

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (**МАИ)**

Факультет (аэрокосмический) 6 **Кафедра** 614

Направление подготовки 12.03.04 **Группа** 6О-404Б

Квалификация (степень) бакалавр

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

На тему: Разработка и модернизация системы отбора проб для оценки качества воздушной среды в НЭК

Автор квалификационной работы Теренин Роман Андреевич (_____)
(Фамилия, имя, отчество)

Руководитель Белявский Александр Евгеньевич (_____)
(Фамилия, имя, отчество)

Консультант Мухамедиева Лана Низамовна (_____)
(Фамилия, имя, отчество)

Консультант Царьков Дмитрий Сергеевич (_____)
(Фамилия, имя, отчество)

Консультант Пахомова Анна Андреевна (_____)
(Фамилия, имя, отчество)

Рецензент Заговорчев Владимир Александрович (_____)
(Фамилия, имя, отчество)

К з а щ и т е д о п у с т и т ь

Зав. кафедрой _____(_____)
(Фамилия, инициалы)

“___”_____ 2020 г.

Москва 2020 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (**МАИ)**

Факультет (аэрокосмический) 6 **Кафедра** 614

Направление подготовки 12.03.04 **Группа** 6О-404Б

Квалификация (степень) бакалавр

РАЗДАТОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ
К
ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
БАКАЛАВРА

На тему: Разработка и модернизация системы отбора проб для оценки качества воздушной среды в НЭК

Автор квалификационной работы Теренин Роман Андреевич (_____)
(Фамилия, имя, отчество)

Руководитель Белявский Александр Евгеньевич (_____)
(Фамилия, имя, отчество)

Консультант Мухамедиева Лана Низамовна (_____)
(Фамилия, имя, отчество)

Консультант Царьков Дмитрий Сергеевич (_____)
(Фамилия, имя, отчество)

Консультант Пахомова Анна Андреевна (_____)
(Фамилия, имя, отчество)

Рецензент Заговорчев Владимир Александрович (_____)
(Фамилия, имя, отчество)

К з а щ и т е д о п у с т и т ь

Зав. кафедрой _____(_____)
(Фамилия, инициалы)

“___”_____ 2020 г.

Москва 2020 г.

Глава 1. Аналитический обзор литературы

Источники загрязнения воздушной среды пилотируемых космических аппаратов

Проблема обитаемости пилотируемых космических кораблей и орбитальных станций, под которой понимают обеспечение условий жизни и профессиональной деятельности космонавтов включает комплекс вопросов физиологического, психологического характера и достаточно обширный комплекс санитарно-гигиенических условий, формируемых в герметичной кабине космического объекта.

В замкнутом помещении между человеком и окружающей средой складываются особые отношения, проявляющиеся в активном формировании воздушной среды за счет различных химических соединений, выделяющихся в процессе жизнедеятельности организма. При этом речь идет не только о колебаниях состава основных ингредиентов (кислорода, азота, углекислого газ), но и о загрязнении воздушной среды различными микропримесями. Выдыхаемый человеком воздух является одним из основных источников загрязнения воздушной среды герметичного помещения химическими микропримесями, причем содержание их весьма изменчиво и зависит от ряда условий: индивидуальных особенностей обменных процессов в организме человека, выраженности действия микроклиматических параметров, состава и калорийности питания, двигательной активности человека и пр.

Но выдыхаемый воздух является не единственным источником загрязнения воздушной среды герметичного помещения различными химическими веществами. Продукты сало- и потоотделения, кишечные газы также могут существенным образом влиять на уровень общей загрязненности и состав микропримесей атмосферы герметичного объекта.

Выраженное влияние на формирование среды обитания оказывают продукты газовыделения полимерных конструкционных и декоративно-отделочных материалов, применяемых для внутреннего оборудования

космического корабля. Интенсивность выделения летучих веществ из полимерных материалов в значительной мере зависит от условий эксплуатации и параметров окружающей среды (рис. 1).

Наложение спектров источников загрязнения воздушной среды, обусловленных продуктами жизнедеятельности человека, газовыделениями из технических средств и неметаллических материалов является специфической особенностью гермообъекта, отличающего его от промышленных сооружений, жилых и общественных зданий. Сочетание вредных примесей, свойственных как производственной, так и жилой среде, формирует сложный спектр химического состава воздушной среды пилотируемых космических аппаратов.

В образующейся сложной смеси возможны химические реакции с образованием вторичных чаще более токсичных соединений. Процесс трансформации органических примесей является постоянно протекающим во всех обитаемых замкнутых экологических системах.

Поддержание уровня загрязняющих примесей в соответствии требованиям гигиенических регламентов, является технически трудно решаемой проблемой из-за весомых и энергетических ограничений, характерных для кораблей. Должно обеспечиваться профилактическими мерами на этапах наземной подготовки изделий, а в полете – эффективной системой очистки и регенерации воздушной среды. Для нештатных ситуаций требуется превентивная разработка гигиенических мероприятий, обеспечивающих безопасность космонавтов.

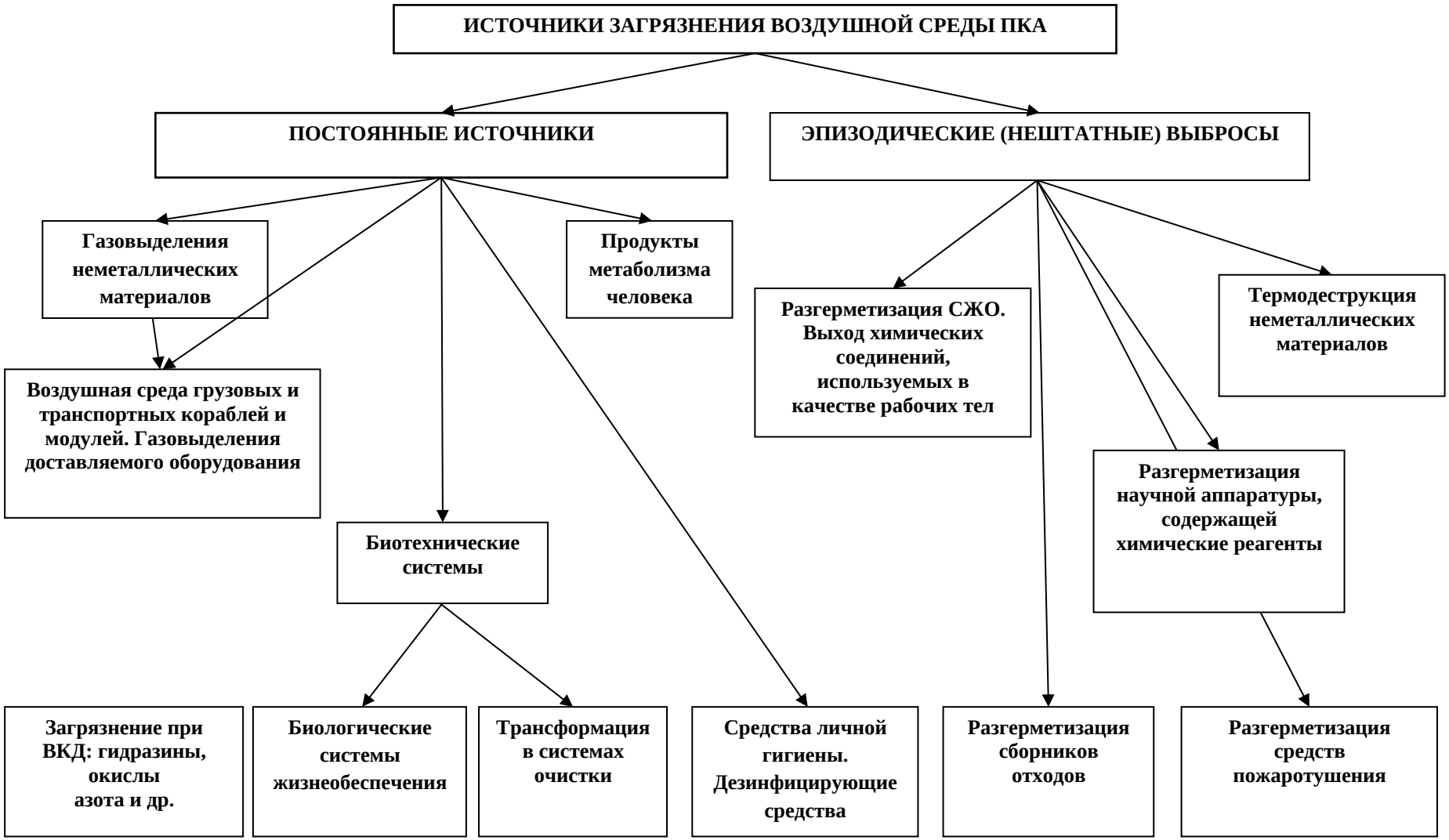


Рисунок 1 - Источники загрязнения воздушной среды ПКА

Решение поставленных практических задач возможно при установлении закономерностей формирования загрязнения и экспериментального обоснования критериев гигиенической оценки качества воздушной среды при многокомпонентном загрязнении как научной базы для разработки медико-санитарного обеспечения безопасности экипажей, при осуществлении длительных космических полетов включая, автономные полеты межпланетных экспедиций.

Формирование многокомпонентного загрязнения воздушной среды обусловливает одновременное ингаляционное поступление в организм человека суммы веществ, сопровождающееся, как правило, изменением их биологической активности по сравнению с изолированным действием. Актуальность изучения динамики химического состава загрязняющих микропримесей при длительной эксплуатации космических объектов обусловлена необходимостью рационального выбора веществ – маркеров качества среды и установления реальных концентраций при воздействии их в смеси.

В результате исследований химического состава загрязняющих примесей в пилотируемых ОС «Салют-7», ОС «МИР», МКС установлено, что в пилотируемых ОС формируется многокомпонентная по химическом составе воздушная среда с превалированием техногенного загрязнения, характерными особенностями которой являются:

- динамичность количественного и качественного состава химических соединений с периодическими резким изменением концентрации загрязняющих веществ («всплески»), обусловленных привнесением загрязнений с воздушной средой стыкующихся модулей, грузовых и транспортных кораблей, газовыделениями из доставляемых грузов.
- трансформация химических соединений с образованием вторичных более токсичных веществ вследствие термоокислительных реакций

в системах очистки и регенерации воздуха, деструктирующей активности космофизических факторов.

Система жизнеобеспечения пилотируемых космических аппаратов и орбитальных станций

Требования к среде обитания космонавта в пилотируемом космическом аппарате были разработаны Институтом медико-биологических проблем Минздравмедпрома России с участием Ракетно-космической корпорации "Энергия" им. С.П. Королева и АООТ "Звезда" в виде ГОСТа Р 50804-95, который распространяется:

1. На пилотируемые космические аппараты (ПКА), космические корабли, обитаемые отсеки транспортных орбитальных средств, орбитальных комплексов и космических станций с продолжительностью пребывания в них космонавта до 1 года;
2. На автоматические космические аппараты, предназначенные для функционирования в комплексе с ПКА, в части контроля их санитарно-гигиенической и токсикологической безопасности для космонавта;
3. На исследовательскую и экспериментальную аппаратуру, размещаемую в обитаемых отсеках, а также на применяемые в обитаемых отсеках материалы, средства и системы в части получения допуска по санитарно-гигиеническим, микробиологическим и токсикологическим показателям к эксплуатации в обитаемых отсеках ПКА.

Создание среды и поддержание ее состояния на заданном уровне должны обеспечиваться комплексом систем обеспечения жизнедеятельности (КСОЖ) космонавта в ПКА, а также наземным и бортовым комплексом

средств и мероприятий медико-биологического обеспечения космического полета в зависимости от вида и конструкции ПКА.

В соответствии с ГОСТ 28040-89 "Система жизнеобеспечения космонавта в пилотируемом космическом аппарате" - СЖО космонавта - это "Совокупность функционально взаимосвязанных средств и мероприятий, предназначенных для создания в обитаемом отсеке пилотируемого космического аппарата условий, обеспечивающих поддержание энергомассообмена организма космонавта с окружающей средой на уровне, необходимом для сохранения его здоровья и работоспособности".

Системы жизнеобеспечения (СЖО) обитаемых космических объектов (космических кораблей, орбитальных станций, Лунных, Марсианских баз и поселений) предназначены для решения следующих задач :

1. обеспечение экипажа кислородом,
2. удаление диоксида углерода,
3. удаление вредных микропримесей,
4. поддержание физических и химических характеристик атмосферы (оптимальной температуры, состава, давления, влажности, аэроионного состава, скорости вентиляции газовой среды, оптимальных уровней электростатических и электромагнитных полей),
5. снабжение экипажа необходимым количеством питьевой воды и воды для санитарно-гигиенических и бытовых нужд,
6. снабжение экипажа необходимым количеством пищи заданного состава и калорийности, витаминами и минеральными солями,
7. обеспечение санитарно - гигиенических процедур и бытовых нужд экипажа,
8. обеспечение микробиологической безопасности,
9. обеспечение стабилизации (обеззараживания), хранения (консервации) и / или трансформации физиологических и бытовых отходов,

10. обеспечение радиационной безопасности,
11. обеспечение оперативного анализа, оперативного контроля и управления качеством среды обитания, а также штатного протекания технологических процессов в различных звеньях системы.

Принципиальная схема СЖО обитаемых космических объектов диктуется: сценарием предстоящего полета; проектным обликом ПКА; требованиями обеспечения безопасности и надежности функционирования СЖО с учетом специфики экспедиции и обусловленными современным содержанием понятия «обитаемость»; возможностью использования местных ресурсов (в экспедициях на другие планеты) и зависит от длительности полета; энергетических и массогабаритных ресурсов, выделяемых на потребности СЖО; условий и места размещения СЖО (на борту, орбитальной станции, станции на поверхности планеты или скафандре космонавта).

Такие системы могут быть созданы как на основе запасов расходуемых веществ, взятых с Земли, так и на основе процессов регенерации и возврата, обеспечивающих круговорот веществ, либо на сочетании этих возможностей с преобладанием того или иного подхода в зависимости от длительности космической экспедиции и энерговооруженности космического объекта. [5]

Несмотря на повышенную безопасность и надежность, незначительные энергетические потребности при функционировании систем жизнеобеспечения на основе запасов расходуемых веществ, взятых с Земли, последние имеют существенный недостаток: их масса и габариты возрастают прямо пропорционально длительности космической экспедиции и количеству членов экипажей. По достижении определенной продолжительности полета СЖО на основе запасов могут быть препятствием для реализации экспедиции.

Таблица 1- Данные об основных компонентах жизнеобеспечения

№ п/п	Наименование компонентов СЖО	Масса на 1 чел/сут, кг	Масса на 6 чел/сут, кг	Масса на 6 чел. 50 сут, кг	Масса на 6 чел. 100 сут, кг	Масса на 6 чел. 500 сут, кг
1.	Кислород	0,96	5,76	288,0	576,0	2880
2.	Вода	16,9	101,4	5070,0	10140	50700
	- питьевая	2,5	15	750	1500	7500
	- душ, умывание	4,5	27	1350	2700	13500
	- на стирку белья	7,0	42	2100	4200	21000
	- техническая (на смыв АСУ)	0,6	3,6	180	360	1800
	- для витаминной оранжереи	0,3	1,8	90	180	900
	- для мытья посуды	2,0	12	600	1200	6000
3.	Пища	1,75	10,5	525	1050	5250
	Итого:	19,51	117,7	5883	11766	58890

В таблице 1 приведены массовые характеристики СЖО, основанных на запасах расходуемых веществ применительно к экспедиции длительностью 50, 100 и 500 суток для экипажа, состоящего из 6 человек. Основываясь на нормах потребления основных компонентов СЖО, полученных в результате многолетней практики длительных орбитальных полетов на станциях типа "САЛЮТ", "МИР" и "МКС" (кислород - 0,96 кг/чел.сут., питьевая вода - 2,5 кг/чел.сут., пища - 1,75 кг/чел.сут. и т.д.), легко подсчитать, что необходимая масса запасов для экипажа, состоящего из 6 - и человек в условиях 500-суточного полета без учета массы тары и систем хранения составило бы величину более 58 тонн (таблица 1). В случае использования систем жизнеобеспечения, основанных на запасах расходных материалов,

понадобится создание систем хранения продуктов жизнедеятельности космонавтов: фекалий, мочи, конденсата атмосферной влаги, использованных санитарно-гигиенических и кухонных вод и т.д.

В таблице 1 представлены: масса компонентов СЖО (кислород, вода и пища) для марсианских экспедиций - 6 членов экипажа, длительность экспедиций - 50, 100 и 500 суток (без учета массы тары, упаковки, средств хранения). Данные, из таблицы 1, свидетельствуют о том, что системы жизнеобеспечения на основе запасов практически исключают реализацию длительных экспедиций. Габаритно-массовые ограничения могут быть преодолены за счет применения регенерационных систем жизнеобеспечения.

Рассмотрим одну из составляющей системы жизнеобеспечения - систему обеспечения газового состава (СОГС).

СОГС должна поддерживать следующие основные характеристики атмосферы кабины ПКА:

1. качественный состав газовый среды (концентрации кислорода, азота, диоксида углерода и др.);
2. общее давление газовой среды;
3. парциальные давления компонентов газовой среды;
4. содержание пыли, вредных примесей и микробной флоры в газовой среде;
5. аэроионный состав газовой среды;
6. скорость движения воздуха в обитаемом отсеке.

Общее давление газовой среды должно составлять 87,9-114,8 кПа (660-860 мм рт.ст.) непрерывно, а с учетом операций выхода в космическое пространство и наддува – 53,2-133,3 кПа (400-1000 мм рт.ст.). На МКС поддерживается давление близкое к земному – 101,3 кПа.

Для обеспечения нормальной жизнедеятельности экипажа в газовой среде кабины необходимо поддерживать парциальное давление кислорода на уровне 120-220 мм рт.ст. Изменение давления в этих пределах не вызывает

каких-либо нарушений физиологических функций у экипажа при длительном пребывании в азотно-кислородной атмосфере.

В ПКА должно быть предусмотрено удаление из газовой среды обитаемых отсеков пыли, аэрозолей различной дисперсности, аэрозольных ионов. Предельная среднесуточная концентрация нетоксичной пыли в газовой среде обитаемого отсека не должна превышать 0,15 мг/$м^3$. Допускается максимальная разовая запыленность до 0,5 мг/$м^3$.

Температура газовой среды в жилой зоне должна быть равной 18-25℃, а относительная влажность 40-75%.

Подсистемы СОГС:

1. Система регенерации кислорода. Система регенерации кислорода на орбитальных космических станциях «МИР» и МКС основана на методе электролиза водного раствора щелочи;
2. Система удаления диоксида углерода. Предельно допустимая объемная концентрация диоксида углерода составляет лишь десятые доли процента. При большем количестве он начинает препятствовать усвоению кислорода. Если не очищать воздух, содержание диоксида углерода быстро вырастет и самочувствие экипажа резко ухудшится. Система удаления диоксида углерода на космических орбитальных станциях «МИР» и МКС основана на использовании твердого гидрофильного адсорбента диоксида углерода с последующей вакуумной регенерацией.
3. Система очистки атмосферы от микропримесей. Система очистки атмосферы от микропримесей основана на использовании методов сорбционной очистки воздуха твердым адсорбентом, регенерируемым с помощью термовакуумной регенерации и низкотемпературного каталитического окисления примесей .

В настоящее время на борту МКС используется следующие подсистемы СОГС.

Система регенерации кислорода представлена системой «Электрон». Российская система генерации кислорода (СГК) «Электрон-ВМ» расположена в служебном модуле на борту Международной космической станции (МКС) и предназначена для получения кислорода для дыхания экипажа. СГК и все ее основные блоки разработаны в ОАО «НИИхиммаш».

Система удаления диоксида углерода «Воздух» состоит из блока осушки, в котором из воздуха кабины удаляются водяные пары, поочередно проходя через адсорберы со слоем силикагеля. Осушенный воздух далее поступает в теплообменник, в котором отдает тепло сорбции водяных паров обратному потоку воздуха, поступающему в блок осушки для термической регенерации силикагеля. С целью оптимизации условий сорбции диоксида углерода в поглотителе воздух охлаждается в воздушно-жидкостном теплообменнике. Осушенный и охлажденный поток воздуха вентилятором продувается через адсорберы со слоем поглотителя диоксида углерода. В качестве поглотителя диоксида углерода используется адсорбент ХАК-18-2М-Т. После завершения цикла сорбции, продолжительность которого может изменяться в зависимости от численности экипажа, поглотители регенерируются, для чего системой клапанов внутренний объём адсорбера соединяется с забортным вакуумом. В целях экономии атмосферы объекта воздух из адсорбера предварительно откачивается вакуум-насосом в атмосферу станции. Осушенный и очищенный от диоксида углерода воздух из блока поглощения, прежде чем возвратиться в кабину, подогревается в электронагревателе и поступает в блок осушки для термической регенерации силикагеля от влаги. Использование системы «Воздух» на орбитальных станциях «МИР» и МКС обеспечило существенное снижение массозатрат .

Система очистки атмосферы от вредных микропримесей (СБМП) предназначена для очистки атмосферы обитаемых отсеков от вредных микропримесей, выделяемых человеком и конструкционными неметаллическими материалами.

СБМП имеет пять фильтров, каждый из которых выполняет свою функцию .

В состав СБМП входят аппараты, разработанные, изготовленные и поставляемые АО «НИИхиммаш»:

1. ФОА – фильтр адсорбционный нерегенерируемый, предназначенный для поглощения и долгосрочного удерживания «тяжелых» углеводородов;
2. ЗПЛ – фильтр, адсорбционный регенерируемый методом термовакуумной десорбции с использованием космического вакуума, предназначенный для поглощения «легких» и «среднесорбируемых» примесей;
3. ПКФ – фильтр палладиевый каталитический низкотемпературный, который предназначен для окисления водорода, угарного газа и сероводорода.
4. ПКФ-Т - фильтр палладиевый каталитический высокотемпературный, который предназначен для окисления метана и угарного газа.

Система очистки от микропримесей успешно эксплуатировалась на космической станции «МИР» в течение 13 лет, на международной космической станции (МКС) эксплуатируется с момента запуска российского служебного модуля «Звезда» .

1.

Экспериментальная отработка систем жизнеобеспечения пилотируемых космических аппаратов

Созданию штатных космических регенерационных систем жизнеобеспечения предшествовали обширные исследования медико-биологических и технологических основ их разработок с последующей санитарно-гигиенической и токсикологической оценкой экспериментальных систем.

Созданные экспериментальные системы удаления диоксида углерода, генерирования кислорода, регенерации воды из мочи, из конденсата атмосферной влаги, блок удаления вредных микропримесей проходили всестороннюю оценку в длительных наземных медико-технических экспериментах с участием испытателей. В 1967-1968 годах в Институте медико-биологических проблем МЗ был проведен уникальный годовой медико-технический эксперимент с участием трех испытателей: Г.А. Мановцева, А.Н. Божко и Б.Н. Улыбышева. В гермокамерном эксперименте, длившемся 365 суток, проходила медико-биологическая и техническая оценка нового комплекса регенерационных систем жизнеобеспечения. В состав СЖО наземного лабораторного комплекса входили:

1. Система удаления диоксида углерода,
2. Система очистки атмосферы от вредных микропримесей,
3. Система генерирования кислорода,
4. Система регенерации воды из влагосодержащих продуктов жизнедеятельности испытателей,
5. Санитарно-гигиеническое оборудование,
6. Оранжерея,
7. Система контрольно-измерительной аппаратуры.

Диоксид углерода удалялся с помощью регенерируемых синтетических цеолитов. Процесс регенерации цеолитов осуществлялся термовакуумным способом. Для очистки атмосферы от вредных микропримесей

использовались процессы каталитического окисления. Кислород получался в системе, основанной на электролизном разложении воды с использованием щелочного электролита.

Система регенерации воды из влагосодержащих продуктов жизнедеятельности испытателей включала регенерацию воды из их мочи, из конденсата атмосферной влаги, из использованных санитарно-гигиенических и бытовых вод. Вода из мочи и бытовых вод регенерировалась с помощью окислительно-каталитического метода; из конденсата атмосферной влаги - с помощью окислительно-сорбционного метода; из использованных санитарно-гигиенических вод - методом коагуляции с последующей фильтрацией и сорбционной доочисткой. В годовом медико-техническом эксперименте по существу впервые в мире был реализован полный круговорот воды.

В настоящее время основной долгосрочной целью NASA и Роскосмоса в области изучения и освоения дальнего космоса является осуществление пилотируемых экспедиций на Марс. Роскосмос на ближайшие 10−15 лет пилотируемые полеты на Марс не планирует, рассматривая в качестве основной цели пилотируемые миссии на поверхность Луны: вначале это будет окололунная станция на низкой орбите, а потом станция на Луне.

Одной из актуальных задач обеспечения межпланетных полетов является создание Базового комплекса перспективных систем жизнеобеспечения, ориентированных на разработку замкнутого комплекса СЖО. Согласно предложенной на сегодня концепции в основе перспективного комплекса СЖО замкнутого типа будет использован физико-химический метод, используемый на МКС с элементами модернизации системы, задачей которого является поддержание состава воздушной среды, обеспечивающей безопасную и комфортную жизнедеятельность экипажа. При этом обязательным условием является минимальные затраты

переменной массы продуктов и оборудования для обеспечения ресурса систем.

Системы жизнеобеспечения для экипажей обитаемых космических объектов в условиях освоения дальнего космоса будут отличаться от СЖО орбитальных околоземных объектов. Основные отличия заключаются в отсутствии возможности возобновления расходуемых материалов, узлов, агрегатов, в повышенной радиационной обстановке, требующей проведения поиска новых эффективных методов и средств радиационной защиты, в наличии геомагнитных условий окружающей среды, в возможности использования местных планетных ресурсов. Для инопланетных баз и станций кардинальным решением было бы создание замкнутой экологической, биолого-технической СЖО на основе полного круговорота веществ. Однако в настоящее время для инопланетных космических кораблей энергетические и массогабаритные ограничения не позволяют создавать подобные системы. В этих случаях основные функции СЖО будут поддерживаться физико-химическими системами с возрастающей ролью биологических систем по мере увеличения энерговооруженности космических летательных аппаратов и продолжительности полетов. Необходимо уделить созданию систем, обеспечивающих наиболее полный круговорот веществ. С этой целью необходимо использовать процесс гидрирования диоксида углерода по реакции Сабатье или Боша-Будуара, которые позволят реализовать круговорот по кислороду и воде:

$$CO_2 + 4H_2 = CH_4 + 2H_2O$$

Большое внимание следует уделить работам в области создания автоматической системы оперативного контроля и управления качеством среды обитания. На борту будущих обитаемых объектов необходимо создать систему анализа по физико-химическим и микробиологическим показателям атмосферы, воды, пищи, интерьера, а также отдельных технологических узлов, агрегатов, звеньев, составляющих общую систему жизнеобеспечения.

Опыт создания систем жизнеобеспечения долговременных орбитальных станций показал, что на разработку и отработку нового комплекса необходимо не менее 10 лет. Особенностью этой отработки, принятой для всех отечественных пилотируемых аппаратов, является длительная отработка летных образцов в полноразмерных макетах обитаемых модулей с операторами на борту, которой предшествует длительная техническая отработка. В качестве экспериментальной базы для этой отработтки можно использовать базу ГНЦ РФ – ИМБП РАН для 500 суточного эксперимента.

Экспериментальная отработка систем жизнеобеспечения является одной из самых сложных и длительных операций. Поэтому параллельно с многолетней наземной отработкой в макетах обитаемых модулей лунной базы целесообразно проводить летную отработку в дополнительном обитаемом модуле российского сегмента МКС.

Наземный экспериментальный комплекс

Наземный экспериментальный комплекс (НЭК) предназначен для проведения научных экспериментов с участием человека в условиях искусственно регулируемой среды обитания. Он проектировался и создавался в 1964-1970 гг., как макет тяжелого межпланетного корабля и предназначался для максимально реалистичного моделирования полета на Марс и других сверхдлительных пилотируемых космических миссий. На протяжении 30 лет комплекс использовался в многочисленных экспериментах с участием человека, а также в испытаниях систем обеспечения жизнедеятельности (СОЖ) для орбитальных станций и других космических летательных аппаратов. В 2006 г. комплекс был полностью модернизирован, оснащен связью с центром управления полетами, системой постоянного видеонаблюдения, современными СОЖ и имитатором поверхности чужой планеты. В 2010-2011 гг. на базе НЭК был проведен

уникальный, не имеющий мировых аналогов эксперимент «Марс 500», в ходе которого моделировались все ключевые этапы марсианской миссии в реальном масштабе времени.

Комплекс активно используется для проведения исследований в интересах практического здравоохранения. В экспериментах с участием добровольцев, проводимых на базе НЭК проходили медико-технические испытания перспективных систем жизнеобеспечения, образцов диагностической и научно-исследовательской аппаратуры, средств гигиены и профилактики. Технические характеристики комплекса позволяют изучать влияние на организм человека неблагоприятных факторов окружающей среды, потенциально вредных и опасных воздействий в полностью контролируемых условиях. В 2012 г. Российский кардиологический научно-производственный комплекс МЗ РФ провел в НЭКе эксперимент «Климат 2010» по изучению воздействия климатических изменений августа 2010 года (высокая температура и влажность в сочетании с высоким содержанием углекислого газа) на здоровье человека.

Проект «Марс-500»

Изучение взаимодействия в системе «человек – окружающая среда» и получение экспериментальных данных о состоянии здоровья и работоспособности человека, длительно находящегося в условиях изоляции в герметично замкнутом пространстве ограниченного объема при моделировании основных особенностей марсианского полета (сверхдлительность, автономность, измененные условия коммуникации с Землей – задержка связи, лимитированность расходуемых ресурсов) и отработка технологий медицинского обеспечения космонавтов применительно к межпланетным перелетам.

Особенности марсианской экспедиции (большая продолжительность; высокая степень автономности, что предполагает самоконтроль всей жизнедеятельности экипажа, включая контроль состояния здоровья,

психологического состояния и работоспособности; длительное пребывание экипажа в условиях социальной изоляции, ограниченного пространства и отрыва от земных условий жизни; высокая степень ответственности за успех миссии в сочетании со значительным риском) моделируются в условиях наземного медико-технического экспериментального комплекса ГНЦ РФ-ИМБП РАН с учетом задержек коммуникации и ограничения информации.

Системы обеспечения жизнедеятельности (СОЖ) НЭК

Каждый модуль комплекса имеет собственную СОЖ, что позволяет обеспечить его автономность и повышает надежность и безопасность при проведении экспериментов.

К основным системам СОЖ относятся:

- Система кондиционирования и вентиляции (СКВ);
- Система очистки атмосферы (СОА);
- Система канализации (СК);
- Система водоснабжения (СВС);
- Система видеонаблюдения (СВ);
- Система электроснабжения МТК;
- Система информационного обеспечения и связи (СИО);
- Система контроля и управления (СКУЭ);
- Система газоснабжения и поддержания атмосферы.

СКВ обеспечивает поддержание заданной температуры и влажности воздуха, очистку от пыли, выравнивание газовой среды по объему модуля.

В СОА происходит удаление продуктов дыхания экипажа при помощи угольных, палладиевых фильтров. Для удаления некоторых микропримесей, микроорганизмов и грибов, содержащихся в атмосфере, могут применяться фотокаталитические установки.

СК предназначена для удаления продуктов жизнедеятельности человека в условиях замкнутого пространства модуля с избыточным давлением.

СВС состоит из двух подсистем:

- подачи бытовой воды для обеспечения работы санузлов и душевой кабины;
- подачи питьевой воды для удовлетворения потребностей экипажа.
- СВ обеспечивает:
- визуальное наблюдение за деятельностью экипажа и контроль проводимых экспериментов;
- удаленный осмотр состояния помещений и оборудования модуля;
- сбор, регистрацию и хранение получаемой в ходе эксперимента видеоинформации.

Видеокамеры установлены таким образом, что позволяют просматривать все помещения модуля, за исключением индивидуальных кают, санузлов и душевой кабины.

На наземном пункте управления (НПУ) размещаются видеорегистраторы, которые оцифровывают поступающие от видеокамер видеосигналы, передают изображение на мониторы пульта оператора и сохраняют видеоинформацию на встроенных жестких дисках.

Имеющаяся на видеокамерах функция «ночное видение» позволяет осуществлять контроль над внутренним пространством модуля при аварийном и даже полностью выключенном освещении (за счет таких слабых источников света, как мониторы ноутбуков).

Система электроснабжения и освещения НЭК обеспечивает бесперебойное снабжение электроэнергией наземного экспериментального комплекса и обслуживающих наземных систем. В случае полного прекращения подачи электропитания из городской сети включается дизель-генераторная установка, обеспечивающая работоспособность комплекса.

СКУЭ обеспечивает управление работой систем и контроль их состояния как персоналом наземного центра управления, так и экипажем. Вся информация выводится на пульты наземного центра управления и пульт управления в модуле ЭУ-150.

СИО служит для осуществления коммуникации с экипажем, загрузки материалов психологической поддержки, хранения данных по экспериментам, личной и служебной переписки.

Режим связи обеспечивается в соответствии с разрабатываемым регламентом связи. При этом соблюдаются определенные ограничения по ведению связи, в частности:

1. Свободный доступ сотрудников УНУ, базовой организации и исследователей к телефонной связи запрещен.
2. Дежурная бригада использует голосовую (телефонную) связь только по вызову экипажа или в нештатных ситуациях.
3. Выход сотрудников УНУ, базовой организации и исследователей на связь с экипажем осуществляется с разрешения организаторов эксперимента.

Система газоснабжения и поддержания атмосферы предназначена для создания и поддержания заданных концентраций кислорода и азота, значений относительного давления в модуле.

Среда обитания НЭК

Базовые параметры среды, определяющие физиологически комфортное соотношение основных компонентов газовой среды и их общее давление в отсеках соответствуют значениям, указанным в ГОСТ Р 50804-95 «Среда обитания космонавта в пилотируемом космическом аппарате».

Для обеспечения токсикологической безопасности газовой среды в отсеках проводится контроль по веществам, указанным в ГОСТ Р 50804-95.

Оценка содержания вредных примесей в газовой среде проводится методами отбора и анализа проб воздуха.

В модулях обеспечивается:

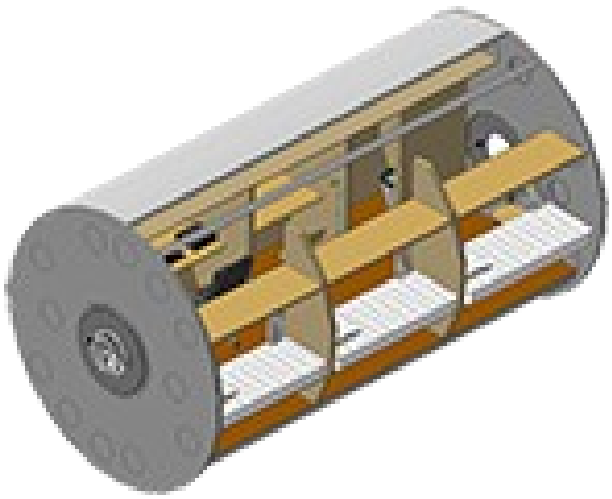
- визуальное наблюдение за деятельностью экипажа и контроль проводимых экспериментов;
- автоматическое поддержание температуры газовой среды и возможность ее регулирования в заданных пределах по выбору экипажа или в соответствии с условиями эксперимента;
- автоматическое поддержание заданной относительной влажности газовой среды в заданных пределах и отвод излишков влаги из газовой среды.

В соответствии с согласованной периодичностью проводится контроль уровня микробной обсемененности газовой среды и уровень запыленности на соответствие требованиям ГОСТ Р 50804-95.

Состав модулей НЭК



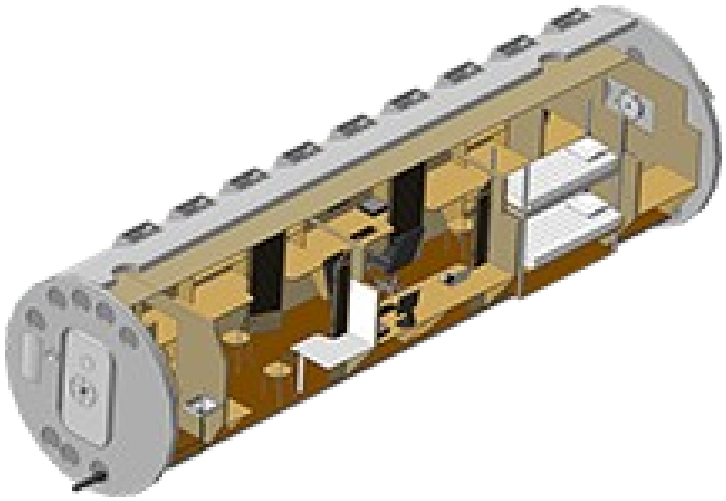
Модуль ЭУ-50



Модуль ЭУ-50 общим объемом 50 м^3 предназначен для имитации посадочного марсианского модуля с расчетом пребывания в нем 4 членов экипажа в течение 2-3 месяцев и включает в себя:

- жилой отсек, включая 4 спальных места и рабочую зону;
- кухню;
- санузел;
- два переходных шлюза с люками для перехода в модуль ЭУ-150 и в шлюзовую камеру имитатора поверхности условной планеты;
- системы обеспечения жизнедеятельности.

Модуль ЭУ-100

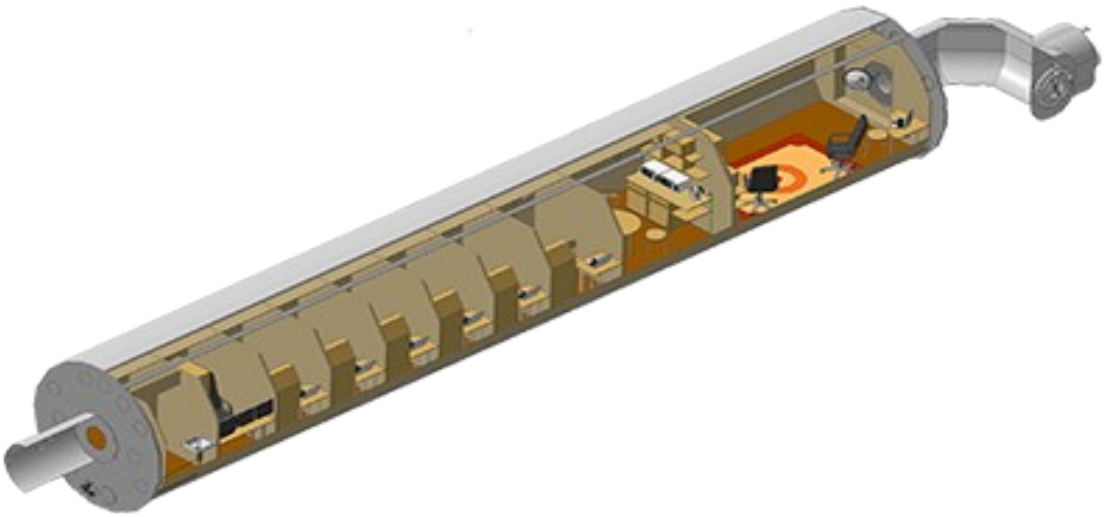


Модуль ЭУ-100 общим объемом 100 м^3 предназначен для проведения медицинских и психологических экспериментов и включает в себя:

- жилой отсек, включая 2 спальных места и рабочую зону;
- кухню-столовую;
- санузел;
- рабочие места с размещенной на них медицинской аппаратурой;
- переходной шлюз с люками, соединенный с модулем ЭУ-150;

- герметичную дверь в торце модуля и аварийный люк в противоположном торце модуля;
- системы обеспечения жизнедеятельности.

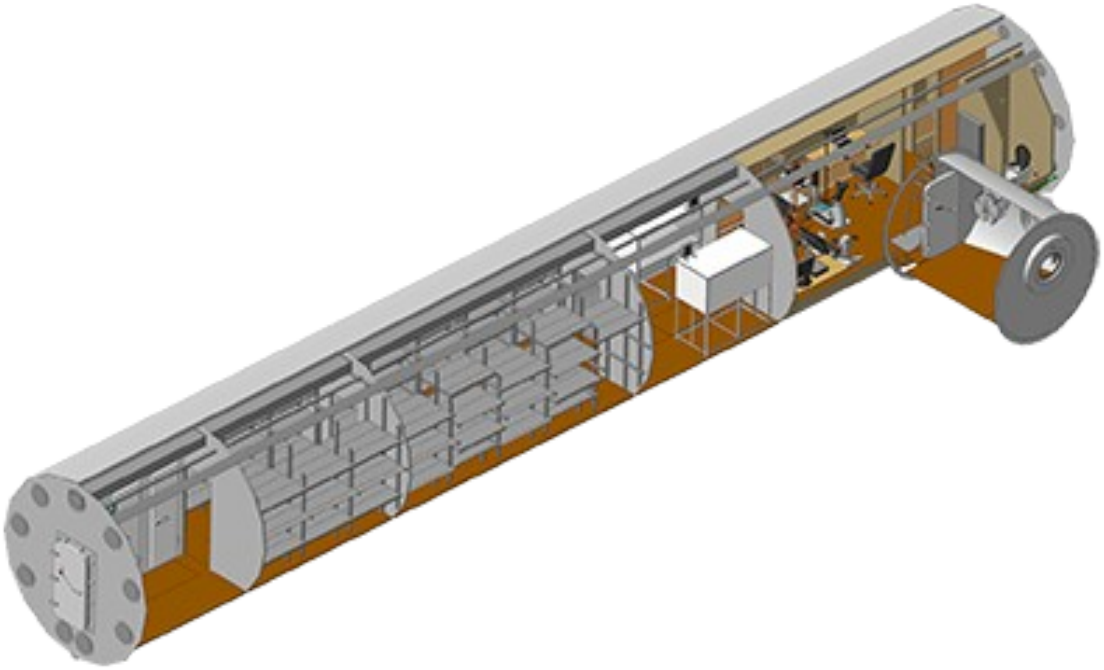
Модуль ЭУ-150



Модуль ЭУ-150 общим объемом 150 м^3 предназначен для размещения и обитания 6 членов экипажа и включает в себя:

- 6 индивидуальных кают;
- кают-компанию для отдыха и общих сборов;
- кухню;
- санузел;
- главный пульт управления;
- три переходных шлюза с люками - торцевой для перехода в модуль ЭУ-50, торцевой для перехода в модуль ЭУ-100 и боковой для перехода в модуль ЭУ-250;
- системы обеспечения жизнедеятельности.

Модуль ЭУ-250



Модуль ЭУ-250 общим объемом 250 м^3 предназначен для хранения продовольственных запасов, размещения экспериментальной оранжереи, одноразовой посуды, одежды и пр., включает в себя:

- холодильную камеру для хранения пищевых продуктов;
- хранилище со стеллажами для хранения продовольственных запасов, не требующих особых условий хранения, и одноразовой посуды и одежды;
- помещение экспериментальной оранжереи;
- тренажерный зал;
- шлюзовую камеру для удаления отходов;
- три герметичных двери – одна для соединения модуля со шлюзовым переходом в модуль ЭУ-150, две герметичных двери с металлическими лестницами в торцах модуля для предстартовой загрузки запаса продовольствия;
- системы обеспечения жизнедеятельности.

Модуль «Имитатор поверхности условной планеты» (ИП).

Модуль ИП общим объемом 1200 $м^3$ предназначен для имитации марсианской, лунной или иной поверхности условной планеты и включает в себя:

- имитатор марсианской поверхности представляющий негерметичный отсек, предназначенный для пребывания экипажа в скафандрах, изолирующих от внешней среды, также в данном отсеке установлено оборудования для создания виртуальной и дополненной реальности;
- герметичные лестницу и кессон, отделяющий модуль ИП от модуля ЭУ-50 и имеющий кладовую для хранения скафандров, гардероб и переходной шлюз.

Важными составляющими проведения изоляционных экспериментов по моделированию межпланетных полетов являются отработка принципов, методов, средств контроля и мониторинга среды обитания, а также оценка современных технологий систем и средств обеспечения жизнедеятельности и защиты человека с использованием разработанной системы контроля и управления.

Для данных целей в НЭКе установлена система отбор проб воздуха, позволяющая отбирать пробы воздуха изнутри каждого модуля. В настоящее время около каждого из четырех модулей стоять посты с кранами, к которым изнутри модулей подведены силиконовые трубки диаметром 4-5 мм для отбора проб воздуха. Силиконовые трубки имеют множество недостатков: перегибаются, быстро изнашиваются, а также в виду небольшого диаметра и достаточно большой длины требуется создавать довольно большой перепад давлений для прокачки воздуха через них, что не подходит для маломощных насосов.

Кроме того, система из нескольких постов для отбора проб воздуха затрудняет процесс мониторинга состояния атмосферы, т.к. требует переноса оборудования от одного поста к другому.

Линии для отбора заходят через специальные порты в модули, проходят под потолком и выходят в нужных точках модулей. Длина трубки, которая выходит из потолка, примерно 50 см.

В связи с вышеизложенным целью дипломной работы являлась разработка и модернизация системы отбора проб для оценки качества воздушной среды в НЭК.

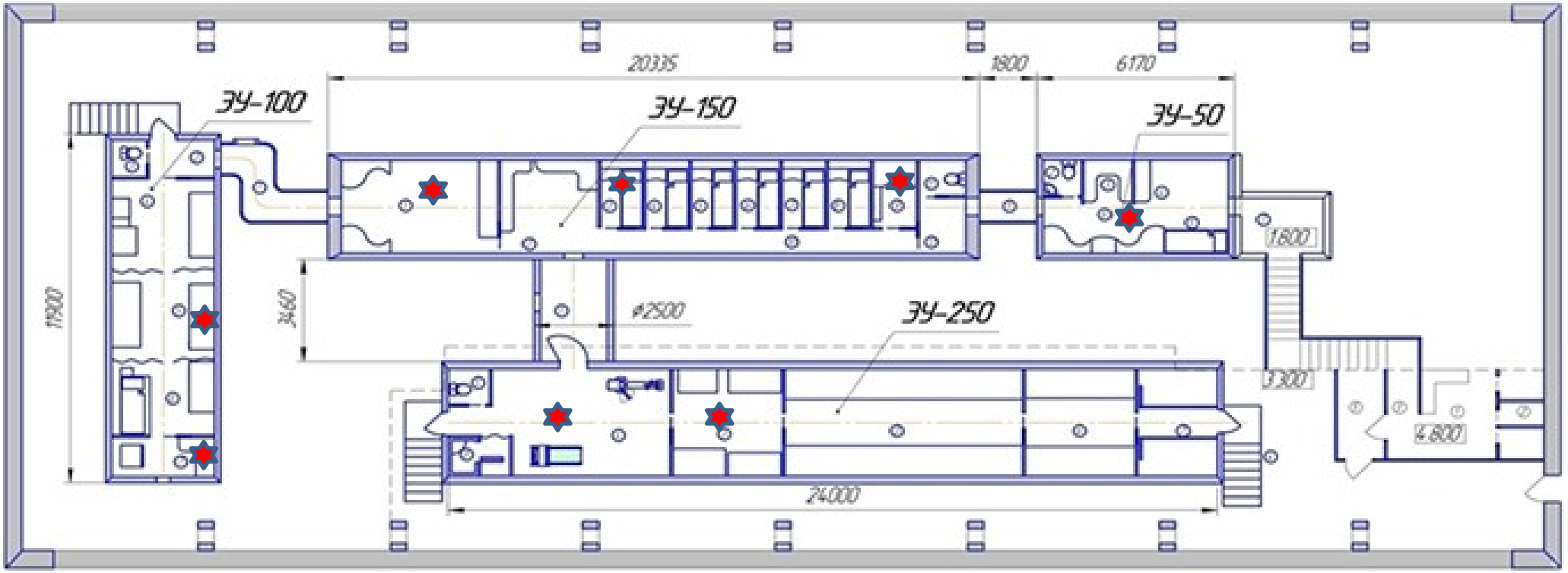
Задачи дипломной работы

1. Заменить силиконовые трубки более прочными, газонепроницаемыеми.
2. Спроектировать единый пост для отбора проб воздуха, куда будут выведены газовые линии из всех необходимых точек отбора, учитывая необходимость возврата воздуха в модули.
3. Провести гидравлический расчет новой системы и подобрать размеры новых трубок/трубопроводов таким образом, чтобы система из четырех газоанализаторов могла подключаться к каждой точке отбора последовательно и прокачивать воздух (исходя из требований газоанализаторов в части расхода и допустимого разрежения на входе, указанных в паспортах)
4. Рассчитать необходимое время прокачки воздуха через каждую газовую линию для удаления «мертвого объема».

Глава 2. Инженерная задача.

В основе инженерной задачи лежит разработка систему отбора проб Научного экспериментального комплекса. Суть проводимых исследований заключалась в способности замены силиконовых трубопроводов на более прочный аналог с более высокими газопроницаемыми характеристиками. Ввиду различных физических свойств газовых смесей, спроектировать единый пост для отбора проб воздуха, куда будут выведены газовые линии из всех необходимых точек отбора. Провести гидравлический расчет новой системы и подобрать размеры новых трубок/трубопроводов таким образом, чтобы система из четырех газоанализаторов: оксида углерода, окислов азота, аммиака, сероводорода и диоксида серы могла подключаться к каждой точке отбора последовательно и прокачивать воздух, исходя из требований в части расхода и допустимого разрежения на входе. Рассчитать необходимое время прокачки воздуха через каждую газовую линию для удаления «мертвого объема».

Схема модулей НЭК (экспериментальных установок - ЭУ)



Обозначены точки отбора проб газовой среды:

- в ЭУ-50: середина модуля

- в ЭУ-100: у стены модуля - диагностика и кухня

- в ЭУ-150: середина кают-компании, 1 каюта, командный пост

- в ЭУ-250: середина модуля - спортзал и оранжерея

Гидравлический расчет газопровода

Основные положения гидравлического расчета

Рабочий носитель (жидкость, газ, пар), переносимый проектируемым трубопроводом, в силу своих особых физико-химических свойств определяет характер течения среды в данном трубопроводе. Одним из основных показателей характеризующих рабочий носитель, является динамическая вязкость, характеризуемая коэффициентом динамической вязкости – μ.

Инженер-физик Осборн Рейнольдс (Ирландия), занимавшийся изучением течения различных сред, в 1880 году провел серию испытаний, по результату которых было выведено понятие критерия Рейнолдса (Re) – безразмерной величины, описывающей характер потока жидкости в трубе. Расчет данного критерия проводится по формуле:

$$Re = \frac{W \cdot l \cdot \rho}{\mu}$$

W – скорость потока;

ρ – плотность жидкости;

l – характерная длина элемента потока, длина трубы;

μ – динамический коэффициент вязкости.

Критерий Рейнольдса (Re) дает понятие о соотношении сил инерции к силам вязкого трения в потоке жидкости. Значение критерия характеризует изменение соотношения указанных сил, что, в свою очередь, влияет на характер потока носителя в трубопроводе. Принято выделять следующие режимы потока жидкого носителя в трубе в зависимости от значения данного критерия:

Ламинарный поток (Re<2300), при котором носитель-жидкость движется тонкими слоями, практически не смешивающимися друг с другом;

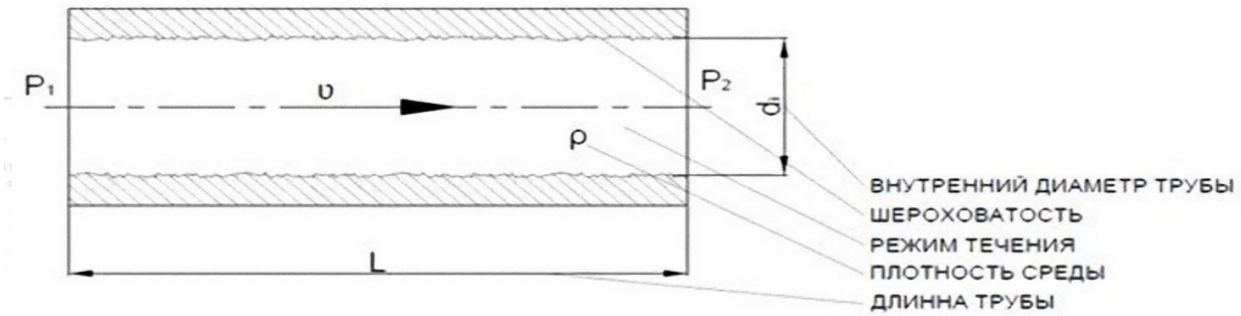
Переходный режим (2300<Re<4000), который характеризуется нестабильной структурой потока, когда отдельные слои жидкости перемешиваются;

Турбулентный поток (Re>4000) – устойчивый режим, при котором в каждой отдельной точке потока происходит изменение его направления и скорости, что в итоге приводит к выравниванию скорости движения потока по объему трубы.

Критерий Рейнольдса зависит от напора, с которым насос перекачивает жидкость, вязкости носителя при рабочей температуре и геометрических размеров используемой трубы (d, длина). Данный критерий является параметром подобия для течения жидкости,поэтому, используя его, можно осуществлять моделирование реального технологического процесса в уменьшенном масштабе, что удобно при проведении испытаний и экспериментов.

Падение давления в трубопроводных системах и расчет гидравлического сопротивления трубопроводов

Расчет трубопровода производят с целью определения напора, необходимого для преодоления возникающего гидравлического сопротивления, что в свою очередь необходимо для правильного подбора машины для перекачки жидкой или газообразной среды.



Падение давления в трубе может быть рассчитано по следующей формуле:

$$\Delta p=\lambda\cdot(l/d_1)\cdot(\rho/2)\cdot v^2$$

Δp – перепад давления на участке трубы, Па

l – длина участка трубы, м

λ - коэффициент трения

d_1 – диаметр трубы, м

ρ – плотность перекачиваемой среды, кг/м^3

v – скорость потока, м/с

Гидравлическое сопротивление может возникать вследствие различных факторов, и выделяют две основные группы: сопротивления трения и местные сопротивления.

Сопротивление трению обусловлено различного рода неровностями и шероховатостями на поверхности трубопровода, соприкасающегося с перекачиваемой средой. При течении жидкости между ней и стенками трубопровода возникает трение, оказывающее тормозящий эффект и требующее дополнительных затрат энергии на свое преодоление. Создаваемое сопротивление во многом зависит от режима течения перекачиваемой среды.

При ламинарном течении и соответствующих ему низких значениях числа Рейнольдса (Re), характеризующимся равномерностью и отсутствием перемешивания соседних слоев жидкости или газа, влияние шероховатости незначительно. Это связано с тем, что крайний вязкий подслой перекачиваемой среды часто оказывается толще, чем слой, образованный неровностями и выступами на поверхности трубопровода. При таких условиях трубопровод считается гидравлически гладким.

При увеличении числа Рейнольдса толщина вязкого подслоя уменьшается, вследствие чего прерывается перекрытие неровностей подслоем и влияние шероховатости на гидравлическое сопротивление возрастает и становится зависимым как от числа Рейнольдса, так и от средней высоты выступов на поверхности трубопровода.

Дальнейшее увеличение числа Рейнольдса переводит перекачиваемую среду в режим турбулентного течения, при котором вязкий подслой полностью разрушается, а создаваемое трение зависит только от величины шероховатости.

Расчет потерь на трение ведется по формуле:

$$H_T=[(\lambda \cdot l)/d_э]\cdot[w^2/(2g)]$$

H_T – потери напора на сопротивление трению, м

$[w_2/(2g)]$ – скоростной напор, м

λ – коэффициент трения

l – длина трубопровода, м

$d_Э$ – эквивалентный диаметр трубопровода, м

w – скорость потока, м/с

g – ускорение свободного падения, м/с^2

Область течения	Диапазон числа Рейнольдса	Формула коэффициента трения λ
Гладкое течение	2320 < Re < 10/e	$\lambda=(0{,}316/Re^{0{,}25})$
Смешанное течение	10/e < Re < 560/e	$\lambda=0{,}11\cdot[e+(68/Re)]^{0{,}25}$
Турбулентное течение	Re>560/e	$\lambda=0{,}11\cdot e^{0{,}25}$

В таблице:

$e = \Delta/d_э$

e – относительная шероховатость трубы

Δ – абсолютная шероховатость трубы (мм)

$d_э$ – эквивалентный диаметр трубы (мм)

$Re = (w\cdot d_э\cdot \rho)/\mu$

Re – критерий Рейнольдса

w – скорость потока (м/с)

$d_э$ – эквивалентный диаметр трубы (м)

ρ – плотность среды (кг/м3)

μ – динамическая вязкость (Па·с)

Местные сопротивления

Местные сопротивления создаются различными элементами трубопровода, в которых поток перекачиваемой среды подвергается резким деформациям с изменением направления, скорости или образованием завихрений. Это могут быть задвижки, вентиля, повороты трубопровода, развилки и т.п.

Потери напора в местном сопротивлении рассчитываются следующим образом:

$$H_{мс}=\zeta_{мс}\cdot[w^2/(2g)]$$

$H_{МС}$ – потери напора в местном сопротивлении, м

$w^2/(2g)$ – скоростной напор, м

$\zeta_{МС}$ – коэффициент местного сопротивления

w – скорость потока, м/с

g – ускорение свободного падения, м/с^2

Как видно из формулы, потери напора в местном сопротивлении зависят только от скорости и от коэффициента местного сопротивления, значения которого для упрощения расчета сведены в таблицы для различных видов местных сопротивлений.

Коэффициенты местных сопротивлений в подавляющем большинстве случаев не зависят от скорости потока перекачиваемой среды и определяются в зависимости от характеристик самого местного сопротивления. Ниже приведены значения коэффициентов сопротивления для наиболее распространенных случаев:

Коэффициент сопротивления получается перемножением двух величин K1 и K2									
K1 зависит от угла изменения потока									
Угол	20	30	45	60	90	110	130	150	180
K1	0,31	0,45	0,60	0,78	1,00	1,13	1,20	1,28	1,40
K2 зависит от радиуса поворота R и внутреннего диаметра трубы d									
R/d	1	2	4		6	15	30	50	
K2	0,21	0,15	0,11		0,09	0,06	0,04	0,03	
Колено (угол 90°)									
Диаметр трубы, мм	12,5		25		37	50		Более 50	
Коэффициент местного сопр.	2,2		2		1,6	1,1		1,1	

Суммируя приведенные выше уравнения, получаем общее уравнение для расчета напора насоса:

$$H_{об} = H_Т+H_{МС} = (\lambda \cdot l)/d_э \cdot [w^2/(2g)]+\sum\zeta_{МС} \cdot [w^2/(2g)] = ((\lambda \cdot l)/d_э+\sum\zeta_{МС}) \cdot [w^2/(2g)]$$

$\sum\zeta_{МС}$ – сумма всех коэффициентов местных сопротивлений

Тепловое сопротивление

Тепловое сопротивление в газодинамике доказывается, что подвод теплоты к газу движущейся по каналу постоянного сечения, сопровождается уменьшением давления газа, а отвод теплоты – повышением давления. Уменьшение давления газа, обусловленное его подогревом, представляет собой тепловое сопротивление. При охлаждении тепловое сопротивление отрицательно.

$$\Delta p_{темп.}=2\ [(\rho_2\ w_2\text{^}2)/2 - (\rho_1\ w_1\text{^}2)/2]=2[(t_2-t_1)/T_{ср}(\rho_{ср}\ w_{ср}\text{^}2)/2]$$

Расчет оптимального диаметра трубопроводов

Расчет оптимального диаметра трубопровода – связано с тесной взаимосвязанностью параметров проектируемого трубопровода и потока перекачиваемой по нему среды. Увеличение скорости перекачиваемой среды позволяет уменьшить необходимый для поддержания заданного расхода диаметр трубопровода, что снижает его материалоемкость, облегчает и удешевляет монтаж системы. В то же время увеличение скорости неизбежно влечет за собой потери напора, требующие дополнительных затрат энергии на перекачку среды. Чрезмерное снижение скорости так же может повлечь за собой нежелательные последствия.

Формула для расчета оптимального диаметра трубопровода основана на формуле для расхода (для трубы круглого сечения):

$$Q = (\Pi d^2/4)\cdot w$$

Q – расход перекачиваемой жидкости, $м^3/с$

d – диаметр трубопровода, м

w – скорость потока, м/с

В задачах на проектирование трубопровода расход чаще всего является величиной заданной. В таком случае неизвестными остаются только диаметр трубопровода и скорость потока. Полный технико-экономический расчет может быть очень трудоемок и сложен, поэтому на практике для расчета оптимального диаметра трубопровода используют значения оптимальных скоростей перекачиваемой среды, взятые из справочных материалов, составленных на опытных данных:

Оптимальная скорость в трубопроводе, м/с:

ГАЗЫ	Естественная тяга	2 – 4
	Малое давление (вентиляторы)	4 – 15
	Большое давление (компрессор)	15 – 25

Итоговая расчетная формула для оптимального диаметра трубопровода выглядит следующим образом:

$$d = \sqrt{(4Q/\Pi w)}$$

Q – расход перекачиваемой жидкости, $м^3/с$

d – диаметр трубопровода, м

w – скорость потока, м/с

Газопроводная труба рассчитывается несколько иначе, чем водопроводная. Здесь основополагающими значениями являются:

- скорость и давление газа;

- длина трубы с потерями давления на фитинги;
- падение давления в допустимых пределах.

Расчет диаметра газовой трубы можно провести по формуле:

$$d_i = \sqrt[5]{\frac{1{,}6 \times 10^3 \times V'^{1{,}85} \times L}{10^{10} \times \Delta p \times p_{max}}}$$

где d_i - внутренний диаметр трубопровода, м;

V´ - объемный расход сжатого воздуха, м³/с;

L - длина трубопровода с поправками на фитинги, м;

Δp - допустимое падение давления, бар;

p_{max} - верхнее давление компрессора, бар.

Таблица 3 – Эквивалентная длина трубопровода

Фитинг	Рисунок	Длина трубопровода, эквивалентная фитингу с определенным ДУ, м						
		DN25	DN40	DN50	DN80	DN100	DN125	DN150
Изгиб 90°, резкий		1,5	2,5	3,5	5	7	10	15
Изгиб 90°, R=d		0,3	0,5	0,6	1,0	1,5	2,0	2,5
Изгиб 90°, R=2d		0,15	0,25	0,3	0,5	0,8	1,0	1,5

Таким образом, при выборе диаметра трубы важным параметром является пропускная способность, которая зависит от сечения и внутреннего размера магистрали. Поэтому нужно обязательно соизмерять такие данные, как допустимое давление, толщина стенок, внутренний диаметр трубы, свойства теплоносителя или газа.

Все последующие расчеты были проведены в программе SMath Studio.

Гидравлический расчет для контура К1 трубопровода ЭУ-100

Расчет внутреннего и внешнего диаметра трубопровода:

$V' := 0,0167$

$L1 := 9 \cdot 2 \cdot 0,5 + 40,824 \cdot 2 = 90,648$

$\Delta p := 0,227$

$pmax := 1,067$

Внутренний диаметр трубопровода, м.

$$di := \sqrt[5]{\frac{\left(1,6 \cdot 10^{3} \cdot V'^{1,85} \cdot L2\right)}{10^{10} \cdot \Delta p \cdot pmax}} = 0,0308$$

V´ - объемный расход сжатого воздуха, м³/с;
L - длина трубопровода с поправками на фитинги, м;
Δp - допустимое падение давления, бар;
pmax - верхнее давление компрессора, бар.
di - внутренний диаметр трубопровода, м;

В контуре К1 последовательно подключены 4 газонализатора в общем пункте отбора газовых проб.

$Q := 0,002$

$w := 2$

Внешний диаметр трубопрвода, м.

$$d := \sqrt{\frac{(4 \cdot Q)}{\pi \cdot w}} = 0,0357$$

Q – расход перекачиваемой жидкости, м3/с
w – скорость потока, м/с
d – диаметр трубопровода, м

$w := 2$ $\rho := 1,205$

$L := L1 = 90,648$ $\mu := 0,00026$

Сопротивления в трубопроводах:

$$\lambda := \left(\frac{0,316}{Re^{0,25}}\right) = 0,0104$$

Падение давления

$$\Delta P := \lambda \cdot \left(\frac{L1}{d}\right) \cdot \left(\frac{\rho}{2}\right) \cdot w^{2} = 63,9009$$

L – длина участка трубы, м
λ - коэффициент трения
d – диаметр трубы, м
ρ – плотность перекачиваемой среды, кг/м3
w – скорость потока, м/с
ΔP – перепад давления на участке трубы, Па

Расчет потерь суммарное на местном сопротивлени

$\zeta мс := 1 + 0,5 + 0,19 \cdot 2 \cdot 9 = 4,92$

$$Нмс := \zeta мс \cdot \left(\frac{w^{2}}{2 \cdot g}\right) = 1,0031$$

$$Ноб := \frac{(\lambda \cdot L1)}{d э} \cdot \left(\frac{w^{2}}{2 \cdot g}\right) + \zeta мс \cdot \left(\frac{w^{2}}{2 \cdot g}\right) = 8,7186$$

Нмс – потери напора в местном сопротивлении, м
w2/(2g) – скоростной напор, м
ζмс – суммарный коэффициент местного сопротивления
w – скорость потока, м/с
g – ускорение свободного падения, м/с2

Расчет потерь на трение

$g := 9,81$
$d э := 0,025$

$$НТ := \frac{(\lambda \cdot L1)}{d э} \cdot \left(\frac{w^{2}}{2 \cdot g}\right) = 7,7155$$

НТ – потери напора на сопротивление трению, м
[w2/(2g)] – скоростной напор, м
λ – коэффициент трения
l – длинна трубопровода, м
dэ – эквивалентный диаметр трубопровода, м
w – скорость потока, м/с
g – ускорение свободного падения, м/с2

Расчет теплового сопротивления

$t1 := 20$ $Tcp := 22$ $wcp := 2$
$t2 := 24$ $\rho cp := 1,205$

$$\Delta Pтемп := 2 \cdot \frac{(t2 - t1)}{Tcp} \cdot \frac{\left(\rho cp \cdot wcp^{2}\right)}{2} = 0,8764$$

Расчет времени прокачки мертвого объема

$r := 0,0154$

$S := \left(\pi \cdot r^{2}\right) = 0,0007$

$F := S \cdot L1 = 0,0675$

$$Тмервт1 := \frac{F}{Q} = 33,7691$$

Гидравлический расчет для контура К2 трубопровода ЭУ-100

Расчет внутреннего и внешнего диаметра трубопровода:

$V' := 0,0167$

$L2 := 9 \cdot 2 \cdot 0,5 + 36,288 \cdot 2 = 81,576$

$\Delta p := 0,227$

$pmax := 1,067$

Внутренний диаметр трубопровода, м.

$$di := \sqrt[5]{\frac{\left(1,6 \cdot 10^{3} \cdot V'^{1,85} \cdot L2\right)}{10^{10} \cdot \Delta p \cdot pmax}} = 0,0308$$

V´ - объемный расход сжатого воздуха, м³/с;
L - длина трубопровода с поправками на фитинги, м;
Δp - допустимое падение давления, бар;
pmax - верхнее давление компрессора, бар.
di - внутренний диаметр трубопровода, м;

В контуре К2 последовательно подключены 4 газонализатора в общем пункте отбора газовых проб.

$Q := 0,002$

$w := 2$

Внешний диаметр трубопрвода, м.

$$d := \sqrt{\frac{(4 \cdot Q)}{\pi \cdot w}} = 0,0357$$

Q – расход перекачиваемой жидкости, м3/с
w – скорость потока, м/с
d – диаметр трубопровода, м

$w := 2$ $\rho := 1,205$

$L := L2 = 81,576$ $\mu := 0,00026$

Сопротивления в трубопроводах:

$$\lambda := \left(\frac{0,316}{Re^{0,25}}\right) = 0,0107$$

Падение давления

$$\Delta P := \lambda \cdot \left(\frac{L2}{d}\right) \cdot \left(\frac{\rho}{2}\right) \cdot w^{2} = 59,0418$$

L – длина участка трубы, м
λ - коэффициент трения
d – диаметр трубы, м
ρ – плотность перекачиваемой среды, кг/м3
w – скорость потока, м/с
ΔP – перепад давления на участке трубы, Па

Расчет потерь суммарное на местном сопротивлении

$\zeta мс := 1 + 0,5 + 0,19 \cdot 2 \cdot 9 = 4,92$

$$Нмс := \zeta мс \cdot \left(\frac{w^{2}}{2 \cdot g}\right) = 1,0031$$

$$Ноб := \frac{(\lambda \cdot L2)}{d э} \cdot \left(\frac{w^{2}}{2 \cdot g}\right) + \zeta мс \cdot \left(\frac{w^{2}}{2 \cdot g}\right) = 8,1319$$

Нмс – потери напора в местном сопротивлении, м
w2/(2g) – скоростной напор, м
ζмс – суммарный коэффициент местного сопротивления.
w – скорость потока, м/с
g – ускорение свободного падения, м/с2

Расчет потерь на трение

$g := 9,81$
$d э := 0,025$

$$НТ := \frac{(\lambda \cdot L2)}{d э} \cdot \left(\frac{w^{2}}{2 \cdot g}\right) = 7,1288$$

НТ – потери напора на сопротивление трению, м
[w2/(2g)] – скоростной напор, м
λ – коэффициент трения
l – длинна трубопровода, м
dэ – эквивалентный диаметр трубопровода, м
w – скорость потока, м/с
g – ускорение свободного падения, м/с2

Расчет теплового сопротивления

$t1 := 20$ $Tcp := 22$ $wcp := 2$
$t2 := 24$ $\rho cp := 1,205$

$$\Delta Pтемп := 2 \cdot \frac{(t2 - t1)}{Tcp} \cdot \frac{\left(\rho cp \cdot wcp^{2}\right)}{2} = 0,8764$$

Расчет времени прокачки мертвого объема

$r := 0,0154$

$S := \left(\pi \cdot r^{2}\right) = 0,0007$

$F := S \cdot L2 = 0,0608$

$$Tмервт2 := \frac{F}{Q} = 30,3895$$

Гидравлический расчет для контура К3 трубопровода ЭУ-150

Расчет внутреннего и внешнего диаметра трубопровода:

$V' := 0,0167$

$L3 := 3 \cdot 2 \cdot 0,5 + 29,985 \cdot 2 = 62,97$

$\Delta p := 0,227$

$pmax := 1,067$

Внутренний диаметр трубопровода, м.

$$di := \sqrt[5]{\frac{\left(1,6 \cdot 10^{3} \cdot V'^{1,85} \cdot L3\right)}{10^{10} \cdot \Delta p \cdot pmax}} = 0,0293$$

V´ - объемный расход сжатого воздуха, м³/с;
L - длина трубопровода с поправками на фитинги, м;
Δp - допустимое падение давления, бар;
pmax - верхнее давление компрессора, бар.
di - внутренний диаметр трубопровода, м;

В контуре К3 последовательно подключены 4 газонализатора в общем пункте отбора газовых проб.

$Q := 0,002$

$w := 2$

Внешний диаметр трубопрвода, м.

$$d := \sqrt{\frac{(4 \cdot Q)}{\pi \cdot w}} = 0,0357$$

Q – расход перекачиваемой жидкости, м3/с
w – скорость потока, м/с
d – диаметр трубопровода, м

$w := 2$ $\rho := 1,205$

$L := L3 = 62,97$ $\mu := 0,00026$

Сопротивления в трубопроводах:

$$\lambda := \left(\frac{0,316}{Re^{0,25}}\right) = 0,0114$$

Падение давления

$$\Delta P := \lambda \cdot \left(\frac{L3}{d}\right) \cdot \left(\frac{\rho}{2}\right) \cdot w^{2} = 48,6226$$

L – длина участка трубы, м
λ - коэффициент трения
d – диаметр трубы, м
ρ – плотность перекачиваемой среды, кг/м3
w – скорость потока, м/с
ΔP – перепад давления на участке трубы, Па

Расчет потерь суммарное на местном сопротивлении

$\zeta мс := 1 + 0,5 + 0,19 \cdot 2 \cdot 3 = 2,64$

$$Нмс := \zeta мс \cdot \left(\frac{w^{2}}{2 \cdot g}\right) = 0,5382$$

$$Ноб := \frac{(\lambda \cdot L3)}{dэ} \cdot \left(\frac{w^{2}}{2 \cdot g}\right) + \zeta мс \cdot \left(\frac{w^{2}}{2 \cdot g}\right) = 6,409$$

Нмс – потери напора в местном сопротивлении, м
w2/(2g) – скоростной напор, м
ζмс – суммарный коэффициент местного сопротивления
w – скорость потока, м/с
g – ускорение свободного падения, м/с2

Расчет потерь на трение

$g := 9,81$
$dэ := 0,025$

$$НТ := \frac{(\lambda \cdot L3)}{dэ} \cdot \left(\frac{w^{2}}{2 \cdot g}\right) = 5,8708$$

НТ – потери напора на сопротивление трению, м
[w2/(2g)] – скоростной напор, м
λ – коэффициент трения
l – длинна трубопровода, м
dэ – эквивалентный диаметр трубопровода, м
w – скорость потока, м/с
g – ускорение свободного падения, м/с2

Расчет теплового сопротивления

$t1 := 20$ $Tcp := 22$ $wcp := 2$
$t2 := 24$ $\rho cp := 1,205$

$$\Delta Pтемп := 2 \cdot \frac{(t2 - t1)}{Tcp} \cdot \frac{\left(\rho cp \cdot wcp^{2}\right)}{2} = 0,8764$$

Расчет времени прокачки мертвого объема

$r := 0,01465$

$S := \left(\pi \cdot r^{2}\right) = 0,0007$

$F := S \cdot L3 = 0,0425$

$$Tмервт3 := \frac{F}{Q} = 21,229$$

Гидравлический расчет для контура К4 трубопровода ЭУ-150

Расчет внутреннего и внешнего диаметра трубопровода:

$V' := 0,0167$

$L4 := 3 \cdot 2 \cdot 0,5 + 26,985 \cdot 2 = 56,97$

$\Delta p := 0,227$

$pmax := 1,067$

Внутренний диаметр трубопровода, м.

$$di := \sqrt[5]{\frac{\left(1,6 \cdot 10^{3} \cdot V'^{1,85} \cdot L4\right)}{10^{10} \cdot \Delta p \cdot pmax}} = 0,0287$$

V´ - объемный расход сжатого воздуха, м³/с;
L - длина трубопровода с поправками на фитинги, м;
Δp - допустимое падение давления, бар;
pmax - верхнее давление компрессора, бар.
di - внутренний диаметр трубопровода, м;

В контуре К4 последовательно подключены 4 газонализатора в общем пункте отбора газовых проб.

$Q := 0,002$

$w := 2$

Внешний диаметр трубопрвода, м.

$$d := \sqrt{\frac{(4 \cdot Q)}{\pi \cdot w}} = 0,0357$$

Q – расход перекачиваемой жидкости, м3/с
w – скорость потока, м/с
d – диаметр трубопровода, м

$w := 2$ $\rho := 1,205$

$L := L4 = 56,97$ $\mu := 0,00026$

Сопротивления в трубопроводах:

$$\lambda := \left(\frac{0,316}{Re^{0,25}}\right) = 0,0117$$

Падение давления

$$\Delta P := \lambda \cdot \left(\frac{L4}{d}\right) \cdot \left(\frac{\rho}{2}\right) \cdot w^{2} = 45,1048$$

L – длина участка трубы, м
λ - коэффициент трения
d – диаметр трубы, м
ρ – плотность перекачиваемой среды, кг/м3
w – скорость потока, м/с
ΔP – перепад давления на участке трубы, Па

Расчет потерь суммарное на местном сопротивлении

$\zeta мс := 1 + 0,5 + 0,19 \cdot 2 \cdot 3 = 2,64$

$$Нмс := \zeta мс \cdot \left(\frac{w^{2}}{2 \cdot g}\right) = 0,5382$$

$$Ноб := \frac{(\lambda \cdot L4)}{d э} \cdot \left(\frac{w^{2}}{2 \cdot g}\right) + \zeta мс \cdot \left(\frac{w^{2}}{2 \cdot g}\right) = 5,9843$$

Нмс – потери напора в местном сопротивлении, м
w2/(2g) – скоростной напор, м
ζмс – суммарный коэффициент местного сопротивлени
w – скорость потока, м/с
g – ускорение свободного падения, м/с2

Расчет потерь на трение

$g := 9,81$
$d э := 0,025$

$$НТ := \frac{(\lambda \cdot L4)}{d э} \cdot \left(\frac{w^{2}}{2 \cdot g}\right) = 5,4461$$

НТ – потери напора на сопротивление трению, м
[w2/(2g)] – скоростной напор, м
λ – коэффициент трения
l – длинна трубопровода, м
dэ – эквивалентный диаметр трубопровода, м
w – скорость потока, м/с
g – ускорение свободного падения, м/с2

Расчет теплового сопротивления

$t1 := 20$ $Tcp := 22$ $wcp := 2$
$t2 := 24$ $\rho cp := 1,205$

$$\Delta Pтемп := 2 \cdot \frac{(t2 - t1)}{Tcp} \cdot \frac{\left(\rho cp \cdot wcp^{2}\right)}{2} = 0,8764$$

Расчет времени прокачки мертвого объема

$r := 0,0133$

$S := \left(\pi \cdot r^{2}\right) = 0,0006$

$F := S \cdot L4 = 0,0317$

$$Tмервт4 := \frac{F}{Q} = 15,8296$$

Гидравлический расчет для контура К5 трубопровода ЭУ-150

Расчет внутреннего и внешнего диаметра трубопровода:

$V' := 0,0167$

$L5 := 3 \cdot 2 \cdot 0,5 + 16,985 \cdot 2 = 36,97$

$\Delta p := 0,227$

$pmax := 1,067$

Внутренний диаметр трубопровода, м.

$$di := \sqrt[5]{\frac{\left(1,6 \cdot 10^{3} \cdot V'^{1,85} \cdot L5\right)}{10^{10} \cdot \Delta p \cdot pmax}} = 0,0263$$

V´ - объемный расход сжатого воздуха, м³/с;
L - длина трубопровода с поправками на фитинги, м;
Δp - допустимое падение давления, бар;
pmax - верхнее давление компрессора, бар.
di - внутренний диаметр трубопровода, м;

В контуре К5 последовательно подключены 4 газонализатора в общем пункте отбора газовых проб.

$Q := 0,002$

$w := 2$

Внешний диаметр трубопрвода, м.

$$d := \sqrt{\frac{(4 \cdot Q)}{\pi \cdot w}} = 0,0357$$

Q – расход перекачиваемой жидкости, м3/с
w – скорость потока, м/с
d – диаметр трубопровода, м

$w := 2$ $\rho := 1,205$

$L := L5 = 36,97$ $\mu := 0,00026$

Сопротивления в трубопроводах:

$$\lambda := \left(\frac{0,316}{Re^{0,25}}\right) = 0,0131$$

Падение давления

$$\Delta P := \lambda \cdot \left(\frac{L5}{d}\right) \cdot \left(\frac{\rho}{2}\right) \cdot w^{2} = 32,6118$$

L – длина участка трубы, м
λ - коэффициент трения
d – диаметр трубы, м
ρ – плотность перекачиваемой среды, кг/м3
w – скорость потока, м/с
ΔP – перепад давления на участке трубы, Па

Расчет потерь суммарное на местном сопротивлении

$\zeta мс := 1 + 0,5 + 0,19 \cdot 2 \cdot 3 = 2,64$

$$Нмс := \zeta мс \cdot \left(\frac{w^{2}}{2 \cdot g}\right) = 0,5382$$

$$Ноб := \frac{(\lambda \cdot L5)}{dэ} \cdot \left(\frac{w^{2}}{2 \cdot g}\right) + \zeta мс \cdot \left(\frac{w^{2}}{2 \cdot g}\right) = 4,4759$$

Нмс – потери напора в местном сопротивлении, м
w2/(2g) – скоростной напор, м
ζмс – суммарный коэффициент местного сопротивления
w – скорость потока, м/с
g – ускорение свободного падения, м/с2

Расчет потерь на трение

$g := 9,81$
$dэ := 0,025$

$$НТ := \frac{(\lambda \cdot L5)}{dэ} \cdot \left(\frac{w^{2}}{2 \cdot g}\right) = 3,9376$$

НТ – потери напора на сопротивление трению, м
[w2/(2g)] – скоростной напор, м
λ – коэффициент трения
l – длинна трубопровода, м
dэ – эквивалентный диаметр трубопровода, м
w – скорость потока, м/с
g – ускорение свободного падения, м/с2

Расчет теплового сопротивления

$t1 := 20$ $Tcp := 22$ $wcp := 2$
$t2 := 24$ $\rho cp := 1,205$

$$\Delta Pтемп := 2 \cdot \frac{(t2 - t1)}{Tcp} \cdot \frac{\left(\rho cp \cdot wcp^{2}\right)}{2} = 0,8764$$

Расчет времени прокачки мертвого объема

$r := 0,0133$

$S := \left(\pi \cdot r^{2}\right) = 0,0006$

$F := S \cdot L5 = 0,0205$

$$Tмервт5 := \frac{F}{Q} = 10,2724$$

Гидравлический расчет для контура К6 трубопровода ЭУ-50

Расчет внутреннего и внешнего диаметра трубопровода:

$V' := 0,0167$

$L6 := 7 \cdot 2 \cdot 0,5 + 22,505 \cdot 2 = 52,01$

$\Delta p := 0,227$

$pmax := 1,067$

Внутренний диаметр трубопровода, м.

$$di := \sqrt[5]{\frac{\left(1,6 \cdot 10^{3} \cdot V'^{1,85} \cdot L6\right)}{10^{10} \cdot \Delta p \cdot pmax}} = 0,0282$$

V′ - объемный расход сжатого воздуха, м³/с;
L - длина трубопровода с поправками на фитинги, м;
Δp - допустимое падение давления, бар;
pmax - верхнее давление компрессора, бар.
di - внутренний диаметр трубопровода, м;

В контуре К6 последовательно подключены 4 газонализатора в общем пункте отбора газовых проб.

$Q := 0,002$

$w := 2$

Внешний диаметр трубопрвода, м.

$$d := \sqrt{\frac{(4 \cdot Q)}{\pi \cdot w}} = 0,0357$$

Q – расход перекачиваемой жидкости, м3/с
w – скорость потока, м/с
d – диаметр трубопровода, м

$w := 2$ $\rho := 1,205$

$L := L6 = 52,01$ $\mu := 0,00026$

Сопротивления в трубопроводах:

$$\lambda := \left(\frac{0,316}{Re^{0,25}}\right) = 0,012$$

Падение давления

$$\Delta P := \lambda \cdot \left(\frac{L6}{d}\right) \cdot \left(\frac{\rho}{2}\right) \cdot w^{2} = 42,1263$$

L – длина участка трубы, м
λ - коэффициент трения
d – диаметр трубы, м
ρ – плотность перекачиваемой среды, кг/м3
w – скорость потока, м/с
ΔP – перепад давления на участке трубы, Па

Расчет потерь суммарное на местном сопротивлении

$\zeta мс := 1 + 0,5 + 0,19 \cdot 2 \cdot 7 = 4,16$

$$Нмс := \zeta мс \cdot \left(\frac{w^{2}}{2 \cdot g}\right) = 0,8481$$

$$Ноб := \frac{(\lambda \cdot L)}{dэ} \cdot \left(\frac{w^{2}}{2 \cdot g}\right) + \zeta мс \cdot \left(\frac{w^{2}}{2 \cdot g}\right) = 5,9345$$

Нмс – потери напора в местном сопротивлении, м
w2/(2g) – скоростной напор, м
ζмс – суммарный коэффициент местного сопротивления
w – скорость потока, м/с
g – ускорение свободного падения, м/с2

Расчет потерь на трение

$g := 9,81$
$dэ := 0,025$

$$HT := \frac{(\lambda \cdot L6)}{dэ} \cdot \left(\frac{w^{2}}{2 \cdot g}\right) = 5,0864$$

НТ – потери напора на сопротивление трению, м
[w2/(2g)] – скоростной напор, м
λ – коэффициент трения
l – длинна трубопровода, м
dэ – эквивалентный диаметр трубопровода, м
w – скорость потока, м/с
g – ускорение свободного падения, м/с2

Расчет теплового сопротивления

$t1 := 20$ $Tcp := 22$ $wcp := 2$
$t2 := 24$ $\rho cp := 1,205$

$$\Delta Pтемп := 2 \cdot \frac{(t2 - t1)}{Tcp} \cdot \frac{\left(\rho cp \cdot wcp^{2}\right)}{2} = 0,8764$$

Расчет времени прокачки мертвого объема

$r := 0,0141$

$S := \left(\pi \cdot r^{2}\right) = 0,0006$

$F := S \cdot L6 = 0,0325$

$$Tмервтб := \frac{F}{Q} = 16,2422$$

Гидравлический расчет для контура К7 трубопровода ЭУ-250

Расчет внутреннего и внешнего диаметра трубопровода:

$V' := 0,0167$

$L7 := 7 \cdot 2 \cdot 0,5 + 34,808 \cdot 2 = 76,616$

$\Delta p := 0,227$

$pmax := 1,067$

Внутренний диаметр трубопровода, м.

$$di := \sqrt[5]{\frac{\left(1,6 \cdot 10^{3} \cdot V'^{1,85} \cdot L7\right)}{10^{10} \cdot \Delta p \cdot pmax}} = 0,0304$$

V′ - объемный расход сжатого воздуха, м³/с;
L - длина трубопровода с поправками на фитинги, м;
Δp - допустимое падение давления, бар;
pmax - верхнее давление компрессора, бар.
di - внутренний диаметр трубопровода, м;

В контуре К7 последовательно подключены 4 газонализатора в общем пункте отбора газовых проб.

$Q := 0,002$

$w := 2$

Внешний диаметр трубопрвода, м.

$$d := \sqrt{\frac{\left(4 \cdot Q\right)}{\pi \cdot w}} = 0,0357$$

Q – расход перекачиваемой жидкости, м3/с
w – скорость потока, м/с
d – диаметр трубопровода, м

$w := 2$ $\rho := 1,205$

$L := L7 = 76,616$ $\mu := 0,00026$

Сопротивления в трубопроводах:

$$\lambda := \left(\frac{0,316}{Re^{0,25}}\right) = 0,0109$$

Падение давления

$$\Delta P := \lambda \cdot \left(\frac{L7}{d}\right) \cdot \left(\frac{\rho}{2}\right) \cdot w^{2} = 56,3284$$

L – длина участка трубы, м
λ - коэффициент трения
d – диаметр трубы, м
ρ – плотность перекачиваемой среды, кг/м3
w – скорость потока, м/с
ΔP – перепад давления на участке трубы, Па

Расчет потерь суммарное на местном сопротивлении

$\zeta мс := 1 + 0,5 + 0,19 \cdot 2 \cdot 7 = 4,16$

$$Нмс := \zeta мс \cdot \left(\frac{w^{2}}{2 \cdot g}\right) = 0,8481$$

$$Ноб := \frac{\left(\lambda \cdot L7\right)}{d э} \cdot \left(\frac{w^{2}}{2 \cdot g}\right) + \zeta мс \cdot \left(\frac{w^{2}}{2 \cdot g}\right) = 7,6493$$

Нмс – потери напора в местном сопротивлении, м
w2/(2g) – скоростной напор, м
ζмс – суммарный коэффициент местного сопротивления
w – скорость потока, м/с
g – ускорение свободного падения, м/с2

Расчет потерь на трение

$g := 9,81$
$d э := 0,025$

$$НТ := \frac{\left(\lambda \cdot L7\right)}{d э} \cdot \left(\frac{w^{2}}{2 \cdot g}\right) = 6,8012$$

НТ – потери напора на сопротивление трению, м
[w2/(2g)] – скоростной напор, м
λ – коэффициент трения
l – длинна трубопровода, м
dэ – эквивалентный диаметр трубопровода, м
w – скорость потока, м/с
g – ускорение свободного падения, м/с2

Расчет теплового сопротивления

$t1 := 20$ $Tcp := 22$ $wcp := 2$
$t2 := 24$ $\rho cp := 1,205$

$$\Delta Pтемп := 2 \cdot \frac{\left(t2 - t1\right)}{Tcp} \cdot \frac{\left(\rho cp \cdot wcp^{2}\right)}{2} = 0,8764$$

Расчет времени прокачки мертвого объема

$r := 0,0154$

$S := \left(\pi \cdot r^{2}\right) = 0,0007$

$F := S \cdot L7 = 0,0571$

$$Tмервт7 := \frac{F}{Q} = 28,5418$$

Гидравлический расчет для контура К8 трубопровода ЭУ-1250

Расчет внутреннего и внешнего диаметра трубопровода:

$V' := 0,0167$

$L8 := 9 \cdot 2 \cdot 0,5 + 36,288 \cdot 2 = 81,576$

$\Delta p := 0,227$

$pmax := 1,067$

Внутренний диаметр трубопровода, м.

$$di := \sqrt[5]{\frac{\left(1,6 \cdot 10^{3} \cdot V'^{1,85} \cdot L8\right)}{10^{10} \cdot \Delta p \cdot pmax}} = 0,0308$$

V´ - объемный расход сжатого воздуха, м³/с;
L - длина трубопровода с поправками на фитинги, м;
Δp - допустимое падение давления, бар;
pmax - верхнее давление компрессора, бар.
di - внутренний диаметр трубопровода, м;

В контуре К8 последовательно подключены 4 газонализатора в общем пункте отбора газовых проб.

$Q := 0,002$

$w := 2$

Внешний диаметр трубопрвода, м.

$$d := \sqrt{\frac{\left(4 \cdot Q\right)}{\pi \cdot w}} = 0,0357$$

Q – расход перекачиваемой жидкости, м3/с
w – скорость потока, м/с
d – диаметр трубопровода, м

$w := 2$ $\rho := 1,205$

$L := L8 = 81,576$ $\mu := 0,00026$

Сопротивления в трубопроводах:

$$\lambda := \left(\frac{0,316}{Re^{0,25}}\right) = 0,0107$$

Падение давления

$$\Delta P := \lambda \cdot \left(\frac{L8}{d}\right) \cdot \left(\frac{\rho}{2}\right) \cdot w^{2} = 59,0418$$

L – длина участка трубы, м
λ - коэффициент трения
d – диаметр трубы, м
ρ – плотность перекачиваемой среды, кг/м3
w – скорость потока, м/с
ΔP – перепад давления на участке трубы, Па

Расчет потерь суммарное на местном сопротивлении

$\zeta мс := 1 + 0,5 + 0,19 \cdot 2 \cdot 9 = 4,92$

$$Нмс := \zeta мс \cdot \left(\frac{w^{2}}{2 \cdot g}\right) = 1,0031$$

$$Ноб := \frac{\left(\lambda \cdot L2\right)}{d э} \cdot \left(\frac{w^{2}}{2 \cdot g}\right) + \zeta мс \cdot \left(\frac{w^{2}}{2 \cdot g}\right) = 8,1319$$

Нмс – потери напора в местном сопротивлении, м
w2/(2g) – скоростной напор, м
ζмс – суммарный коэффициент местного сопротивлени
w – скорость потока, м/с
g – ускорение свободного падения, м/с2

Расчет потерь на трение

$g := 9,81$
$d э := 0,025$

$$HT := \frac{\left(\lambda \cdot L8\right)}{d э} \cdot \left(\frac{w^{2}}{2 \cdot g}\right) = 7,1288$$

НТ – потери напора на сопротивление трению, м
[w2/(2g)] – скоростной напор, м
λ – коэффициент трения
l – длинна трубопровода, м
dэ – эквивалентный диаметр трубопровода, м
w – скорость потока, м/с
g – ускорение свободного падения, м/с2

Расчет теплового сопротивления

$t1 := 20$ $Tcp := 22$ $wcp := 2$
$t2 := 24$ $\rho cp := 1,205$

$$\Delta Pтемп := 2 \cdot \frac{\left(t2 - t1\right)}{Tcp} \cdot \frac{\left(\rho cp \cdot wcp^{2}\right)}{2} = 0,8764$$

Расчет времени прокачки мертвого объема

$r := 0,0154$

$S := \left(\pi \cdot r^{2}\right) = 0,0007$

$F := S \cdot L8 = 0,0608$

$$Tмервт8 := \frac{F}{Q} = 30,3895$$

Глава №3 Экономическая часть

В экономической части бакалаврской работы будут рассчитаны затраты на проведение модернизации при капитальном ремонте. Ремонт производится на наземном экспериментальном комплексе

Затраты на модернизацию трубопроводов включают:

-затраты на материалы;

-затраты на оплату труда;

-страховые взносы

Технические требования

Трубы изготовляют в соответствии с требованиями настоящего стандарта по технологическому регламенту, утвержденному в установленном порядке.

Трубы изготовляют из меди марок М1, М1р, М1ф, М2р, М3р, М2, М3 по ГОСТ 859 с химическим составом, указанным в таблице , и латуни марки Л96 по ГОСТ 15527 с химическим составом, указанным в таблице.

Таблица - Химический состав меди

Обозначение марок	Массовая доля элемента										
	Медь + серебро, не менее	Примеси, не более									
		Висмут	Железо	Никель	Цинк	Олово	Сурьма	Мышьяк	Свинец	Сера	Кислород
М1	99,90	0,001	0,005	0,002	0,004	0,002	0,002	0,002	0,005	0,004	0,05
М1р	99,90	0,001	0,005	0,002	0,005	0,002	0,002	0,002	0,005	0,005	0,01
М1ф	99,90	0,001	0,005	0,002	0,005	0,002	0,002	0,002	0,005	0,005	-
М2р	99,70	0,002	0,05	0,2	-	0,05	0,005	0,01	0,01	0,01	0,01
М3р	99,50	0,003	0,05	0,2	-	0,05	0,05	0,05	0,03	0,01	0,01
М2	99,70	0,002	0,05	0,2	-	0,05	0,005	0,01	0,01	0,01	0,07
М3	99,50	0,003	0,05	0,2	-	0,05	0,05	0,01	0,05	0,01	0,08

Затраты на приобретение материалов. Труба медная М2Т.

Настоящий стандарт ГОСТ 617-2006 распространяется на медные и латунные (из латуни марки Л96) холоднодеформированные и прессованные трубы круглого сечения общего назначения.

Стандарт устанавливает сортамент, технические требования, правила приемки, методы контроля и испытаний, упаковку, маркировку, транспортирование и хранение труб.

В качестве трубопровода будет использоваться Состав материалов отражен в таблице .

Наименование материал	Диаметр, толщина стенки, длина трубы. мм
Труба медная М2Т для гермообъекта ЭУ-50	36 х 4,0х 3000
Труба медная М2Т для гермообъекта ЭУ-100	36 х 3,0х 3000
Труба медная М2Т для гермообъекта ЭУ-150	36 х 5,0 х 3000

Труба медная М2Т для гермообъекта ЭУ-250	36 х 3,0 х 3000

Затраты на медное оборудование определяются на основе их количества, и цен взято с сайта https://kvent.ru. Расчет представлены таблице .

№ оп/п	Наименование	Ед.изм	Кол-во	Цена с НДС, тыс. руб	Стоимость с НДС тыс. руб
1	Труба медная М2Т для гермообъекта ЭУ-50	шт.	15	0,835	12,525
2	Труба медная М2Т для гермообъекта ЭУ-100	шт.	40	0,835	33,400
3	Труба медная М2Т для гермообъекта ЭУ-150	шт.	45	0,835	37,575
4	Труба медная М2Т для гермообъекта ЭУ-250	шт.	38	0,835	31,730
	Итого	х	х	х	115,230

Затраты на вспомогательное оборудование

Вспомогательное оборудование необходимое для установки медных труб представлено таблице

Наименование материал	Диаметр охвата, толщина стенки, длина трубы. мм
Медный хомут трубный со шпилькой	36
Медные фитинги 90° под DN 25 для ЭУ-50	36 х 90
Медные фитинги 90° под DN 25 для ЭУ-100	36 х 90
Медные фитинги 90° под DN 25 для ЭУ-150	36 х 90
Медные фитинги 90° под DN 25 для ЭУ-250	36 х 90

Затраты на вспомогательное оборудование определяются на основе их количества, и цен взято с сайта https://kvent.ru. Расчет представлен таблице

№ оп/п	Наименование	Ед.изм	Кол-во	Цена с НДС, тыс. руб	Стоимость с НДС тыс. руб
1	Медный хомут трубный со шпилькой	шт.	123	0,080	9,840
2	Медные фитинги 90° под DN 25 для ЭУ-50	шт.	14	0,090	1,260
3	Медные фитинги 90° под DN 25 для ЭУ-100	шт.	36	0,090	3,240
4	Медные фитинги 90° под DN 25 для ЭУ-150	шт.	18	0,090	1,620
5	Медные фитинги 90° под DN 25 для ЭУ-250	шт.	28	0,090	2,520
6	Шкаф ШАМ-11 как единый пункт сбора газовый проб	шт	1	8110	8110
	Итого	х	х	х	26,590

Заработная плата рабочих

Для определения затрат на заработную плату, необходимо установить продолжительность изоляционных работ по формуле:

$$T = \frac{S}{\upsilon},$$

где S–общая длина рабочего участка, м. Принимаем S= 408м.

υ–средняя скорость изоляционной колонны, м/ч. Принимаем υ= 45 м/ч

$$T = 408 / 45 = 9{,}05 \approx 9 \text{ ч.}$$

Таким образом, на технологический процесс потребуется 9 часов. Необходимы дополнительные затраты времени (проверка оборудования, контроль материалов, отдых рабочих и др.), принимаем это время равное 4 часам. Следовательно, на изоляционные работы потребуется 13 часов. Делаем вывод о том, что это займет 2 смены (одна смена –7 часов). Состав рабочих для выполнения изоляционных работ представлен в таблице

Таблица – Состав рабочего звена для прокладки трубопровода.

Состав звена	Разряд	Количество человек
Монтажник металлоконструкций	5	6
Сварщик металлоконструкций	5	4
Прораб	-	1
Итого		11

Затраты на оплату труда определяются исходя из размера тарифной ставки за час работы, разряда рабочего, районного коэффициента. Расчет приведен в таблице

Должность	Кол-во	Ставка за час работы руб.	Оклад за период ремонта руб.	Районный коэффициент 30% от оклада, руб.	Итого на одного работника, руб.	Фонд заработной платы, руб.
Монтажник металлоконструкций	6	190	228000	68400	36480	218880
Сварщик металлоконструкций	4	200	240000	72000	38400	153600
Прораб	1	230	276000	82800	44160	44160
Итого	11	x	x	x	x	416640

Информация об оплате представлена на сайтах jobsora.com, domkadrov.ru, indeed.com. Сводим данные в таблицу

Затраты на страховые взносы

Таблица – Затраты на страховые взносы и взносы на страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний.

Показатель	Сумма затрат, руб.
Страховые взносы	507200
Взносы на страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний	125635,2
Итого	176355,2

Полные затраты на выполнение монтажных работ приведены в таблице

Показатели	Стоимость, руб
1. Затраты на материалы	115320
2. Вспомогательное оборудование	26590
3.Фонд оплаты труда	416640
4.Страховые взносы	176355,2
Итого	734905,2

Проведя анализ финальной таблицы можно сказать о том, что модернизация трубопровода для анализа газовый проб на базе НЭК составит 734905,2. рублей.

Глава №4 Охрана труда

Общие положения:

При сварочных работах воздушная среда должна контролироваться непосредственно на месте производства сварочных работ, а также в опасной зоне с учетом возможных источников паров и газов. При очистке трубопровода во избежание проникновения металлической пыли в дыхательные органы и глаза рабочего персонала следует пользоваться индивидуальными средствами защиты (респираторами, марлевыми повязками, предохранительными очками). При очистке трубопроводов всех диаметров водой охранная зона устанавливается в 25 м по обе стороны от трубопровода и в 100 м по направлению вылета.

Обеспечение безопасности технологического процесса

Для обеспечения безопасности технологического процесса необходимо рассчитать освещенность рабочей площадки при проведении работ в ночное время, а именно определить необходимое количество прожекторов. Ориентировочное количество прожекторов N ,подлежащее установке для создания необходимой освещенности, определяется по формуле:

$$N = m \cdot E_H \cdot k \cdot \frac{A}{P_Л} \ ,$$

,

где m–коэффициент, учитывающий световую отдачу источников света, КПД прожекторов и коэффициент использования светового потока;

k – коэффициент запаса, принимаемый для газоразрядных ламп –1,7;

$E_н$ – нормируемая освещенность горизонтальной поверхности площадки,

$E_н$ = 200 лк;

А–освещаемая площадь, м2;

ЛР–мощность лампы, Вт.

В прожекторах установлены лампы типа ДРЛ мощностью 700 Вт.

$$N = 0,3 \cdot 200 \cdot 1,7 \cdot \frac{100}{700} = 14,57 \approx 15 \ шт$$

Так как для освещения площадки приняты прожекторные мачты с 3 прожекторами ПЗС-45, потребуется использовать 5 прожекторных мачт, параметры которых приведены в таблице

Таблица – Технические характеристики прожекторных мачт

Параметр		Значение
Ширина освещаемой площади, м		75
Высота прожекторной мачты, м		15
Прожектор, устанавливаемый на мачте	Тип	ПСЗ-45
	Количество, шт	3
	Мощность ламп, Вт	700
Параметры установки прожектора	Высота, м	15
	Угол наклона, град	20
	Угол между оптическими осями прожекторов, град	60
Коэффициент неравномерности		0,3
Удельная мощность, Вт/м^2		0,35

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном проекте рассмотрена разработка и последующая модернизация трубопроводов, в наземном экспериментальном комплексе на территории института Медико-биологический проблем, протяженностью 408 м, который заключается в демонтаже старых силиконовых труб и строительстве нового общего пункта сбора газовых проб диаметром 36 мм. Детально были рассмотрены следующие работы:

-демонтаж заменяемого силиконового трубопровода ;

-разработка общего пункта сбора проб воздуха, куда будут выведены газовые линии из всех необходимых точек отбора;

-проведены гидравлические расчеты новой системы и подобраны размеры новых трубопроводов таким образом, чтобы система из четырех газоанализаторов могла подключаться к каждой точке отбора последовательно и прокачивать воздух через смонтированный контур трубопровода;

-рассчитано необходимое время прокачки воздуха через каждую газовую линию для удаления «мертвого объема».

Производимая модернизация позволит перекачивать исследуемый воздух в безопасном режиме, анализируя газовые пробы из единого пункта, без необходимости отключения газоанализаторов и переноса их от одного гермообъекта к другому.

Литература

1. Л.Н. Мухамидиева. Космическая токсикология. Становление. Современный статус. Перспектива.

2. ГОСТ Р 50804-95 Среда обитания космонавта в пилотируемом космическом аппарате.
3. ГОСТ 28040-89 Система жизнеобеспечения космонавта в пилотируемом космическом аппарате. М. Государственный комитет СССР по стандартам.
4. Актовая речь “Системы жизнеобеспечения обитаемых космических объектов.” / Синяк Ю.А. – Москва,2008.
5. Учебное пособие “Системы жизнеобеспечения обитаемых космических объектов.” / Синяк Ю.А.
6. Кондиционер на орбите: как сохраняется дыхательная среда на МКС. – Режим доступа: https://ria.ru/20170717/1498617648.html
7. Система очистки атмосферы от микропримесей. – Режим доступа: https://www.niichimmash.ru/projects/sbmp/
8. Легостаев В.П. Луна - шаг к технологиям освоения Солнечной системы / Легостаев В.П., Лопота В.А. – М.: РКК Энергия, 2011.
9.
10.
11. Регенерационные системы жизнеобеспечения длительных космических полетов Н.М,Самсонов [и др.] // Российский космос. – 2006. - №7.
12. Гузенберг А.С. Жизнеобеспечения система / А.С. Гузенберг. А.М.Рябкин // Большая российская энциклопедия. – Москва,2008 – Том 10 – С.81-82.
13. Прошкин В.Ю. Система генерации кислорода «электрон-вм» на борту международной космической станции. / В.Ю. Прошкин, Э.А. Курмазенко // Пилотируемые полеты в космос. – 2013. №3(8) – С.84-100.
14. Выбор комплекса жизнеобеспечения для экипажей долговременных космических станций. / Гузенберг А.С. [и др.] // Космическая техника и технологии. – 2015. - №1(8) – С.67-80.

15. Итоги и перспективы использования технологии микробиологической очистки воздуха с помощью установок «поток» в космической медицине. /Новикова Н.Д. [и др] // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2016. - №50(3). – С.10-16.
16. Методические указания по применению бактерицидных ламп для обеззараживания воздуха и поверхностей в помещениях // Светотехника. – Москва,1995. – №6 – С.2-19.
17.
18.
19.
20.
21. Elibrary, описание изобретения к патенту
22. А.И.Григорьев, М.Баранов, Ю.Е. Синяк, В.М.Скуратов Ю.И.Григорьев, С.Ю. Романов, А.С. Гузенберг, Н.Н.Протасов, А.М. Рябкин, П.О. Андрейчук, Н.М.Самсонов, Л.С.Бобе, Л.И.Гаврилов, В.М. Новиков, Н.С. Фарафонов. Результаты эксплуатации комплекса систем жизнеобеспечения космической станции "МИР". //X11 конференция по космической биологии и авиакосмической медицине, Материалы конференции, 10-14 июня 2002 г, Москва, 2002. С. 308-309
23. Чижов С.В., Синяк Ю.Е. Водообеспечение экипажей космических кораблей.// Проблемы космической биологии. М. "Наука". 1973. С. 268
24. Гост Р 50804-95 Среда обитания космонавта в пилотируемом космическом аппарате. Общие медико-технические требования". М. Госстандарт России.1995
25. Новикова Н.Д. Основные закономерности формирования среды обитания орбитального комплекса “Мир” // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2001. Т. 35. № 4. С.32-40

26. Кашкин П.Н., Некачалов В.Я., 1965; Тутельян В.А., Кравченко Л.В., 1984. Обоснование путей и способов защиты оборудования орбитальных станций от микробиологических повреждений С.59
27. Наголкин А.В. и др. Биотехнические основы и математическое моделирование создания качественного аэроионного состава газовой среды обитаемых герметичных объектов. 2004 С. 44
28. Дешевая Е.А. Микроскопические грибы как фактор экологического риска при многолетней эксплуатации орбитальной станции. 1999 С.189
29. Вернадский В.И. Биосфера : I-II / В. И. Вернадский, 1926 С.157
30.