

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 Стышев Сергей Владимирович

1. Тема Разработка технологического процесса и литьевой формы для изготовления детали «Корпус крышки топливного бака»

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

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: _____

программа выпуска 100000 шт/год, _____ материал:
полиамид ПА66

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. Цикловая диаграмма (А1). 4. Литьевая форма (разрез – А0). 5. Литьевая форма (план –А1).

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)

С.В. Стышев

(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 Стышева Сергея Владимировича
по теме Разработка технологического процесса и литейной формы для изготовления детали
«Корпус крышки топливного бака»

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 литейной 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)	<u>А.В. Скрипачев</u> (И.О. Фамилия)
_____ (подпись)	<u>С.В. Стышев</u> (И.О. Фамилия)

АННОТАЦИЯ

Бакалаврская работа посвящена разработке нового технологического процесса изготовления детали «Корпус крышки топливного бака». В работе были рассчитаны: количество гнезд, объем отливки, энергосиловые параметры, по которым выбрано оборудование – термопластавтомат Sound FTN 130 (B).

Для изготовления детали была рассчитана и спроектирована литевая форма, а именно:

- произведены прочностные расчеты и выбраны материалы деталей литевой формы;
- рассчитано количество и взаимное расположение литниковых и газоотводящих каналов;
- произведен расчет системы охлаждения и системы удаления изделий из формы;
- определено максимальное давление в полости, которое необходимо для оформления изделия; толщина стенки оформляющих деталей и их исполнительные размеры.

Рассмотрены вопросы обеспечения пожарной безопасности безопасности и экологичности технического объекта, проведено экономическое обоснование, рассчитана экономическая эффективность..

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
АННОТАЦИЯ.....	4
ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА	9
1.1 Анализ технологичности детали	9
1.2 Анализ базовой технологии изготовления детали.....	11
1.3 Выявление недостатков базовой технологии.....	15
1.4 Задачи бакалаврской работы.....	15
2 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ	16
2.1 Схема предлагаемого технологического процесса изготовления детали.....	16
2.2 Определение первоначальной гнездности и объема отливки для заполнения гнезд	17
2.3 Определение энергосиловых параметров процесса литья.....	17
3 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ И СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ	20
3.1 Выбор типоразмера оборудования и его основные технические характеристики.....	20
3.2 Средства автоматизации, основные характеристики, описание работы.....	22
4 РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ЛИТЬЕВОЙ ФОРМЫ.....	26
4.1 Состав, конструкция и работа литейной формы	26
4.2 Прочностные расчеты и выбор материалов деталей формы	30
4.3 Определение числа и расположения элементов системы литейной формы.....	32
4.3.1 Система литниковых каналов	32
4.3.2 Система вентиляционных каналов	37
4.3.3 Система термостатирования	38
4.3.4 Система удаления изделий и литника из формы	40

4.4 Определение толщины стенки матрицы	40
4.5 Определение исполнительных размеров оформляющих деталей.....	42
5 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИГО ОБЪЕКТА.....	43
6 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	48
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	57
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	58
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	61

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 экономии материала.

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;

6) конфигурация изделия должна обеспечивать применение неразъемных матриц и пуансонов, что не усложнять и не удорожать литевую форму;

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

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

В базовом технологическом процессе изготавливается деталь «Корпус крышки топливного бака», представленная на рисунке 1.1, из АБС-пластика 2020.

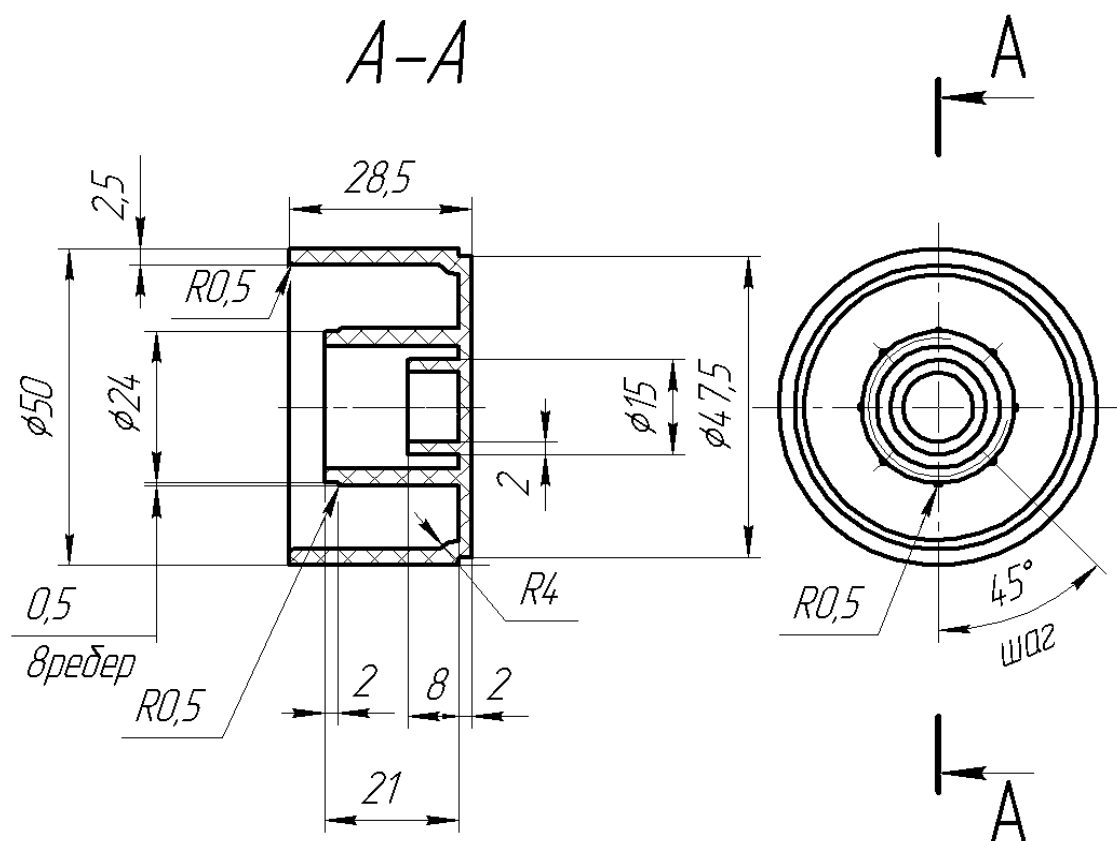


Рисунок 1.1 – Деталь «Корпус крышки топливного бака»

Анализ технологичности детали:

- 1) изделие имеет технологические уклоны в 1° , облегчающие съем изделия;

- 2) изделие не имеет поднутрений, необходимых для его эксплуатации;
- 3) изделие имеет необходимые закругления и ребра жесткости, которые повышают прочность, облегчает процесс формование и улучшают его внешний вид;
- 4) стенки изделия не имеют разнотолщинность по сечению;
- 5) конструкция изделия не включает металлическую или другую арматуру;
- 6) в конструкции изделия предусмотрено место подвода литника, поверхность сталкивания и линия разъема формообразующих элементов;
- 7) при выборе пластмассы учтены условия эксплуатации.

Можно сделать вывод о том, что деталь «Корпус крышки топливного бака» является технологичной.

1.2 Анализ базовой технологии изготовления детали

Типовые требования к технологическим процессам изготовления деталей:

- 1) независимо от назначения (производство, ремонт или совершенствование выпускаемой продукции) технологический процесс должен разрабатываться в соответствии с современными достижениями науки и техники;
- 2) технологический процесс должен быть прогрессивным согласно отраслевым системам аттестации, т. е. обеспечивать повышение качества изделий и производительности труда, сокращать трудовые и материально-технические затраты на его реализацию, снижать вредные воздействия на окружающую среду и т. д.;
- 3) разработка технологического процесса должна начинаться после отработки конструкции изделия на технологичность, так как технологический процесс должен обеспечивать реализацию уровня

базовых показателей технологичности конструкций изготавливаемого или ремонтируемого изделия;

- 4) технологический процесс должен соответствовать требованиям техники безопасности и промышленной санитарии,
- 5) технологический процесс должен гарантировать изготовление изделий с себестоимостью, обеспечивающей не только рентабельность производства, но и конкурентоспособность этих изделий на рынке сбыта,
- 6) технологический процесс должен повышать эффективность производства и увеличивать прибыль.

Базовый технологический процесс, соответствующий рисунку 1.2, представляет собой литье под давлением шести деталей «Корпус крышки топливного бака» из АБС-пластика 2020. Деталь изготавливается на оборудовании – термопластавтомате Sound FTN 130 (B).

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

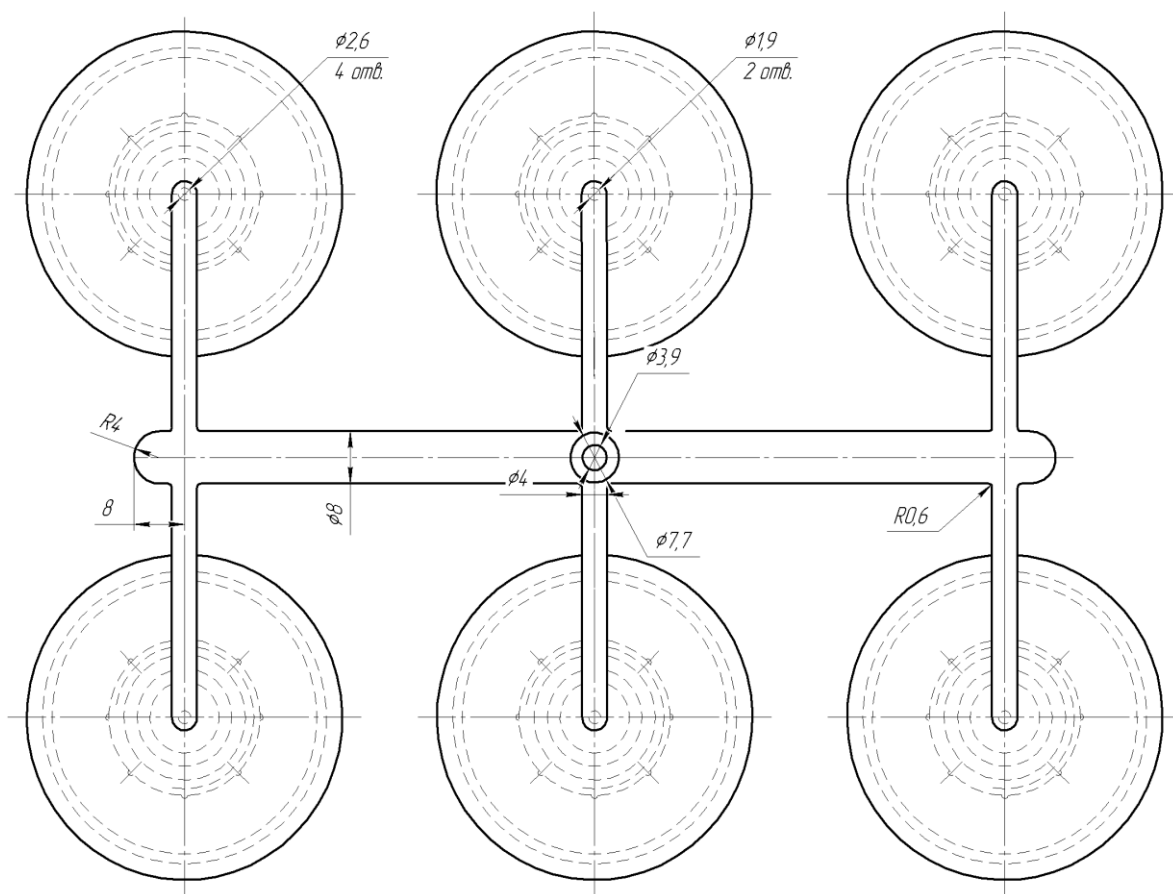


Рисунок 1.2 – Литниковая система базового технологического процесса

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 слой,

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 реструктуре 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.

1.3 Выявление недостатков базовой технологии

Базовая технология имеет следующие недостатки:

- 1) рядная литниковая система, что увеличивает длину литниковых каналов, а это в свою очередь способствует потере давления и температуры, уменьшая эффективное сечение этих каналов;
- 2) рядная литниковая система не позволяет одновременно заполнять гнезда расплавом и соответственно не обеспечивает одновременного охлаждения отливок; в результате изделия получаются с неодинаковыми свойствами;
- 3) толщина изделия составляет 3 мм, что при литье под давлением вызывает появление остаточных напряжений в изделии.

1.4 Задачи бакалаврской работы

В соответствии с анализом базовой технологии и поставленной целью в данной бакалаврской работе необходимо решить следующие задачи:

- 1) разработать новый технологический процесс изготовления детали;
- 2) выбрать оборудование для нового технологического процесса;
- 3) разработать конструкцию и рассчитать структурные системы литевой формы;
- 4) рассмотреть экологичность и безопасность технического объекта;
- 5) рассчитать экономическую эффективность предлагаемого технологического процесса в сравнении с базовым.

2 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ

2.1 Схема предлагаемого технологического процесса изготовления детали

В предлагаемом варианте технологии изготовления детали, представленной на рисунке 2.1, предложено изменить тип литниковой системы с рядной на круговую, а также изменить толщину изделия с 3мм до 2,5 мм. Круговая литниковая система обеспечивает одновременное заполнение полостей расплавом и одновременное охлаждение отливок, что сказывается на однородности их свойств.

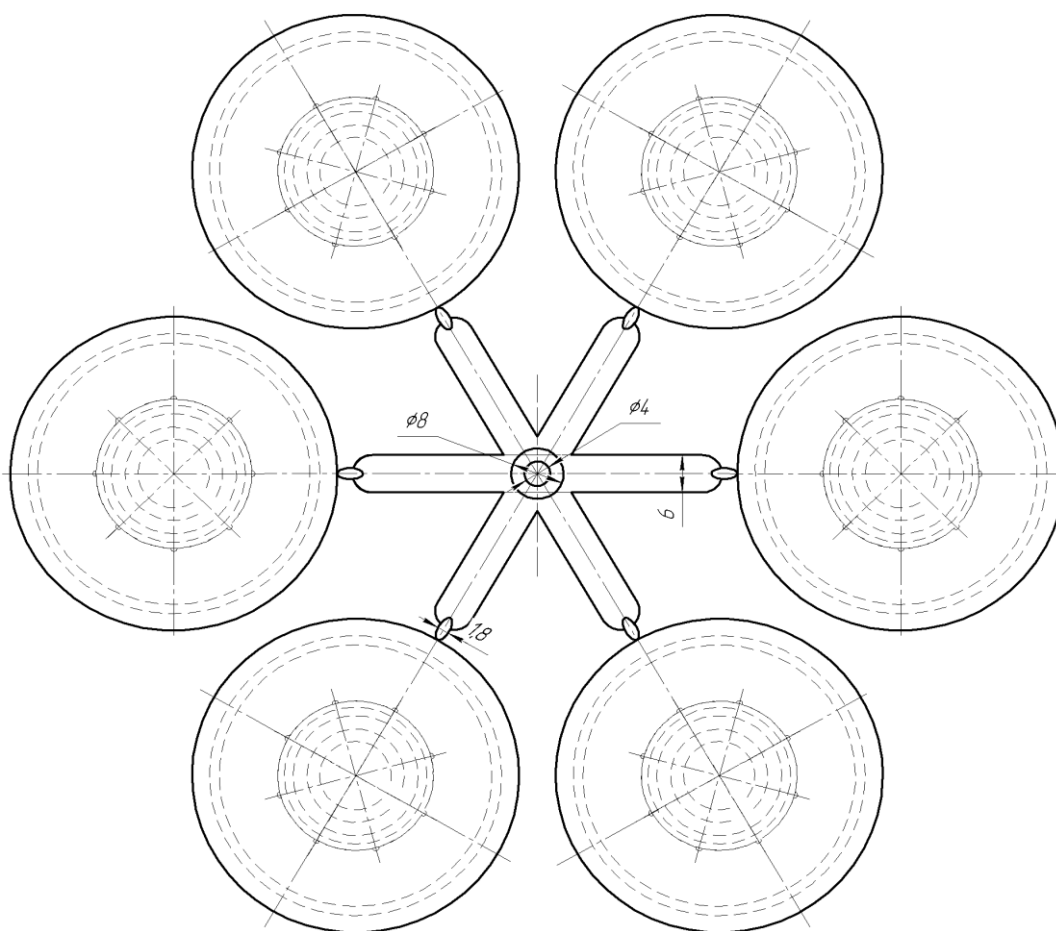


Рисунок 2.1 – Литниковая система предлагаемого технологического
процесса

2.2 Определение первоначальной гнездности и объема отливки для заполнения гнезд

Первоначально гнездность определяем, исходя из массы изготавливаемого изделия.

Объем изделия:

$$V_{изд} = \frac{m}{\rho}, \quad (2.1)$$

где $m = 0,019 \text{ кг}$ – масса изделия;

ρ - плотность материала изделия;

$\rho = 1100 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ – для материала АБС-пластик 2020.

$$V_{изд} = \frac{0,018}{1100} = 0,000016 \text{ м}^3 = 16 \text{ см}^3.$$

$$m_{изд} = G_{изд} = 18 \text{ г} \Rightarrow n_0 = 10.$$

Учитывая расположение литниковой системы на плите литьевой формы, конструктивно назначаем число гнезд $n_0 = 8$.

Объем впрыска Q_0 :

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

где $V_{изд}$ – объем детали, см^3 ;

$k_1 = 1,1$ – коэффициент, учитывающий литниковую систему [10];

$\beta_1 = 0,7$ – коэф. использ. машины;

$$Q_0 = \frac{8 \cdot 16 \cdot 1,1}{0,7} \approx 202 \text{ см}^3.$$

2.3 Определение энергосиловых параметров процесса литья

К энергосиловым параметрам процесса литья относится пластикационная производительность и усилие смыкание литьевой формы.

Пластикационная производительность A_0 :

$$A_0 = \frac{G_u \cdot n_0 \cdot k_1}{\tau_{охл}}, \quad (2.3)$$

где $G_{уз} = 0,019 \text{ кг}$ – масса детали;

$n_0 = 2$ – гнездность;

$k_1 = 1,1$ – коэффициент, литниковой системы;

$\tau_{охл}$ – время охлаждения детали, с :

$$\tau_{охл} = \frac{0,405}{a} \cdot \left(\frac{\delta}{2} \right)^2 \cdot \left(\ln 1,27 - \ln \frac{t_k - t_\phi}{t_n - t_\phi} \right), \quad (2.4)$$

где a – температуропроводность, $\frac{\text{м}^2}{\text{с}}$ [10]; $a = 1,3 \cdot 10^{-7} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$;

$\delta = 0,0025 \text{ м}$ – толщина детали;

t_ϕ – температура формы, $^\circ\text{C}$ [10]; $t_\phi = 70^\circ\text{C}$;

t_n – температура расплава, $^\circ\text{C}$ [10]; $t_n = 220^\circ\text{C}$;

$t_k = 6...25^\circ\text{C} + t_\phi$;

$t_k = 6...25^\circ\text{C} + 70^\circ\text{C} = 95^\circ\text{C}$;

$$\tau_{охл} = \frac{0,405}{1,3 \cdot 10^{-7}} \left(\frac{0,0025}{2} \right)^2 \cdot \left(\ln 1,27 - \ln \frac{95 - 70}{220 - 70} \right) \approx 10 \text{ с}$$

$$A_0 = \frac{0,018 \cdot 8 \cdot 1,1}{10} \approx 0,016 \frac{\text{кг}}{\text{с}};$$

Скорость впрыска:

$$W_0 = \frac{A_0}{\rho}, \quad (2.5)$$

$$W_0 = \frac{0,016}{1100} = 14 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = 14 \frac{\text{см}^3}{\text{с}}.$$

Усилие запираения P_0 :

$$P_0 = q \cdot F_{np} \cdot n_0 \cdot k_2 \cdot k_3, \text{ кН}; \quad (2.6)$$

где $q = 32 \text{ МПа}$ – давление в гнезде;

F_{np} – площадь проекции детали на плоскость разъема, м^2 ;

$$F_{np} = 1963 \text{ мм}^2 = 1963 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

$k_2 = 1,11$ – коэффициент, учитывающий литниковую систему;

$k_3 = 1,25 \dots 1,11$ – коэффициент, учитывающий максимального усилия запираения;

Следовательно:

$$P_0 = 32 \cdot 10^3 \cdot 8 \cdot 1963 \cdot 10^{-6} \cdot 1,11 \cdot 1,25 \approx 698 \text{ кН}.$$

3 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ И СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ

3.1 Выбор типоразмера оборудования и его основные технические характеристики

Выбираем термопластавтомат в зависимости от Q_o, P_o, W_o :

Sound FTN 130 (B)

$Q_n = 240 \text{ см}^3$ - объем отливки;

$P_n = 1300 \text{ кН}$ – усилие смыкания полуформ.

Уточнение числа гнезд:

1) гнездность, обусловленная объемом впрыска:

$$n_Q = \frac{\beta_1 \cdot Q_n}{V_n \cdot k_1} = \frac{0,7 \cdot 240}{16 \cdot 1,02} = 10;$$

2) гнездность, обусловленная усилием смыкания плит:

$$n_p = \frac{P_n}{q \cdot F_{np} \cdot k_2 \cdot k_3} = \frac{1300 \cdot 10^3}{32 \cdot 10^6 \cdot 0,001963 \cdot 1,11 \cdot 1,2} = 16.$$

Принимаем гнездность $n = 8$ по расположению на плите термопластавтомата и с учетом программы выпуска данного изделия.

Общий вид оборудования, термопластавтомата Sound FTN 130 (B), представлен на рисунке 3.1.

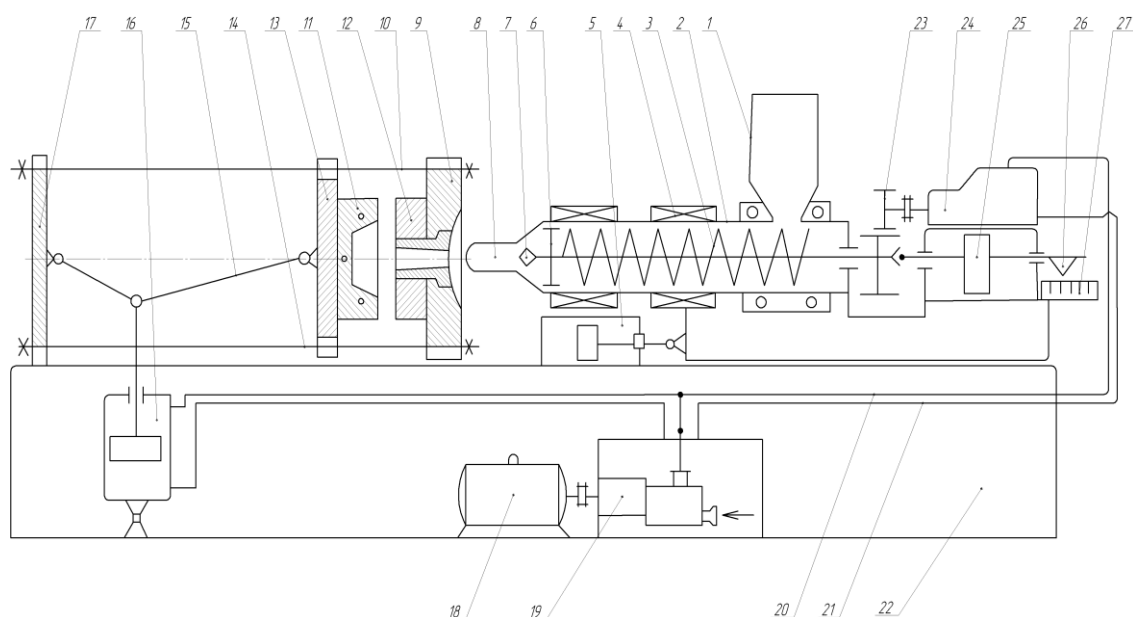
Литьевая машина работает следующим образом.

Все узлы и блоки ТПА расположены на станине 22.

Полимер в виде гранул поступает через загрузочный бункер 1 (см. приложение А) цилиндр литьевой машины 2, где шнек 3, вращаясь, продавливает его к соплу 8. При этом полимер нагревается от трения о поверхности шнека и от электронагревателей 4, происходит его пластикация – перемешивание до однородного состояния по структуре, температуре и вязкости. Проходя через обратный клапан 6, полимер накапливается в зоне дозировки цилиндра. Под давлением материала шнек отдвигается вправо,

сдвигая плунжер 25 и концевой выключатель 26 на хвостовике. Ход шнека регулируется ответным выключателем на линейке 27.

Под действием



1 – загрузочный бункер; 2 – материальный цилиндр; 3 – шнек;
 4 – электронагреватели; 5 – инжекционный гидропривод; 6 – обратный клапан; 7 – наконечник червяка; 8 – сопло литейной машины; 9 – неподвижная плита формы; 10 – направляющие колонны; 11 – матрица; 12 – пуансон; 13 – подвижная плита формы; 14 – направляющие колонны; 15 – рычажный механизм; 16 – гидравлический механизм; 17 – задняя плита; 18 – электродвигатель; 19 – насосный блок; 20 – трубопровод высокого давления; 21 – трубопровод низкого давления; 22 – станина; 23 – зубчатая передача; 24 – гидродвигатель; 25 – гидропривод; 26 – концевой выключатель; 27 – линейка
 концевой выключателя

Рисунок 3.1 – Комплекс оборудования ТПА Sound FTN 130 (B)

Когда срабатывают концевые выключатели, подается сигнал о том, что в зоне дозирования подготовлен объем материала, достаточный для впрыска в форму. С помощью инжекционного гидропривода 5 весь узел ТПА смещается влево, и сопло машины подводится к литниковой втулке, расположенной в

неподвижной плите 9. Далее полуформы смыкаются с помощью рычажно-гидравлического механизма 15, 16. Затем создается давление в гидроприводе 25 и шнек подает расплав из цилиндра литьевой машины в оформляющую полость формы, где происходит формование изделий. После охлаждения отливок полуформы размыкаются и изделия с литником удаляются в зону разгрузки.

Все узлы термопластавтомата работают от главного привода, который состоит из электродвигателя 18, насосного блока 19, трубопровода высокого 20 и низкого 21 давлений. Гидродвигатель 24 с зубчатой передачей 23 обеспечивают вращение шнека.

«К достоинствам машины относятся: высокая производительность, универсальность по видам перерабатываемых материалов, удобство управления и обслуживания, а также надежность в эксплуатации» [4].

«Недостатком всех литьевых машин, в которых процесс изготовления изделия совмещается с пластикацией в материальном цилиндре, можно отнести существенные потери при осевом движении червяка от трения материала о стенки цилиндра, что затрудняет достижение высоких скоростей впрыска» [4].

Технические характеристики термопластавтомата Sound FTN 130 (B) представлены в таблице 3.1.

3.2 Средства автоматизации, основные характеристики, описание работы

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, контртолкатели, сбрасыватели, сталкивающие плиты и др.

Таблица 3.1 – Технические характеристики термопластавтомата
Sound FTN 130(B)

Параметр	Значение
Объем отливки, см ³	240
Давление литья, МПа	180
Скорость впрыска, г/с	122
Усилие смыкания плит, кН	1300
Высота формы, мм:	
максимальная	580
мини мальная	130
Ход плиты, мм	350
Ход выталкивателя (наибольший), мм	110
Расстояние между колоннами, мм:	
по горизонтали	410
по вертикали	410
Габариты литьевой машины, м	4,6x1,3x1,7
Вес термопластавтомата, кг	3700

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

Диаметры гидроцилиндров находим, исходя из:

$$P_0 = \frac{P}{F}, \quad (3.1)$$

где p - давление гидроцилиндров, $p = 0,4 \text{ МПа}$;

F - сечение гидроцилиндров, $F = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$;

P_0 - усилие смыкания, $P_0 = 698 \text{ кН}$.

Следовательно, диаметр:

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4p}{P_0 \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,4 \cdot 10^6}{698 \cdot 10^3 \cdot \pi}} = 0,085 \text{ м} = 85 \text{ мм}.$$

Усилие перемещения сопла:

$$P_{\text{расч}} = F_c \cdot p, \quad (3.2)$$

где F_c - площадь контакта:

$$F_c = \frac{\pi \cdot d_c^2}{4} \quad (3.3)$$

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

Тогда:

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

Расчетное усилие:

$$P_{\text{расч}} = 0,0079 \cdot 0,4 \cdot 10^6 = 3,16 \text{ кН}.$$

Известно, что

$$P_{\text{расч}} = p \cdot 2 \cdot F_{\text{ц}}, \quad (3.4)$$

где $F_{\text{ц}}$ - площадь сечения цилиндров, $F_{\text{ц}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{ц}}^2}{4}$.

Отсюда

$$d = \frac{\sqrt{4F_{\text{ц}}}}{\pi} = \frac{\sqrt{4P_{\text{расч}}}}{2 \cdot p \cdot \pi} = \frac{\sqrt{4 \cdot 3,16 \cdot 10^3}}{2 \cdot 0,4 \cdot 10^6 \cdot \pi} = 2,243 \text{ м}.$$

Известно, что

$$\sigma = P_{\text{расч}} \cdot 2 \cdot F_{\text{ш}}, \quad (3.5)$$

где $F_{\text{ш}}$ - площадь сечения штока гидроцилиндра, $F_{\text{ш}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{ш}}^2}{4}$.

$\sigma_{\text{д}}$ - допускаемое напряжение, $\sigma_{\text{д}} = 200 \text{ МПа}$.

Тогда диаметр штока:

$$d = \frac{\sqrt{4F_{\text{ш}}}}{\pi} = \frac{\sqrt{4P_{\text{расч}}}}{2 \cdot \sigma_{\text{д}} \cdot \pi} = \frac{\sqrt{4 \cdot 3,16 \cdot 10^3}}{2 \cdot 200 \cdot 10^6 \cdot \pi} = 0,0032 \text{ м} = 3,2 \text{ мм}.$$

Конструктивно назначаем диаметр штока равным 6 мм.

Площадь поперечного сечения кольца гидроцилиндра:

$$F_K = \frac{\pi (d_{\text{ц}}^2 - d_{\text{ш}}^2)}{4} = \frac{\pi (2,243^2 - 0,006^2)}{4} = 4 \text{ м}^2.$$

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 включает все несущие, крепежные детали, элементы их взаимного крепления» [4]. 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 передавливания 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» [4].

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.» [4].

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» [4]. 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 перемещениях 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)» [4].

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

Литейная форма, представленная на рисунке 4.1, состоит из подвижной и неподвижной полуформ. В неподвижной полуформе расположены (см. приложение Б): неподвижный фланец 22, неподвижная плита 20, матрица 19, литниковая втулка 23, направляющие втулки 21. В подвижной полуформе расположены: хвостовик 1, подвижный фланец 8, плита подвижная 11, брус 12, плита толкателей 6, плита опорная 14, держатель пуансонов 15, пуансоны 26, вставки пуансонов 25, плита сталкивающая 17, центральный выталкиватель 9, толкатели 2, колонки направляющие 16.

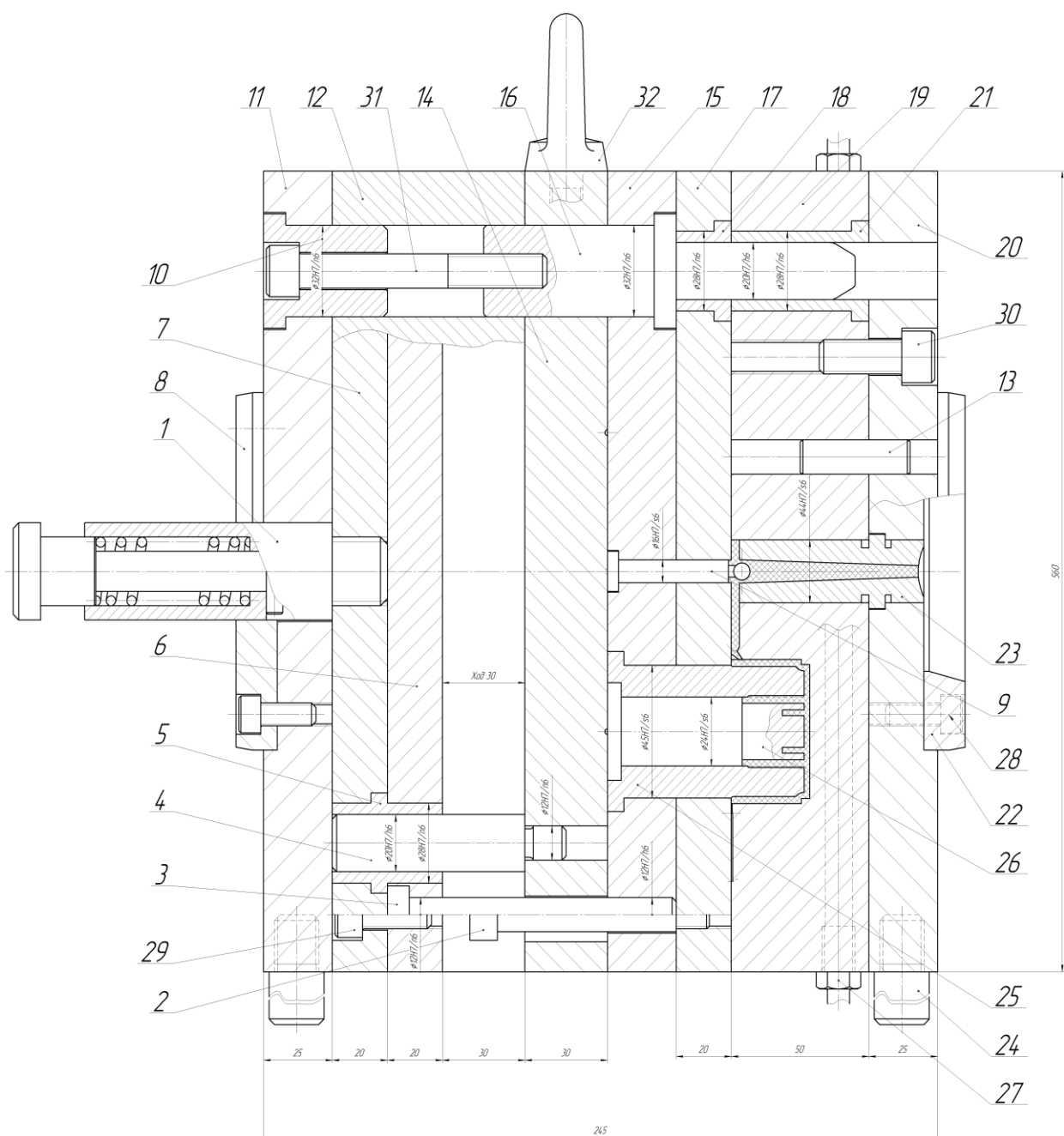


Рисунок 4.1 – Форма литевая (разрез)

Литевая форма работает следующим образом.

Подвижная полуформа и сопло литевой машины подводятся с двух сторон к неподвижной полуформе. Узлы смыкаются. Направление полуформ относительно друг друга осуществляется посредством направляющих втулок 21 и колонок возврата 16. По этим колонкам сталкивающая плита 17 прижимается к матрице 19. Затем производится впрыск расплава в форму, оформление

изделий в форме, их охлаждение хладагентом, который течет по каналам, выполненным в матрице.

При размыкании формы подвижная плита 11 отводится, увлекая за собой плиты 7 и 6, держатель пуансонов 15, вставки 25 и пуансоны 26, а также плиту опорную, которая скользит по поверхности контролкаталя 3.

Все это время сталкивающая плита 17 неподвижна, так как закреплена на резьбе толкателей 2. Плита снимает изделия с пуансонов и знаков. Как только плита опорная 14 упрется в толкатель 2, последний увлекает сталкивающую плиту за собой. Форма размыкается. Изделия с литником извлекаются из матрицы 19.

4.2 Прочностные расчеты и выбор материалов деталей формы

1) Расчет контролкаталя на прочность:

определяется $P_{\max}$ путем сравнения P_q и $P_{\text{разм}}$:

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

где q - давление для оформления гнезда, $q=60$ МПа;

F - площадь сечения контролкаталя:

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,012^2}{4} = 0,000113 \text{ м}^2.$$

Следовательно:

$$P_q = 60 \cdot 10^6 \cdot 0,000113 = 6,780 \text{ кН},$$

$P_{\text{разм}}$ действует на контролкатали с опорной стороны, и находится как:

$$P_{\text{разм}} = 0,1 \cdot P_0 = 0,1 \cdot 698000 = 69,8 \text{ кН}.$$

Таким образом:

$$P_{\max} = P_{\text{разм}} = 69,8 \text{ кН}.$$

Расчет контролкателей на сжатие.

$$\sigma = \frac{P_{\max}}{Fm} \leq \sigma_{\text{сж}}, \quad (4.2)$$

где F - площадь поперечного сечения контролкаталя: $F = \frac{\pi d^2}{4}$;

m - кол-во контролокателей;

$\sigma_{сж}$ - допускаемое напряжение сжатие, $\sigma_{сж} = 455 \text{ МПа}$.

Следовательно:

$$\sigma_{сж} = \frac{69,8 \cdot 10^3}{\frac{\pi}{4} \cdot 0,012^2 \cdot 4} = 154 \text{ МПа} < 455 \text{ МПа}.$$

Условие выполняется.

2) Проверка пуансонов на контактную прочность.

$$\sigma_K = \frac{P_{MAX}}{F_m} \leq \sigma_{CM}, \quad (4.3)$$

где F_K - площадь сечения опорной поверхности пуансона, $F_K = \frac{\pi d^2}{4}$;

m - кол-во пуансонов;

σ_{CM} - допускаемое напряжение смятия, для стали 40X $\sigma_{CM} = 230 \text{ МПа}$.

Следовательно:

$$\sigma_K = \frac{69,8 \cdot 10^3}{\frac{\pi}{4} \cdot 0,056^2 \cdot 6} = 1,2 \text{ МПа} < 230 \text{ МПа}.$$

3) Расчет контролокателей на устойчивость.

$$P_K = \frac{\pi^2 \cdot E}{\mu^2 \cdot l_{max}^2} \cdot \left(\frac{J_4}{n_4^2} + \frac{J_8}{n_8^2} \right), \quad (4.4)$$

где μ - коэффициент длины стержня, $\mu = \frac{1}{2}$;

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

n - кол-во контролокателей;

J - момент инерции стержня:

$$J = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 0,012^4}{64} = 10 \cdot 10^{-13} \text{ м}^4. \quad (4.5)$$

Из (4.5):

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

$$l_{\max} = \sqrt{\frac{3,14^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{\frac{1}{2} \cdot 69800}} \cdot \frac{10 \cdot 10^{-13}}{4^2} = 0,048 \text{ м} = 48 \text{ мм} < l_{\text{пр}},$$

где $l_{\text{пр}} = 105 \text{ мм}$ – проектное значение длины контролокателей.

Условие выполняется.

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

4.3 Определение числа и расположения элементов системы литевой формы

4.3.1 Система литниковых каналов

Литниковая система – это система литевой 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 литевой 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 литевой формы. Одногнездная литевая форма, например, имеет только один центральный литник. В нашем случае необходимо наличие всех трех элементов литниковой системы, поэтому расчет проводится по всем трем каналам.

Диаметр на входе в литниковую втулку:

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

где Q_0 – объём отливки, $Q_0 = 202 \text{ см}^3$

v - скорость течение расплава, при $Q_0 = 202 \text{ см}^3$: $v = 450 \text{ см/с}$;

τ – время впрыска, при $Q_0 = 202 \text{ см}^3$: $\tau = 3 \text{ с}$.

Следовательно:

$$d_1 = 2\sqrt{\frac{202}{3,14 \cdot 450 \cdot 3}} = 0,35 \text{ см} = 4 \text{ мм}.$$

Диаметр канала на выходе из литниковой втулки при угле $\alpha = 3^\circ$: $d_2 = 7,7 \text{ мм}$; длина втулки $L = 70 \text{ мм}$ [14, табл.9].

Выбираем втулку, представленную на рисунке 4.2: «Втулка 0602-0514 ГОСТ 22077-76. Материал – сталь У8А по ГОСТ 1435-74 (СТ СЭВ 288-81). Твердость HRC 49,5...53» [13].

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.

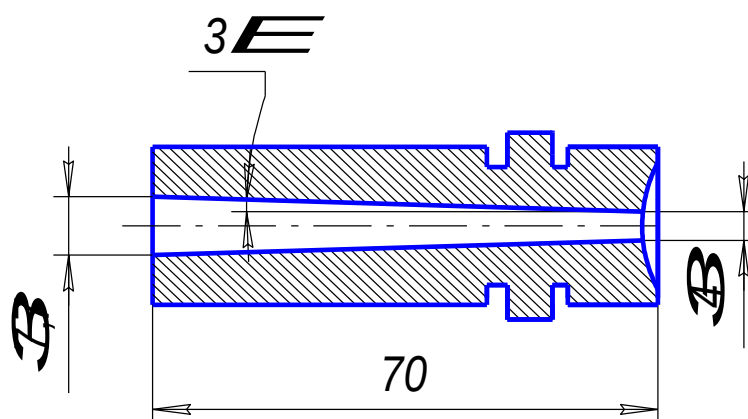


Рисунок 4.2 – Втулка литниковая

Форма сечения разводящих каналов трапецеидальная представлена на рисунке 4.3. «При заполнении каналов расплавом полимера прилегающие к стенкам слои материала интенсивно охлаждается, и затвердевают, уменьшая эффективное сечение канала» [4]. В связи с этим каналы редко изготавливают с площадью поперечного сечения менее 7мм^2 и более 80мм^2 .

Размеры для трапецеидального сечения находятся по формуле:

$$h = 0,5d_s \sqrt{\frac{\pi \left(\frac{1}{2} + \sin \alpha + k \cos \alpha \right)}{\left(\frac{1}{2} + \tan \alpha \right)^2 \cos \alpha}}, \quad (4.8)$$

где d_s – диаметр сечения канала, зависящий от массы изделия и длины течения полимера в канале, $d_s = 5,5\text{мм}$ при $m = 19\text{г}$ и $L = 57\text{мм}$;

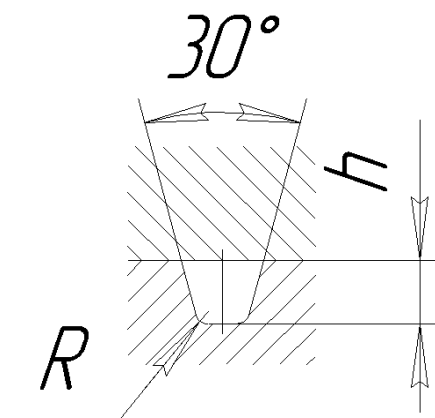


Рисунок 4.3 – Разводящие каналы (трапецеидальное сечение)

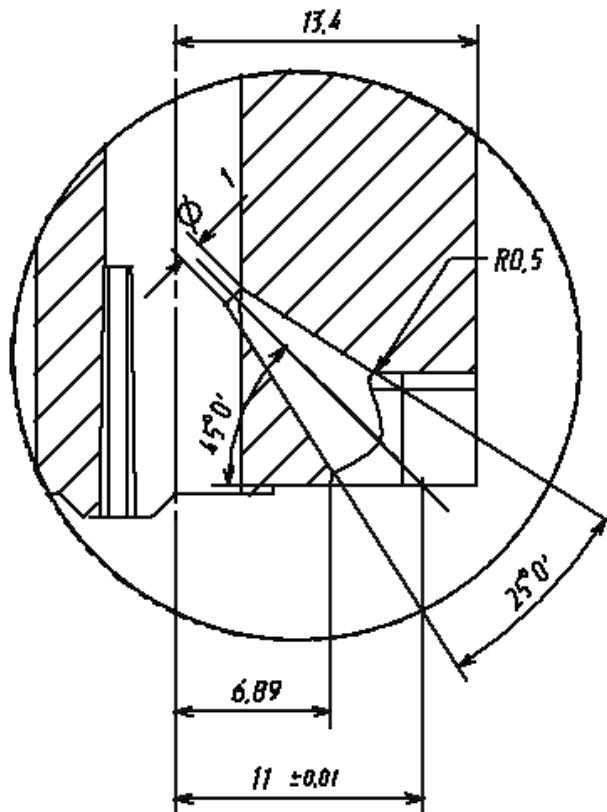


Рисунок 4.4 – Соединение разводящего канала с впускным

α – коэффициент, зависящий от материала, $\alpha = 0,47$.

Следовательно:

$$h = 0,5 \cdot 5,5 \sqrt{\frac{\pi \left(\sin 0,47 + 1 \cdot \cos 0,47 \right)}{\left(\tan 0,47 \right)^2 \cos 0,47}} = 5,5 \text{ мм} \approx 6 \text{ мм}.$$

Для того, чтобы расплав растекался в оформляющей полости прямым фронтом, необходимо обеспечить его ламинарное течение. В противном случае на поверхности изделий могут возникать дефекты – следы течения расплава. Для устранения данного недостатка при проектировании литниковых разводящих каналов последние удлиняют, обеспечивая таким образом их сборниками охлажденного расплава перед поворотом.

Каналы удлиняют на величину b :

$$b = (1,0 \dots 1,5) d_s = 7,7 \text{ мм}.$$

«Необходимо добиваться такого расположения разводящих каналов, которое обеспечивает идентичные условия заполнения оформляющих гнезд

расплавом полимера. Проще всего эту задачу решить при таком расположении каналов, когда пути течения до каждого гнезда равны.

Важным элементом литниковой системы является переход от разводящего канала к впускному» [4], который представлен на рисунке 4.4. 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.

Характеристический размер изделия:

$$H = \frac{2V_u}{S_u}, \quad (4.9)$$

где $S_u = 0,295 \text{ м}^2$ – площадь всей поверхности изделия.

Следовательно:

$$H = \frac{2 \cdot 0,8856 \text{ м}^3}{0,295 \text{ м}^2} = 6 \text{ м}.$$

Диаметр впускного канала:

$$d_g = 2,8 \text{ мм}.$$

Для $d_g = 2,8 \text{ мм}$: длина канала $l = 1,4 \text{ мм}$ [14].

Особая роль в проектировании литниковой системы отводится месту расположения впускного канала. Впуск располагают в местах наибольшей толщины материала и максимально удаленно от мест с тонкими стенками так, чтобы расплав равномерно заполнял полость.

4.3.2 Система вентиляционных 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 вентиляционного канала одного гнезда:

$$F = f \cdot V_z, \quad (4.10)$$

$\tau = 3 \text{ с}$ - время впрыска;

$\delta = 0,0025 \text{ м}$ - толщина детали;

$f = 5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{мм}^2}{\text{см}^3}$ - коэффициент, зависящий от времени впрыска [14, рис.2].

Определим объём одного гнезда:

$$V_z = V_u \cdot \left(1 + \frac{x_{cp}}{100}\right) = 19,253 \cdot \left(1 + \frac{0,5}{100}\right) = 19,349 \text{ см}^3$$

для АБС $x_{cp} = 0,5$ усадка материала, %, [14, табл.9].

$$F = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 19,349 = 0,0967 \text{ мм}^2.$$

Общая ширина каналов одного гнезда:

$$B = \frac{F}{e} = \frac{0,0967}{0,05} = 1,94 \text{ мм.} \quad (4.11)$$

$e = 0,05 \text{ мм}$ – рекомендуемая глубина вентиляционных каналов в зависимости от материала отливаемого изделия [14, табл.10].

Назначаем один вентиляционный канал на одном гнезде шириной 2мм.

4.3.3 Система термостатирования

«Затвердевание полимера в форме требует отвода большого количества теплоты. В связи с этим продолжительность цикла литья в значительной степени зависит от эффективности отвода теплоты и от достигаемой при этом температуры отливки. Кроме того, режим охлаждения существенно влияет на качество изделия.

Низкая температура формы позволяет уменьшить усадку, коробление и цикл литья. Однако надо помнить, что при быстром охлаждении в отливке могут возникнуть большие внутренние напряжения и на переохлажденные стенки формы может конденсироваться влага, отрицательно влияющая на качество поверхности отливки» [4].

Основной задачей бакалаврской работы является правильный расчет и проектирование охлаждающих каналов, которые обеспечили бы необходимый тепловой режим.

Количество теплоты, которое материал должен отдать хладагенту:

$$Q_m = c_m \cdot G_u \cdot (t_n - t_{cp}) = 1,33 \cdot 10^3 \cdot 0,021178 \cdot (20 - 135) = 2394 \text{ Дж} \quad (4.12)$$

$c_m = 1,33 \cdot 10^3 \text{ Дж} / \text{кг} \cdot ^\circ \text{C}$ - удельная теплоемкость полимера [14, табл.3];

t_{cp} - температура детали после охлаждения:

$$\frac{t_{cp} - t_{\phi}}{t_n - t_{\phi}} = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2}{4} \cdot \frac{a \cdot \tau_{oxl}}{\delta^2}\right), \quad (4.13)$$

$$\frac{t_{cp} - 60}{220 - 65} = \frac{8}{3,14^2} \cdot \exp\left(-\frac{3,14^2}{4} \cdot \frac{1,33 \cdot 10^{-7} \cdot 4,5}{0,0025^2}\right)$$

$$\frac{t_{cp} - 65}{155} = 0,45$$

$$t_{cp} = 135^\circ \text{C}.$$

Количество теплоты, которое хладагент должен забрать от полимера:

$$Q_x = c_x \cdot g_x \cdot (t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}}) = 1,67 \cdot 10^3 \cdot g_x \cdot 3 = 5010 \cdot g_x, \quad (4.14)$$

В качестве хладагента принимается минеральное масло, значит:

$c_x = 1,67 \cdot 10^3 \text{ Дж} / \text{кг} \cdot ^\circ \text{C}$ - теплоёмкость минерального масла [14, табл.3];

$(t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}})$ - разница между температурой при входе и при выходе из формы; g_x - расход масла.

Тепловой баланс цикла:

$$Q_m = Q_x, \quad (4.15)$$

$$2394 = 5010 \cdot g_x,$$

$$g_x = 0,478 \text{ кг}$$

Расход хладагента через матрицу:

$$g_x^m = g_x \cdot \frac{F_m}{F_{\text{общ}}} = 0,478 \cdot \frac{6440}{15196,7} = 0,2 \text{ кг}, \quad (4.16)$$

$F_{\text{общ}}$ - площадь поверхностей оформляющих деталей.

Диаметр канала охлаждения:

$$d_k = 1,13 \cdot \sqrt{f_k} = 1,13 \cdot \sqrt{0,000012} = 0,00395 \text{ м} = 3,95 \text{ мм}. \quad (4.17)$$

Принимаем $d_k = 10 \text{ мм}$.

f_k – площадь сечения канала:

$$f_k = \frac{g_x^M}{\rho_x \cdot \tau_y \cdot \omega} = \frac{0,202}{0,88 \cdot 10^3 \cdot 19,5 \cdot 1,0} = 0,000012 \text{ м}^2, \quad (4.18)$$

$\omega = 0,5 \dots 1,0$ – скорость течения масла;

$\rho_x = (0,88 \dots 0,92) \cdot 10^3$ – плотность масла;

τ_y – продолжительность цикла:

$$\tau_y = \tau_{зан} + \tau_{охл} + \tau_{разм} + \tau_n + \tau = 3 + 2 + 4,5 + 5 + 5 = 19,5 \text{ с}; \quad (4.19)$$

$\tau_{зан} = 3 \text{ с}$ – время смыкания формы;

$\tau_{разм} = 2 \text{ с}$ – время раскрытия формы;

$\tau_n = 4,5 \text{ с}$ – время обслуживания;

$\tau_{охл} = 5 \text{ с}$ – время охлаждения;

$\tau = 5 \text{ с}$ – время впрыска.

Суммарная длина каналов:

$$l_k \geq \frac{F_M}{\pi \cdot d_k} = \frac{6440}{3,14 \cdot 4} = 0,512 \text{ м}. \quad (4.20)$$

4.3.4 Система удаления изделия и литника из формы

«Назначение системы удаления состоит в обеспечении беспрепятственного извлечения изделия и литниковой системы из матрицы. Эти функции выполняет механическая выталкивающая система, используя возвратно – поступательное передвижение подвижной части формы» [4].
Усилие сталкивания:

$$P_{разм} = 0,1P_0 = 0,1 \cdot 698 = 69,8 \text{ кН}. \quad (4.21)$$

4.4 Определение толщины стенки матрицы

«В литевых формах давление изменяется от нуля до максимального значение усилия $P_{\max}$ в замкнутом положении формы, что требует расчёта толщины стенок деталей форм» [4].

Максимальное давление:

$$P_{\max} = p_m \cdot K_m \cdot K_{\frac{d_n}{d_m}} \cdot K_{\frac{A}{B}}, \quad (4.22)$$

$K_{\kappa} = 1,03$ – «коэффициент, характеризующий конфигурацию изделия» [14];

$K_{\lambda} = 1,05$ – «коэффициент, учитывающий объем литниковой системы» [14];

$K_m = 1,1$ – «коэффициент, зависящий от материала отливки» [14, табл.12];

$p_m = 32,0 \text{ МПа}$ – «давление, определяемое в зависимости от толщины изделия S и отношения L/S наибольшего размера изделия к толщине» [14, табл.11];

$A = 50 \text{ мм}$ – длина детали;

$B = 28,5 \text{ мм}$ – ширина детали, $A \geq B$;

$d_n = 1,5 \text{ мм}$ – «диаметр пальцевого канала» [14, табл.13];

$d_m = 1,2 \text{ мм}$ – «диаметр точечного канала» [14, табл.14].

$$P_{\max} = 32 \cdot 10^6 \cdot 1,1 \cdot 1,05^{1,2} \cdot 1,03^{\frac{50}{28,5}} = 39,2 \text{ МПа}$$

Для шестигнездной формы давление увеличивают на 10%:

$$P_{\max} = 39,2 \text{ МПа} + 10\% = 43,2 \text{ МПа}$$

«Для круглой матрицы толщина стенки:

$$a = \frac{P_{\max} \cdot r}{\sigma_{\text{мат}}} \text{,} \text{» [13]} \quad (4.23)$$

$r = 0,025 \text{ м}$ – радиус детали;

$\sigma_{\text{мат}} = 3 \cdot 10^8 \text{ Па}$ – напряжение, зависящее от материала матрицы, для легированных и термообработанных сталей.

$$a = \frac{43,2 \cdot 0,025}{300} = 0,0036 \text{ м.}$$

Данный расчет показывает минимальное значение толщины стенки матрицы, которая выдержит давление полимера в гнезде.

4.5 Определение исполнительных размеров оформляющих деталей

«В процессе литья, изделие в форме принимает очертания и размеры полости» [4]. «Во время и после заливки и уплотнения происходит охлаждения изделия, объем изделия уменьшается, и с течением времени изделие должно приобрести определенную форму и размеры в заданных чертежах» [4].

«Исполнительные размеры формообразующих элементов назначают в зависимости от допуска на размеры изделия и усадки формуемого материала» [4].

Исполнительные размеры матрицы:

$$L_{\text{м}} = \left[L \cdot \left(1 + \frac{x_{\text{сп}}}{100} \right) - \Delta_{\text{изн}} \right]^{+\Delta_{\text{изг}}} = \left[28,5 \cdot \left(1 + \frac{0,5}{100} \right) - 0,15 \right]^{+0,03} = 28,5^{+0,03} \text{ мм}, \quad (4.24)$$

$$D_{\text{м}} = \left[D \cdot \left(1 + \frac{x_{\text{сп}}}{100} \right) - \Delta_{\text{изн}} \right]^{+\Delta_{\text{изг}}} = \left[50 \cdot \left(1 + \frac{0,5}{100} \right) - 0,2 \right]^{+0,039} = 50,05^{+0,039} \text{ мм}. \quad (4.25)$$

$\Delta_{\text{изн}} = (0,02 \dots 0,20) \text{ мм}$ – допуск на износ матрицы;

$\Delta_{\text{изг}}$ – допуск на изготовление матрицы.

Исполнительные размеры оформляющего знака:

$$l_{\text{н}} = \left[l \cdot \left(1 + \frac{x_{\text{сп}}}{100} \right) + \Delta_{\text{изн}} \right]_{-\Delta_{\text{изг}}} = \left[26 \cdot \left(1 + \frac{0,5}{100} \right) + 0,1 \right]_{-0,03} = 26,23_{-0,03} \text{ мм}, \quad (4.26)$$

$$h_1 = \left[h \cdot \left(1 + \frac{x_{\text{сп}}}{100} \right) + \Delta_{\text{изн}} \right]_{-\Delta_{\text{изг}}} = 45,42_{-0,039} \text{ мм}.$$

$$H_1 = \left[H \cdot \left(1 + \frac{x_{\text{сп}}}{100} \right) - \Delta_{\text{изн}} \right]^{+\Delta_{\text{изг}}} = 24,02^{+0,03} \text{ мм} \quad (4.27)$$

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	АБС - пластик

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)</u> <u>"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 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; пылеосадительные 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 должностные работники, 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

Базовый вариант технологического процесса – деталь «Корпус крышки топливного бака» толщиной 3 мм изготавливается методом литья под давлением в шестигнездной (рядной) литевой форме на оборудовании – термопластавтомате Sound FTN 130 (В).

Предлагаемый вариант технологического процесса – деталь «Корпус крышки топливного бака» толщиной 2,5 мм изготавливается методом литья под давлением в шестигнездной (круглой) литевой форме на оборудовании – термопластавтомате Sound FTN 130 (В).

1) Эффективный фонд времени работы оборудования:

$$\Phi_{\text{э}} = (D_p \cdot T_{\text{см}} - D_{\text{пр}} \cdot T_{\text{сок}}) \cdot C \cdot (1 - B), \quad (6.1)$$

где D_p – рабочие дни;

$T_{\text{см}}$ – продолжительность смены;

$D_{\text{пр}}$ – праздничные дни;

$T_{\text{сок}}$ – время сокращения в предпраздничный день на один час;

C – кол-во смен;

B – коэффициент, учитывающий время ремонта оборудования.

$$\Phi_{\text{э}} = (52 \cdot 8 - 8 \cdot 1) \cdot 2 \cdot (1 - 0,05) \approx 3816 \text{ час.}$$

2) Эффективный фонд времени работы рабочего:

$$\Phi_{\text{э.р.}} = \frac{\Phi_{\text{э}} \cdot 48\%}{100} = \frac{3816 \cdot 48}{100} \approx 1832 \text{ час.} \quad (6.2)$$

Таблица 6.1 – Описание вариантов технологического процесса

Базовый вариант	Проектный вариант
Количество оформляющих полостей – 6.	Количество оформляющих полостей – 6.
Материал изделия – АБС-пластик 2020	Материал изделия – АБС-пластик 2020
Толщина изделия: 3мм	Толщина изделия: 2,5 мм
Объем одного изделия: $V_{изд} = 19,2 \text{ см}^3$;	Объем одного изделия: $V_{изд} = 16 \text{ см}^3$;
Масса одного изделия: $m_{изд} = 22 \text{ г} = 0,022 \text{ кг}$	Масса одного изделия: $m_{изд} = 18 \text{ г} = 0,018 \text{ кг}$
Объем впрыска: $Q_0 = 220 \text{ см}^3$	Объем впрыска: $Q_0 = 202 \text{ см}^3$
Масса изделий с литником: $M_{заг.} = Q_0 \cdot \rho = 220 \cdot 10^{-6} \cdot 1100 \approx 0,24 \text{ кг}$	Масса изделий с литником: $M_{заг.} = Q_0 \cdot \rho = 202 \cdot 10^{-6} \cdot 1100 \approx 0,22 \text{ кг}$
Масса отхода: $M_{отх.} = M_{заг.} - M_{дет.} \cdot n =$ $= 0,24 - 0,022 \cdot 6 = 0,108 \text{ кг}$	Масса отхода: $M_{отх.} = M_{заг.} - M_{дет.} \cdot n =$ $= 0,22 - 0,018 \cdot 6 = 0,112 \text{ кг}$

Таблица 6.2 – Эксплуатационные данные оборудования

Наименование оборудования		Норма времени		Мощность M_y , кВт	Площадь S_y , м^2	Цена $C_{об}$, руб.	Норма обслуживания по БС
		$T_{шт}$, мин.	$T_{маш}$, мин.				
Sound FTN 130 (B)	Базовый	0,59	0,47	58	8,16	420000	6
	Проектный	0,54	0,43				

Расчет штучного и машинного времени для базового и предлагаемого вариантов технологического процесса производится, исходя из времени цикла изготовления изделия:

$$\tau_{ц} = \tau_{зан} + \tau_{с} + \tau_{охл} + \tau_{разм} + \tau_{п}, \quad (6.3)$$

где $\tau_{зан}$ – продолжительность запаривания формы, с ; $\tau_{зан} = 3 \text{ с}$;

$\tau_{с}$ – продолжительность впрыска, с ; $\tau_{с} = 3 \text{ с}$;

$\tau_{охл}$ – продолжительность плакировки, с ; $\tau_{охл} = 12с$;

$\tau_{разм}$ – продолжительность размыкания формы, с ; $\tau_{разм} = 5с$;

τ_n - продолжительность обслуживания формы, с; $\tau_n = 5с$.

$$\tau_{\text{ц}}^B = 3 + 3 + 12 + 5 + 5 = 28с .$$

$$T_{\text{маш}}^B = \tau_{\text{ц}}^B = 28с = 0,47\text{мин} ;$$

$$T_{\text{ит}}^B = 1,26 \cdot T_{\text{маш}}^B = 1,26 \cdot 0,47 = 0,59\text{мин} .$$

$$\tau_{\text{ц}}^{PP} = 3 + 3 + 10 + 5 + 5 = 26с .$$

$$T_{\text{маш}}^{PP} = \tau_{\text{ц}}^{PP} = 26с = 0,43\text{мин} ;$$

$$T_{\text{ит}}^{PP} = 1,26 \cdot T_{\text{маш}}^{PP} = 1,26 \cdot 0,43 \approx 0,54\text{мин} .$$

Таблица 6.3 – Исходные данные о литевых формах

Наименование	Стойкость Т _{и.шт.} , циклов	Цена Ц _{шт.} , руб.
Литевая форма шестигнездная, толщина изделия 3 мм	1200000	668159
Литевая форма шестигнездная, толщина изделия 2,5 мм	1200000	679354

Таблица 6.4 – Затраты на изготовление новой литевой формы

Наименование	Обозначение	Сумма, руб.		Примечание
		Базовый	Проектный	
Затраты на материал	<i>М</i>	217200	—	
Заготовительные и транспортные расходы	<i>ТЗР</i>	3150	—	1,45% от М

Продолжение таблицы 6.4

Наименование	Обозна- чение	Сумма, руб.		Примечание
		Базовый	Проектный	
Заработная плата рабочих $З_{ПЛ}^{ОСН} = C_T \cdot T_H / ч$	$З_{ПЛ}^{ОСН}$	88770	2219,20	$C_T = 147,95 руб / час$ $T_H / ч^Б = 600 н / ч$ $T_H / ч^{ПР} = 15 н / ч$
Соц. налог	$ЕСН$	23968	599,20	27% от $З_{ПЛ}^{ОСН}$
Затраты на содержание оборудования	$РСО$	172249	4306,10	194,04% от $З_{ПЛ}^{ОСН} \cdot$
Расходы цеховые	$P_{ЦЕХ}$	162822	4070,50	183,42% от $З_{ПЛ}^{ОСН}$
Итого: себестоимость	$C_{ЦЕХ}$	668159	11195	
		679354		

Таблица 6.5 – Расчет необходимого количества оборудования, коэффициента загрузки, численности рабочих-операторов и литьевых форм

Показатели	Расчетные формулы и расчет	Значение показателя	
		Базовый	Проектный
Количество оборудования шт.	$n_{ОБ} = \frac{T_{шт} \cdot N_{Г}}{\Phi_{э} \cdot K_{ВН} \cdot 60}$ $n_{ОБ}^Б = \frac{0,59 \cdot 100000}{3816 \cdot 1,1 \cdot 60} = 0,33 \approx 1$ $n_{ОБ}^{ПП} = \frac{0,54 \cdot 100000}{3816 \cdot 1,1 \cdot 60} = 0,27 \approx 1$	1	1

Продолжение таблицы 6.5

Показатели	Расчетные формулы и расчет	Значение показателя	
		Базовый	Проектный
Коэффициент загрузки	$K_3 = \frac{n_{OB}^{PACЧ}}{n_{OB}^{ПРИН}}$ $K_3^Б = \frac{0,23}{1} = 0,23$ $K_3^{ПР} = \frac{0,21}{1} = 0,21$	0,23	0,21
Численность рабочих, чел.	$P_{оп} = \frac{T_{шт} \cdot N_{г} \cdot \left(1 + \frac{K_o}{100}\right)}{\Phi_{э.р.} \cdot K_{MH} \cdot 60}$ $P_{оп}^Б = \frac{0,59 \cdot 100000 \cdot \left(1 + \frac{13,4}{100}\right)}{1832 \cdot 1 \cdot 60} =$ $= 0,61 \approx 1 \times 2_{смены} = 2$ $P_{оп}^{ПР} = \frac{0,54 \cdot 100000 \cdot \left(1 + \frac{13,4}{100}\right)}{1832 \cdot 1 \cdot 60} =$ $= 0,56 \approx 1 \times 2_{смены} = 2$	2	2
Количество литевых форм, шт.	$n_{шт} = \frac{N_{г}}{T_{и.шт}}$ $n_{шт} = \frac{100000}{1200000} = 0,08 \approx 1$	1	1

Таблица 6.6 – Расчет капитальных вложений

Показатели	Расчетные формулы и расчет	Значение показателя	
		Базовый	Проектный
Кап. вложения в оборудование, руб.	$K_{OB} = n_{OB} \cdot C_{OB} \cdot K_3$ $K_{OB}^Б = 1 \cdot 420000 \cdot 0,23$ $K_{OB}^{ПР} = 1 \cdot 420000 \cdot 0,21$	96600	88200
Сопутствующие кап.вложения, руб.:			
Расходы на доставку и монтаж оборудования, руб.	$K_M = K_{OB} \cdot K_{МОНТ}$ $K_M^Б = 96600 \cdot 0,25$ $K_M^{ПР} = 88200 \cdot 0,25$	24150	22050

Продолжение таблицы 6.6

Показатели	Расчетные формулы и расчет	Значение показателя	
		Базовый	Проектный
Расходы на инструмент, руб.	$K_{И} = C_{ИТ} \cdot n_{ИТТ}$ $K_{И}^Б = 668159 \cdot 1$ $K_{И}^{ПР} = 679354 \cdot 1$	668159	679354
Расходы на производственную площадь, руб.	$K_{Пл} = n_{ОБ} \cdot S_y \cdot C_{Пл} \cdot K_3$ $K_{Пл}^Б = 1 \cdot 8,16 \cdot 5500 \cdot 0,23$ $K_{Пл}^{ПР} = 1 \cdot 8,16 \cdot 5500 \cdot 0,21$	10322,4	9424,8
Итого:	$K_{СОП} = K_M + K_{И} + K_{Пл}$	702631,4	710828,8
Общие кап. вложения, руб.	$K_{ОБЩ} = K_{ОБ} + K_{СОП}$	799231,4	799028,8
Удельные кап.вложения , руб.	$K_{УД} = \frac{K_{ОБЩ}}{N_r}$ $K_{УД}^Б = \frac{7992314}{100000}$ $K_{УД}^{ПР} = \frac{7990288}{100000}$	7,99	7,99
Дополнительные кап.вложения, руб.	$K_{ДОП} = K_{ОБЩ}^{ПР} - K_{ОБЩ}^Б$ $K_{ДОП} = 7990288 - 7992314$	-202,6	

Таблица 6.7 – Расчет себестоимости изготовления изделия

Показатель	Расчет и формула	Значение показателя	
		Базовый	Проектный
Основные материалы, руб.	$M = M_3 \cdot C_M \cdot K_{ТЗ} - M_{ОТХ} \cdot C_{ОТХ}$ $M^Б = 0,24 \cdot 61 \cdot 1,05 - 0,108 \cdot 1,952$ $M^{ПР} = 0,22 \cdot 61 \cdot 1,05 - 0,112 \cdot 1,952$	15,16	13,87

Продолжение таблицы 6.7

Показатель	Расчет и формула	Значение показателя	
		Базовый	Проект-ный
Заработная плата рабочих, руб.	$З_{ПЛ} = \frac{P_{ОП} \cdot C_T \cdot \Phi_{Э.Р.} \cdot K_{ЗПЛ} \cdot K_3}{N_{Г}}$ $З_{ПЛ}^Б = \frac{2 \cdot 45,25 \cdot 1832 \cdot 2,48 \cdot 0,23}{100000}$ $З_{ПЛ}^{ПП} = \frac{2 \cdot 45,25 \cdot 1832 \cdot 2,48 \cdot 0,21}{100000}$	0,95	0,86
Расходы на амортизацию и текущий ремонт термопластавтомата, руб.	$P_A = \frac{Ц_{ОБ} \cdot (1 - B_{Р.И.})^n \cdot H_A \cdot T_{ШТ} \cdot 1,3}{\Phi_{Э} \cdot K_{ВН} \cdot 60 \cdot 100}$ $P_A^Б = \frac{420000 \cdot (1 - 0,05)^8 \cdot 0,59 \cdot 1,3}{3816 \cdot 1,1 \cdot 60 \cdot 100}$ $P_A^{ПП} = \frac{420000 \cdot (1 - 0,05)^8 \cdot 0,54 \cdot 1,3}{3816 \cdot 1,1 \cdot 60 \cdot 100}$	0,1	0,1
Затраты на электроэнергию, руб.	$P_{Э} = \frac{M_{У} \cdot T_{МАШ} \cdot K_{ОД} \cdot K_M \cdot K_B \cdot K_{П} \cdot Ц_{Э}}{КПД \cdot 60}$ $P_{Э}^Б = \frac{58 \cdot 0,47 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 0,7 \cdot 1,03 \cdot 2,11}{0,8 \cdot 60}$ $P_{Э}^{ПП} = \frac{58 \cdot 0,43 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 0,7 \cdot 1,03 \cdot 2,11}{0,8 \cdot 60}$	0,69	0,63
Затраты на инструмент, руб.	$P_{И} = \frac{Ц_{ШТ} \cdot (1 - B_{Р.И.})^n}{T_{И.ШТ.}}$ $P_{И}^Б = \frac{668159 \cdot (1 - 0,55)^8}{1200000}$ $P_{И}^{ПП} = \frac{679354 \cdot (1 - 0,55)^8}{1200000}$	0,25	0,26
Затраты на производственные площади, руб.	$P_{ПЛ} = \frac{S_{У} \cdot n_{ОБ} \cdot Ц_{ПЛ} \cdot K_3}{N_{Г}}$ $P_{ПЛ}^Б = \frac{8,16 \cdot 1 \cdot 5500 \cdot 0,23}{100000}$ $P_{ПЛ}^{ПП} = \frac{8,16 \cdot 1 \cdot 5500 \cdot 0,21}{100000}$	0,1	0,09

Продолжение таблицы 6.7

Показатель	Расчет и формула	Значение показателя	
		Базовый	Проект- ный
Расходы на заработную плату наладчика, руб.	$З_{НАЛ} = \frac{n_{ОБ} \cdot C_T \cdot \Phi_{Э.Н.} \cdot K_{ЗПЛ} \cdot K_3}{n_{ОБС} \cdot N_{Г}}$ $З_{НАЛ}^Б = \frac{1 \cdot 51,53 \cdot 1850 \cdot 2,48 \cdot 0,23}{6 \cdot 100000}$ $З_{НАЛ}^{ПР} = \frac{1 \cdot 51,53 \cdot 1850 \cdot 2,48 \cdot 0,21}{6 \cdot 100000}$	0,09	0,08
Итого: Себестоимость технологическая, руб.	$C_{ТЕХ} = M + З_{ПЛ} + P_A + P_{Э} + P_{И} + P_{ПЛ} +$ $+ З_{НАЛ}$	17,34	15,89
Цеховые расходы, руб.	$P_{ЦЕХ} = З_{ПЛ} \cdot K_{ЦЕХ}$ $P_{ЦЕХ}^Б = 0,95 \cdot 2,18$ $P_{ЦЕХ}^{ПР} = 0,86 \cdot 2,18$	2,07	1,87
Всего: Себестоимость, руб.	$C_{ЦЕХ} = P_{ЦЕХ} + C_{ТЕХ}$ $C_{ЦЕХ}^Б = 7,361 + 2,96$ $C_{ЦЕХ}^{ПР} = 6,275 + 2,42$	19,41	17,76

Таблица 6.8 – Расчет экономической эффективности

Показатель	Расчет и формула	Значение показателя	
Годовая экономия от внедрения процесса, руб.	$\mathcal{E}_{УГ} = (C_{ЦЕХ}^Б - C_{ЦЕХ}^{ПР}) \cdot N_{Г}$ $\mathcal{E}_{УГ} = (9,41 - 17,76) \cdot 100000$	165000	
Затраты, руб.	$З_{ПР} = C_{ЦЕХ} + E_H \cdot K_{УД}$ $З_{ПР}^Б = 19,41 + 0,33 \cdot 7,99$ $З_{ПР}^Б = 17,76 + 0,33 \cdot 7,99$	22,05	20,4
Срок окупаемости, год	$T_{ОК} = \frac{K_{ВВ}}{\mathcal{E}_{УГ}} = \frac{C_{ум}^{np} - C_{ум}^б}{\mathcal{E}_{УГ}}$ $T_{ОК} = \frac{11195}{165000} = 0,07 \approx 1$	1	

Продолжение таблицы 6.8

Показатель	Расчет и формула	Значение показателя
Годовой экономический эффект, руб.	$\mathcal{E}_Г = (z_{ПП}^Б - z_{ПП}^{ПП}) \cdot N_Г$ $\mathcal{E}_Г = (2,05 - 20,4) \cdot 100000$	165000

Вывод

Внедрение нового предлагаемого технологического процесса изготовления детали «Корпус крышки топливного бака» ее себестоимость снизилась с 19,41 руб. до 17,76 руб. на 1,65 руб. (8,5%) за счет экономии материала. Годовой экономический эффект составил 165000рублей 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 130 (B).

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, проведено экономическое обоснование, доказана экономическая эффективность. Годовой экономический эффект составил 165000 руб. при сроке окупаемости – один год.

Таким образом, работа по решению задач бакалаврской работы выполнена, цель проекта – снижение себестоимости изготовления изделия за счет экономии материала – 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
Спецификация на оборудование

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
						Документация		
		A1			17.БР.СОМДиРП.603.61.00.000СБ	Сборочный чертеж		
Спроб. №						Сборочные единицы		
				1	17.БР.СОМДиРП.603.61.01.000	Загрузочный бункер	1	
				2	17.БР.СОМДиРП.603.61.02.000	Материальный цилиндр	1	
				3	17.БР.СОМДиРП.603.61.03.000	Шнек	1	
				4	17.БР.СОМДиРП.603.61.04.000	Электронагреватель	4	
				5	17.БР.СОМДиРП.603.61.05.000	Инжекционный гидропривод	1	
				6	17.БР.СОМДиРП.603.61.06.000	Обратный клапан	1	
				7	17.БР.СОМДиРП.603.61.07.000	Наконечник червяка	1	
				8	17.БР.СОМДиРП.603.61.08.000	Сопло литьевой машины	1	
				9	17.БР.СОМДиРП.603.61.09.000	Неподвижная плита	1	
				10	17.БР.СОМДиРП.603.61.10.000	Колонна направляющая	2	
				11	17.БР.СОМДиРП.603.61.11.000	Матрица	1	
				12	17.БР.СОМДиРП.603.61.12.000	Пуансон	1	
				13	17.БР.СОМДиРП.603.61.13.000	Подвижная плита	1	
				14	17.БР.СОМДиРП.603.61.14.000	Колонна направляющая	2	
				15	17.БР.СОМДиРП.603.61.15.000	Рычажный механизм	1	
				16	17.БР.СОМДиРП.603.61.16.000	Гидравлический механизм	1	
				17	17.БР.СОМДиРП.603.61.17.000	Плита задняя	1	
				18	17.БР.СОМДиРП.603.61.18.000	Электродвигатель	1	
				19	17.БР.СОМДиРП.603.61.19.000	Насосный блок	1	
				20	17.БР.СОМДиРП.603.61.20.000	Трубопровод высокого давления	1	
		21	17.БР.СОМДиРП.603.61.21.000	Трубопровод низкого давления	1			
		22	17.БР.СОМДиРП.603.61.22.000	Станина	1			
		17.БР.СОМДиРП.603.61.00.000						
		Изм.	Лист	№ док-м.	Подп.	Дата		
Инф. № подл.		Разраб.	Степанов				Лит. Лист Листов 1 2 ТГУ, ИМ, гр. МСБЗ-1231	
		Проб.	Скрипачев					
		Н.контр.	Виткалов					
		Утв.	Ельцов					
Комплекс оборудования: термопластавтомат Sound FTN 130 (B)								

Копировал

Формат А4

Рисунок А.1 – Первый лист спецификации

ПРИЛОЖЕНИЕ А

[illegible]

Рисунок А.2 – Второй лист спецификации

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
Спецификация на литьевую форму

Перв. примен.	Спроб. №	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание			
Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Инв. инв. №	Подп. и дата							
					Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	17.БР.СОМДиРП.603.62.000	
Изм.	Лист	№ док-м.									
Разраб.	Сышев	Подп.	Дата								
Пров.	Скрипачев										
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Литьевая форма для изготовления детали "Корпус крышки топливного бака"			ТГУ, ИМ, МСБЗ-1231			
Н.контр.	Виткалов										
Утв.	Ельцов										

Корпус бака

Формат А4

Рисунок Б.1 – Первый лист спецификации

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

№№, № подл.	Подп. и дата	Взам. ун. №	№ №	Подп. и дата
-------------	--------------	-------------	-----	--------------

Рисунок Б.2 – Второй лист спецификации