \cdot 1,2 \cdot 60 \cdot 100 = 0,05$	0,05	0,08
		0,05	

Продолжение таблицы 6.4

Показатель	Расчет и формула	Значение показателя	
		Базовый	Предлаг.
	$P_{A4} = 180000 \cdot (1 - 0,05) \cdot 8 \cdot 0,9 \cdot 1,3 /$ $/ 3972 \cdot 1,2 \cdot 60 \cdot 100 = 0,06$ $P_{A5} = 90000 \cdot (1 - 0,05) \cdot 8 \cdot 0,55 \cdot 1,3 /$ $/ 3972 \cdot 1,2 \cdot 60 \cdot 100 = 0,02$ $P_{a.пр.} = 350000 \cdot (1 - 0,05) \cdot 5 \cdot 0,25 \cdot 1,3 /$ $3972 \cdot 1,2 \cdot 60 \cdot 100 = 0,02$	0,06  0,02	0,02
Электроэнергия, руб.	$P_{Э} = M_{у} \cdot t_{МАШ} \cdot K_{ОД} \cdot K_{М} \cdot K_{В} \cdot K_{П} \cdot Ц_{Э} / КПД \cdot 60$ $P_{Э} = (6 \cdot 1,1 + 9 \cdot 1 + 8 \cdot 1,1 + 8 \cdot 1,1 + 6 \cdot 0,69) \cdot 0,8 \cdot$ $0,8 \cdot 0,7 \cdot 1,03 \cdot 3 / 0,75 \cdot 60 = 1,15$ $P_{Э} = 17,5 \cdot 0,17 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,7 \cdot 1,03 \cdot 3 / 0,75 \cdot 60 =$ $= 0,09$	1,15	0,09
Амортизация инструмента, руб.	$P_{И} = Ц \cdot [1 - В_{р.и.}] / T_{и.}$ $P_{И1} = (1200 + 10 \cdot 67,86) [1 - 0,15] / 250 \cdot 10 = 0,64$ $P_{И2} = (1500 + 25 \cdot 152,69) [1 - 0,15] / 250 \cdot 25 = 0,72$ $P_{И3} = (140 + 8 \cdot 119,09) [1 - 0,15] / 100 \cdot 8 = 1,16$ $P_{И4} = (140 + 8 \cdot 119,09) [1 - 0,15] / 100 \cdot 8 = 1,16$ $P_{И5} = (90 + 30 \cdot 30,54) [1 - 0,15] / 100 \cdot 30 = 0,29$ $P_{ИПР} = 634569 [1 - 0,15] / 1200000 = 0,45$	0,64 0,72 1,16 1,16 0,29	0,45
Содержание и эксплуатация цеховых площадей, руб.	$P_{ПЛ} = S_{у} \cdot n_{об} \cdot Ц_{ПЛ} \cdot K_3 / N_{Г}$ $P_{ПЛ} =$ $= (0,84 \cdot 1 \cdot 0,99 + 1,53 \cdot 1 \cdot 0,96 + 0,98 \cdot 1 \cdot 0,88 + 0,98 \cdot 1 \cdot 0,61$ $+ 0,7 \cdot 1 \cdot 0,75) \cdot 4500 / 315000 = 0,06$ $P_{ПЛ} = 5,352 \cdot 1 \cdot 4500 \cdot 0,28 / 315000 = 0,02$	0,06	0,02
Заработная плата наладчиков, руб.	$З_{НАЛ} = n_{об} \cdot C_{т} \cdot Ф_{Э.р.} \cdot K_{ЗПЛ} \cdot K_3 /$ $/ n_{обс} \cdot N_{Г}$ $З_{НАЛ.б.} = (1 \cdot 0,99 + 1 \cdot 0,96 + 1 \cdot 0,88 + 1 \cdot 0,61 +$ $+ 1 \cdot 0,75) \cdot 45 \cdot 1986 \cdot 2,24 / 6 \cdot 315000 = 0,44$ $З_{НАЛ.ПР.} = 1 \cdot 0,28 \cdot 45 \cdot 1986 \cdot 2,24 / 6 \cdot 315000 = 0,03$	0,44	0,03

Продолжение таблицы 6.4

Показатель	Расчет и формула	Значение показателя	
		Базовый	Предлаг.
Итого: Себестоимость технологическая, руб.	$C_{\text{ТЕХ}} = M + 3_{\text{ПЛ}} + P_A + P_{\text{Э}} + P_{\text{И}} + P_{\text{ПЛГ}} + 3_{\text{НАЛ}}$ $C_{\text{тех.б.}} = 55,8 + 12,48 + (0,05 + 0,08 + 0,05 + 0,06 + 0,02) + 1,15 + (0,64 + 0,72 + 1,16 + 1,16 + 0,29) + 0,06 + 0,44 = 74,16$ $C_{\text{тех.пр.}} = 3,65 + 0,14 + 0,02 + 0,09 + 0,45 + 0,02 + 0,03 = 4,4$	74,16	4,4
Расходы общие производственные, руб.	$P_{\text{ЦЕХ}} = 3_{\text{ПЛ}} \cdot K_{\text{ЦЕХ}}$ $P_{\text{цех.б.}} = (12,48 + 0,44) \cdot 1,5 = 19,38$ $P_{\text{цех.пр.}} = (0,14 + 0,03) \cdot 1,5 = 0,26$	19,38	0,26
Всего, руб.	$C_{\text{ЦЕХ}} = P_{\text{ЦЕХ}} + C_{\text{ТЕХ}}$ $C_{\text{цех.б.}} = 19,38 + 74,16 = 93,54$ $C_{\text{цех.пр.}} = 0,26 + 4,4 = 4,66$	93,54	4,66

Таблица 6.5 – Капитальные вложения

Показатели	Расчетные формулы и расчет	Значение показателя	
		Базовый	Проект
Вложения в термопластавтомат, руб.	$K_{\text{ОБ.}} = n_{\text{ОБ.}} \cdot C_{\text{ОБ.}} \cdot K_3$ $K_{\text{ОБ.Б.}} =$ $= 1 \cdot 160000 \cdot 0,99 + 1 \cdot 280000 \cdot 0,88 + 1 \cdot 180000 \cdot 0,96$ $+ 1 \cdot 180000 \cdot 0,99 + 1 \cdot 90000 \cdot 0,61 = 755800$ $K_{\text{ОБ.ПР.}} = 1 \cdot 350000 \cdot 0,28 = 98000$	755800	98000
Затраты на доставку и установку термопластавтомата, руб.	$K_{\text{М}} = K_{\text{ОБ.}} \cdot K_{\text{МОНТ}}$ $K_{\text{М}} = 755800 \cdot 0,15 = 113370$ $K_{\text{М}} = 98000 \cdot 0,15 = 14700$	113370	14700
Затраты на инструмент, руб. $K_{\text{И}} = C_{\text{ШТ}} \cdot n_{\text{ШТ}}$	$K_{\text{И}} = (1200 + 10 \cdot 67,86) \cdot 1 + (1500 + 25 \cdot 52,69) \cdot 1 + (140 + 8 \cdot 119,09) \cdot 1 + (140 + 8 \cdot 119,09) \cdot 1 + (90 + 30 \cdot 30,54) \cdot 1 = 7887$ $K_{\text{И.ПР.}} = 634569 \cdot 1 = 634569$	7887	634569

Продолжение таблицы 6.5

Показатели	Расчетные формулы и расчет	Значение показателя	
		Базовый	Проект
Затраты на цеховые площади, руб.	$K_{ПЛ} = n_{об.} \cdot S_y \cdot Ц_{ПЛ} \cdot K_3$ $K_{ПЛ.б.} =$ $= (1 \cdot 0,84 \cdot 0,99 + 1 \cdot 1,53 \cdot 0,88 + 1 \cdot 0,98 \cdot 0,96 + 1 \cdot 0,98 \cdot 0,99 + 1 \cdot 0,7 \cdot 0,61) \cdot$ $\cdot 4500 = 20322$ $K_{ПЛ.б.} = 1 \cdot 5,352 \cdot 4500 \cdot 0,28 = 6744$	20322	6744
Всего	$K_{соп} = K_M + K_{и} + K_{ПЛ}$ $K_{соп.б.} = 113370 + 7887 +$ $+ 20322 = 141579$ $K_{соп.пр.} = 14700 + 634569 +$ $+ 6744 = 656013$	141579	656013
Общие капитальные вложения, руб.	$K_{общ} = K_{об} + K_{соп}$ $K_{общ.б.} = 755800 + 141579 = 897379$ $K_{общ.пр.} = 98000 + 656013 = 754013$	897379	754013
Удельные капитальные вложения, руб.	$K_{уд} = K_{общ} / N_{Г}$ $K_{уд.б.} = 897379 / 315000 = 2,85$ $K_{уд.пр.} = 754013 / 315000 = 2,39$	2,85	2,39

Таблица 6.6 – Расчет экономической эффективности

Показатель	Расчет и формула	Значение показателя	
Годовая экономия, руб.	$\mathcal{E}_{уг} = (C_{цех}^{Баз} - C_{цех}^{Проект}) \cdot N_{Г}$ $\mathcal{E}_{уг.} = (93,54 - 4,66) \cdot 315000 = 27997200$	27997200	
Затраты, руб.	$З_{пр} = C_{цех} + E_n \cdot K_{уд}$ $З_{пр.б.} = 93,54 + 0,33 \cdot 2,91 = 88,44$ $З_{пр} = 4,66 + 0,33 \cdot 2,39 = 5,45$	94,5	5,45

Продолжение таблицы 6.6

Показатель	Расчет и формула	Значение показателя
Срок окупаемости капитальных вложений, год	$T_{ок} = K_{вв} / \Delta_{уг}$ $T_{ок} = 754013 / 27997200 = 0,03 = 1$	1
Годовой экономический эффект, руб.	$\Delta_{г} = (Z_{пр}^{баз.} - Z_{пр}^{проект}) \cdot N_{г}$ $\Delta_{г} = (94,5 - 5,45) \cdot 315000 = 26141850$	28050750
Абсолютное изменение себестоимости, руб.	$\Delta C_{абс} = 93,54 - 4,66 = 88,88$	88,88
Относительное изменение себестоимости, %	$\Delta C_{отн} = \frac{93,54 - 4,66}{93,54} \cdot 100 = 95$	95

Вывод по экономической части: внедрение нового технологического процесса изготовления детали «Крыльчатка водяного насоса» позволило снизить себестоимость с 93,54 руб. до 4,66 руб. за счет:

- замены материала изделия со стали на полимер;
- уменьшения цикла изготовления.

Годовой экономический эффект от внедрения составил 28050750руб. при сроке окупаемости – один год.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В бакалаврской работе были рассчитаны: гнездность, объем впрыска и усилие смыкания формы, на основании которых было выбрано оборудование – термопластавтомат SOUND FTN 90 (C).

Модернизация литейной формы заключалась в следующем:

1. проведены прочностные расчеты, на основании которых выбраны материалы деталей формы;
2. проведен расчет систем литниковых и вентиляционных каналов;
3. проведен расчет системы термостатирования и системы удаления;
4. проведен расчет давления в полости, необходимое для оформления изделия;
5. рассчитана толщина стенки матрицы и исполнительные размеры и пуансона.

В работе рассмотрены меры по обеспечению безопасности и экологичности проекта, проведены экономические расчеты, доказана экономическая эффективность. Годовой экономический эффект составил 28050750 руб. при сроке окупаемости – один год.

Таким образом, работа по решению задач бакалаврской работы выполнена, цель работы – снижение себестоимости изготовления изделия за счет перехода на современные полимерные материалы – достигнута.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Александрова, Н.В. Экономика машиностроительного производства: Учебно-методическое пособие к выполнению курсовой работы [Текст] / Н.В. Александрова. – Тольятти : ТГУ, 2007. – 26 с.
2. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3т. Т. 1. – 8-е изд., перераб. и доп. [Текст] / В.И. Анурьев. – М. : Машиностроение, 2001. – 920 с.
3. Белкин, И.М. Справочник по допускам и посадкам для рабочего машиностроителя [Текст] / И.М. Белкин. – М. : Машиностроение, 1985. – 320 с.
4. Видгоф, Н.Б. Основы конструирования литьевых форм для термопластов [Текст] / Н.Б. Видгоф. – М. : Машиностроение, 1979. – 264 с.
5. Горина, Л.Н. Раздел выпускной квалификационной работы «Безопасность и экологичность технического объекта». Уч.-методическое пособие [Текст] / Л.Н. Горина. – Тольятти : ТГУ, 2016. – 22 с.
6. Егоров, А.Г. Правила оформления выпускных квалификационных работ по программам подготовки бакалавра и специалиста: учебно-методическое пособие / А.Г. Егоров, В.Г. Виткалов, Г.Н. Уполовникова, И.А. Живоглядова. – Тольятти, 2012. – 135 с.
7. Казаков, С.И. Производство пресс-форм и штампов [Текст] / С.И. Казаков, А.А. Холмов. – Тольятти: Ника, 2004г. – 27 с.
8. Калинин, Э.Л. Высокие технологии в полимерных материалах: модифицирующие концентраты [Текст] / Э.Л. Калинин, М.Б. Саковцева // Международные новости мира пластмасс. – 2005. – Вып. 7–8. – С. 48–51.
9. Крыжановский, В.К. Производство изделий из полимерных материалов [Текст] / В.К. Крыжановский. – СПб. : Профессия, 2008. – 465 с.
10. Кулезнев, В.Н. Смеси и сплавы полимеров [Текст] / В.Н. Кулезнев. СПб. : Научные основы и технологии, 2013. – 216 с.

11. Мэллой, Р.А. Конструирование пластмассовых изделий для литья под давлением [Текст] / Р.А. Мэллой. – СПб. : Профессия, 2006. – 512 с.
12. Освальд, Т. Литье пластмасс под давлением [Текст] / Т. Освальд, Л.-Ш. Тунг, П.Дж. Грэмманн. – СПб. : Профессия, 2006. – 712 с.
13. Пантелеев, А.П. Справочник по проектированию оснастки для переработки пластмасс [Текст] / А.П. Пантелеев, Ю.М. Шевцов, И.А. Горячев. – М. : Машиностроение, 1986. – 400 с.
14. Фетисова, Т.С. Изготовление пластмассовых изделий: Учебно-метод. пособие к выполнению курсового проектирования [Текст] / Т.С. Фетисова. – Тольятти : ТГУ, 2007. – 62 с.
15. Фетисова, Т.С. Проектирование литьевых форм для изготовления пластмассовых изделий Учебное пособие по дисциплине «Изготовление пластмассовых изделий» [Текст] / Т.С. Фетисова. – Тольятти : ТГУ, 2012. – 113 с.
16. Чалая, Н.М. Модификация свойств и крашение пластмасс при литье под давлением [Текст] / Н.М. Чалая // Пластические массы. – 2003. – Вып. 4. – С. 3–6.
17. Forstner, R. A novel dilatometer for PVT measurements of polymers at high cooling – and shear rates / R. Forstner, G.W.M. Peters, H.E.H. Meijer // Int. Polym. Proc. – 2009. – V. 24, № 2. – P. 114–121.
18. Isayev, A.I. Volumetric and anisotropic shrinkage in injection molding of thermoplastics / A.I. Isayev, K. Kwon // Injection molding: Technology and fundamentals. – 2009. – P. 779–808.
19. Osswald, T. A. Polymer processing: Modelling and simulation / T. A. Osswald, J. P. Hernandez-Ortiz. – Munich, Cincinnati : Hanser Publishers, Hanser Gardner Publications, 2006. 633 p.
20. Patcharaphun, S. The effect of thickness on the weldline strength of injection molded thermoplastic composites / S. Patcharaphun, P. Jariyatammanukul // Polymer Plast. Tech. Eng. – 2010. – V. 49. – P. 1305–1309.

21.Utracki, L.A. Pressure-volume-temperature dependencies of polystyrenes /  
L.A. Utracki // Polymer. – 2005. – V. 46. – P. 11548–11556.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Перв. поимен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	кол.	Примечание	
Стор. №						Документация			
		A1			17.БР.СОМДиРП.597.61.00.000	Сборочный чертеж			
Полп. и дата						Сборочные единицы			
				1	17.БР.СОМДиРП.597.61.01.000	Электродвигатель	1		
				2	17.БР.СОМДиРП.597.61.02.000	Редуктор	1		
				3	17.БР.СОМДиРП.597.61.03.000	Загрузочное устройство	1		
				4	17.БР.СОМДиРП.597.61.04.000	Цилиндр литьевой машины	1		
				5	17.БР.СОМДиРП.597.61.05.000	Нагревательный элемент	4		
				6	17.БР.СОМДиРП.597.61.06.000	Шнек	1		
				7	17.БР.СОМДиРП.597.61.07.000	Неподвижная плита	1		
				8	17.БР.СОМДиРП.597.61.08.000	Литьевая форма	1		
				9	17.БР.СОМДиРП.597.61.09.000	Подвижная плита	1		
				10	17.БР.СОМДиРП.597.61.10.000	Направляющая колонна	4		
				11	17.БР.СОМДиРП.597.61.11.000	Неподвижная плита	1		
				12	17.БР.СОМДиРП.597.61.12.000	Гидромеханический привод	1		
		13	17.БР.СОМДиРП.597.61.13.000	Станина	1				
Взам. инв. №		17.БР.СОМДиРП.597.61.00.000							
		Изм.	Лист	№ док.им.	Подп.	Дата			
Полп. и дата		Разраб.	Македон			Комплекс оборудования: термопластавтомат SOUND FTN 90 (C)	Лит.	Лист	Листов
		Проб.	Скрипачев						1
Инв. № подл.		Н.контр.	Виткалов			ТГУ, ИМ, гр. МСБЗ-1231			
		Утв.	Ельцов				Формат А4		

Рисунок А.1 – Спецификация на оборудование

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б**  
**Спецификация на литьевую форму**

Формат Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме- чание
			<i>Документация</i>		
АО		17.БР.СОМДyРП.597.61.08.000	Сборочный чертеж		
			<i>Сборочные единицы</i>		
Справ. №	1	17.БР.СОМДyРП.597.61.08.001	Основание подвижное	1	
	2	17.БР.СОМДyРП.597.61.08.002	Кольцо подъемное №1	1	
	3	17.БР.СОМДyРП.597.61.08.003	Плита опорная	1	
	4	17.БР.СОМДyРП.597.61.08.004	Брус	1	
	5	17.БР.СОМДyРП.597.61.08.005	Плита правая	1	
	6	17.БР.СОМДyРП.597.61.08.006	Плита средняя	1	
	7	17.БР.СОМДyРП.597.61.08.007	Выталкиватель центральный	4	
	8	17.БР.СОМДyРП.597.61.08.008	Знак центральный	4	
	9	17.БР.СОМДyРП.597.61.08.009	Ниппель М12х1,25	4	
	10	17.БР.СОМДyРП.597.61.08.010	Фланец подвижный	1	
	11	17.БР.СОМДyРП.597.61.08.011	Ниппель М20х1,5	4	
	12	17.БР.СОМДyРП.597.61.08.012	Знак	16	
	13	17.БР.СОМДyРП.597.61.08.013	Заглушка	11	
	14	17.БР.СОМДyРП.597.61.08.004	Выталкиватель литника	1	
	15	17.БР.СОМДyРП.597.61.08.015	Контртолкатель	2	
	16	17.БР.СОМДyРП.597.61.08.016	Плита левая	1	
	17	17.БР.СОМДyРП.597.61.08.017	Кольцо подъемное №2	1	
	18	17.БР.СОМДyРП.597.61.08.018	Основание неподвижное	1	
	19	17.БР.СОМДyРП.597.61.08.019	Плита матриц неподвижная	1	
	20	17.БР.СОМДyРП.597.61.08.020	Плита матриц подвижная	1	
	21	17.БР.СОМДyРП.597.61.08.021	Обойма неподвижная	4	
<b>17.БР.СОМДyРП.597.61.08.000</b>					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
Разраб.	Македон				
Проб.	Скрипачев				
Н.контр.	Виткалов				
Утв.	Ельцов				
			Литьевая форма для изготовления детали "Крыльчатка водяного насоса"		
			Копировал	Лит.	Листов
				1	2
			ТГУ, ИМ, гр. МСБЗ-1231		
			Формат А4		

Рисунок Б.1 – Первый лист спецификации

