

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И.Сатпаева

Институт промышленной инженерии им. А.Буркитбаева

Кафедра «Станкостроение, материаловедение и технология  
машиностроительного производства»

Валиев Хайдар Мохаррамович  
«Автоматизация системы подачи смазочно-охлаждающей жидкости»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К дипломной работе

Специальность 5В071200 – Машиностроение

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И.Сатпаева

Институт промышленной инженерии им. А. Буркитбаева

Кафедра «Станкостроение, материаловедение и технология  
машиностроительного производства»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

СМТМП, PhD

Арымбеков Б.С.

04 2019г.



ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Автоматизация системы подачи смазочно-охлаждающей  
жидкости»

по специальности: 5В071200 - Машиностроение

Выполнил

Валиев Х. М.

Рецензент

Магистр технических наук

Преподаватель КазАДИ им. А.Б.Гончарова

Шакенова Ж.Н.



« 04 » 2019г.

Научный руководитель

канд. техн. наук, сеньор

лектор Сушкова О.А.



« 04 » 2019г.

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И.Сатпаева

Институт промышленной инженерии им. А.Буркитбаева

Кафедра «Станкостроение, материаловедение и технология машиностроитель-  
ного производства»

5B071200 – Машиностроение



УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

С.М.ТМН, PhD, ассоц.проф.

Арымбеков Б.С.

ноября 2018г.

**ЗАДАНИЕ**

на выполнение дипломной работы

Обучающемуся: Валиеву Хайдару Мохаррямовичу

Тема: Автоматизация системы подачи смазочно-охлаждающей жидкости  
*приказом Ректора Университета № 1252-п от "06" ноября 2018г.*

Срок сдачи законченной работы "2" мая 2019г.

Исходные данные к дипломной работе: система подачи смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ)

Краткое содержание дипломной работы:

- а) Описание системы подачи СОЖ
- б) Расчетные формулы для определения режимов подачи СОЖ
- в) 3D моделирование системы подачи СОЖ
- г) Электрическая схема по управлению насосной станцией
- д) Технико-экономические расчеты

Перечень графического материала: Электрическая схема – 1 лист формата А4, представлены \_\_\_ слайдов презентации работы

Рекомендуемая основная литература: из 3 наименований

а) Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием. Под ред. С. Г. Энтелиса, Э. М. Берлинера. - М.: Машиностроение, 1986. – 352 с.

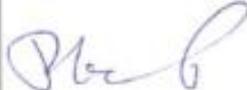
б) Применение водных СОЖ при суперфинишировании деталей Под ред. Жулев А. А., Коротков Б. И., Волков М. П. –М.: Станки и инструменты, 1980. – 524 с.

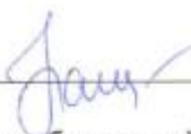
в) Расчет и конструирование узлов и элементов станков. Под ред. А. С. Проникова. - М.: Машиностроение, 1995. – 319 с.

**ГРАФИК**  
подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления руководителю	Примечание
Поиск информации Обзор литературы Общая часть	08.01.19 - 11.02.19	Выполнено
Расчётная часть Графическая часть	11.02.19 – 19.04.19	Выполнено
Оформление по СТП Нормоконтроль	22.04.19 – 23.04.19	Выполнено

**Подписи**  
консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу  
с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименование разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Общая часть	Сушкова О. А. к.т.н., Асс. профессор кафедры «СМиТМП» КазНИТУ им. К.И. Сатпаева	11.02.2019	
Расчётная часть Графическая часть	Сушкова О. А. к.т.н., Асс. профессор кафедры «СМиТМП» КазНИТУ им. К.И. Сатпаева	19.04.2019	
Нормоконтролер	Карпеков Р.К., лектор кафедры «СМиТМП» КазНИТУ им. К.И. Сатпаева	24.04.19	

Научный руководитель  Сушкова О. А.

Задание принял к исполнению обучающийся  Валиев Х. М.

Дата

"6" ноября 2018 г.

## АҢДАТПА

Дипломдық жұмыстың тақырыбы «Салқындатқышты жеткізу жүйесін автоматтандыру». Өртүрлі металл өңдеу машиналарына қызығушылық танытқандар машинаны автоматтандыруға арналған озық технология схемасын ала алады, өйткені бұл жұмыс тез автоматтандыру схемасын, электр схемасын, жүйені құрастыру схемасын, автоматтандыру артықшылықтарын анықтауға арналған жүйелік есептеуді, майлау эскиздерін жасауға мүмкіндік береді.

Дипломдық жұмыстың негізгі мақсаты емдеу түріне байланысты басқа ағындарды таңдауға мүмкіндік беретін автоматты салқындатқыш жабдықты құру болып табылады.

Дизайн АСКОН-ның компьютерлік дизайнымен КОМПАС-3D V17-де жасалды.

Өндірістегі осы жүйені пайдаланудың экономикалық тиімділігі мен рентабельділігі дәлелденді.

Бұл жүйені пайдаланған кезде механикалық түзету, жүйені үнемі тазалау, сондай-ақ жүйені сақтаудың басқа техникалық құралдары қажет емес.

Осыған сүйене отырып, келесі проблемалық мәлімдеме жасалады:

- автоматты салқындатқыш жабдықтың жалпы сипаттамаларын және жұмыс істеу принципін анықтау;
- жүйені автоматтандырудың артықшылықтарын жалпы есептеу;
- автоматтандырылған жүйенің схемасын жасау;
- жабдыққа эксперименталды орнату үшін прототип жасау.

## АННОТАЦИЯ

Тема дипломной работы «Автоматизация системы подачи смазочно-охлаждающей жидкости». Тем, кто интересуется различными станками для металлообработки, могут получить схему работы передовой технологии по автоматизации станка, для этого в данной дипломной работе приводится полная схема автоматизации, электрическая схема, схема сборки системы, расчет системы для выявления преимущества автоматизации, создание эскизов подачи смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) с использованием прикладного программного обеспечения КОМПАС.

Основной целью дипломной работы является создание автоматической подачи СОЖ, позволяющее выбрать различную подачу в зависимости от вида обработки.

Проектирование производилось в системе автоматизированного проектирования КОМПАС-3D V17 фирмы АСКОН.

При использовании данной системы отпадает необходимость механической настройки, регулярной прочистки системы, а также других технических средств по обслуживанию системы.

Исходя из этого, формулируется следующая постановка задач:

- определить общую характеристику и принцип работы автоматизированной подачи СОЖ;
- произвести общий расчет преимущества автоматизации системы;
- создать схему работы автоматизированной системы;
- создать прототип для экспериментальной установки на оборудование.

## ANNOTATION

Subject graduation work: «Automation of the coolant supply system». Those who are interested in various metalworking machines can get a scheme of advanced technology for machine automation, for this thesis project provides a complete automation scheme, a wiring diagram, a system assembly diagram, a system calculation for identifying the benefits of automation, creating sketches for lubricating coolant (coolant) using the COMPASS application software.

The main purpose of the thesis is to create an automatic coolant supply that allows you to choose a different flow depending on the type of treatment.

The design was carried out in the KOMPAS-3D V17 computer-aided design system from ASCON.

The economic efficiency and profitability of using this system in production has been proven.

When using this system, there is no need for mechanical adjustment, regular cleaning of the system, as well as other technical means for maintaining the system.

Based on this, the following problem statement is formulated:

- to determine the general characteristics and principle of operation of the automated coolant supply;
- make a general calculation of the benefits of system automation;
- create a scheme of the automated system;
- create a prototype for an experimental installation on the equipment.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	9
1	Системы СОЖ	10
1.1	Действие СОТС	10
1.2	Влияние смачивающих и проникающих свойств СОЖ на процесс резания	11
1.3	Моющая способность СОТС	12
1.4	Системы подачи СОЖ	14
2	Расчеты подачи СОЖ	18
2.1	Выбор способа подачи смазочно-охлаждающих технологических сред в зону резания при лезвийной обработке	18
2.2	Подбор смазочно-охлаждающей жидкости	21
3	Моделирование системы СОЖ	24
4	Автоматизация подачи СОЖ	30
5	Технико-экономические расчеты	32
6	Охрана труда при работе с системой СОЖ	33
	Заключение	34
	Список использованной литературы	35

## **ВВЕДЕНИЕ**

Эффективность использования смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) в обрабатывающей промышленности определяется не только оптимальным компонентным составом СОЖ, но и рациональной организацией систем ее эксплуатации вспомогательными службами цехов и заводов машиностроительных отраслей. Никакое машиностроительное предприятие не обходится без службы СОЖ, исполняющие соответствующие процессно-аппаратурные функции приготовления и активации рабочих растворов, подготовки оборудования, систем циркуляции, транспортирования, очистки, регенерации, утилизации и нейтрализации отработанных жидкостей.

Целью работы является автоматизация системы подачи СОЖ для достижения высокоточной механообработки с внедрением САПР технологии и микроконтроллера.

# 1 Системы СОЖ

## 1.1 Действие СОТС

Смазочно-охлаждающие технологические способы СОТС оказывают конкретное воздействие на процесс обработки металлов резанием, разрешая значительно увеличить производительность и качество обработки, прирастить стойкость инструментов, отстоять плоскости станков и обрабатываемых подробностей от коррозии. В процессе эксплуатации СОТС оказывают охлаждающее, смазывающее и моющее воздействие. Охлаждающее воздействие СОТС заключается в отводе тепла от обрабатываемой подробности и режущего инструмента, смазочное имеет место быть в сокращении сил трения на поверхностях контакта инструмента с составной частью и стружкой, моющее произведено в удалении стружки и иных отходов обработки из зоны резания.

Используемые СОТС обязаны владеть не лишь только высочайшими технологическими, но и эксплуатационными и сопутствующими качествами, важными из коих являются нетоксичность, антикоррозионность, прочность, бактерицидность, гигиеничность, слабенькая испаряемость и вспениваемость, легкость изготовления в критериях фирмы покупателя, недоступность растворяющего воздействия на краску станка и изоляцию электрического оборудования, вероятность нейтрализации перед сбрасыванием в сточные воды. Уровень проявления обозначенных качеств находится в зависимости как от состава СОТС, например, и от метода их подачи в зону резания

Цель использования СОТС (смазочно-охлаждающие технологическое средство) – является снижение изнашивания режущего инструмента, улучшение качества обрабатываемой поверхности и повышение производительности труда. Это может быть достигнуто путем направления воздействия на элементарные физико-механические и механохимические процессы, протекающие при резании металла, путем надлежащего выбора основы СОТС. В большинстве случаев охлаждение уменьшает изнашивание режущего инструмента и в разы улучшает качество обрабатываемой поверхности [1].

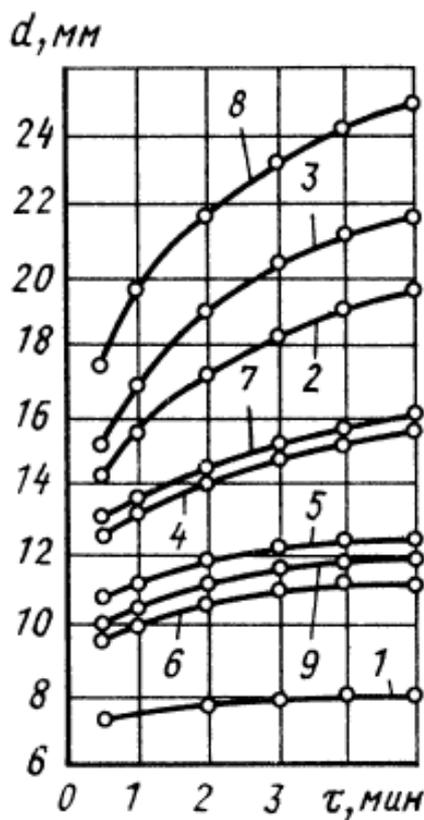
Основная цель смазывающего действия – уменьшение схватывания, задира, фрикционного нагрева и сил трения при перемещении стружки и обрабатываемого металла по передней и задней поверхностям инструмента. С увеличением смазочно-охлаждающих характеристик могут улучшиться почти все параметры обработки:

- увеличится стойкость инструмента посредством уменьшения диффузионного изнашивания инструмента;
- уменьшается шероховатость (неровность) и волнистость обработанной поверхности, уменьшатся остаточные напряжения вследствие лучшего экранирования трущихся поверхностей, локализации сдвиговых деформаций и снижения интенсивности схватывания;
- уменьшается фрикционный нагрев и температура в зоне резания, силы трения, что приводит к уменьшению расход энергии [2].

## 1.2 Влияние смачивающих и проникающих свойств СОЖ на процесс резания, моющая способность СОТС

С уменьшением угла смачивания и увеличением скорости растекания жидкости по поверхности твердого тела уменьшается работа диспергирования и снижается сила резания. На рисунке 1.1 показано изменение диаметра пятен, образованных нормированными каплями СОЖ при их растекании по поверхности.

Смывающая способность СОТС определяется степенью очистки обрабатываемой детали и инструмента в зоне резания от шлама, содержащего мелкие частицы стружки, обрабатываемого металла, инструмента, которые удерживаются на поверхности твердых тел электростатическими и механическими силами. Хорошими моющими свойствами должны обладать СОЖ используемые при сверлении глубоких отверстий, при нарезании резьбы в глухих отверстиях. Моющие свойства СОЖ сильно влияют на изнашивание инструмента даже при черновой обработке [3].



- 1 - вода дистиллированная; 2 - 1%-ный раствор кальцинированной соды;  
3 - 1%-ный раствор кальцинированной соды и 0,5%-ный нитрита натрия;  
4 - 3% Аквола-10; 5 - 3% Аквола-11; 6 - 3% Утринола-1; 7 - МР-2У;  
8 - ОСМ-1; 9 - масло вазелиновое

Рисунок 1.1 - Кинематика растекания нормированной капли СОЖ по поверхности абразивного материала [3]

### 1.3 Способы подачи СОЖ в зону обработки

На большинстве операций обработки заготовок резанием в качестве СОЖ применяют смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ). Из семи известных способов подачи СОЖ в зону обработки заготовок лезвийными инструментами (таблица 1.1) способы 6 и 7 применяют в единичных случаях; например, для нарезания резьбы метчиками и развертывания неглубоких отверстий используют периодическую (импульсную) подачу дозированного количества СОЖ на инструмент перед началом обработки. На агрегатных станках СОЖ подают на инструмент автоматически, на универсальных станках – вручную. Струя СОЖ должна перекрывать всю зону контакта инструмента с заготовкой, объем подаваемой жидкости указан в таблице 1.2 [2].

Таблица 1.1 - Способы подачи СОЖ при обработке заготовок лезвийными инструментами [1]

Способ	Подача СОЖ
1	Свободно падающей струей (поливом)
2	Под давлением через сопловые насадки (напорной струей)
3	В распыленном состоянии ( в виде струи воздушно-жидкостной смеси)
4	Через каналы в инструменте с выходом в зону резания под давлением
5	То же, без выхода в зону резания
6	Контактное смачивание
7	Периодическая подача на инструмент перед резанием (в распыленном состоянии, окунанием, нанесением кисточкой или тампоном, из масленки)

Таблица 1.2 – Области применения способов подачи СОЖ при обработке заготовок лезвийными инструментами [2]

Операция	Способы подачи СОЖ (номер по таблице 1.1)		
	предпочтительные	применяемые	редко применяемые
Токарная обработка поверхностей:			
- наружных	1, 2	3	4, 5
- внутренних	1	3	2, 4, 5
Сверлильная:			
- сверление, рассверливание, зенкерование, развертывание	4	1, 3	2
- глубокое сверление	4, 2	-	-

Продолжение таблицы 1.2

Операция	Способы подачи СОЖ (номер по таблице 1.1)		
	предпочтительные	применяемые	редко применяемые
Резьбонарезание;			
- метчиками и плашками	4	1	-
- фрезами	1	3	-
Фрезерная	1	3	2, 4
Зуборезная	1	3	2
Протяжная	2, 4	1, 3	-

Таблица 1.3 - Средние нормы расхода и направление потока СОЖ, подаваемой поливом на универсальных и специализированных станках [2]

Вид обработки	Тип СОЖ	Расход СОЖ, л/мин	Направление потока (струи)
Точение:			
- черновое	В	10-20	Сверху на снимаемую стружку в месте отделения ее резцом
- чистовое	М	7-8	
	В	8-15	По оси отверстия
Сверление	В	4-16	
Зенкерование	В	5-15	
	М	5-10	
Развертывание	В	6-10	
	М	4-6	
Нарезание резьбы метчиками и плашками	М	2-3	Сверху на режущие кромки метчика. На заготовку впереди плашки
Резьбофрезерование	М	4-6	Сверху на зубья фрезы в зону резания плоской струей, смывающей фрезу по всей длине.
Фрезерование:			
- черновое	В	7-30	Сверху плоской струей, омывающей фрезу по всей длине
- чистовое	М	10-30	
Зубообработка	М	8-10	На инструмент плоской струей, омывающей активную часть инструмента
* В и М – водные и масляные СОЖ			

## 1.4 Системы подачи СОЖ

Наиболее часто применяемый тип подачи СОЖ в машиностроении в зону резания является метод свободно падающей струи. На рисунке 1.2 представлен пример схемы подачи СОЖ на токарном станке.

Смазочно-охлаждающая жидкость из бака хранения СОЖ в левой тумбе станка насосом через гибкий шланг подается в трубопровод с краном и сопловым насадком. Из соплового насадка СОЖ подается свободно падающей струей на режущий инструмент и обрабатываемую деталь.

При обработке высоко точными инструментами нужно более интенсивное охлаждение режущих инструментов, тогда применяется их внутреннее охлаждение, при внутреннем охлаждении СОЖ подается по внутренним каналам в теле инструмента [4].

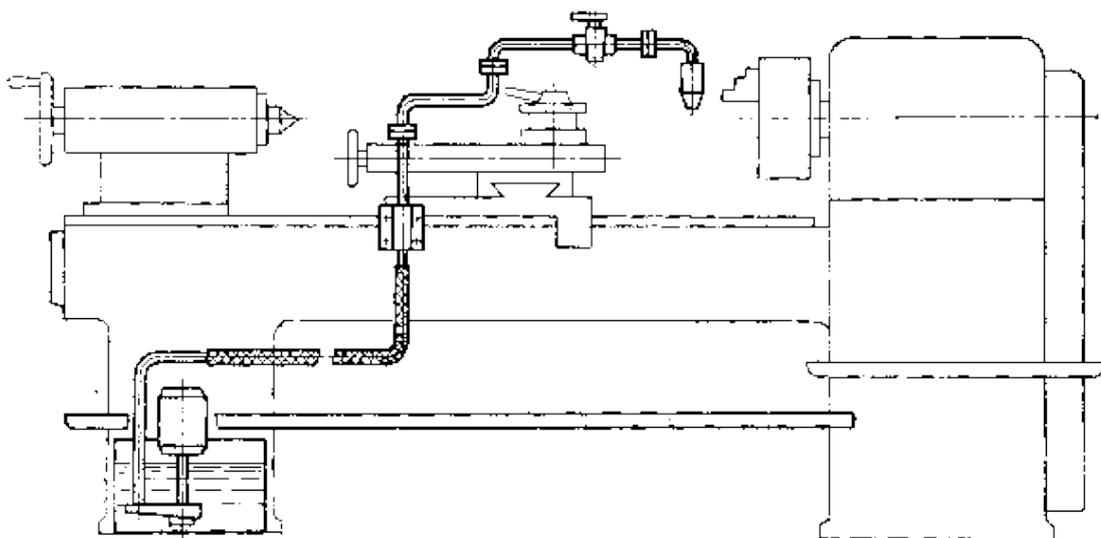


Рисунок 1.2 - Система подачи СОЖ на токарном станке [4]

Внутреннее охлаждение чаще всего используется в осевых инструментах типа сверл, зенкеров, разверток, протяжек, метчиков и других подобных инструментов, но также может использоваться и в других инструментах. На рисунке 1.3 показаны резцы с внутренним охлаждением. В корпусе резца 1 находится полость, поверхность которой покрыта пористым материалом (рисунок 1.3, а), который смочен охлаждающей жидкостью.

При обработке резанием жидкость в режущей части резца испаряется и конденсируется в холодной зажимной части резца. По шероховатому материалу 2 она вновь поступает к режущей части. Резцы могут иметь замкнутую (рисунок 1.3, б) и проточную (рисунок 1.3, в) полости.

В 1952 году была предложена подача охлаждающей жидкости в виде пены, которая образуется путем продувки объема СОЖ сжатым воздухом и вводится таким же образом в зону обработки, что и жидкость при ее распылении. Пена менее эффективна в зоне резания, чем струя охлаждающей жидкости, коэффициент сопротивления составляет от 1,2 до 1,5 [4].

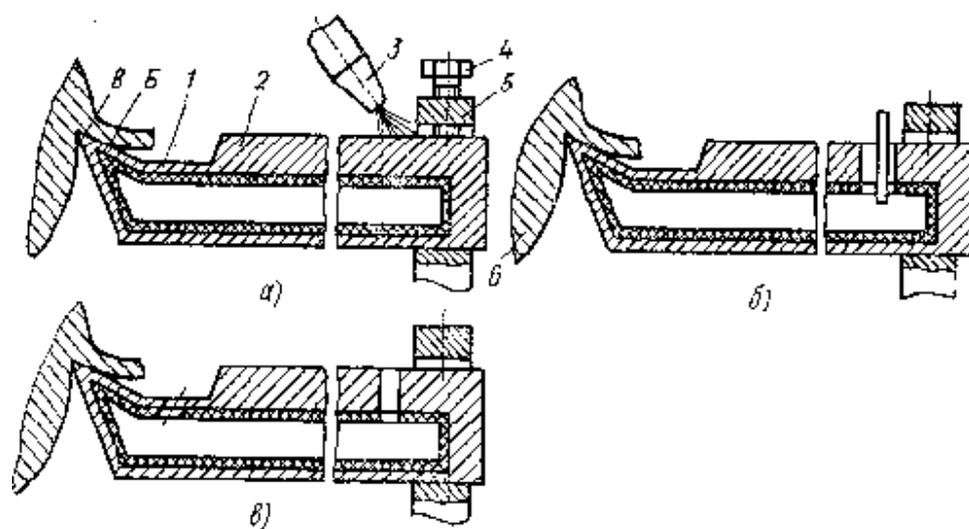


Рисунок 1.3 - Резцы с внутренним охлаждением [4]

Эффективность подачи охлаждающей жидкости для пены такова, что пена не распространяется так свободно по поверхности детали и деталей машины, не разбрызгивается и, следовательно, меньше загрязняет рабочую станцию. Этот метод рекомендуется для обработки асимметричных деталей, выступающие части которых выбрасывают или осаждают струю охлаждающей жидкости, создаваемую промывкой, или в других случаях, когда использование более эффективных методов подачи охлаждающей жидкости неудобно или невозможно по любой причине.

В начале 1950-х годов был разработан и исследован новый метод охлаждения и смазки зоны резания струей жидкости под высоким давлением. В этом способе охлаждающая жидкость вводится в виде тонкой струи под давлением от 20 до 30 атмосфер от задней поверхности резака в зону обработки. Первоначальные исследования эффективности этого метода показали, что срок службы режущего инструмента может быть увеличен во много раз при резке с использованием СОЖ. Дальнейшие исследования этого метода исследовали влияние скорости струи, расхода жидкости, температуры и других параметров на сопротивление режущего инструмента. Определены зависимости скорости струи, расхода и долговечности режущего инструмента от диаметра отверстия сопла и давления в системе подачи.

Способ охлаждения струей охлаждающей жидкости под высоким давлением считается особенно эффективным при обработке труднообрабатываемых материалов и сплавов. В результате испытаний на сопротивление было доказано, что при прерывистом вращении сплава ЭИ437 сопротивление высокоскоростных резцов при подаче струи СОЖ под высоким давлением в зону резания увеличивается более чем в 6 раз по сравнению резанием с помощью СОЖ. Аналогичные результаты были получены при прерывистом вращении сплава ЭИ766 [4].

Способ охлаждения и смазки высокопористым жидким потоком был очень эффективным, был изучен и разработан методом, но не получил широкого применения в технике из-за очень серьезных недостатков. Одной из основных причин, препятствующих применению метода, является сильное брызгание упругой и опасной струи жидкости, которая выходит из сопла под высоким давлением со скоростью от 50 до 80 м/с. Еще одной важной причиной является сложность обеспечения герметичности подвижных соединений автомобильных дорог для подачи жидкости, работающей под давлением от 20 до 30 атмосфер.

По этим причинам в настоящее время этот процесс используется только для обработки трудно обрабатываемых материалов или там, где это технически необходимо для увеличения срока службы инструмента.

Менее эффективным по сравнению со струйным охлаждением под высоким давлением, но более удобным, более технологичным и более перспективным является метод охлаждения и смазки зоны резания распыляемой жидкостью. Суть метода охлаждения и смазки распыляемой жидкостью заключается в том, что охлаждающая жидкость распыляется в специальном распылительном устройстве со сжатым воздухом и вводится в виде воздушно-жидкостной смеси в зону резания. Для формирования воздушно-жидкостной смеси используются специальные распылители разных типов.

Наиболее удачной и работоспособной оказалась установка типа УР-3, рисунок 1.4, с двойным смешиванием жидкости с воздухом, предназначенная для распыливания смазочно-охлаждающих жидкостей на водной основе. Сжатый воздух из заводской сети, пройдя пробковый кран или вентиль, поступает через фильтр 1 в редукционный клапан 2, предназначенный для снижения давления воздуха и поддержания его на постоянном уровне во время работы [4].

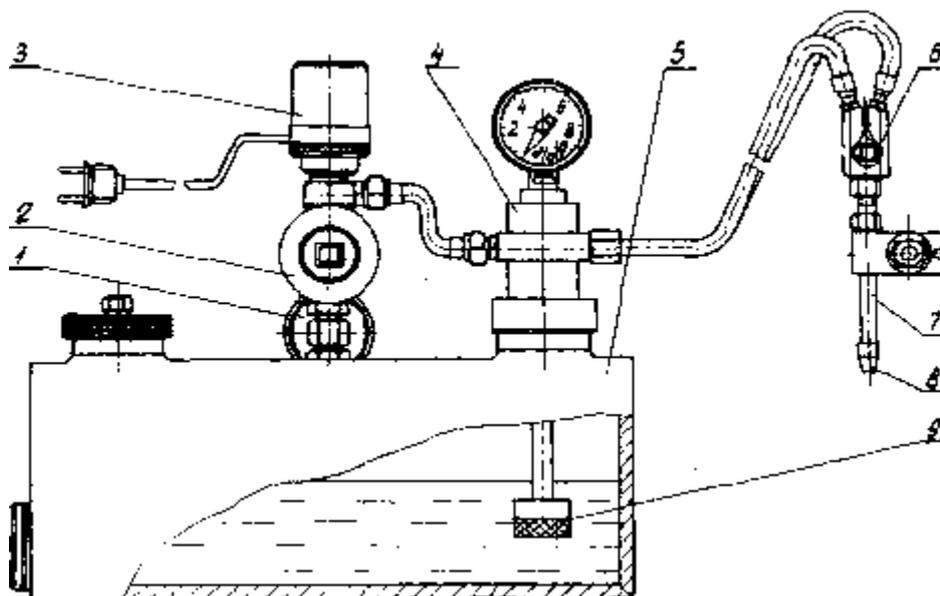


Рисунок 1.4 - Установка УР-3 с двойным смешиванием жидкости с воздухом [4]

Распыляемые жидкости действуют более эффективно в зоне резки, чем промытая жидкость, так как кислород подается в зону резки сжатым воздухом, а капли распыляемой жидкости электрифицируются. Описанные системы опрыскивания автоматизированы. Эти системы автоматизируют использование оборудования, которое автоматически включает подачу распыленной жидкости в зону резания во время рабочего хода машины и прекращает ее подачу после завершения работы машины [4].

## 2 Расчеты подачи СОЖ

### 2.1 Выбор способа подачи смазочно-охлаждающих технологических сред в зону резания при лезвийной обработке

В настоящее время при механической обработке лезвийным инструментом наиболее распространенными являются способы подачи охлаждающей жидкости (СОЖ): полив свободно падающим потоком жидкости; струйно-напорная подача СОЖ; подача СОЖ в распыленном состоянии.

Использование СОЖ - наиболее эффективный способ понижения температуры и увеличения стойкости режущего инструмента. В основном используются для охлаждения зоны резания жидкости на основе водных растворов, теплофизические свойства которых аналогичны свойствам воды,

В качестве основного критерия выбора подачи охлаждающей жидкости в зону резания рекомендуют коэффициент теплоотдачи  $\alpha$ , который характеризует основные законы конвективного теплообмена и интенсивность отвода тепла от лезвия инструмента, стружки и деталей. Критерийное уравнение используется для расчета коэффициента теплопередачи при вынужденной конвекции среды, возникающей в результате вынужденного движения СОЖ в зоне резания [5]:

$$Nu_0 = C \varepsilon Re_0^m Pr_0^n Gr_0^p \left(\frac{Pr_0}{Pr_s}\right)^{0,25}, \quad (2.1)$$

где  $C, m, p, x, y, z$  – коэффициент и показатели степеней, зависящие от способа подачи жидкости в зону обработки.

Поправка  $\varepsilon$  (формула 2.2) учитывает изменение теплоотдачи при наклоне струи под углом  $\varphi$  [5]:

$$\varepsilon = \exp[-4 \cdot 10^6 (90^\circ - \varphi)^3]. \quad (2.2)$$

В состав формулы (2.1) входят четыре безразмерных комплекса [5]:

$$Nu_0 = \frac{\alpha l}{\lambda} Re_0 = \frac{wl}{\nu} Pr_0 = \frac{v}{\omega} Gr_0 = \frac{\beta(\Theta_s - \Theta_s)gl^3}{\nu^2}, \quad (2.3)$$

где  $Nu_0$  – критерий Нуссельта;

$Re_0$  – критерий Рейнольдса;

$Pr_0$  – критерий Прандтля;

$Gr_0$  – критерий Грасгофа;

$\alpha$  – коэффициент теплоотдачи;

$\omega$  – скорость потока, м/с;

$\nu$  – кинематический коэффициент вязкости среды;

$\nu$  – коэффициент температуропроводности;

$\beta$  – коэффициент объемного расширения;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$\Theta_s$  и  $\Theta_o$  – температуры поверхности инструмента и охлаждающей среды, °С.

При подаче водных растворов поливом свободно падающей струей жидкости, являющимся самым простым и наиболее распространенным способом, при котором струя направляется как на стружку, так и на инструмент, для определения коэффициента теплоотдачи используется критериальное уравнение (2.4) в виде [5]:

$$Nu_0 = 0,28 \varepsilon Re_0^{0,6} Pr_0^{0,36} \left( \frac{Pr_0}{Pr_s} \right)^{0,25}. \quad (2.4)$$

Из уравнения (2.5) определяется коэффициент теплоотдачи [5]:

$$\alpha_{\text{полив}} = 1,9 \cdot \frac{10^3 \varepsilon w^{0,6}}{l^{0,4}}. \quad (2.5)$$

Характерный размер в уравнении (2.6) при условии поперечного обтекания тела жидкостью определяется как эквивалентный диаметр [5]:

$$l = d_{\text{экв}} = \frac{4F}{P} = \frac{BH}{2(B+H)}, \quad (2.6)$$

где  $F$  – площадь поперечного сечения тела, мм<sup>2</sup>;

$P$  – полный смоченный периметр этого сечения, мм;

$B, H$  – размеры инструмента, мм.

В связи с тем, что при резании на поверхностях лезвия инструмента в процессе механообработки возникают значительно более высокие температуры, чем 100°С, необходимо учитывать особенности теплообмена при изменении агрегатного состояния жидкости – кипении. В диапазоне температур до 120 °С наблюдается пузырьковый режим кипения с максимально возможным образованием и отрывом пузырьков пара от нагретой поверхности, обеспечивающий наибольший эффект от применения СОЖ, с коэффициентом теплоотдачи, уравнение (2.7) [5]:

$$\alpha_{x \text{ нuz}} \approx 170(\Theta_s - 100)^{1,86}. \quad (2.7)$$

При более высокой температуре пузырьковый режим кипения переходит в пленочный. Пленка пара увеличивает термическое сопротивление, коэффициент теплоотдачи снижается, уравнение (2.8) [5]:

$$\alpha_{x \text{ пл}} = 3,33 \cdot 10^6 (\Theta_s - 100)^{-1,43}. \quad (2.8)$$

При температуре свыше 235 °С коэффициент теплоотдачи практически не изменяется [5]:  $\alpha_x \approx 3 \cdot 10^3$ .

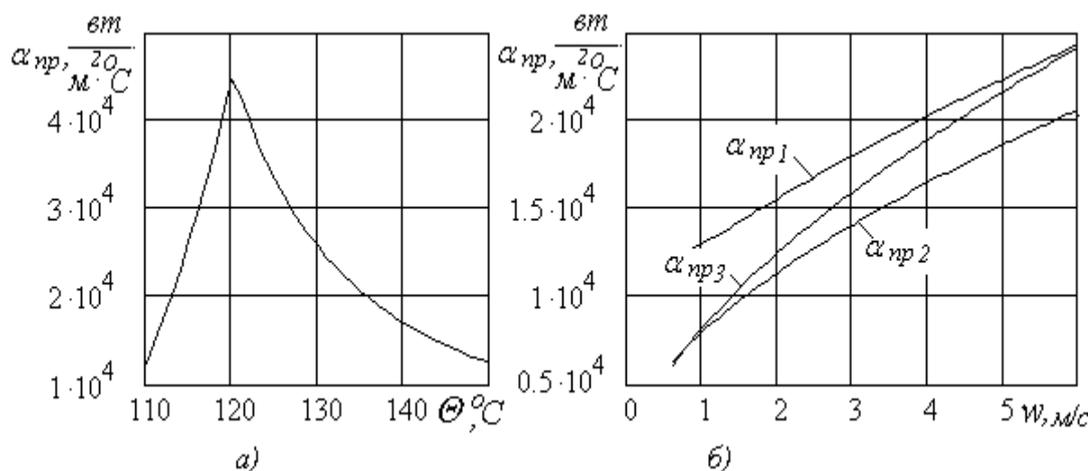
Движение жидкости по отношению к нагретому инструменту вносит изменения в процесс кипения. Движущаяся жидкость срывает паровые пузырьки с поверхности тела и ослабляет процесс пузырькового кипения, а также разрушает паровую пленку. Приведенный коэффициент теплоотдачи  $\alpha_{пр}$ , учитывающий совместное влияние кипения и конвективного теплообмена, показанного на рисунке 2.1, определяется следующим образом [5]:

$$\text{при } \alpha_x \geq 2\alpha, \quad \alpha_{пр} \approx \alpha_x,$$

$$\text{при } 0,5\alpha \leq \alpha_x \leq 2\alpha,$$

$$\alpha_{пр} = \alpha[(4\alpha + \alpha_x)/(5\alpha - \alpha_x)], \quad (2.9)$$

где  $\alpha_x$  и  $\alpha$  - соответственно независимо рассчитанные коэффициенты теплоотдачи при кипении и при конвективном теплообмене.



а - от температуры поверхности  $\Theta$  (при  $\Theta \leq 150$  °С); б - от скорости потока жидкости;  $\alpha_{пр1}$  соответствует  $\Theta = 170$  °С;  $\alpha_{пр2}$  -  $\Theta = 220$  °С;  $\alpha_{пр3}$  -  $\Theta > 235$  °С

Рисунок 2.1 - Графики зависимости приведенного коэффициента теплоотдачи  $\alpha_{пр}$  [5]

График зависимости приведенного коэффициента теплоотдачи  $\alpha_{пр}$  от температуры поверхности  $\Theta$ , показанного на рисунке 2.1 свидетельствует о том, что в области температуры 120 °С имеет место существенное повышение коэффициента теплоотдачи. При высоких скоростях для всех температур  $\alpha_x \leq 0,5\alpha$ , в связи с чем, коэффициент теплоотдачи практически не зависит от температуры [5]:  $\alpha_{пр} \approx \alpha$ .

При струйно-напорной подаче водных растворов, сущность которого заключается в подаче СОЖ тонкой струей с давлением до 2 МПа в зону контакта инструмента с обрабатываемой деталью со стороны задней поверхности, для

определения коэффициента теплоотдачи используется критериальное уравнение в виде [5]:

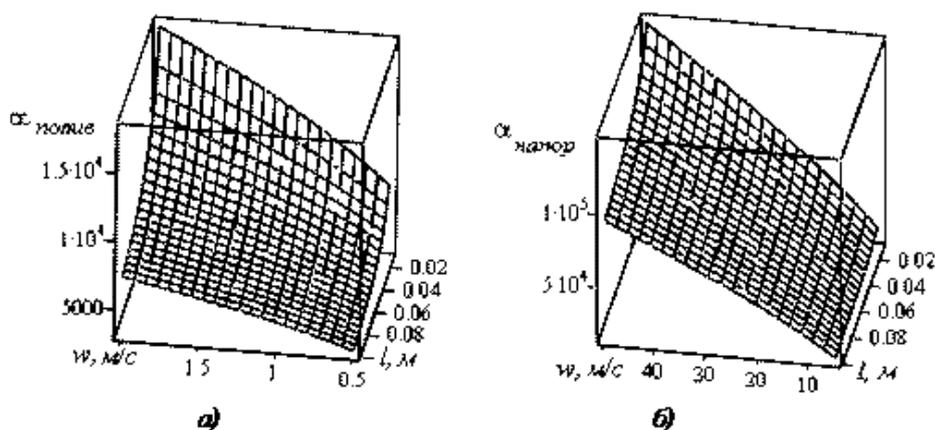
$$Nu_0 = 0,02\varepsilon Re_0^{0,8} Pr_0^{0,43} \left(\frac{Pr_0}{Pr_s}\right)^{0,25}. \quad (2.10)$$

В этом случае коэффициент теплоотдачи [5]:

$$\alpha_{\text{напор}} = 2,6 \cdot 10^3 w^{0,8} / l^{0,2}. \quad (2.11)$$

Характерный размер при условии продольного обтекания тела жидкостью принимается как размер по направлению ее течения;  $l = H$ .

На рисунке 2.2 для сравнения представлены графики зависимости коэффициента теплоотдачи ( $\alpha$ ) от скорости охлаждающей среды ( $w$ ) и длины омываемой поверхности ( $l$ ) при свободном поливе и струйно-напорной подаче СОЖ [5].



а – свободный полив; б - струйно-напорная подача СОЖ

Рисунок 2.2 - Графики зависимости коэффициента теплоотдачи ( $\alpha$ ) от скорости охлаждающей среды ( $w$ ) и длины омываемой поверхности ( $l$ ) [5]

Таким образом, в результате проведенных исследований установлены закономерности изменения и количественные значения коэффициентов теплоотдачи при поливе свободно падающей струей жидкости и струйно-напорной подаче СОЖ, позволяющие для заданных параметров обработки выбрать способ подачи с наибольшим значением коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  [5].

## 2.2 Подбор смазочно-охлаждающей жидкости

Цель использования СОЖ - снижает износ режущего инструмента, улучшает качество заготовки и повышает производительность труда. Охлаждающая жидкость удаляет стружку, уменьшает трение (и износ) и отвод тепла.

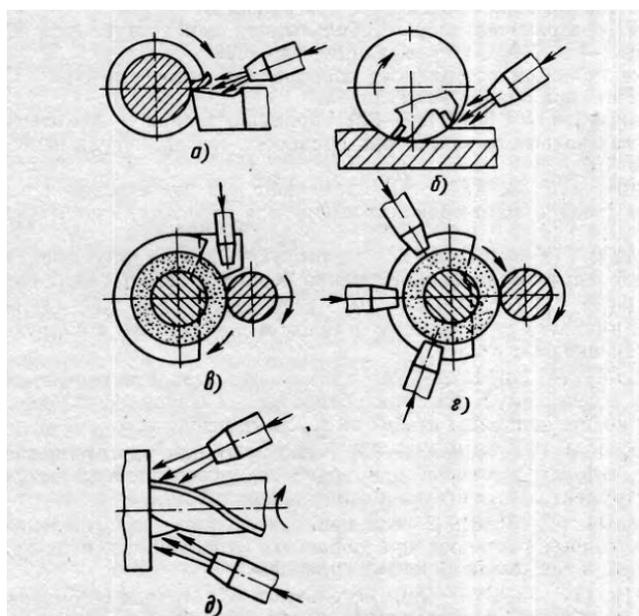
В зависимости от процесса резки и материала обрабатываемых деталей, между смазочными и охлаждающими свойствами охлаждающей жидкости выбирается определенное соотношение (около 60% тепла обусловлено деформацией металла и 40% - трением). Снижение трения зависит от смазывающих свойств масла, а эффективность охлаждения зависит от количества воды, которая образует эмульсию или раствор с маслом.

Наибольшее применение (около 95%) наблюдается в масляных СОЖ на основе минерального масла с добавлением присадок. Эмульсолы - смеси минеральных масел, эмульгаторов, противоизносных присадок и противозадирных присадок и др.; синтетический теплоноситель на основе водорастворимых полимеров; полужидкие и пластичные композиции. Различные материалы инструмента и заготовки определяют различные требования к охлаждающей жидкости. Например, низколегированная сталь, которая имеет тенденцию прилипать к резцу в отличие от твердой хромоникелевой стали, обрабатывается охлаждающей жидкостью с низким содержанием присадок.

Многие органические соединения азота, серы, хлора и фосфора входят в состав хладагента в качестве компонентов и добавок.

При обработке в сложных условиях (высокая скорость, плохо обрабатываемый материал) следует добавлять маслорастворимые добавки, содержащие хлор, фосфор и серу. Сера добавляется при высоких нагрузках и средних скоростях (не подходит для обработки меди, так как происходит почернение поверхности).

Хлорсодержащий СОЖ стабилен при температурах до 500 °С, фосфорная кислота до 700 °С и сульфидная до 1000 °С [6].



а – резцом; б – фрезой; в, г – шлифовальным кругом соответственно с подачей СОЖ в зону резания и с внезонной подачей СОЖ; д – сверлом

Рисунок 2.3 – Рекомендуемые схемы подачи СОЖ при обработке [6]

Подача СОЖ в зону обработки. При лезвийной обработке основные способы подачи СОЖ следующие:

- свободно падающий поток (полив при давлении 0,02 - 0,03 МПа);
- напорной струей через сопловые насадки под давлением 0,1 – 2,5 МПа;
- в распыленном состоянии (в виде струи воздушно-жидкостной смеси) - преимущество этого метода заключается в очень низком расходе охлаждающей жидкости - от 400 до 500 г/ч с 1,5% эмульсии или от 3 до 4 г/ч масла, поэтому нет необходимости в сборе и очистке СОЖ.

Распыляемая охлаждающая жидкость успешно используется в станках с ЧПУ для высокоскоростной и твердой обработки металлов и сплавов с помощью токарной, фрезерной, сверлильной, резьбонарезной, а также при обработке инструментами из сверхтвердых материалов. На рисунке 2.3 показаны рекомендуемые схемы охлаждения для работы с различными инструментами.

Эффективность охлаждающей жидкости зависит от ее расхода. Примерные значения потребления для машин разных групп приведены в таблице 2.1 [6].

Таблица 2.1 – Ориентировочные нормы расхода СОЖ для станков различных групп [6]

Станки	Расход л/мин
Токарно-винторезные; токарно-револьверные; одношпиндельные прутковые автоматы	10-12
Токарные многорезцовые, токарно-копировальные	15-25
Четырех-, шести- и восьмишпиндельные прутковые токарные автоматы	100; 150; 180
Сферотокарные	10-20
Алмазно-расточные	10-20
Вертикально-сверлильные	8-12
Вертикально- и горизонтально-протяжные	10-12
Зубофрезерные, зубострогальные и зубодолбежные	15-40
Резьбонарезные	15-30
Вертикально- и горизонтально-протяжные	10-20
Отрезные	10-15
Плоскошлифовальные:	
- одношпиндельные	100-150
- двухшпиндельные	150-250
- круглошлифовальные	30-90
- внутришлифовальные	20-40
Бесцентрошлифовальные с шириной круга, мм, не более:	
- 200	100
- 800	200-250
Торцешлифовальные	100-200

### 3 Моделирование элементов системы СОЖ

Для создания макета системы подачи СОЖ использовалась система трехмерного твердотельного моделирования, библиотека стандартных изделий, интегрированная система моделирования тел вращения. Благодаря чему облегчилось автоматизированное управление проектами и предприятием на базе электронного документооборота. Любые изменения в любом элементе изделия незамедлительно стали доступными как для отдельных конструкторов и технологов, так и для целых отделов и организаций на всех этапах создания изделия – благодаря использованию единой базы данных. Таким образом, можно сделать вывод, что САПР сокращает время и трудозатраты на проектирование изделия.

Система КОМПАС-3D позволила реализовать классический процесс трехмерного параметрического проектирования – от идеи к ассоциативной объемной модели, от модели к конструкторской документации. На рисунке 3.1 изображен электродвигатель насоса высокого давления для подачи СОЖ.

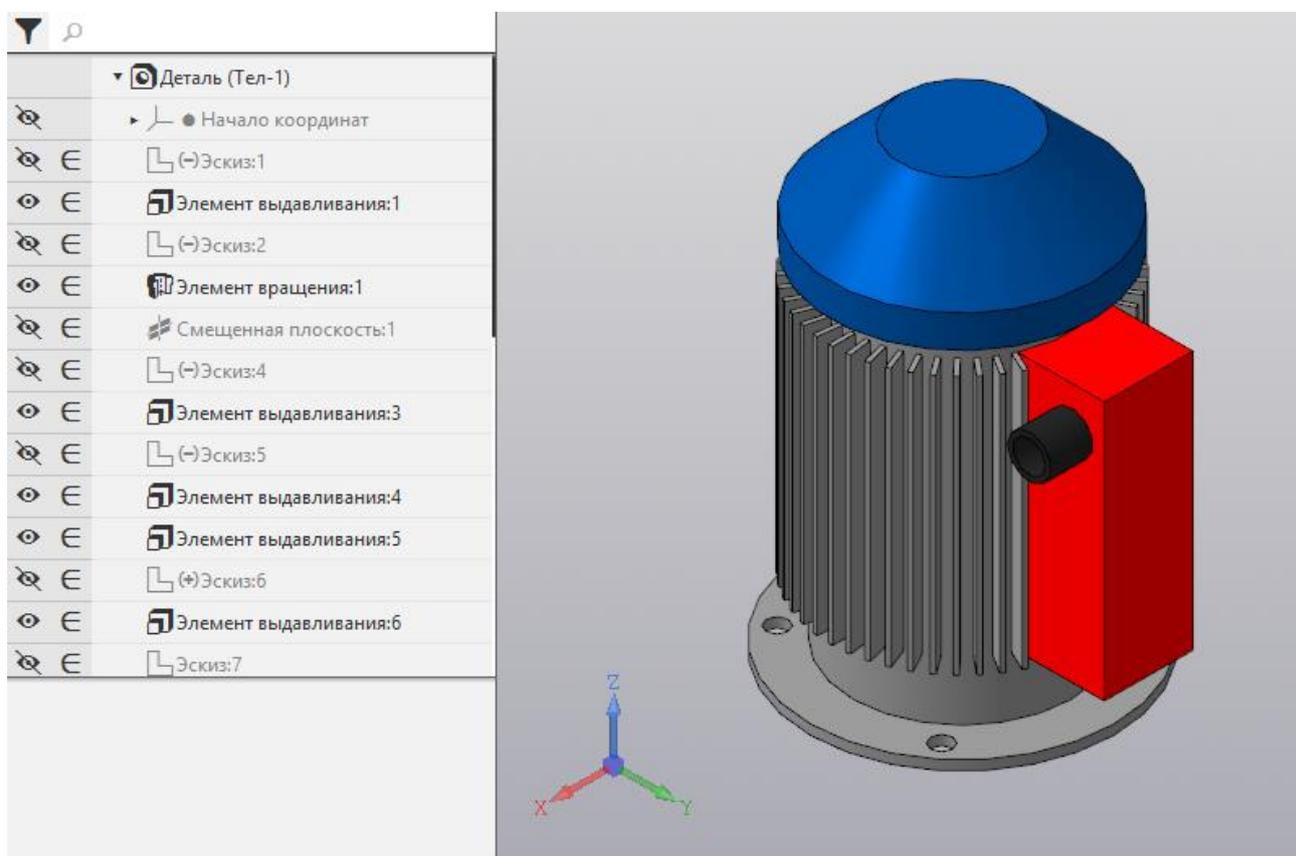


Рисунок 3.1 – Электродвигатель насоса высокого давления подачи СОЖ

Основными компонентами КОМПАС-3D являются система трехмерного моделирования, рисунок 3.2 фланец погружного насоса, чертежно-графический редактор, КОМПАС-График.

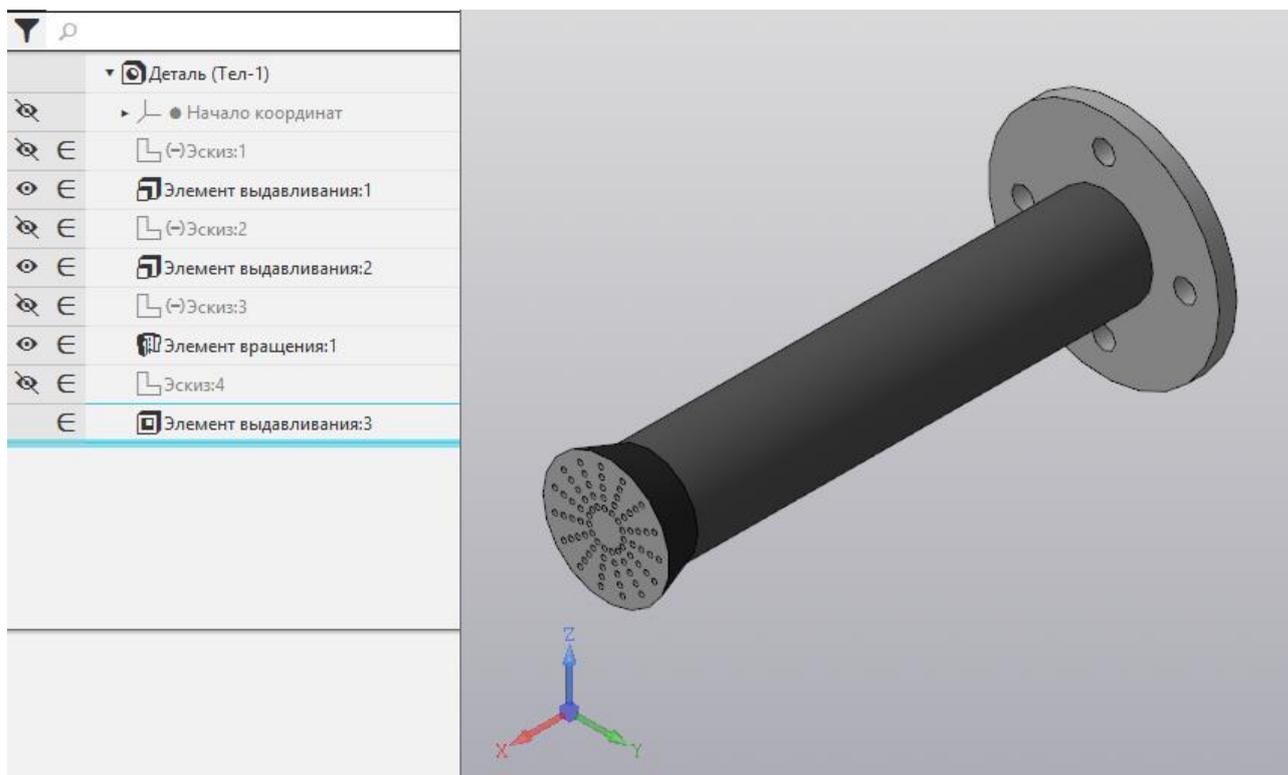


Рисунок 3.2 Фланец погружной

Все компоненты просты в освоении и имеют пользовательский интерфейс на русском языке и справочную систему.

Система обладает мощным функционалом для работы над проектами с несколькими тысячами подборок, деталей и стандартных продуктов. При разработке тренировочной модели планетарной коробки передач мы определили все возможности надежного трехмерного моделирования, которое стало стандартом для систем САПР среднего уровня:

- создание поверхностей;
- ассоциативная настройка параметров элементов;
- построение вспомогательных линий и плоскостей, эскизы, пространственные кривые;
- создание конструктивных элементов - фасок, скруглений, отверстий, ребер жесткости, тонкостенных оболочек;
- особые характеристики, облегчающие конструирование литейных форм: чугунные откосы, разделительные линии, полости в форме куска (также в задаче восстановления);
- функциональность для моделирования деталей из ламинированного материала. Инструкции по созданию корпуса из листового металла, сгибов, отверстий, жалюзи, плеч, вырубок и прорезей в корпусе из листового металла, зацепления углов и зачистки результирующего тела из листового металла, включая формирование ассоциативной развертки чертежа;
- создание произвольных матриц элементов и элементов сборки [8];

- вставлять в модель стандартные библиотечные продукты, создавая пользовательские библиотеки для моделей;
- моделирование компонентов в контексте сборки, взаимное определение деталей в сборке;
- создание ссылок на компоненты набора (с возможностью автоматического назначения ссылок скорость сборки набора значительно увеличивается);
- обнаружение проникновения деталей;
- специальные инструменты для упрощения работы с большими наборами;
- возможность гибкой обработки деталей и узлов, в том числе с использованием характерных точек;
- переопределите параметры любого элемента на каждом этапе проектирования, воссоздав всю модель.

#### Материалы;

- подбор материалов из широкого спектра объединенных библиотек (различные виды металлов, дерева, камня, пластика и многие другие);
- возможность указать свойства материала, такие как цвет поверхности, отражающая способность, отражение, прозрачность, шероховатость и текстура;
- можно назначать материалы для узлов, деталей, операций и поверхностей;
- реализован предварительный просмотр материалов, сцен и источников света, чтобы сократить время на фотореалистичное изображение.

#### Свет и тень:

- индикация паразитных источников света, фар, точечных и дистанционных источников;
- простая обработка теней с учетом прозрачности объектов;
- назначение и обработка цвета и интенсивности источника света;
- создать в стиле фотостудии фон для улучшения внешнего вида деталей и сборок;
- добавить широкую панорамную область в ландшафт и сохранить ее в файле модели;
- запоминать ранее созданные сцены, в том числе источники света, фон и ландшафт;
- можно выбрать стандартную сцену для быстрого создания качественных изображений;
- импорт фона из стандартных файлов изображений (JPEG, TARGA, TIFF, BMP) [8].

Так же программа обладает такими функция как сборка, которая упрощает сведения о сборке деталей, и показывая визуализацию соединений для выявления недочетов в процессе проектирования, сборка фланца с электродвигателем показана на рисунке 3.3.

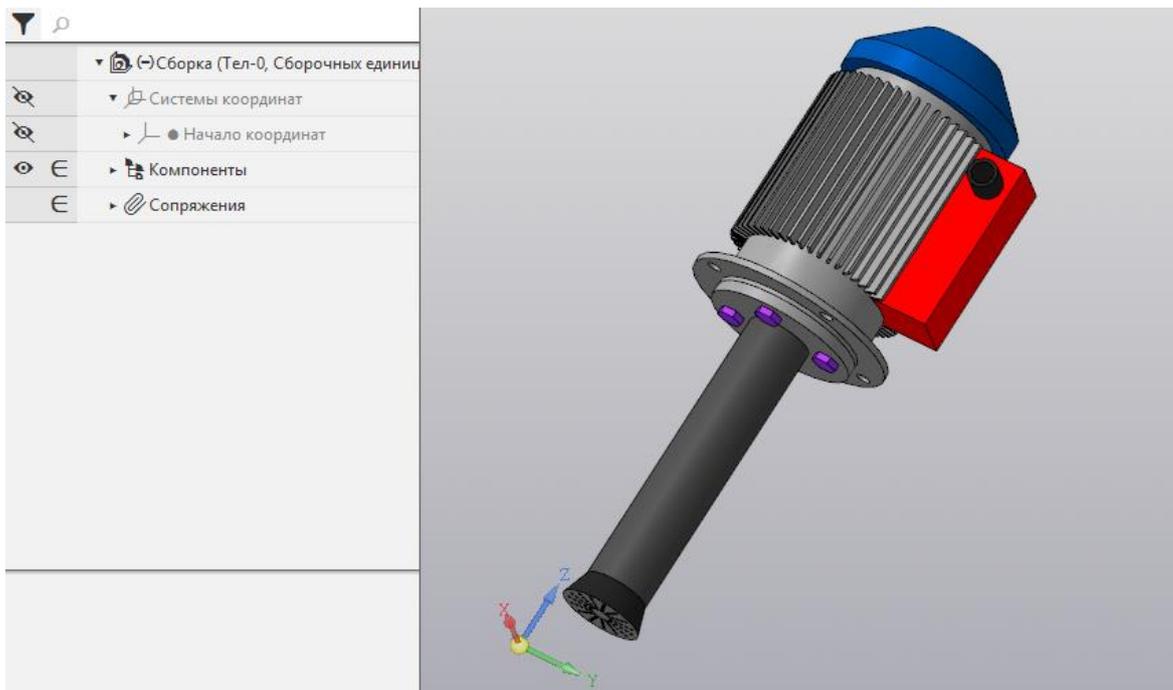


Рисунок 3.3 – Сборочная модель погружного насоса высокого давления

Благодаря передовым технология применяемые в КОМПАС-3D была спроектирована модель фильтра тонкой очистки, рисунок 3.4, применяемая в системе подачи СОЖ. Так же был спроектирован бак для хранения и очистки СОЖ, рисунок 3.5.

Во время проектирования был использован весь функционал программы КОМПАС-3D.

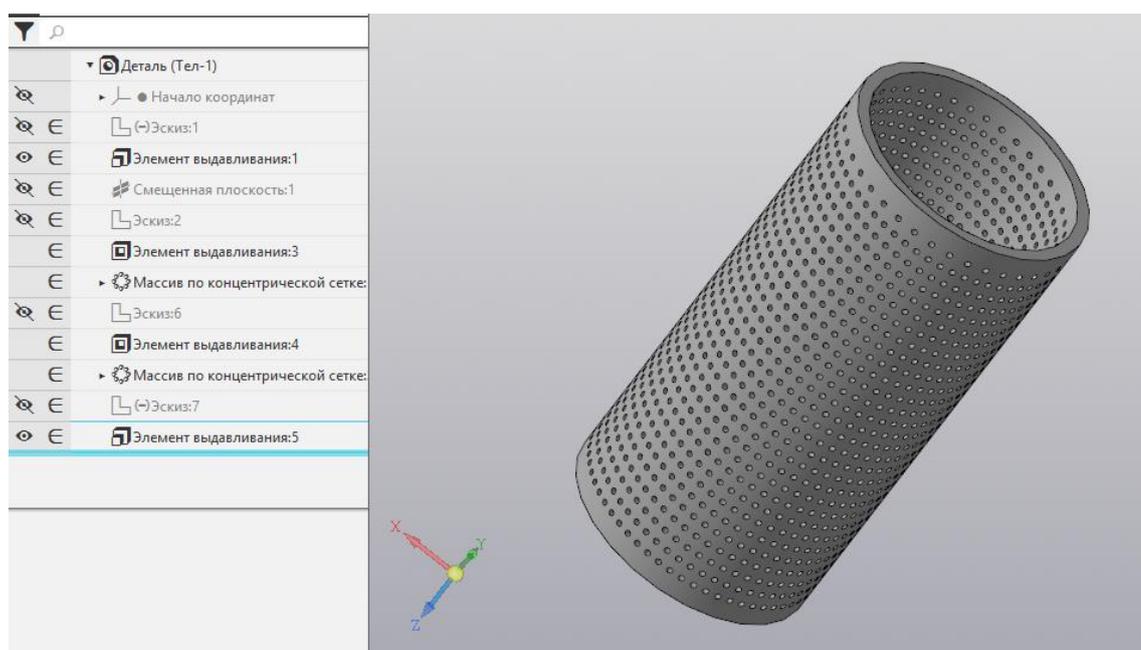


Рисунок 3.4 – Фильтр тонкой очистки СОЖ

Следующим этапом проектирования является создание бака для хранения и очистки СОЖ. На рисунке 3.5 показан бак с перегородкой для разделения очищенной и загрязненной СОЖ.

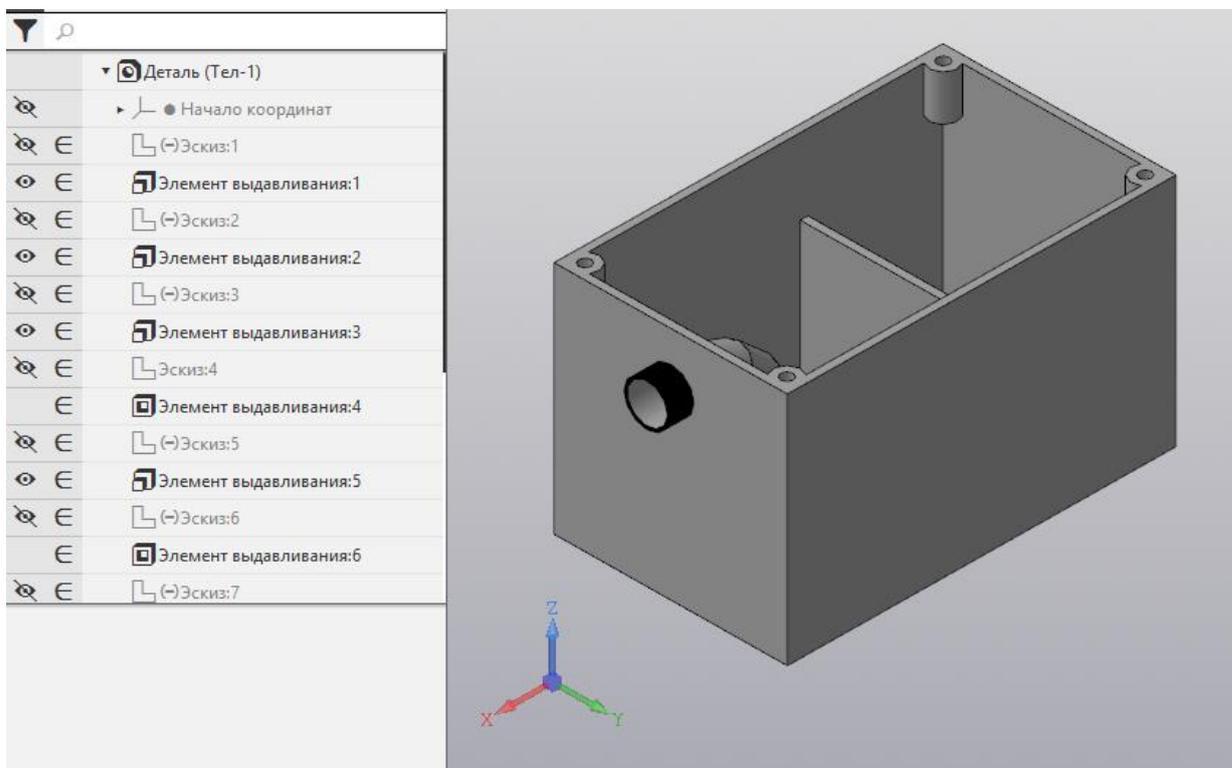


Рисунок 3.5 – Бак для хранения СОЖ

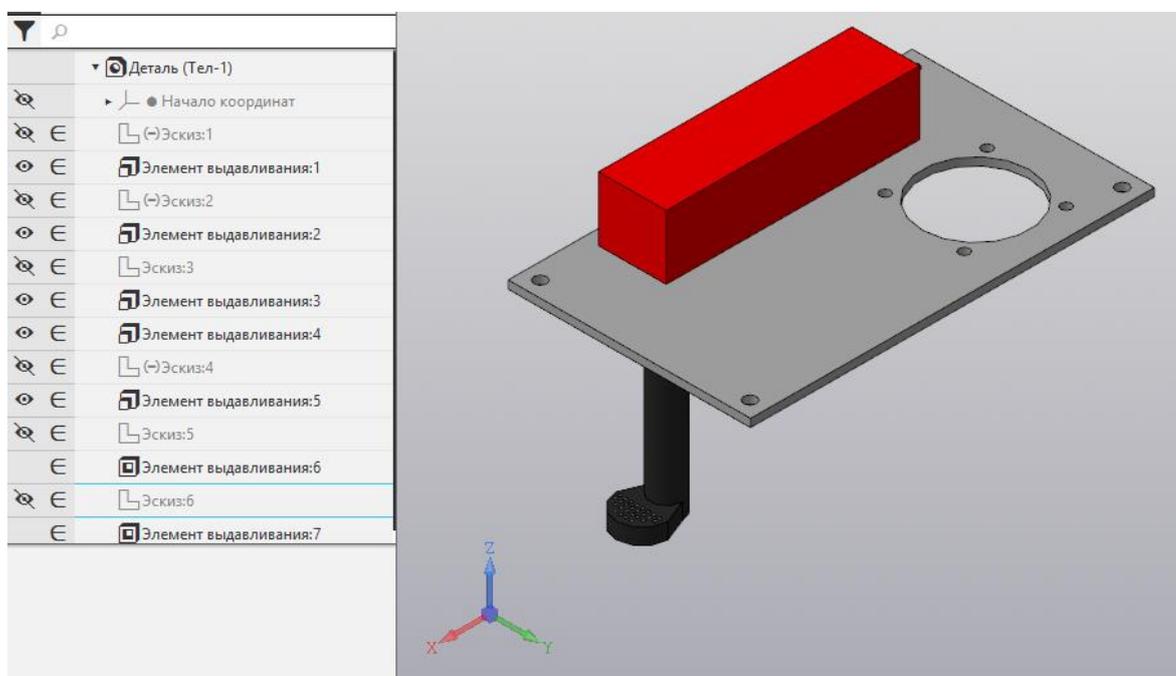


Рисунок 3.6 – Крышка бака с фильтрующими элементами

Крышка бака, рисунок 3.6, сочетает в себе место крепления насоса высокого давления с элементами тонкой очистки СОЖ.

После создания элементов бака для очистки СОЖ, переходим к сборке ее элементов, рисунок 3.7.

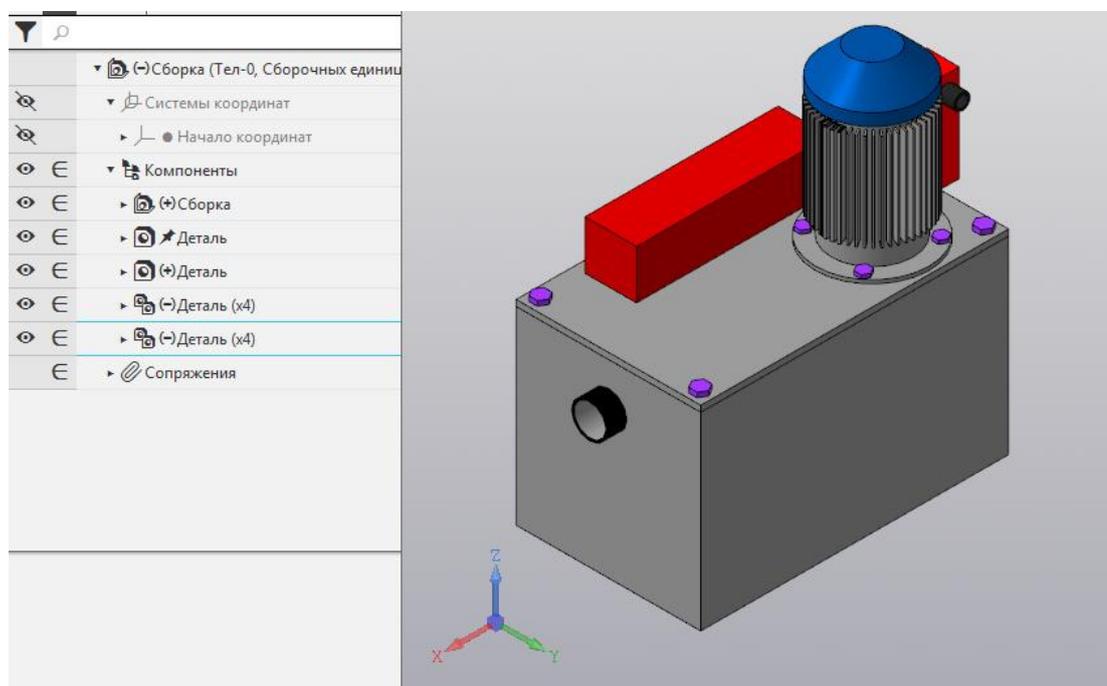


Рисунок 3.7 – Бак в сборе с насосом высокого давления

Так же для наглядности на рисунке 3.8 показан бак в разрезе.

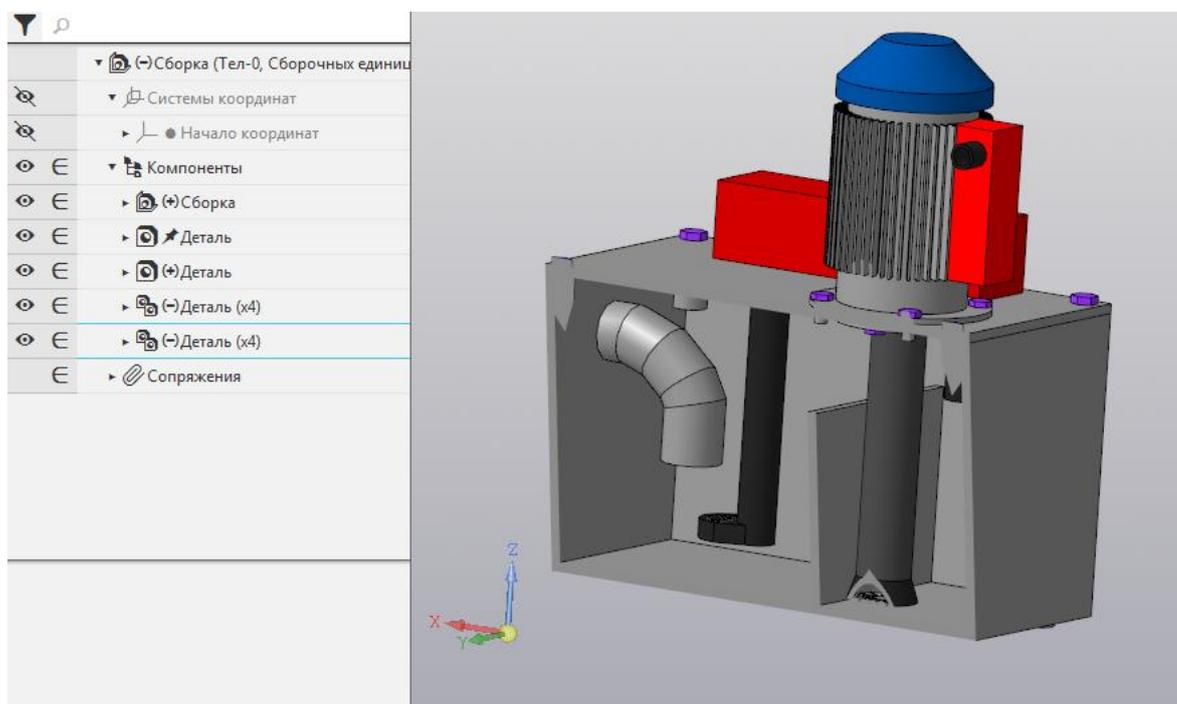


Рисунок 3.8 – Сборка бака в разрезе

#### 4 Автоматизация подачи СОЖ

Ежегодно каждый станок подвергается модернизации, в связи с жесткими требованиями к точности. Под модернизацией понимаем установку числового программного управления (на более старых версиях станков), замена узловых частей на более облученные или из более жесткого материала и т. д.

Тема моей дипломной работы «Автоматизация системы подачи смазочно-охлаждающей жидкости», на базе этого я создал модернизированную систему по охлаждению и смазке обрабатываемой детали. В качестве автоматизированной системы был использован микроконтроллер ARDUINO на базе чипа AT-MEGA, что позволило управлять полностью всей системой СОЖ, электрическая схема сборки представлена на рисунке 4.1.

Arduino - это инструмент для разработки электронных устройств (электронный конструктор), которые более тесно взаимодействуют с окружающей физической средой, чем традиционные персональные компьютеры, которые на самом деле не пересекают границы виртуальности. С Arduino создаются электронные устройства, которые могут принимать сигналы от различных цифровых и аналоговых датчиков, которые могут быть подключены к ним, и управлять различными приводами. Проекты устройств на базе Arduino могут работать независимо или взаимодействовать с программным обеспечением на компьютере. Язык программирования устройств Arduino основан на C/C++. Он прост в освоении, и на данный момент Arduino — это, пожалуй, самый удобный способ программирования устройств на микроконтроллерах [9].

Суть автоматизации заключается в управлении давлением и количества подаваемой СОЖ в зону резания, тем самым можно подбирать оптимальные режимы резания при минимальных затратах.

Преимущество автоматизированной подачи СОЖ в отличие от классического типа подачи заключается в том, что можно выбрать оптимальные вариант подачи СОЖ. Например, выбрать среднее между расходом подаваемой СОЖ и скоростью охлаждения обрабатываемой поверхности. Так же автоматизированная система сокращает время наладки. Возможность самодиагностики и выявления причины поломки, считывать показатели окружающей среды (при превышении норм, система переходит в безопасный режим).

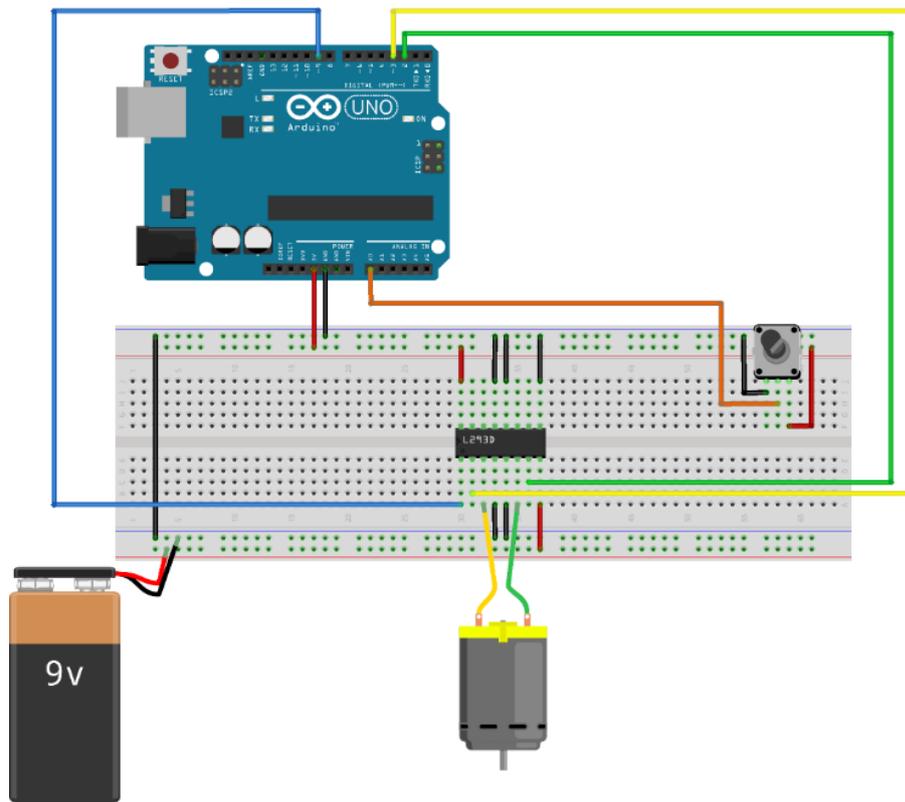


Рисунок 4.1 – Схема ШИМ (широтно-импульсная модуляция) управления двигателем постоянного тока

Для общего обзора всей работы, система подачи СОЖ, на рисунке 4.2 показана схема получения грязной СОЖ и весь ее путь до подачи чистой.

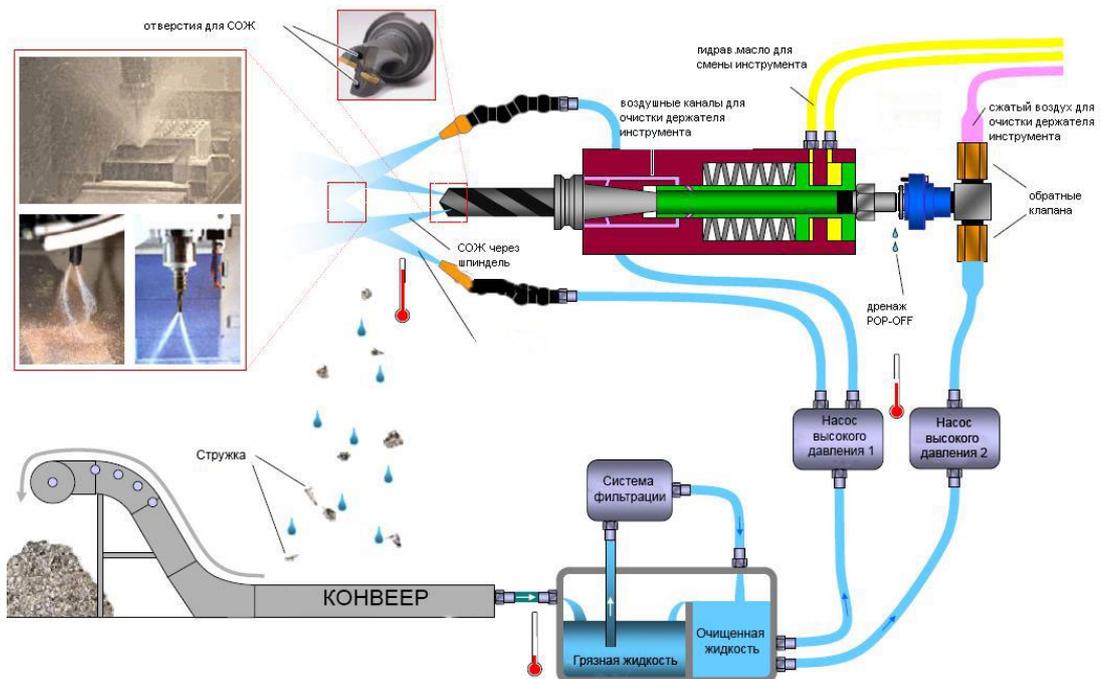


Рисунок 4.2 – Схема работы системы подачи СОЖ [10]

## 5 Техничко-экономические расчеты

Во время создания автоматизированной системы СОЖ были применены детали, которые были в наличии. Одним из самых затратных изделий стал насос высокого давления, так как он сочетает в себе все передовые технологии и сложность в изготовлении.

Так же стоит обратить внимание на расходы создания платы для управления насосом высокого давления, в частности сам микроконтроллер Arduino и вытекающие его узлы такие как, проводка, датчики, резисторы, конденсаторы и др. В таблице 5.1 приведена примерная стоимость затрат на создание автоматизированной подачи СОЖ.

Следующими затратными изделиями являются бак для хранения СОЖ, фланец погружной, фильтр тонкой очистки, соединительные трубки и др.

Таблица 5.1 – Техничко-экономические расчеты

Наименование	Количество, штук	Стоимость, тенге
Насос высокого давления	1	24 000
Микроконтроллер ARDUINO UNO	1	3 000
Проводка	4 метра	150
Резистор	4	20
Конденсатор	2	40
Резистор переменного сопротивления	1	250
DHT 22	1	1760
Корпус для СОЖ	1	7600
Фильтр тонкой очистки	1	300
Соединительные трубки Ø15	2 метра	800
Итого		32 270

## **6 Охрана труда при работе с системой СОЖ**

При работе с системами подачи СОЖ выделяют специальные нормативные требования, которым должен придерживаться станочник для предотвращения травмоопасных случаев на производстве. Общий список требования при работе с системами СОЖ приведен ниже [2]:

- очистка, мойка, дезинфекция емкостей и коммуникаций для приготовления и транспортировки технологических сред и СОЖ должны производиться перед каждой их заливкой;

- замена водных рабочих растворов в циркуляционных системах СОЖ должна проводиться не реже 1 раза в месяц, в летний период - 1 раз в две недели, для масляных СОЖ - 1 раз в 3 месяца;

- металлорежущее оборудование должно иметь защитные устройства (кожухи, укрытия, экраны и др.), предотвращающие разбрызгивание СОЖ и загрязнение рабочей зоны;

- система циркуляции СОЖ и ТС должна иметь устройства дозированной и направленной подачи технологических жидкостей в зону обработки металлов с автоблокировкой подачи растворов СОЖ при прекращении работы оборудования;

- рабочему-станочнику выдается спец одежда с длинными рукавами для предотвращения попаданий СОЖ на кожу;

- для предотвращения вибраций бака, он должен быть установлен в специализированном месте, имеющий удобный подход к нему для контроля за уровнем, установлен строго по уровню на ровной поверхности для предотвращения вытекания жидкости.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Спроектирована виртуальная модель системы подачи СОЖ для выявления недочетов и дальнейшего создания реальной модели. В качестве САПР был использован КОМПАС-3D, в котором был задействован весь ее функционал.

Была создана рабочая станция по управлению насосом высокого давления с применением микроконтроллера ARDUINO UNO. Во время создания автоматизированной системы были рассмотрены рекомендации ведущих машиностроительных заводов, а также изучены общие сведения о смазочно-охлаждающих жидкостях, применяемых в машиностроении. Так же были рассмотрены вопросы по охране труда при работе с системами СОЖ.

Поставленная задача по автоматизации системы подачи СОЖ была выполнена. Была описана общая характеристика система СОТС, описан принцип работы подаваемое СОЖ. Произведены расчеты по преимуществу автоматизированной системы от классической механической подачи СОЖ. Создана электрическая схема соединений микроконтроллера с насосом высокого давления и ее драйвером для управления скоростью вращения крыльчатки насоса. Был создан прототип для управления объемом подаваемой СОЖ.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Справочник по обработке металлов резанием. Под ред. Ф.Н. Абрамов, В.В. Коваленко, В.Е. Любимов, К. - Техника, 1983. – 239 с.
- 2 Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием. Под ред. С. Г. Энтелиса, Э. М. Берлинера. - М.: Машиностроение, 1986. – 352 с.
- 3 Применение водных СОЖ при суперфинишировании деталей Под ред. Жулев А. А., Коротков Б. И., Волков М. П. –М.: Станки и инструменты, 1980. – 524 с.
- 4 Способы и техника применения технологических сред при резании металлов [электронный ресурс]. – <http://www.info.instrumentmr.ru/>
- 5 Тепловые процессы в технологических системах. Под ред. Резникова А.Н., Резникова Л.А. - М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.
- 6 Расчет и конструирование узлов и элементов станков. Под ред. А. С. Проникова. - М.: Машиностроение, 1995. – 319 с.
- 8 Потемкин А.Е. Твердотельное моделирования в системе КОМПАС – 3D. БХВ - Петербург, 2008 – 512 с.
- 9 Программирование микроконтроллерных плат Arduino. Автор Улли Сомер, 2012. – 238 с.
- 10 Форум CAD/CAM/CAE/PLM - <http://cccp3d.ru>