

**А.Юсупбеков, F.Adilov,  
B.Dozorsev**

**Имитационное моделирование  
типовых технологических  
объектов и компьютерный  
тренинг навыкам управления**

**“Tafakkur Bo‘stoni”  
Ташкент – 2015**

Ф.Т АДИЛОВ  
В.М. ДОЗОРЦЕВ  
А.Н. ЮСУПБЕКОВ

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТИПОВЫХ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И КОМПЬЮТЕРНЫЙ  
ТРЕНИНГ НАВЫКОВ УПРАВЛЕНИЯ**

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ**  
для выполнения практических занятий  
по курсу «Автоматизация технологических процессов  
и производств»

ТАШКЕНТ – 2015

УДК: 0049(075)

ББК 32.81я73

И 54

Ответственный редактор:  
доктор технических наук, профессор *Ш.М. Гулямов*

Рецензенты:  
кандидат технических наук, доцент *Л.П. Варламова* (НУУз)  
доктор технических наук, доцент *О.О. Зарипов* (ТашГТУ)

Учебное пособие представляет собой методическое руководство по проведению практических занятий и выполнению на компьютерных тренажерных комплексах лабораторных и практических упражнений раздела «Имитационное моделирование типовых технологических объектов и компьютерный тренинг навыкам автоматического управления» курса дисциплины «Автоматизация технологических процессов и производств». Компьютерные тренажеры, являясь сложными программно-аппаратными комплексами, содержащими средства имитационного моделирования, анализа, симуляции, визуализации (в том числе виртуальной реальности), призваны обеспечивать теоретическую подготовку обучаемых, отработку у них знаний и навыков управления, а также проверку и тестирование их знаний.

Пособие призвано ознакомить обучаемых с основными закономерностями протекания типовых химико-технологических процессов химических и нефтеперерабатывающих производств, получить основные знания и овладеть принципами работы базового технологического оборудования, средств и алгоритмов контроля, диагностирования и управления отдельными узлами и технологическими комплексами, а также привить обучаемым навыки безопасного и эффективного управления ими (насос и клапан; система емкостей; центробежный компрессор; смесительный резервуар; теплообменник и сепаратор).

Учебное пособие предназначено для студентов технических и технологических вузов, а также студентов магистратуры, старших научных сотрудников-исследователей, соискателей, сотрудников научно-исследовательских институтов и проектно-конструкторских бюро и организаций, занимающихся проблемами автоматизации производственных процессов.

ISBN - 978-9943-4546-2-0

© “Tafakkur Bo‘stoni”, 2015

© Ilm - Ziyo nashriyot uyi



# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	9
<b>ГЛАВА 1. ИСТОРИЯ, СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТРЕНАЖЕРОВ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ОПЕРАТОРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ИНЖИНИРИНГА</b> .....	13
1.1. Особенности компьютерного тренинга операторов технологических процессов .....	13
1.2. Компьютерные тренажеры для обучения операторов: три этапа развития .....	15
1.2.1. Тренажеры на базе аналоговых и больших цифровых вычислительных машин (60–70-е годы XX века) .....	15
1.2.2. Мощные цифровые компьютеры: первые персональные компьютеры (70–80-е годы XX века) .....	17
1.2.3. Мощные персональные компьютеры: вычислительные сети, новые средства управления технологическими процессами (80-90-е годы XX века) .....	19
1.3. Будущее компьютерных тренажеров: три тенденции развития .....	21
1.4. Заключение по главе 1 .....	23
<b>ГЛАВА 2. ПОСТРОЕНИЕ ТРЕНАЖЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ</b> .....	24
2.1. Технологический процесс смешения .....	24
2.2. Дедуктивная модель технологического процесса .....	26
2.2.1. Дедуктивное моделирование .....	27
2.3. Определение параметров и ненаблюдаемых переменных процесса .....	30
2.3.1. Задача построения статических тренажерных моделей .....	30
2.3.2. Параметры динамических тренажерных моделей .....	31
<b>ГЛАВА 3. НАСОС И КЛАПАН</b> .....	32
3.1. Описание технологического узла .....	35
3.2. Принципы управления .....	36
3.3. Измеряемые и управляющие переменные технологического узла и их значения в нормальном режиме работы .....	38
3.3.1. Измеряемые переменные (датчики) .....	38
3.3.2. Аналоговые управляющие параметры (регуляторы) .....	40

3.3.3. Дискретные управляющие параметры (операторские ключи)	40
3.4. Стандартные процедуры	41
3.4.1. Холодный старт	41
3.4.2. Нормальный останов	43
3.5. Тренировочные упражнения	44
3.5.1. Упражнение 1 – Отказ основного насоса воды Н-1А	45
3.5.2. Упражнение 2 – Отказ основного и резервного насосов воды Н-1/А, В	46
3.5.3. Упражнение 3 – Отказ клапана FV-110 на линии Е-2 в положении ОТКРЫТ	47
3.5.4. Упражнение 4 – Отказ клапана FV-110 на линии Е-2 в положении ЗАКРЫТ	49
3.5.5. Упражнение 5 – Колебания клапана FV-110 на линии откачки воды Е-2	50
<b>ГЛАВА 4. СИСТЕМА ЕМКОСТЕЙ</b>	<b>52</b>
4.1. Описание технологического узла	52
4.2. Принципы управления	53
4.3. Измеряемые и управляющие переменные системы емкостей и их значения в нормальном режиме работы	54
4.3.1. Измеряемые переменные (датчики)	54
4.3.2. Аналоговые управляющие параметры (регуляторы)	55
4.3.3. Дискретные управляющие параметры (операторские ключи)	55
4.4. Стандартные процедуры	56
4.4.1. Холодный старт	56
4.4.2. Нормальный останов	58
4.5. Тренировочные упражнения	59
4.5.1. Упражнение 1 – Отказ основного насоса воды Н-1А	60
4.5.2. Упражнение 2 – Самозапуск резервного насоса воды Н-1В	61
4.5.3. Упражнение 3 – Отказ основного и резервного насосов воды Н-1/А, В	61
4.5.4. Упражнение 4 – Отказ клапана LV-430 на линии откачки воды в положении ОТКРЫТ	63
4.5.5. Упражнение 5 – Отказ клапана LV-430 на линии откачки воды в положении ЗАКРЫТ	65
4.5.6. Упражнение 6 – Колебания клапана LV-430 на линии откачки воды	66

<b>ГЛАВА 5. ЦЕНТРОБЕЖНЫЙ КОМПРЕССОР</b> .....	68
5.1. Описание узла компримирования .....	70
5.2. Принципы управления .....	71
5.3. Измеряемые и управляющие переменные узла компримирования и их значения в нормальном режиме работы .....	72
5.3.1. Измеряемые переменные (датчики) .....	72
5.3.2. Аналоговые управляющие параметры (регуляторы) .....	73
5.3.3. Дискретные управляющие параметры (операторские ключи) .....	73
5.4. Стандартные процедуры .....	74
5.4.1. Холодный старт .....	74
5.4.2. Нормальный останов .....	76
5.5. Тренировочные упражнения .....	78
5.5.1. Упражнение 1 – Прекращение подачи рабочего газа .....	78
5.5.2. Упражнение 2 – Прекращение подачи пара к турбине .....	79
5.5.3. Упражнение 3 – Отказ клапана FV-130 на линии отвода газа в положении ОТКРЫТ .....	80
5.5.4. Упражнение 4 – Отказ клапана FV-130 на линии отвода газа в положении ЗАКРЫТ .....	81
5.5.5. Упражнение 5 – Отказ датчика регулятора давления PIRC-210 на низком показании .....	82
5.5.6. Упражнение 6 – Повреждение уплотнения компрессора .....	83
<b>ГЛАВА 6. СМЕСИТЕЛЬНЫЙ РЕЗЕРВУАР</b> .....	85
6.1. Описание технологического узла .....	86
6.2. Принципы управления .....	86
6.3. Измеряемые и управляющие переменные технологического узла и их значения в нормальном режиме работы .....	88
6.3.1. Измеряемые переменные (датчики) .....	88
6.3.2. Аналоговые управляющие параметры (регуляторы) .....	89
6.3.3. Дискретные управляющие параметры (операторские ключи) .....	89
6.4. Стандартные процедуры .....	90
6.4.1. Холодный старт .....	90
6.4.2. Нормальный останов .....	92
6.5. Тренировочные упражнения .....	93
6.5.1. Упражнение 1 – Отказ основного насоса воды Н-1А .....	93
6.5.2. Упражнение 2 – Отказ основного и резервного насосов воды Н-1 .....	94
6.5.3. Упражнение 3 – Отказ основного насоса уксусной кислоты Н-2А .....	96

6.5.4. Упражнение 4 – Отказ основного и резервного насосов уксусной кислоты .....	97
6.5.5. Упражнение 5 – Отказ основного насоса откачки смеси Н-3А .....	99
6.5.6. Упражнение 6 – Отказ основного и резервного насосов откачки смеси Н-3 .....	100
6.5.7. Упражнение 7 – Отказ датчика уровня LI-400 на нижнем показании .....	102
6.5.8. Упражнение 8 – Отказ датчика уровня LI-400 на верхнем показании .....	103
6.5.9. Упражнение 9 – Отказ клапана FV-120 на линии откачки смеси в положении ОТКРЫТ .....	104
6.5.10 Упражнение 10 – Отказ анализатора AI-520 (залипание на текущем показании) .....	105
<b>ГЛАВА 7. ТЕПЛООБМЕННИК</b> .....	107
7.1. Описание технологического узла .....	109
7.2. Принципы управления .....	111
7.3. Измеряемые и управляющие переменные узла нагрева и их значения в нормальном режиме работы .....	112
7.3.1. Измеряемые переменные (датчики) .....	112
7.3.2. Аналоговые управляющие параметры (регуляторы) .....	112
7.3.3. Дискретные управляющие параметры (операторские ключи) .....	112
7.4. Стандартные процедуры .....	113
7.4.1. Холодный старт .....	113
7.4.2. Нормальный останов .....	116
7.5. Тренировочные упражнения .....	116
7.5.1. Упражнение 1–Отказ насоса подачи продукта .....	117
7.5.2. Упражнение 2– Отказ насоса подачи теплоносителя .....	119
7.5.3. Упражнение 3 – Отказ датчика регулятора температуры нагретой воды TIRC330 на нижнем показании .....	121
7.5.4. Упражнение 4 – Отказ клапана регулятора расхода холодной воды FIRC100 в положении ОТКРЫТ .....	122
7.5.5. Упражнение 5 – Отказ клапана регулятора расхода холодной воды FIRC100 в положении ЗАКРЫТ .....	123
7.5.6. Упражнение 6 – Отказ клапана регулятора расхода теплоносителя FIRC110 в положении ОТКРЫТ .....	124
7.5.7. Упражнение 7 – Отказ клапана регулятора расхода теплоносителя FIRC110 в положении ЗАКРЫТ .....	125

7.5.8. Упражнение 8 – Низкая температура теплоносителя .....	126
7.5.9. Упражнение 9 – Протечка теплообменника .....	127
7.5.10. Упражнение 10 – Засорение теплообменника .....	128
<b>ГЛАВА 8. СЕПАРАТОР .....</b>	<b>129</b>
8.1. Описание технологического узла .....	131
8.2. Принципы управления .....	134
8.3. Измеряемые и управляющие переменные технологического узла и их значения в нормальном режиме работы .....	135
8.3.1. Измеряемые переменные (датчики) .....	135
8.3.2. Аналоговые управляющие параметры (регуляторы) .....	136
8.3.3. Дискретные управляющие параметры (операторские ключи).....	136
8.4. Стандартные процедуры .....	137
8.4.1. Холодный старт .....	137
8.4.2. Нормальный останов .....	139
8.5. Тренировочные упражнения .....	140
8.5.1. Упражнение 1 – Прекращение подачи сырья в Т-1 .....	140
8.5.2. Упражнение 2 – Отказ клапана регулятора расхода сырья FIRC-100 в положении ЗАКРЫТ .....	141
8.5.3. Упражнение 3 – Отказ клапана регулятора уровня LIRC-410 в положении ОТКРЫТ .....	143
8.5.4. Упражнение 4 – Отказ клапана регулятора уровня LIRC-410 в положении ЗАКРЫТ .....	143
8.5.5. Упражнение 5 – Отказ клапана регулятора давления PIRC-220 в положении ОТКРЫТ .....	144
8.5.6. Упражнение 6 – Отказ клапана регулятора давления PIRC-220 в положении ЗАКРЫТ .....	145
8.5.7. Упражнение 7 – Отказ датчика регулятора уровня LIRC-410 на верхнем показании .....	147
8.5.8. Упражнение 8 – Изменение состава сырья: увеличение содержания легкого компонента .....	148
8.5.9. Упражнение 9 – Снижение температуры теплоносителя в Т-1 .....	149
8.5.10. Упражнение 10 – Отказ датчика регулятора температуры TIRC-301 на верхнем показании .....	150
<b>ГЛАВА 9. МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕНИНГА ..</b>	<b>152</b>
9.1. Общее описание методического обеспечения .....	152
9.1.1. Общие сведения о программно-технических средствах тренинга .....	153

9.1.2. Описание пользовательского интерфейса .....	153
9.1.2.1. Роль человеческого фактора при создании графических экранов .....	154
9.1.3. Дисплеи .....	155
9.1.3.1. Экраны групп .....	155
9.1.3.2. Экраны детализовки точек .....	155
9.1.3.3. Экраны трендов .....	155
9.1.3.4. Экраны деталей упражнений (мнемосхемы) .....	155
9.1.3.4.1. Цветовые и поведенческие решения графических дисплеев – мнемосхем .....	156
9.1.3.4.2. Цветовые и поведенческие решения для объектов мнемосхем упражнений .....	157
9.1.4. Характеристика имитационных моделей .....	157
9.1.4.1. Анимационные модели .....	158
9.1.4.2. Тренинговые упражнения .....	158
<b>ГЛАВА 10. ЦВЕТОВЫЕ И ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ МНЕМОСХЕМ ТРЕНИНГОВЫХ УПРАЖНЕНИЙ .....</b>	<b>160</b>
10.1. Изображение, цветовые и поведенческие решения технологического оборудования .....	160
10.2. Таблица цветовых и поведенческих решений для надписей и сред .....	160
10.3. Оживление переменных процесса .....	161
10.3.1. Цветовые и поведенческие решения для аналоговой точки .....	161
10.3.2. Цветовые и поведенческие решения для регулирующего клапана .....	171
10.3.3. Цветовые и поведенческие решения для задвижек .....	175
10.3.4. Цветовые и поведенческие решения для отсечных клапанов .....	179
10.3.5. Цветовые и поведенческие решения для насосов .....	181
10.3.6. Таблица цветовых и поведенческих решений для кнопок перехода .....	183
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>186</b>
<b>СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЙ КОМПЬЮТЕРНОГО ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЯ ОТ А ДО Я .....</b>	<b>188</b>
<b>ВОПРОСЫ ПО ПРОЙДЕННОМУ МАТЕРИАЛУ .....</b>	<b>204</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА .....</b>	<b>205</b>

## ВВЕДЕНИЕ

В последнее десятилетие в нашей республике внедрены и находятся на стадии внедрения инновационные в технологическом отношении производства, такие как производства Шуртанский газохимический комплекс (ШГХК), Устюртский газохимический комплекс (УГХК), ОАО «Фергана Азот», Кунградский содовый завод и др.

Так, например, облик Шуртанского газохимического комплекса нашей страны определяют технологические процессы получения этилена, полиэтилена соответствующих производств, внешние установки складирования сырья и материалов, сооружения внутривозовского транспорта, специальное энергоемкое оборудование, принимающие, преобразующие и аккумулирующие установки и устройства и другое вспомогательное оборудование.

Неотъемлемой составной частью, обеспечивающей и поддерживающей функционирование современного производства, являются различные системы автоматизации (АСУ ТП, АСУ ЭНЕРГО, АСУ КАЧЕСТВА, АСУ СБЫТ, АСУ КАДРЫ, АСУТП), призванные в итоге обеспечивать общезаводской уровень решения задач эффективного производства. На такие системы возлагаются задачи эксплуатации и развития предприятия с учетом изменений условий функционирования, предъявляемых как внешней средой (конъюнктура рынка, экологическая обстановка), так и внутренними задачами (необходимость модернизации агрегатов, АСУТП, проведения реинжиниринга задач управления и бизнес-процессов).

В решении возникающих при этом проблем все большее значение приобретают системность и взаимосвязанность различных аспектов деятельности предприятия.

Сложность функционирующего промышленного оборудования, значительный объем поступающей в систему управления информации, небольшое время для принятия управленческих решений зачастую обуславливают несоответствие возможностей человека требованиям эффективного управления объектом. Выход состоит в создании компьютерных систем поддержки операторов для оперативного управления объектами, контроля за правильностью функционирования автоматических систем и прогнозирования развития ситуации на объекте. Разрабатываемые системы поддержки операторов чаще всего в виде компьютерных тренажеров должны опираться на высокий уровень автоматизации и интеллектуализации объекта, что позволит снизить нагрузку на оператора, повысить эффективность его действий и увеличить надежность функционирования системы.

Для создания интеллектуализированных компьютерных систем поддержки операторов необходимо интегрировать в единое целое традиционные алгоритмические методы управления сложными объектами и парадигму интеллектуальных технологий. При этом алгоритмические методы используются в том случае, когда знания имеют четкую, формализованную форму, а методы искусственного интеллекта – при решении целого ряда неформализованных задач, возникающих в процессе управления сложными динамическими системами.

Такие задачи характеризуются неполнотой, неоднозначностью, неопределенностью исходной информации и используемых правил ее преобразования. К ним можно отнести:

- оценку ситуации (обстановки);
- прогноз поведения объекта в штатном режиме;
- прогноз развития аварийных ситуаций;
- синтез и оценку возможных действий и выбор наилучших из них и т.д.

Отличительной особенностью интеллектуальных систем является способность к планированию поведения, адаптации и

обучению. Для реализации этих возможностей интеллектуальные системы наделены развитой иерархической структурой управления. При этом выделяются, как минимум, три ступени иерархии: уровень стратегии, уровень задач и уровень-компонент (модулей, подсистем).

Наиболее высокий уровень (ступень стратегий) определяет очередность, выполнение или приостановку решения задач, а также организует взаимодействие между ними. Если на этом уровне некоторые задачи выбраны для выполнения, то на средней ступени (уровне задач) определяется, какие компоненты должны работать для того, чтобы решить ту или иную задачу. Наконец, на самой низкой ступени (уровне компонента) происходит управление работой компонента, который решает отдельные подзадачи.

В данном учебном пособии, ориентированном на обучение студентов теоретическим основам технологических процессов химических и нефтехимических производств и их имитационному моделированию и автоматизированному управлению, рассматривается базовый уровень – уровень-компонент.

Ознакомление с данным базовым уровнем позволит получить основные знания и принципы работы технологического оборудования и алгоритмов управления между отдельными узлами.

*Уважаемый студент и будущие операторы!*

Тренажерные модели базовых технологических узлов разработаны для того, чтобы помочь Вам лучше понять процессы и работу оборудования в типовых аппаратах, входящих в состав крупных установок, а также выработать навыки безопасного и эффективного управления.

Настоящее учебное пособие, написанное в форме руководства по обучению, призвано помочь в освоении шести базовых технологических узлов промышленных производств:

- Насос и клапан;

- Система емкостей;
- Центробежный компрессор (упрощенная модель);
- Смесительный резервуар;
- Теплообменник;
- Сепаратор.

По каждому из вышеперечисленных средств настоящее пособие содержит схему и краткое описание моделируемого технологического узла, принципы управления, перечни измеряемых переменных, управляющих параметров и инструкторских ключей, описание стандартных процедур (пуск, останов).

В тренажере на станции оператора воспроизводится операторская среда типовой распределенной системы управления технологическим процессом, что должно позволить легко диагностировать и устранять неисправности оборудования и нарушения режимов его работы.

До начала изучения на тренажере базовых технологических узлов рекомендуем познакомиться со структурой операторского интерфейса и принципами управления процессом с использованием компьютерной системы управления.

# ГЛАВА 1. ИСТОРИЯ, СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТРЕНАЖЕРОВ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ОПЕРАТОРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ИНЖИНИРИНГА

## 1.1. Особенности компьютерного тренинга операторов технологических процессов

Опыту внедрения компьютерных тренажеров (КТ) для обучения операторов непрерывных технологических процессов (ТП) посвящено большое число работ ([1–6] и библиография в работе [7]). Будучи продуктом, интегрирующим сразу несколько ключевых информационно-вычислительных технологий, КТ всегда зависели от уровня их развития. Представляется целесообразным в этой связи проанализировать современное состояние и тенденции развития тренажерных продуктов на фоне исторической ретроспективы компьютерного тренинга операторов.

Под КТ в нерасширительном толковании принято понимать программно-аппаратные средства, обеспечивающие моделирование и представление в реальном времени хода ТП в целях развития у операторов навыков правильного и безопасного управления процессами (перцептивных, сенсомоторных и, прежде всего, интеллектуальных). Такое понимание позволяет, с одной стороны, вынести за пределы рассмотрения столь распространенные и нередко также именуемые тренажерами компьютерные системы тестирования и экзаменирования, автоматизированные учебники и т.п., а с другой – отвлечься от известных инжиниринговых приложений имитационного моделирования ТП (конструирование, анализ и диагностика процессов, проверка и настройка систем управления, балансировка и верификация данных и пр.) [7].

В таком контексте КТ должны включать в себя все необходимые компоненты для решения задачи тренинга операторов – соб-

ственно тренажерную модель процесса, программно-аппаратную платформу для моделирования, необходимые рабочие места и пользовательские интерфейсы участников тренинга (обучаемого и инструктора).

Непрерывные (отчасти и непрерывно-дискретные) технологии отличаются сложной и глубокой динамикой (объекты «помнят» внешние воздействия несколько часов) и, как правило, отсутствием стремительно развивающихся процессов. Это определяет, с одной стороны, сложность построения адекватных динамических моделей, а с другой – возможность управления процессами в отсутствии жесткого дефицита времени. Согласно предложенной Й. Расмуссеном классификации действий оператора по уровню их автоматизации [8], в условиях острого дефицита времени оператор работает преимущественно *на навыках* (часто – сенсомоторных); при недостатке времени на анализ ситуации – *на правилах* («что делать, если формальные признаки ситуации таковы?»); наконец, при достаточном временном ресурсе для принятия решений – *на знаниях*, что обеспечивает принципиально иной качественный уровень управления, но и требует от оператора несравненно более глубокой подготовки.

Однако в любом случае весь объем получаемой оператором информации имеет внешний экстероцепторный характер, что принципиально отличает рассматриваемый класс ТП от такого традиционного объекта компьютерного тренинга, как авиация (быстрая динамика, дефицит времени на восприятие, анализ и коррекцию ситуации, большой объем кинестетической информации – ощущение движения, положение тела и пр.) [9]. В то же время непрерывные ТП характеризуются сравнительно низкой опасностью для человеческой жизни и окружающей среды), но весьма существенной материальной составляющей потерь от аварий и некачественного управления. В этих условиях основная задача компьютерного тренинга операторов состоит в предотвра-

щении потерь и повышении экономичности и эффективности ведения процессов.

Наконец, отметим относительно либеральное законодательство в области использования КТ в ключевых отраслях промышленности (кроме атомной энергетики [10]). Хотя указанные предписания иногда имеют и обязательный характер [11], все же они значительно мягче требований, например, для гражданской авиации [12].

## **1.2. Компьютерные тренажеры для обучения операторов: три этапа развития**

Отвлекаясь от так называемого «письменного» или «предкомпьютерного» этапа тренинга операторов, сводившегося к предъявлению обучаемому рисунков с различными состояниями измеряющих и регулирующих приборов [13] или к использованию копий реальных щитов с добавлением простейших электрических схем, имитирующих отклик регулирующих органов на действия оператора, можно выделить три поколения КТ.

### **1.2.1. Тренажеры на базе аналоговых и больших цифровых вычислительных машин (60-70-е годы XX века)**

Типовой тренажер этих лет, основанный на аналоговой ЭВМ, стоил порядка 250 тысяч долл. (0,9–1,2 млн. долл. в сопоставимых ценах) и включал около 15 контроллеров [14]. Конструктивно он представлял собой фрагменты щитов и панелей управления, соединенных с ЭВМ, на которой просчитывались элементарные реакции измеряемых переменных процесса на действия обучаемого (направление изменения сигнала, срабатывание схем блокировок и защит и т.п.). Глубина обучения на таких КТ соответствовала возможностям его аппаратной платформы. Ситуация принципиально не изменилась и с появлением в составе тренажеров первых цифровых компьютеров.

Решающая причина ограниченных возможностей КТ на данном этапе определялась невыгодным соотношением вычислительных возможностей и цены компьютеров. Сколько-нибудь качественное математическое описание типичного по сложности процесса оперирует несколькими тысячами дифференциальных и алгебраических уравнений, численное интегрирование которых должно осуществляться до нескольких раз за секунду. В существовавших в рассматриваемый период условиях такие вычисления были возможны только на дорогостоящих «суперкомпьютерах». Разработчикам приходилось жертвовать цельностью модели, заменяя ее набором, по существу, не связанных фрагментов и разбивая тренинг на автономные упражнения, каждое из которых не позволяло проследить поведение объекта в целом. Неслучайно, что в смежных отраслях (гражданская авиация, космонавтика), где необходимость тренинга определялась далеко не только экономическими соображениями, а сами модели с динамической точки зрения были не столь сложны, тренажеры в тот период были значительно более продвинуты. Немаловажно также, что в указанный период оставались практически неразвитыми и средства компьютерного эмулирования пользовательских интерфейсов и средств человеко-машинного взаимодействия и, следовательно, для воссоздания адекватной управляющей среды приходилось использовать дорогостоящие элементы реальных щитов и панелей регулирования. (Особое положение в этом плане имеет место в атомной энергетике, где большой объем логической информации и особое устройство управляющих щитов заставляет разработчиков тренажеров использовать именно копии щитов. Так, по данным открытого списка КТ для атомной энергетике [<http://www.albany.net/~dmills/stable.htm>] более 90% тренажеров выполнены в форме реплики реальной системы управления.)

### 1.2.2. Мощные цифровые компьютеры: первые персональные компьютеры (70–80-е годы XX века)

Компьютерная революция (резкое повышение производительности на фоне удешевления, бурное развитие периферийных устройств, появление рабочих станций) вдохнула новую жизнь в тренажерную практику. На этом этапе практически все оперирующие нефтяные, химические и фармакологические компании мира обзаводятся тренажерными комплексами (Shell, Texaco, Du Pont, Sun, Exxon, Arco, Union Carbide, British Petroleum, Procter & Gamble и многие другие); на рынке конкурируют продукты 5–7 крупнейших производителей КТ. Появляются новые качественные элементы тренажерных комплексов: эмулируемые на компьютере операторские интерфейсы, станции инструктора, обеспечивающие в многозадачном режиме мониторинг и вмешательство в ход моделируемого процесса со стороны независимо работающего инструктора обучения. В результате качество самих тренажерных моделей и методическая база тренинга существенно повысились.

Два ключевых обстоятельства совпали по времени с рассматриваемым этапом: широкое распространение на предприятиях бесщитовых распределенных систем управления (PCY) и появление первых персональных компьютеров.

Сама природа операторского интерфейса в PCY органично соответствовала компьютерной технологии КТ. Это, с одной стороны, облегчало для операторов и технологов освоение тренажерной среды, а с другой – напротив, делало КТ незаменимым средством подготовки оператора к переходу на бесщитовой способ управления. По приводимым данным [15, 16], использование тренажеров на этапе подготовки к пуску установки или новой системы управления позволяет сократить период перехода на несколько дней, что означает огромную



экономии средств, с лихвой окупающую все затраты на тренажеры. Технически реализация операторских интерфейсов РСУ в рамках КТ осуществлялась либо путем включения в тренажеры операторских консолей системы управления, либо путем эмуляции интерфейсов средствами тренажерных компьютеров.

Первый КТ на персональном компьютере (ПК) увидел свет в 1981 году [14] и открыл эру относительно дешевых «массовых» тренажеров для учебных центров предприятий. Специализирующаяся на их производстве американская фирма Atlantic Simulation, Inc. установила в период 80-х годов XX века порядка 200 таких комплексов по всему миру; при этом библиотека типовых моделей в области нефтехимии и нефтепереработки насчитывала порядка 30 позиций. Конечно, возможности ПК этого периода не позволяли реализовывать крупномасштабные тренажерные проекты, и на рынке предложений КТ обозначилось четкое разделение – дешевые комплексы на базе ПК для учебных центров и дорогостоящие КТ на больших машинах для крупномасштабных тренажерных проектов конкретных технологических процессов. Указанное разделение проявлялось при этом не только в цене, но и в целях обучения, глубине и специализации приобретаемых знаний, точности описания объектов. Перенос тренажеров на ПК означал также принципиальную возможность использовать их на рабочем месте технологов, инженеров, специалистов контрольно-измерительных приборов и автоматики (КИП и А) – для компьютерной поддержки инжиниринговых решений (анализ процессов, расшивка узких мест, выбор оптимальных режимов, проверка и настройка систем управления).

Стоимость тренажерных моделей на этом этапе варьирует от порядка 10–15 тысяч долл. за простейшие базовые модели до нескольких сотен тысяч за специализированную модель технологической установки примерно с 80–100 котроллерами.

### 1.2.3. Мощные персональные компьютеры, вычислительные сети, новые средства управления технологическими процессами (80–90-е годы XX века)

Современный этап развития КТ характеризуется настоящим прорывом в области технических и системных возможностей персональных компьютеров. Работая на мощных процессорах в условиях практически неограниченной памяти и многозадачной операционной среды, разработчики тренажеров практически не ощущают разницы между ПК и большими машинами, возможности которых также существенно возросли. Более того, некоторые системные программные утилиты (графические редакторы, конфигураторы динамических управляющих элементов и диалогов) уже сейчас более развиты для ПК. На сегодня за большими машинами остались только «супермодели» – тренажеры, охватывающие целые производства. *(Стоимость таких систем, включающих тысячи измеряемых переменных и сотни регуляторов, обычно составляет 1–1,5 млн. долл., но может достигать и 4 млн.)* Выгода указанного разделения несомненна – резкое удешевление тренажерной платформы за счет перехода на ПК делает проекты более конкурентоспособными.

Гибкая архитектура ПК позволяет также с легкостью разрешать конфигурационные проблемы: в вычислительной сети современных КТ легко размещаются несколько рабочих мест оператора, рабочая станция инструктора, инженера, технолога и т.п.

Тенденции в развитии систем управления процессами, явно прослеживаемые в последние годы, состоят в появлении конкурирующих с РСУ средств. И хотя РСУ до сих пор остаются ключевым инструментом управления, все больше на предприятиях представлены программируемые логические контроллеры (PLC), системы визуализации данных и супервизорного управления (SCADA) и ряд других средств со специфическими пользовательскими интерфейсами. В этом плане гибкость КТ по возмож-

ности эмулирования различных стандартов отображения информации и управления процессом становится ключевым моментом и может привести к вытеснению КТ с использованием реальных консолей. Вместе с тем требования точного совпадения свойств моделируемых контроллеров с реальными могут диктовать необходимость «жесткой» связи РСУ и КТ [2].

Большие возможности открылись и перед разработчиками тренажеров для инжиниринговых целей. Лишенные требований точного эмулирования операторских интерфейсов и поддержания сетевой работы нескольких рабочих станций, такие системы представляют собой гибкие моделирующие средства для поддержания технологических и технических решений специалистов среднего звена управления (технологов, инженеров, экономистов, специалистов по технике безопасности). Такие продукты (как динамические, так и статические) предлагаются многими разработчиками, в том числе лидерами в области математического моделирования процессов (Aspen Technology, Inc., Hyprotech, Universal Solutions, Inc., Simulation Sciences, Inc. и др.). Возникшие автономно в форме автоматизированных рабочих мест технологов и инженеров, эти системы постепенно обрастают «тренажерными» аксессуарами и превращаются в одну из ветвей общего направления развития КТК.

На сегодня в мире существует несколько современных тренажерных платформ, разработанных и поддерживаемых основными мировыми производителями КТ (ABB Simcon, Inc., Honeywell SACDA, Inc., CAE Link, Inc. и ряд др.). Отметим также продукты, предлагаемые не столь крупными производителями. Среди них мощная платформа моделирования реального времени разработки фирмы SAST (Special Analysis and Simulation) [<http://www.ast.co.uk>]; модели для нефтехимии и нефтепереработки фирмы Simtronics Corporation ATR (Applied Training Resources) [<http://www.atrco.com>]; продукты фирмы SDI (Simulation Dynamics Inc.) [<http://www.simulationdynamics.com>] для таких специальных

областей, как мыловарение и пивоварение [17]; тренажеры для атомной энергетики концерна Siemens [<http://www.siemens.co>] и фирмы Micro-Simulation Technology [<http://www.microsimtech.com>]; продукты фирмы GSE (химия, пищевая промышленность, фармакология) [<http://www.gseps.com>]; CAPE Software [<http://www.capesoftware.com/>] и, наконец, тренажеры концерна VTT [<http://www.vtt.fi>] для целлюлозно-бумажного производства, традиционного потребителя КТ [18, 19].

О не столь богатом, но интересном опыте внедрения КТ в странах СНГ см. работу [6]. Там же описана первая российская разработка третьего поколения – многофункциональный компьютерный тренажерный комплекс (КТК-М), выполненный в ИПУ РАН.

### **1.3. Будущее компьютерных тренажеров: три тенденции развития**

До самых последних лет разработка КТ представляла собой ярко выраженное «многоборье», в котором основные производители предпочитали выполнять самостоятельно все основные компоненты тренажеров – аппаратно-программные платформы, тренажерные модели, эмуляторы операторских интерфейсов и пр. Это, хоть и позволяло надежно оберегать «ноу-хау», но абсолютно не способствовало выработке общих стандартов на тренажерные продукты, да и не обеспечивало высшего качества указанных отдельных компонентов.

Как отмечалось в предыдущем разделе, многие разработчики из соседних секторов (модели для инжиниринга, эмулируемые операторские интерфейсы, платформы моделирования реального времени) стали проявлять все больший интерес к тренажерным качествам своих продуктов. В то же время неблагоприятная экономическая конъюнктура в некоторых ключевых для тренажерного бизнеса отраслях (особенно в нефтяной) ослабила конкурентоспособность дорогостоящих КТ от традиционных произ-

водителей. Не усиливаются в последние годы и позиции производителей PCY, объективно наиболее заинтересованных в продвижении тренажерных продуктов на производство.

В этих условиях не случайно появление точки зрения, согласно которой эра так называемых «полномасштабных» тренажеров подходит к концу [20]. В этом случае за традиционными КТ останутся только редкие и дорогостоящие проекты (до 2 млн. долл.), связанные с вводом в строй новых огромных производственных мощностей стоимостью в сотни миллионов долларов, или тренажерные программы для чрезвычайно опасных производств. Основной же массив тренажерных продуктов будет выполняться на базе значительно более дешевых «дизайновых» моделей, разрабатываемых для целей технологического инжиниринга. По существующим оценкам, новые продукты будут на 80% обладать свойствами полномасштабных тренажеров, но придется по карману большинству потенциальных пользователей.

Косвенным подтверждением обоснованности таких рассуждений могут служить наблюдаемые в последние месяцы альянсы между крупными разработчиками динамических моделей ТП и обладателями специфических тренажерных технологий, например, между фирмами Simulation Sciences Inc. и SAST (их совместный продукт PROTISS на базе моделирующего пакета PRO/II и упомянутой выше платформы OTISS уже представлен на рынке [21]). Также близки к соглашению мировой производитель моделей Aspen Tech. и тренажерный разработчик CAE-Link.

Другая важная тенденция в разработке КТ связана с бурно развивающимися OLE технологиями [22]. Преимущества такого подхода очевидны – как с точки зрения выработки общего стандарта тренажерных продуктов, так и по возможностям объединения в КТ уже существующих разнообразных продуктов разных производителей – библиотек моделей, операторских интерфейсов, наработанных упражнений и пр.

Наконец, третье принципиальное новшество состоит в изменении самого подхода к КТ. Если раньше компьютерный тренинг операторов мыслился как самостоятельная задача, требующая специфической технической и программной реализации, то сейчас он рассматривается как одно из звеньев так называемой «оптимизации реального времени» (on-line optimization) [23]. Соответственно, по-другому понимается связь тренинга с задачами инжиниринга; общие модели используются при таком подходе для обучения операторов, прогнозирования реакции реального объекта, настройки системы управления, исследования технологических режимов, верификации измеряемых данных и других задач.

#### **1.4. Заключение по главе 1**

Разработки КТ переживают переломный момент своего развития. Позади три десятилетия интенсивных исследований, несколько поколений тренажерных продуктов, тысячи установленных КТ. Налицо – вызовы рынка, требующие существенного удешевления продуктов, их интеграции в новые технические и информационные системы управления производством. Необходимость все более глубокой подготовки производственного персонала и все более мощных инструментов компьютерной поддержки управленческих решений очевидна. Разработчикам тренажеров предстоит решить эти новые задачи. В этом смысле попытка проанализировать современное состояние проблемы на фоне истории развития КТ представляется небесполезной и глубоко поучительной.

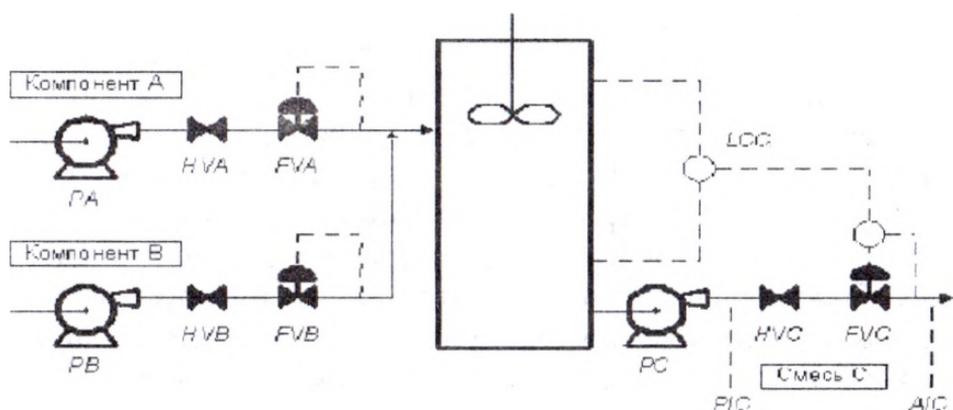
## **ГЛАВА 2. ПОСТРОЕНИЕ ТРЕНАЖЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

### **2.1. Технологический процесс смешения**

Общепринято, что в основе тренажеров должны лежать так называемые «дедуктивные» модели технологического процесса, исходящие из фундаментальных принципов устройства и функционирования технологических объектов. Их создание, хоть и представляет собой чрезвычайно трудоемкую задачу, облегчается огромным заделом в области математического моделирования ТП и аппаратов. В первые десятилетия тренажеростроения (70-80-е годы прошлого века) такие модели разрабатывались в рамках каждого тренажерного проекта с использованием объектно-ориентированного программирования, реализующего библиотеки базовых и структурных технологических элементов, программ расчета физико-химических характеристик технологических сред и др. компонент-моделей. Однако к началу 90-х годов XX века все серьезные разработчики тренажеров обзавелись универсальными конфигураторами моделей, сводящими процесс построения тренажера к конфигурации технологической схемы из заранее созданных модулей. В библиотеке таких модулей содержатся основные узлы и аппараты химической технологии (колонны, реакторы, печи, теплообменники, сепараторы, компрессоры и пр.), и задача разработчика – создать и настроить гидравлическую сеть, в узлах которой располагается необходимое оборудование. Таким образом, наиболее трудоемкая часть построения тренажерной модели сводится к предварительной разработке мощной библиотеки технологических модулей, позволяющих добиться глубокого и адекватного поведения моделируемого процесса.

Имея в виду пояснить принципиальное устройство таких технологических модулей, воспользуемся наглядным примером ап-

парата смешения (рис.2.1). Аппарат содержит две линии подачи компонентов А и В, соответственно, с насосами РА и РВ, отсечными клапанами НVA и НVB, регулирующими клапанами расхода FVA и FVB; а также линию отвода смеси с насосом РС, отсечным клапаном НVC и регулирующим клапаном расхода FVC, управляемым в каскаде от регулятора уровня в емкости LCC. На выходе смеси из аппарата измеряются: концентрация по компоненту А – датчиком АIC и давление нагнетания насоса смеси – датчиком PIC. Процесс протекает при неизменной температуре и атмосферном давлении в емкости смешения.



**Рис. 2.1.** Технологический процесс смешения

Сосредоточимся именно на модели технологического процесса (далее – МП), имея в виду, что в тренажере она дополняется моделью измерения и преобразования информации (далее – МИП) и моделью исполнительных механизмов (далее – МИМ).

## 2.2. Дедуктивная модель технологического процесса

Дедуктивная модель процесса химико-технологического типа обычно принимает вид системы алгебраических и дифференциальных уравнений, часто существенно нелинейных и с ограничениями на переменные. Пусть  $x(t)$  – вектор моделируемых переменных (физических величин – выходов МП, но не их измерений в МИП);  $u(t)$  – вектор управляющих воздействий (выходов МИМ);  $w(t)$  – вектор доступных для изменения возмущений нормального хода процесса (температура окружающей среды, наличие примесей в сырье, статус элементов основного оборудования, например, варьируемые инструктором в ходе обучения);  $\Psi = (\zeta^T, \zeta^T)^T$  – вектор, содержащий, соответственно, статические  $x$  и динамические  $z$  параметры модели. Под статическими будем понимать параметры, определяемые из условий поддержания стационарных состояний модели, такие как скорости реакций, геометрические характеристики аппаратов и т.п., а под динамическими – параметры, определяющие скорость переходных процессов в объекте при наличии в нем материальных и энергетических дисбалансов, такие как скорость выравнивания концентрации во всем объеме смеси при изменении соотношения компонент; скорость установления уровня в емкости при скачкообразном изменении расхода одного из смешиваемых потоков и др.

Динамическое поведение моделируемого объекта представляется тогда следующим образом:

$$dx(t)/dt = F_i(x(\bullet), u(\bullet), w(\bullet), Y), \quad (2.1)$$

$$H_i(x(\bullet), u(\bullet), w(\bullet), Y) \neq 0, \quad (2.2)$$

$$G_i(x(\bullet), u(\bullet), w(\bullet), Y) = 0, \quad (2.3)$$

где  $F_i(\bullet)$ ,  $H_i(\bullet)$ ,  $G_i(\bullet)$  – операторы на пространстве вектор-функций, соответственно, для дифференциальной части, ограничений на переменные и алгебраической части модели.

Очевидно, что формально условие (2.3) можно рассматривать как частный случай условия (2.2), когда одновременно имеют

место неравенства  $G_f(x(\bullet), u(\bullet), w(\bullet), \Psi) \leq 0$  и  $G_f(x(\bullet), u(\bullet), w(\bullet), \Psi) \leq 0$ .

Свойства большинства процессов химико-технологического типа позволяют говорить о выполнении в модели (2.1), (2.2) следующих трех принципиальных требований:

1) Требование *единственности* решения  $x(\tau)$ ,  $\tau \in (t_0, t]$  для каждой реализации начальных условий  $x(t_0)$  и заданных траекторий управлений и возмущений  $u(\tau)$ ,  $w(\tau)$ ,  $\tau \leq t$ .

2) Требование *конечности* решения  $x(\tau)$ ,  $\tau \in (t_0, t]$ , при конечных управлениях и возмущениях  $u(\tau)$ ,  $w(\tau)$ ,  $\tau \leq t$  (т.е. ограниченность материальных и энергетических потоков на входе процесса определяет ограниченность его физических переменных).

3) Требование *продолжаемости* процесса во времени, означающее, что решение системы (2.1), (2.2) существует при любом  $t > t_0$ .

Смысл последнего требования поясним на простом примере. Решение уравнения  $dx(t)/dt = \exp(x(t))$  при  $x(t_0) = x_0$ , имеющее вид  $x(t) = -\ln(\exp(x_0) - t)$ , определено только для  $t < \exp(x_0)$  и при  $t \rightarrow \exp(x_0)$   $x(t) \rightarrow \infty$ . На практике такое поведение эквивалентно физическому разрушению соответствующего объекта, но на уровне тренажерной модели требование продолжаемости исключает описанную возможность.

В общих чертах конструктивная методика построения дедуктивной модели описана ниже.

### 2.2.1. Дедуктивное моделирование

Дедуктивное моделирование предполагает выяснение основных физических закономерностей функционирования отдельных узлов процесса и их взаимодействия. Эти закономерности получаются в форме системы дифференциальных и алгебраических уравнений и алгебраических неравенств, вообще говоря нелинейных, и характеризуют процесс в целом, а не отдельные его

режимы. Введение в модель стохастических элементов, как правило, не практикуется, за исключением случаев, когда сам механизм описания процесса принимает вероятностный характер (как, например, в модели процесса каталитического риформинга, где разрыв углеводородных связей парафиновой части сырья случаен).

Всякое дедуктивное моделирование, очевидно, начинается с определения значений физических потоков по получаемым из МИМ положениям непрерывных и дискретных исполнительных механизмов. Для рассматриваемого примера можем определить потоки компонентов А и В и смеси С в следующем виде:

$$F_A(t) = \kappa_A * PA(t) * HVA(t) * FVA(t) * (P_A - 1)^{1/2}, \quad (2.4a)$$

$$F_B(t) = \kappa_B * PB(t) * HVB(t) * FVB(t) * (P_B - 1)^{1/2}, \quad (2.4b)$$

$$F_C(t) = \kappa_C * PC(t) * HVC(t) * FVC(t) * (P_C(t) - 1)^{1/2}, \quad (2.4c)$$

где  $\kappa_A, \kappa_B, \kappa_C$  – характеристики клапанов,  $P_A, P_B, P_C$  – давления нагнетания соответствующих насосов (в рассматриваемом простом случае  $P_A$  и  $P_B$  будем считать постоянными, а  $P_C(t)$  определим в МП).

При расчете потока смеси  $F_C(t)$  кроме того необходимо учитывать уровень в емкости смешения, поскольку при отсутствии жидкости образовать поток смеси нельзя. Требуемые в МП единицы измерения физических потоков  $F_A(t), F_B(t), F_C(t)$  получают путем выбора надлежащих значений коэффициентов  $\kappa_A, \kappa_B, \kappa_C$ .

После определения физических потоков дедуктивное моделирование позволяет описать следующие связи для текущего объема, выходной концентрации по компоненту А, уровню и давлению нагнетания сырья:

$$dV(t)/dt = F_A(t) + F_B(t) - F_C(t), \quad (2.5)$$

$$X_{IN}(t) = F_A(t) / (F_A(t) + F_B(t)), \quad (2.6)$$

$$\{1 - \exp(-\zeta_N * z_M(t) * (F_A(t) + F_B(t)) / V(t))\}, \quad (2.7)$$

$$L(t) = V(t) / S, \quad (2.8)$$

$$dP_c(t)/dt = \zeta_p * \{ P_{НОМ} * PC(t) + 1 - P_c(t) - \zeta_p * F_c(t) \}, \quad (2.9)$$

$$V(t) \leq V_0, \quad 0 \leq X_{OUT}(t) \leq 1. \quad (2.10)$$

Здесь:  $X_{IN}(t)$  – текущая концентрация по компоненту А общего входного потока;  $X_{OUT}(t)$  – концентрация смеси по компоненту А;  $L(t)$  – уровень жидкости в аппарате;  $V(t)$  – накопленный объем жидкости в аппарате;  $P_c(t)$  – давление нагнетания насоса смеси (давлением столба жидкости в уравнении (2.9) пренебрегаем);  $z_M(t)$  – признак работы мешалки (для простоты,  $z_M(t) = 1$  для включенной мешалки и  $z_M(t) = 0$  для выключенной);  $P_c(t)$  – статус насоса смеси;  $V_0$  – полный объем аппарата;  $S$  – площадь горизонтального сечения аппарата;  $P_{НОМ}$  – давление, соответствующее полному напору насоса смеси;  $\zeta_{пр}$ ,  $\zeta_X$ ,  $\zeta_p$  – статические и динамические параметры модели.

Смысл множителя:

$$B(t, \zeta_X) = \{ 1 - \exp(-\zeta_X * z_M(t) * (F_A(t) + F_B(t)) / V(t)) \}$$

в дифференциальном уравнении концентрации смеси (2.7) таков. Чем больше  $\zeta_X$  и вес входного потока по отношению к накопленному объему жидкости, тем быстрее концентрация смеси  $X_{OUT}(t)$  приближается к концентрации входного потока; и, наоборот, чем меньше  $\zeta_X$  и  $B(\bullet)$ , тем медленнее идет процесс выравнивания концентраций. Что же касается других параметров модели, то статический коэффициент  $\zeta_p$  определяет гидравлическое сопротивление насоса смеси, а динамический коэффициент  $\zeta_p$  – скорость изменения давления нагнетания насоса при колебаниях выходного потока  $F_c(t)$  или сменах статуса  $P_c(t)$ .

## 2.3. Определение параметров и ненаблюдаемых переменных процесса

### 2.3.1. Задача построения статических тренажерных моделей

Статические параметры могут быть определены из решения статической системы уравнений и неравенств

$$F(x^*, u^*, w^*, \zeta^*) = 0, \quad (2.11)$$

$$H(x^*, u^*, w^*, \zeta^*) \leq 0 \quad (2.12)$$

относительно вектора статических параметров  $\zeta^*$  и ненаблюдаемой части вектора выходов  $x^*$  при регламентных стационарных значениях управлений  $u^*$ , возмущений  $w^*$  и наблюдаемой части вектора выходов  $x^*$ . Динамические параметры  $\zeta$  на решение системы (2.11), (2.12) не влияют и определены из него быть не могут; а деление вектора  $x^*$  на наблюдаемую и ненаблюдаемую части решается исходя из условий конкретной модели и будет обсуждено ниже.

В рассматриваемом примере статический вариант системы (2.5)–(2.10) принимает вид

$$F_A^* + F_B^* - F_C^* = 0, \quad (2.13)$$

$$X_{IN}^* = F_A^* / (F_A^* + F_B^*), \quad (2.14)$$

$$X_{IN}^* = X_{OUT}^*, \quad (2.15)$$

$$L^* = V^* / S, \quad (2.16)$$

$$P_{НОМ} + 1 - P_C^* - (\zeta P^*)^* F_C^* = 0, \quad (2.17)$$

$$V^* \leq V_\theta, \quad 0 \leq X_{OUT}^* \leq 1, \quad (2.18)$$

где по регламенту задаются потоки  $F_A^*$ ,  $F_B^*$ ,  $F_C^*$ ; уровень  $L^*$  (с учетом характера измерения уровня; концентрация смеси  $X^{OUT*}$ ; константы  $P_{НОМ}$ ,  $V_\theta$ ,  $S$  и статус насоса  $PC = 1$ ). Из системы (2.13) – (2.18) определяются ненаблюдаемые переменные накопленного объема  $V^*$  и входной концентрации  $X_{IN}^*$ , а также статический параметр  $\zeta^*$ .

При решении статической задачи необходимо учитывать неточность (а иногда и противоречивость) регламентных данных или возможность их отсутствия. В частности, определенные согласно (2.14) и (2.15) величины входной концентрации должны соответствовать друг другу; должно также удовлетворяться условие материального баланса (2.13). В противном случае необходимо попытаться составить другой набор наблюдаемых переменных или привлечь методы балансировки и верификации данных. При определении наблюдаемых и ненаблюдаемых переменных статической системы надо иметь в виду различные случаи соотношения количества значимых уравнений и числа определяемых переменных и статических параметров. Если число уравнений равно числу неизвестных (как в рассматриваемом примере), система решается однозначно. Если неизвестных больше, чем уравнений, необходимо привлечь новые статические уравнения (например, отвечающие другому стационарному режиму). Это будет способствовать также привязке определяемых статических параметров к поведению процесса в нескольких разных стационарных режимах. Если, наконец, независимых уравнений больше, чем неизвестных, то область решения статической системы может оказаться пустой. Тогда как и при отсутствии решения из-за ограничений (2.18) может потребоваться возвращение к этапу дедуктивного моделирования для модификации структуры модели.

### **2.3.2. Параметры динамических тренажерных моделей**

Коэффициенты, описывающие скорость переходных процессов от одного стационарного состояния объекта к другому, естественно, не могут быть определены из решения статической задачи. Если их значения никак не следуют из регламентных данных (как, например, при определении скорости изменения накопленного объема при заданных входных и выходных потоках в аппарате), то их получают путем наблюдения за поведением реального объекта или даже путем проведения специальных экспериментов.

## ГЛАВА 3. НАСОС И КЛАПАН

**Регулирующий клапан** – один из конструктивных видов регулирующей трубопроводной арматуры. Это наиболее часто применяющийся тип регулирующей арматуры как для непрерывного (аналогового), так и для дискретного регулирования расхода и давления. Выполнение этой задачи регулирующие клапаны осуществляют за счет изменения расхода среды через свое проходное сечение.

В зависимости от назначения и условий эксплуатации применяются различные виды управления регулирующей арматурой, чаще всего при этом используются специальные приводы и управление с помощью промышленных микроконтроллеров по команде от датчиков, фиксирующих параметры среды в трубопроводе.

Используются электрические, пневматические, гидравлические и электромагнитные приводы для регулирующих клапанов. В современной промышленности уже редко, но все же встречается, основной способ управления регуляторами в прошлом – ручное управление.

### Конструкции регулирующих органов

**Односедельные и двухседельные клапаны.** В седельных клапанах подвижным элементом служит плунжер, который может быть игольчатым, стержневым или тарельчатым. Плунжер перемещается перпендикулярно оси потока среды через седло (или сёдла), изменяя проходное сечение. Наиболее часто встречаемые – двухседельные клапаны, так как их затвор хорошо уравновешен. Это позволяет их применять для непрерывного регулирования давления до 6,3 МПа в трубопроводах диаметром до 300 мм, при этом используя исполнительные механизмы меньшей мощности, чем односедельные. Односедельные клапа-

ны применяются чаще всего для небольших диаметров прохода из-за своего неуравновешенного плунжера. Также преимущество двухседельных клапанов состоит в том, что такой конструкцией гораздо легче обеспечить требуемую для запорно-регулирующей арматуры герметичность с помощью плунжера, имеющего специальный регулирующий профиль для контакта с одним седлом, а для посадки в другое седло – уплотнительную поверхность для более плотного контакта.

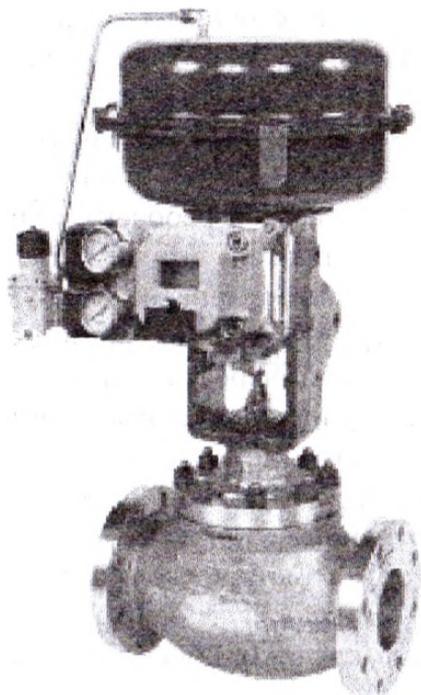
Затвор клеточных клапанов выполняется в виде полого цилиндра, который перемещается внутри клетки, являющейся направляющим устройством и, одновременно, седлом в корпусе. В клетке имеются радиальные отверстия (перфорация), позволяющие регулировать расход среды. Ранее такие клапаны назывались поршневыми перфорированными. Клеточные клапаны за счёт своей конструкции позволяют снизить шум, вибрацию и кавитацию при работе арматуры.

**Мембранные клапаны.** В клапанах этого типа используют встроенные или вынесенные мембранные пневмо- или гидроприводы. В случае встроенного привода расход рабочей среды напрямую изменяется за счёт перекрытия прохода в седле гибкой мембраной из резины, фторопласта или полиэтилена, на которую воздействует давление управляющей среды. Если привод вынесен, то перестановочное усилие передается через мембрану на опору штока клапана, а через него на регулирующий орган; когда давление управляющей среды сбрасывается, пружина возвращает мембрану в начальное положение. Чтобы усилия от среды и сила трения в направляющих и уплотнении не приводили к снижению точности работы клапана, в такой арматуре часто используются дополнительные устройства – *позиционеры*, контролирующие положение штока. Мембранные клапаны могут быть как одно-, так и двухседельные.

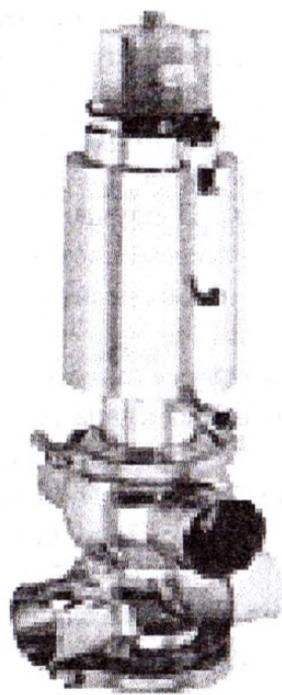
Основным достоинством таких клапанов является высокая герметичность подвижного соединения и коррозионная стой-

кость материалов, из которых изготавливаются мембраны, что позволяет обеспечить хорошую защиту внутренних поверхностей арматуры от воздействия рабочих сред, которые могут быть агрессивными.

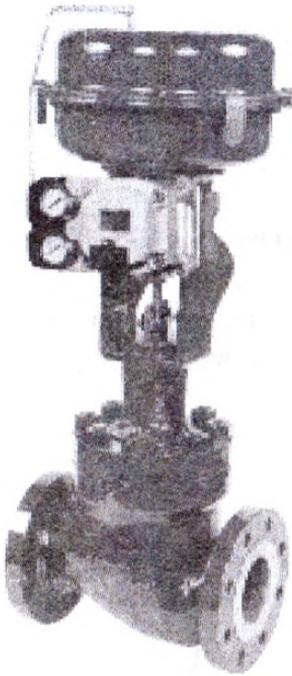
В этих устройствах регулирование расхода среды происходит при повороте золотника на необходимый угол, в отличие от других клапанов с поступательным движением штока или мембраны. Такие клапаны применяются, как правило, в энергетике и имеют альтернативное название «регулирующий кран», так как по принципу действия принадлежат к кранам.



Односедельный регулирующий клапан.



Двухседельные клапаны для систем механической очистки



Клеточные клапаны

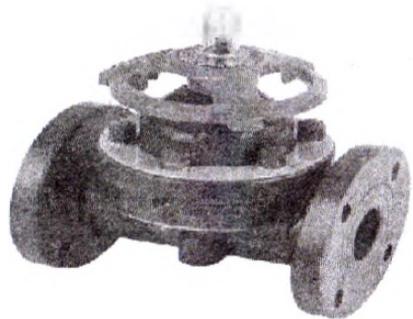
**Насос** – гидравлическая машина, преобразующая механическую энергию приводного двигателя или мускульную энергию (в ручных насосах) в энергию потока жидкости, служащая для перемещения и создания напора жидкостей всех видов, механической смеси жидкости с твердыми и коллоидными веществами или сжиженных газов. Разность давлений жидкости на выходе из насоса и присоединенном трубопроводе обуславливает ее перемещение.

**Центробежный насос** – насос, в котором движение жидкости и необходимый напор создаются за счет центробежной силы, возникающей при воздействии лопастей рабочего колеса на жидкость.

### 3.1. Описание технологического узла

В тренажере моделируется система из двух герметизированных емкостей: всасывающей (Е-1) и рабочей (Е-2) – между которыми насосом перекачивается рабочая жидкость (рис. 3.1).

Расход жидкости поддерживается регулятором, клапан которого расположен на перетоке. В качестве рабочей жидкости используется вода,



Золотниковые клапаны

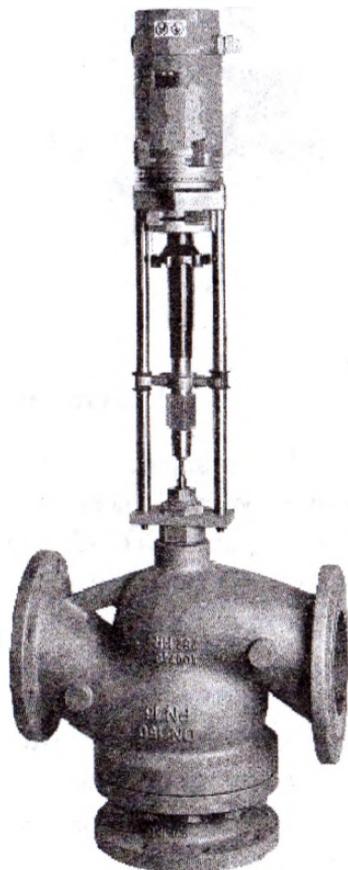
емкости герметизируются защитным слоем азота. Эта система позволяет обучать операторов управлению насосом и клапанной сборкой регулятора.

### 3.2. Принципы управления

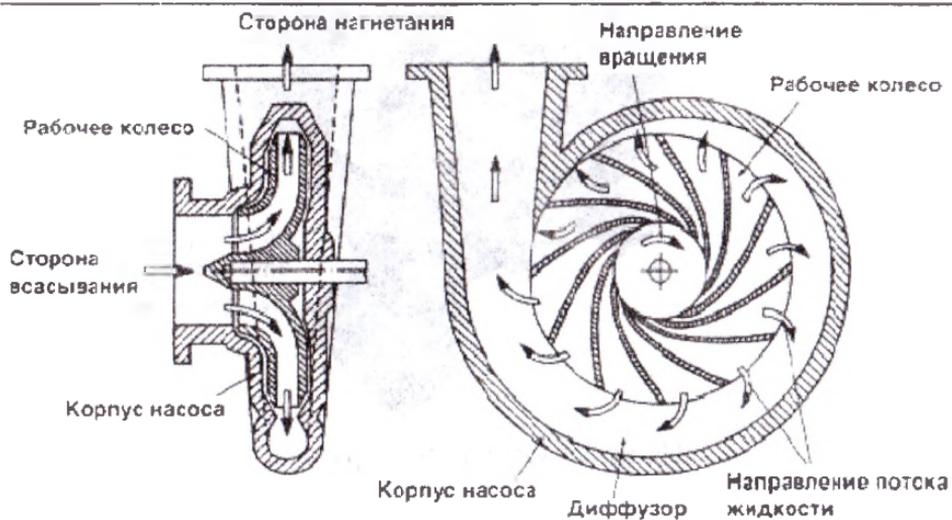
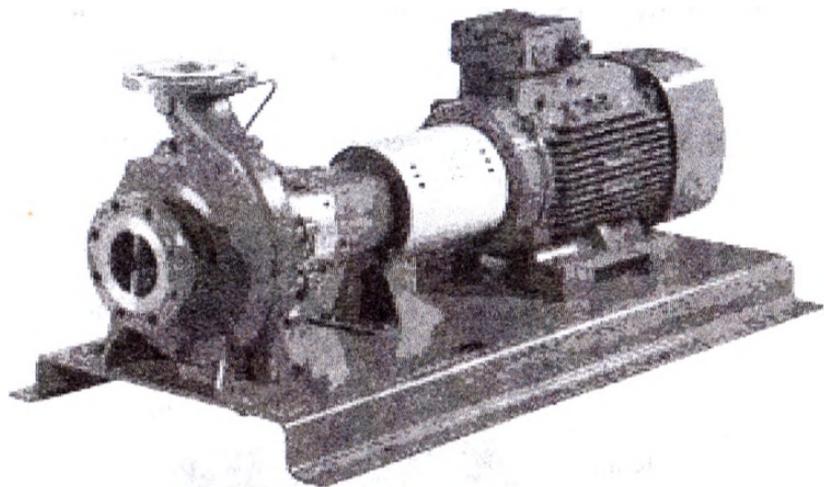
Вода подается в емкость всасывания насосов Е-1. Датчик LIR-401 контролирует уровень жидкости в Е-1.

Давление в емкости Е-1 поддерживает двухканальный регулятор PIRC-210. Клапан «А» регулятора выпускает азот в атмосферу, когда давление превосходит вставку регулятора, а через клапан «В» азот подается в емкость, если давление ниже вставки.

Вода из Е-1 откачивается основным насосом Н-1А (или резервным насосом Н-1В) в рабочую емкость Е-2; ее расход поддерживает регулятор FIRC-110 с помощью клапана FV-110, расположенного на трубопроводе от насосов в емкость Е-2. Датчик PIR-220 показывает давление в линии нагнетания насосов Н-1/А, В. Давление в емкости Е-2 также поддерживается с помощью азота и регулируется двухканальным регулятором PIRC-230, аналогичным PIRC-210. Датчик LIR-402 контролирует уровень жидкости в Е-2.

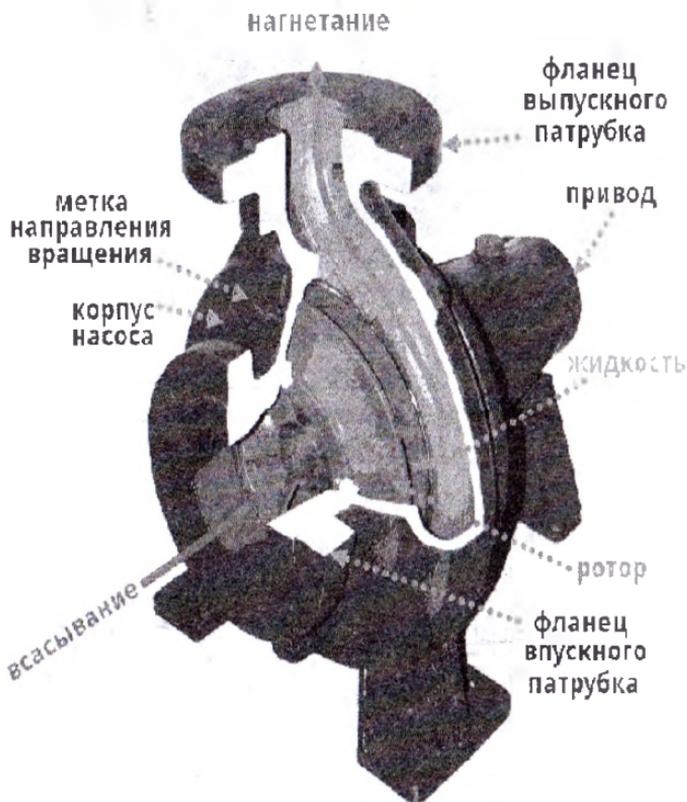


Современный регулирующий клапан с электрическим приводом



### 3.3. Измеряемые и управляющие переменные технологического узла и их значения в нормальном режиме работы

#### 3.3.1. Измеряемые переменные (датчики)



Центробежный насос в разрезе

## НАСОС И КЛАПАН

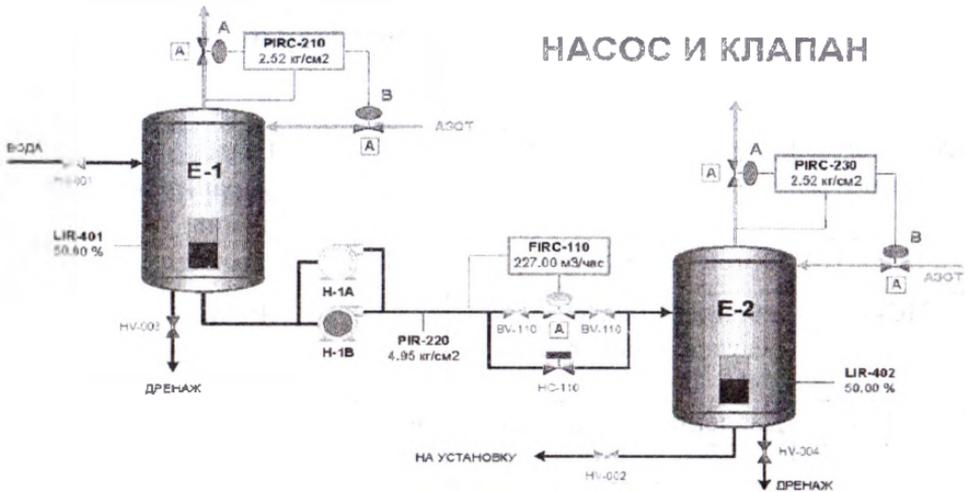


Рис. 3.1. Технологическая установка из двух емкостей

№ позиции (тэг)	Измеряемая переменная	Единица измерения	Значение в нормальном режиме
FIRC-110	Поток воды из E-1 в E-2	м³/ч	227,00
LIR-401	Уровень в емкости E-1	%	50,00
LIR-402	Уровень в емкости E-2	%	50,00
PIR-220	Давление нагнетания насосов H-1/A,B	кг/см²	4,95
PIRC-210	Давление в емкости E-1	кг/см²	2,52
PIRC-230	Давление в емкости E-2	кг/см²	2,52

### 3.3.2. Аналоговые управляющие параметры (регуляторы)

№ позиции (тэг)	Регулируемая переменная	Выход на клапан (%)	Режим управ- ления	Тип регулиров
FIRC-110	Поток воды из Е-1 в Е-2	38,3	Автомат.	Локальн.
НС-110	Задвижка на байпасе регул. клапана прибора FIRC-110	0,0	Ручн.	-
PIRC-210	Давление в емкости Е-1	«А» 0,0	Автомат.	Локальн.
		«В» 0,0		
PIRC-230	Давление в емкости Е-2	«А» 0,0	Автомат.	Локальн.
		«В» 0,0		

### 3.3.3. Дискретные управляющие параметры (операторские ключи)

Имя ключа (тэг)	Оборудование / Назначение	Положение ключа
BV-110	Отсекатели регулирующего клапана FV-110	ОТКР
HV-001	Отсекатель на линии подачи жидкости в емкость Е-1	ОТКР
HV-002	Отсекатель на линии отвода жидкости из емкости Е-2	ОТКР
HV-003	Отсекатель на линии дренажа емкости Е-1	ЗАКР
HV-004	Отсекатель на линии дренажа емкости Е-2	ЗАКР
H-1A	Основной насос откачки воды из емкости Е-1	ВКЛ
H-1B	Резервный насос откачки воды из емкости Е-1	ВЫКЛ

### 3.4. Стандартные процедуры

К числу стандартных процедур в тренажерной модели «Насос и клапан» относятся «Холодный старт» и «Нормальный останов». Стратегия действий оператора и подробная последовательность операций приведены ниже.

#### 3.4.1. Холодный старт

##### **Общие замечания.**

*Цель упражнения «Холодный старт»* – научить последовательности действий, необходимых для безопасного и правильного пуска узла перекачки жидкости.

Предполагается, что необходимое оборудование до и после системы емкостей (т.е. выше и ниже ее по технологической цепочке) готово к пуску. Прежде чем подавать рабочую жидкость в технологический узел, необходимо, чтобы все системы общего пользования были запущены, проверены и готовы к работе.

Предполагается, что следующие системы, которые не моделируются в тренажере, находятся в состоянии готовности для пуска:

1. Оборудование для подачи рабочей жидкости;
2. Емкость для приема рабочей жидкости;
3. Заводские системы общего назначения:
  - заводской и приборный воздух;
  - система электроснабжения;
  - система подачи азота;
  - дренажная система.

Оператор должен быть уверен, что все из перечисленных ниже предпусковых операций выполнены и оборудование готово к началу пуска.

### ***Предпусковые операции:***

1. Промывка и очистка трубопроводов и оборудования, удаление заглушек.
2. Проверка проходимости трубопроводов по всей технологической цепочке с обязательным контролем наличия давления.
3. Прием на установку электроэнергии, воздуха КИП и технологического воздуха, азота.
4. Проверка работоспособности оборудования, подготовка к работе и обкатка насосов.
5. Проверка и введение в работу приборов КИП (все регуляторы должны находиться в ручном режиме с закрытыми регулирующими клапанами).
6. Уведомление о начале пуска персонала всех служб, связанных с работой узла.

Ниже описывается процедура пуска, т.е. последовательность действий оператора при пуске технологического узла.

### ***Процедура.***

Оператор должен выполнить следующие действия:

1. Подать воду в емкость Е-1. Для этого открыть отсекаТЕЛЬ HV-001 на линии воды в Е-1. Уровень в емкости контролировать по показаниям датчика LIR-401.

На реальной установке, если емкость не снабжена уровнемером, контроль заполнения ведут по мерному стеклу.

2. Пустить азот в Е-1. Для этого открыть клапан «В» регулятора PIRC-210.

3. Когда давление в Е-1 будет близко к  $2,52 \text{ кг/см}^2$ , перевести регулятор PIRC-210 в автоматический режим с уставкой  $2,52 \text{ кг/см}^2$ .

4. Аналогичным образом герметизировать емкость Е-2, используя клапан «В» регулятора PIRC-230. Перевести регулятор в автоматический режим с уставкой  $2,52 \text{ кг/см}^2$ .

5. Когда уровень в емкости Е-1 повысится приблизительно до 40%, включить насос Н-1А.

6. Открыть отсекатели (BV-110) регулирующего клапана на клапанной сборке прибора FIRC-110.

7. Вручную открыть клапан FV-110 регулятора расхода FIRC-110 на 10-20%.

8. Следить за ростом уровня в емкости Е-2 по показаниям датчика LIR-402.

9. Когда уровень в емкости Е-1 повысится до 50%, для поддержания его вблизи 50% постепенно увеличивать расход воды через насосы, открывая клапан FV-110. Когда расход воды будет близок к 227,0 м<sup>3</sup>/ч, перевести регулятор расхода воды FIRC-110 в автоматический режим с уставкой 227,0 м<sup>3</sup>/ч.

10. Когда уровень повысится до 45–50%, открыть отсекаТЕЛЬ HV-002 на линии отвода жидкости из Е-2.

Через некоторое время узел перекачки жидкости выйдет на нормальный режим работы.

### 3.4.2. Нормальный останов

#### **Общие замечания.**

*Цель упражнения.* «Нормальный останов» – научить оператора необходимой последовательности действий для правильного и безопасного отключения оборудования.

Полный останов узла перекачки жидкости производится обычно для проведения планового ремонта основного оборудования или из-за производственной необходимости по указанию руководства. Все заинтересованные службы должны быть уведомлены о предстоящем отключении.

#### **Процедура.**

Оператор должен выполнить следующие действия:

1. Прекратить подачу воды в Е-1, закрыв отсекаТЕЛЬ HV-001.

2. Когда уровень в Е-1 понизится до 5–10%, перевести регулятор расхода FIRC-110 в ручной режим и закрыть клапан. Закрыть отсекатели BV-110 у регулирующего клапана на клапанной сборке прибора FIRC-110.

3. Выключить насос Н-1А.

4. Дренировать остаток жидкости из емкости Е-1. Для этого открыть отсекатель HV-003 на линии дренажа из Е-1. После опустошения емкости отсекатель закрыть.

5. Перевести регулятор давления PIRC-210 в ручной режим. Закрыть клапан «В» и открыть клапан «А», чтобы сбросить давление в емкости Е-1.

6. Когда уровень в Е-2 понизится до 5%, закрыть отсекатель HV-002 на линии отвода воды.

7. Дренировать остаток жидкости из емкости Е-2. Для этого открыть отсекатель HV-004 на линии дренажа из Е-2. После опустошения емкости отсекатель закрыть.

8. Перевести регулятор давления PIRC-230 в ручной режим. Закрыть клапан «В» и открыть клапан «А», чтобы сбросить давление в емкости Е-2.

9. Когда давление в емкостях Е-1 и Е-2 понизится до значений, близких к 0 кг/см<sup>2</sup>, закрыть оба клапана «А».

На реальном производстве далее следует сбросить давление с корпусов насосов, подготовить систему для безопасной работы персонала при ремонте или техническом обслуживании оборудования. Эти операции в тренажере не моделируются и должны выполняться в соответствии с действующими на предприятии инструкциями.

### 3.5. Тренировочные упражнения

Для каждого из описанных ниже упражнений в раздел «Наблюдения» включены наиболее заметные изменения, которые

возникают при нарушении нормальной работы технологического узла.

### 3.5.1. Упражнение 1 – Отказ основного насоса воды Н-1А

**Цель упражнения.** Научить оператора распознавать эту аварию по изменениям показаний приборов и предпринимать необходимые действия для возврата к нормальному режиму.

**Описание ситуации.** Узел функционирует в нормальном режиме, когда внезапно отказывает работающий насос воды Н-1А, и расход воды (FIRC-110) резко падает до нуля.

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Расход воды (FIRC-110) упадет до нуля.
2. Давление нагнетания Н-1/А, В (PIR-220) уменьшится.
3. Уровень в емкости Е-1 (LIR-401) увеличится.
4. Уровень в емкости Е-2 (LIR-402) уменьшится.

**Требуемые действия.** Когда насос питающей воды отказывает, пропадает поток воды в Е-2. Это должно быть исправлено прежде, чем повлияет на работу аппаратов далее по ходу процесса. Запуск резервного насоса вернет процесс обратно в нормальный режим.

#### **Процедура.**

Определив причину нарушения, оператор должен выполнить следующие действия:

1. Отключить основной насос воды Н-1А.
2. Перевести регулятор расхода FIRC-110 в ручной режим и прикрыть клапан до 10-20%.
3. Запустить резервный насос воды Н-1В.
4. Управляя клапаном регулятора расхода FIRC110, установить уровень в емкости Е-1 вблизи 50%.
5. Перевести регулятор FIRC-110 в автоматический режим с уставкой 227,0 м<sup>3</sup>/ч.

6. Следить за уровнем в емкости Е-2 по показаниям датчика LIR-402. Для того, чтобы не упустить уровень, при необходимости использовать отсекаатель HV-002, расположенный на линии отвода воды из Е-2.

Режим работы узла перекачки жидкости постепенно вернется к норме.

### **3.5.2. Упражнение 2 – Отказ основного и резервного насосов воды Н-1/А, В**

**Цель упражнения.** Научить оператора распознавать эту аварию по изменениям показаний приборов и предпринимать необходимые действия.

**Описание ситуации.** Технологический узел функционирует в нормальном режиме, когда внезапно отказывает работающий насос воды Н-1А, и расход воды через клапан регулятора FIRC-110 падает до нуля. При этом резервный насос Н-1В также неисправен (или не готов к работе).

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Расход воды (FIRC-110) упадет до нуля.
2. Давление нагнетания насосов Н-1/А, В (PIR-220) уменьшится.
3. Уровень в емкости Е-1 (LIR-401) увеличится.
4. Уровень в Е-2 (LIR-402) уменьшится.

**Требуемые действия.** Когда отказывают оба водяных насоса, становится невозможным поддерживать функционирование всей системы. Если подача воды не будет восстановлена за короткое время, то вода перестанет поступать в аппараты, расположенные далее по ходу процесса. Так как нет исправного водяного насоса, потребуется отключить технологический узел до восстановления работоспособности одного из насосов.

### ***Процедура.***

Если ни один из двух водяных насосов не удается привести в рабочее состояние, то необходимо остановить технологический узел. Для этого оператор должен:

1. Перевести регулятор FIRC-110 в ручной режим и закрыть его клапан.

2. Убедиться, что основной и резервный насосы воды Н-1/А, В выключены.

3. Прекратить подачу воды в емкость Е-1, закрыв отсекаТЕЛЬ HV-001.

4. Открыть отсекаТЕЛЬ HV-003, расположенный на линии дренажа из емкости Е-1, и оставить его открытым до тех пор, пока Е-1 не будет опорожнена.

5. Когда уровень в емкости Е-2 понизится до 5%, закрыть отсекаТЕЛЬ HV-002 на линии отвода воды из Е-2.

6. Открыть отсекаТЕЛЬ HV-004, расположенный на линии дренажа из емкости Е-2, и оставить его открытым до тех пор, пока емкость Е-2 не будет опорожнена.

7. Перевести регуляторы давления PIRC-210 и PIRC-230 в ручной режим. Закрыть клапаны «В» и открыть клапаны «А», чтобы сбросить давление до 0 кг/см<sup>2</sup>.

8. Закрыть все регулирующие клапаны и отсекатели.

Узел перекачки жидкости остановлен. На реальной установке необходимо сбросить давление с корпуса насосов Н-1/А, В и оповестить ремонтные службы о неисправности насосов.

### **3.5.3. Упражнение 3 – Отказ клапана FV-110 на линии Е-2 в положении ОТКРЫТ**

***Цель упражнения.*** Распознавание отказа клапана регулятора на линии отвода воды в емкость Е-2 по его последствиям, изучение правильных действий в такой ситуации.

**Описание ситуации.** Технологический узел функционирует в нормальном режиме, когда расход воды на перетоке из Е-1 в Е-2 (FIRC-110) резко возрастает.

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Расход воды (FIRC-110) увеличится.
2. Давление нагнетания насосов Н-1/А,В (PIR- 220) уменьшится.
3. Уровень в емкости Е-1 (LIR-401) уменьшится.
4. Уровень в емкости Е-2 (LIR-402) увеличится.

**Требуемые действия.** Оператор должен быстро распознать такой отказ регулирующего клапана, не допуская опорожнения емкости Е-1 и сброса насосов. Необходимо отсечь отказавший клапан задвижками и перейти на управление отводом воды по байпасу клапанной сборки. Если это невозможно, следует остановить работу узла.

**Процедура.**

Когда оператор определит повреждение, он должен выполнить следующие действия:

1. Отсечь неисправный регулирующий клапан FV-110 прибора FIRC-110, закрыв отсекатели BV-110.
2. Дождаться, пока уровни в емкостях Е-1 и Е-2 окажутся вблизи нормы.
3. Открыть задвижку НС-110 на байпасе клапанной сборки так, чтобы вернуть расход воды из Е-1 в Е-2 к норме 227,0 м<sup>3</sup>/ч. Расход воды контролировать по показаниям датчика FIRC-110. Если жидкость в Е-1 отсутствует, то происходит сброс насоса Н-1А. В этом случае перед открытием байпасной задвижки НС-110 следует перепустить (выключить и включить) насос Н-1А.

Нормальный режим работы технологического узла постепенно восстановится.

На реальном производстве необходимо сообщить о неисправности клапана в службу КИП и управлять отводом воды вручную, пока клапан не будет отремонтирован.

### 3.5.4. Упражнение 4 – Отказ клапана FV-110 на линии в емкость Е-2 в положении ЗАКРЫТ

**Цель упражнения.** Распознавание отказа клапана регулятора на линии отвода воды в емкость Е-2 по его последствиям, изучение правильных действий в такой ситуации.

**Описание ситуации.** Установка функционирует в нормальном режиме, когда клапан регулятора расхода на линии перетока воды в емкость Е-2 внезапно закрывается и расход воды (FIRC-110) падает до нуля.

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Расход воды (FIRC-110) уменьшится до нуля.
2. Давление нагнетания насосов Н-1/А, В (PIR-220) увеличится.
3. Уровень в емкости Е-2 (LIR-402) уменьшится.
4. Уровень в емкости Е-1 (LIR-401) увеличится.

**Требуемые действия.** Оператор должен быстро распознать такой отказ регулирующего клапана, не допуская переполнения емкости Е-1 и опустошения емкости Е-2. Необходимо отсечь отказавший клапан задвижками и перейти на управление отводом воды по байпасу клапанной сборки. Если это сделать невозможно, то следует остановить работу узла.

#### **Процедура.**

Когда оператор определит повреждение, он должен выполнить следующие действия:

1. Отсечь неисправный регулирующий клапан FV-110 прибора FIRC-110, закрыв отсекатели BV-110.
2. Изменяя положение задвижки НС-110 на байпасе клапанной сборки, отрегулировать уровень в емкости Е-1 вблизи нормы (50%).
3. Отрегулировать положение задвижки НС-110 на байпасе клапанной сборки так, чтобы вернуть расход воды из Е-1 в Е-2

к норме (227,0 м<sup>3</sup>/ч). Расход воды контролировать по показаниям датчика FIRC-110.

4. Следить за уровнем в емкости Е-2 по показаниям датчика LIR-402. Для того, чтобы не упустить уровень, при необходимости использовать отсекаатель HV-002, расположенный на линии отвода воды из Е-2.

Нормальный режим работы технологического узла постепенно восстановится.

На реальном производстве необходимо сообщить о неисправности клапана в службу КИП и управлять отводом воды вручную, пока клапан не будет отремонтирован.

### **3.5.5. Упражнение 5 – Колебания клапана FV-110 на линии откачки воды в емкость Е-2**

**Цель упражнения.** Научить оператора распознавать неисправность регулирующего клапана на линии отвода воды в емкость Е-2 и устранять ее.

**Описание ситуации.** Узел функционирует в нормальном режиме, когда датчик FIRC-110 показывает колебания расхода.

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Расход воды (FIRC-110) будет колебаться от нулевого до максимального значений.

2. Уровни воды в емкостях Е-1 (LIR-401) и Е-2 (LIR402) будут колебаться.

**Требуемые действия.** Оператор должен распознать такой отказ клапана регулятора и взять систему под контроль. Необходимо отсечь отказавший клапан и перейти на управление отводом воды по байпасу клапанной сборки. Если это невозможно, следует остановить работу узла.

**Процедура.**

Когда оператор определит повреждение, он должен выполнить следующие действия:

1. Перевести регулятор FIRC-110 в ручной режим. Убедиться, что клапан не управляется вручную – колебания расхода через клапан продолжают.

2. Отсечь неисправный регулирующий клапан FV-110 прибора FIRC-110, закрыв отсекатели BV-110.

3. Изменяя положение задвижки HC-110 на байпасе клапанной сборки, отрегулировать уровень в емкости E-1 вблизи нормы (50%).

4. Отрегулировать положение задвижки HC-110 на байпасе клапанной сборки так, чтобы вернуть расход воды из E-1 в E-2 к норме (227,0 м<sup>3</sup>/ч). Расход воды контролировать по показаниям датчика FIRC-110.

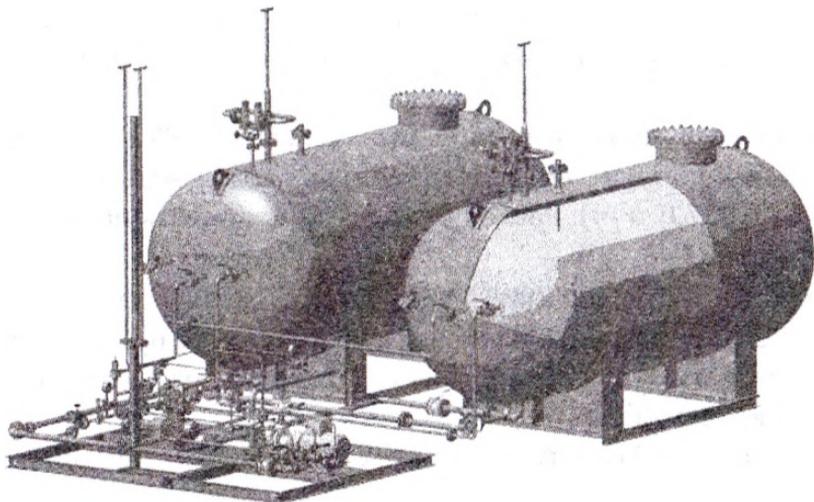
5. Следить за уровнем в емкости E-2 по показаниям датчика LIR-402. Для того, чтобы не упустить уровень, при необходимости использовать отсекатель HV-002, расположенный на линии отвода воды из E-2.

Нормальный режим работы технологического узла постепенно восстановится.

На реальном производстве необходимо сообщить о неисправности клапана в службу КИИТ и управлять отводом воды вручную, пока клапан не будет отремонтирован.

## ГЛАВА 4. СИСТЕМА ЕМКостей

**Емкость** – сосуд, контейнер или резервуар для хранения или транспортирования жидкостей, газов или сыпучих тел.

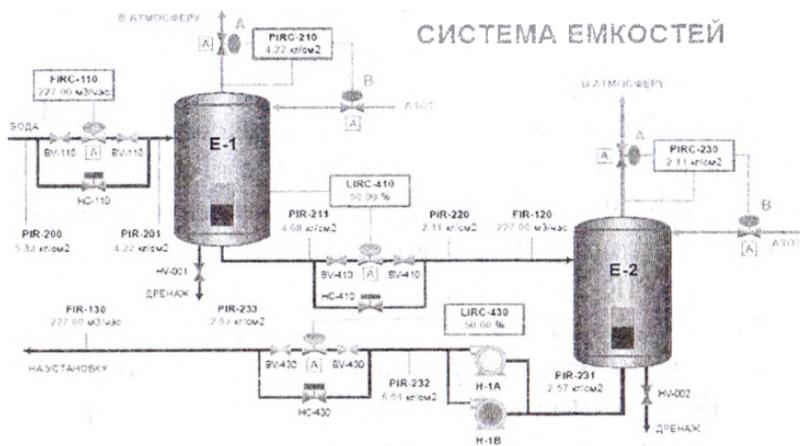


**Резервуар** – представляет собой герметично закрываемый или открытый, стационарный сосуд, наполняемый жидким или газообразным веществом.

### 4.1. Описание технологического узла

Моделируется система из двух емкостей, между которыми самотеком перетекает рабочая жидкость (рис. 4.1). Эта система позволяет демонстрировать принципы гидростатики. Емкости расположены на разной высоте. Чтобы изменить расход рабочей жидкости на перетоке между емкостями, можно изменять давления и уровни в емкостях.

В качестве рабочей жидкости используется вода.



**Рис. 4.1.** Схема системы емкостей

## 4.2. Принципы управления

Вода подается в емкость E-1 с расходом, который поддерживается регулятором FIRC-110 с помощью клапана FV-110, расположенного на трубопроводе подачи воды в E-1. Датчик PIR-200 контролирует давление во входном трубопроводе, датчик PIR-201 – на входе в E-1.

Давление в емкости E-1 поддерживает двухканальный регулятор PIRC-210. Клапан «А» регулятора выпускает азот в атмосферу, когда давление превосходит уставку регулятора, а через клапан «В» азот подается в емкость, когда давление ниже уставки. Имеется зона нечувствительности, когда оба клапана закрыты: азот не выпускается из емкости и не подается в нее.

Вода вытекает из нижней части емкости E-1 по трубопроводу, на котором расположен клапан LV-410 регулятора LIRC-410, поддерживающего заданный уровень в емкости E-1. Датчик давления PIR-211 показывает давление на выходе из емкости E-1.

Вода перетекает в емкость E-2, датчик FIR-120 показывает расход воды на перетоке в E-2, датчик PIR-220 – давление на вхо-

де в Е-2. Давление в емкости Е-2, как и давление в емкости Е-1, поддерживается с помощью азота и регулируется двухканальным регулятором PIRC-230.

Вода из Е-2 откачивается основным насосом Н-1А или резервным насосом Н-1В по трубопроводу с клапаном LV-430 регулятора LIRC-430, который поддерживает заданный уровень в емкости Е-2. Датчик PIR-231 показывает давление выпуска воды из Е-2, датчик PIR-232 – давление нагнетания насосов Н-1/А, В, датчик PIR-233 – давление после клапана LV-430, датчик FIR-130 – расход воды из Е-2. При уходе уровня в емкости Е-2 насосы Н-1/А, В сбрасывают. Для возврата их в работу требуется их перепуск (выключить и снова включить).

### 4.3. Измеряемые и управляющие переменные системы емкостей и их значения в нормальном режиме работы

#### 4.3.1. Измеряемые переменные (датчики)

№ позиции (тэг)	Измеряемая переменная	Единица измерения	Значение в нормальном режиме
FIRC-110	Расход воды в емкость Е-1	м <sup>3</sup> /ч	227,00
FIR-120	Расход воды из Е-1 в Е-2	м <sup>3</sup> /ч	227,00
FIR-130	Расход воды из Е-2	м <sup>3</sup> /ч	227,00
LIRC-410	Уровень воды в емкости Е-1	%	50,00
LIRC-430	Уровень воды в емкости Е-2	%	50,00
PIR-200	Давление воды во входном трубопроводе	кг/см <sup>2</sup>	5,33
PIR-201	Давление воды на входе в Е-1	кг/см <sup>2</sup>	4,22
PIRC-210	Давление в емкости Е-1	кг/см <sup>2</sup>	4,22
PIR-211	Давление воды на выходе из Е-1	кг/см <sup>2</sup>	4,68
PIR-220	Давление воды на входе в Е-2	кг/см <sup>2</sup>	2,11
PIRC-230	Давление в емкости Е-2	кг/см <sup>2</sup>	2,11

PIR-231	Давление воды на выходе из Е-2	кг/см <sup>2</sup>	2,58
PIR-232	Давление нагнетания насосов Н-1/А, В	кг/см <sup>2</sup>	5,02
PIR-233	Давление после клапана LV-430	кг/см <sup>2</sup>	2,52

#### 4.3.2. Аналоговые управляющие параметры (регуляторы)

№ позиции (тэг)	Регулируемая переменная	Выход на клапан (%)	Режим управления	Тип регуляров.
FIRC-110	Поток воды в Е-1	50,0	Авто	Лок
НС-110	Задвижка на байпасе регул. – клапана прибора FIRC-110	0,0	Ручн.	–
НС-410	Задвижка на байпасе регул. клапана прибора LIRC-410	0,0	Ручн.	–
НС-430	Задвижка на байпасе регул. клапана прибора LIRC-430	0,0	Ручн.	–
LIRC-410	Уровень воды в Е-1	40,3	Авто	Лок
LIRC-430	Уровень воды в Е-2	39,6	Авто	Лок
PIRC-210	Давление газа в емкости Е-1	«А» 0,0 «В» 0,0	Авто	Лок
PIRC-230	Давление газа в емкости Е-2	«А» 0,0 «В» 0,0	Авто	Лок

#### 4.3.3. Дискретные управляющие параметры (операторские ключи)

Имя ключа (тэг)	Оборудование / Назначение	Положение ключа
BV-110	Отсекатели регулирующего клапана FV-110	ОТКР
BV-410	Отсекатели регулирующего клапана LV-410	ОТКР
BV-430	Отсекатели регулирующего клапана LV-430	ОТКР

NV-001	Отсекатель на линии дренажа емкости E-1	ЗАКР
NV-002	Отсекатель на линии дренажа емкости E-2	ЗАКР
H-1A	Основной насос воды	ВКЛ
H-1B	Резервный насос воды	ВЫКЛ

#### 4.4. Стандартные процедуры

К числу стандартных процедур в тренажерной модели «Система емкостей» относятся «Холодный старт» и «Нормальный останов». Стратегия действий оператора и подробная последовательность операций приведены ниже.

##### 4.4.1. Холодный старт

Упражнение «Холодный старт» позволит изучить последовательность действий, необходимых для безопасного и правильного пуска узла.

Предполагается, что необходимое оборудование до и после системы емкостей (т.е. выше и ниже ее по технологической цепочке) готово к пуску. Прежде чем подавать рабочую жидкость в технологический узел, необходимо, чтобы все системы общего пользования были запущены, проверены и готовы к работе.

Предполагается, что следующие системы, которые не моделируются в тренажере, находятся в состоянии готовности к пуску:

1. Оборудование для подачи рабочей жидкости;
2. Емкость для приема рабочей жидкости;
3. Заводские системы общего назначения:
  - заводской и приборный воздух;
  - система электроснабжения;
  - система подачи азота;
  - дренажная система.

Оператор должен быть уверен, что все из перечисленных ниже предпусковых операций выполнены и оборудование готово к началу пуска.

Предпусковые операции:

1. Промывка и очистка трубопроводов и оборудования, удаление заглущек.

2. Проверка проходимости трубопроводов по всей технологической цепочке с обязательным контролем наличия давления.

3. Прием на установку электроэнергии, воздуха КИП и технологического воздуха, азота.

4. Проверка работоспособности оборудования, подготовка к работе и обкатка насосов.

5. Проверка и введение в работу приборов КИП (все регуляторы должны находиться в ручном режиме с закрытыми регулирующими клапанами).

6. Уведомление о начале пуска персонала всех служб, связанных с работой узла.

Ниже описывается процедура пуска, т.е. последовательность действий оператора при пуске технологического узла.

### ***Процедура.***

Оператор должен выполнить следующие действия:

1. Подать воду в емкость Е-1. Для этого открыть отсекатели BV-110 регулирующего клапана на клапанной сборке и клапан регулятора расхода FIRC-110 на 25%.

2. Открыть клапан «В» регулятора PIRC-210 приблизительно на 50%, чтобы пустить азот в емкость Е-1.

3. Когда давление в Е-1 будет близко к  $4,22 \text{ кг/см}^2$ , перевести регулятор PIRC-210 в автоматический режим с уставкой  $4,22 \text{ кг/см}^2$ .

4. Когда уровень жидкости в емкости Е-1 (датчик LIRC-410) приблизится к 30%, открыть отсекатели BV-410 регулирующего клапана на клапанной сборке прибора LIRC-410. Открыть вручную клапан LV-410 на перетоке, чтобы подать жидкость в емкость Е-2.

5. Когда датчик LIRC-430 фиксирует повышение уровня в емкости Е-2 приблизительно до 10%, открыть клапан «В» регулятора PIRC-230 примерно на 20%, чтобы пустить азот.

6. Когда давление в емкости Е-2 приблизится к  $2,11 \text{ кг/см}^2$ , перевести регулятор PIRC-230 в автоматический режим с уставкой  $2,11 \text{ кг/см}^2$ .

7. Когда уровень в емкости Е-1 повысится до 50%, перевести регулятор LIRC-410 в автоматический режим с уставкой 50%.

8. Когда уровень в емкости Е-2 повысится приблизительно до 40%, запустить насос Н-1А.

9. Открыть отсекатели BV-430 регулирующего клапана на клапанной сборке прибора LIRC-430.

10. Вручную слегка открыть клапан LV-430 регулятора LIRC-430, чтобы установить небольшой отвод жидкости из Е-2.

11. Когда уровень в Е-2 повысится до 50%, перевести регулятор LIRC-430 в автоматический режим с уставкой 50%.

12. Перевести регулятор расхода воды FIRC-110 в автоматический режим и постепенно увеличивать уставку на расход до  $227,0 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

После этого система емкостей выйдет на расчетный режим работы.

#### **4.4.2. Нормальный останов**

##### **Общие замечания.**

*Цель упражнения* «Нормальный останов» – научиться последовательности действий для правильного и безопасного отключения узла.

Полный останов технологического узла производится обычно для проведения планового ремонта основного оборудования или из-за производственной необходимости по указанию руководства. Все заинтересованные службы должны быть уведомлены о предстоящем отключении.

### ***Процедура.***

Оператор должен выполнить следующие действия:

1. Прекратить подачу воды в емкость Е-1. Для этого перевести регулятор FIRC-110 в ручной режим и полностью закрыть его клапан.

2. Перевести регулятор LIRC-410 в ручной режим и оставить клапан открытым, чтобы опорожнить емкость Е-1.

3. Когда уровень в емкости Е-1 понизится приблизительно до 5%, закрыть клапан регулятора LIRC-410.

4. Перевести регулятор LIRC-430 в ручной режим с открытым клапаном, чтобы осушить емкость Е-2.

5. Когда уровень в емкости Е-2 (датчик LIRC-430) составит 5-10%, отключить насос Н-1А.

6. Открыть отсекатели НВ-001 и НВ-002, чтобы сдренировать остатки жидкости из емкостей Е-1 и Е-2 соответственно. После опустошения емкостей закрыть отсекатели НВ-001 и НВ-002.

7. Перевести регуляторы давления PIRC-210 и PIRC-230 в ручной режим. Закрыть клапаны «В» и открыть клапаны «А», чтобы сбросить давление.

8. Когда датчики PIRC-210 и PIRC-230 покажут 0 кг/см<sup>2</sup>, закрыть все регулирующие клапаны.

9. Закрыть отсекатели ВВ-110, ВВ-410, ВВ-430 регулирующих клапанов на всех клапанных сборках.

Операции по подготовке аппаратов к ремонту в тренажере не моделируются и должны выполняться в соответствии с действующими на предприятии инструкциями.

## **4.5. Тренировочные упражнения**

Для каждого из описанных ниже упражнений в раздел «Наблюдения» включены наиболее заметные изменения, которые возникают при нарушении нормальной работы технологического узла.

#### 4.5.1. Упражнение 1 – Отказ основного насоса воды Н-1А

**Цель упражнения.** Научить оператора распознавать эту аварию по изменениям показаний приборов и предпринимать необходимые действия для возврата к нормальному режиму.

**Описание ситуации.** Система функционирует в нормальном режиме, когда внезапно отказывает работающий насос воды Н-1А.

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Расход воды из Е-2 (FIR-130) упадет до нуля.
2. Давление воды из Е-2 (PIR-231) вырастет.
3. Уровень воды в Е-2 (LIRC-430) вырастет. (Клапан LV-430 откроется).
4. Давление нагнетания насосов Н-1/А, В (PIR-232) и давление после клапана (PIR-233) уменьшатся.

**Требуемые действия.** Когда отвод воды из Е-2 прекращается, необходимо быстро его восстановить, прежде чем это повлияет на последующие аппараты. Чтобы вернуть процесс к норме, необходимо быстро запустить резервный насос.

**Процедура.**

Определив причину нарушения, оператор должен выполнить следующие действия:

1. Перевести регулятор уровня LIRC-430 в ручной режим и прикрыть клапан до 10–20%.
2. Отключить основной насос воды Н-1А.
3. Запустить резервный насос воды Н-1В.
4. Управляя клапаном регулятора уровня LIRC-430, понизить уровень в емкости Е-2 до нормы 50%.
5. Перевести регулятор LIRC-430 в автоматический режим. Режим постепенно вернется к норме.

#### 4.5.2. Упражнение 2 – Самозапуск резервного насоса воды Н-1В

**Цель упражнения.** Научить оператора распознавать такой отказ насоса по изменениям показаний приборов и предпринимать необходимые действия для возврата к нормальному режиму.

**Описание ситуации.** Система емкостей функционирует в нормальном режиме, когда самопроизвольно запускается резервный насос откачки воды Н-1В.

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Давление нагнетания насосов Н-1/А, В (PIR-232) увеличится.
2. Расход воды из емкости Е-2 (FIR-130) увеличится, а затем вернется к норме.
3. Уровень в емкости Е-2 (LIRC-430) уменьшится, а затем вернется к норме.
4. Клапан LV-430 прикроется.

**Требуемые действия.** Данная неисправность несерьезная; от оператора требуется только определить причину и отключить резервный насос Н1В.

**Процедура.**

Когда система в положение САМОЗАПУСК.

Определив причину нарушения, оператор должен сообщить о ней инструктору и попросить отключить резервный насос воды Н-1В.

Система постепенно вернется к нормальному режиму работы.

#### 4.5.3. Упражнение 3 – Отказ основного и резервного насосов воды Н-1/А, В

**Цель упражнения.** Научить оператора распознавать эту аварию по изменениям показаний приборов и предпринимать необходимые действия для возврата к нормальному режиму.

**Описание ситуации.** Система емкостей функционирует в нормальном режиме, когда внезапно отказывает работающий насос воды Н-1А. Резервный насос Н-1В также неисправен.

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Расход воды из Е-2 (FIR-130) уменьшается до нуля. (Клапан LV-430 откроется на 100%.)
2. Давление нагнетания насосов Н-1/А, В (PIR232) и давление после клапана (PIR-233) уменьшаются.
3. Уровень воды в Е-2 (LIRC-430) увеличивается.
4. Давление воды на выходе из Е-2 (PIR-231) увеличивается.

**Требуемые действия.** Когда отказывают оба водяных насоса, становится невозможно поддерживать функционирование всей системы. Требуется отключить ее по крайней мере на время, пока какой-нибудь из водяных насосов нельзя будет вернуть в работу.

#### **Процедура.**

Когда система в положении ОТКАЗ В ПОЛОЖЕНИИ ВЫКЛ.

Определив причину нарушения рабочего режима и обнаружив неработоспособность также и резервного насоса Н-1В, оператор должен сообщить об этом инструктору и выполнить следующее:

1. Перевести регуляторы FIRC-110, LIRC-410 и LIRC-430 в ручной режим и закрыть их клапаны. (Регуляторы давления PIRC-210 и PIRC-230 можно оставить в автоматическом режиме.)
2. Включить исправный насос воды.
3. Вручную открыть клапан LV-430 регулятора уровня LIRC-430 и установить уровень в Е-2 около нормы (50%).
4. Перевести регулятор LIRC-430 в автоматический режим с уставкой 50%.
5. Вручную открыть клапан FV-110 регулятора FIRC-110 на линии подачи воды так, чтобы расход был около 55–60 м<sup>3</sup>/ч.
6. Вручную открыть клапан LV-410 регулятора уровня LIRC-410 и установить уровень в Е-1 близко к норме (50%).

7. Перевести регулятор LIRC-410 в автоматический режим с уставкой 50%.

8. Постепенно увеличить расход воды в Е-1 до нормы (227,0 м<sup>3</sup>/ч) и перевести регулятор FIRC-110 в автоматический режим с уставкой 227,0 м<sup>3</sup>/ч.

Теперь переведите один из ключей MF-001 или MF-002 в положение «Норма», чтобы оператор мог вернуть систему емкостей к нормальному режиму.

Если ни один из двух водяных насосов не удастся привести в рабочее состояние за короткое время, то необходимо остановить технологический узел. Для этого оператор должен сделать следующее:

1. Выключить основной и резервный насосы воды Н-1/А, В.

2. Открыть отсекаТЕЛЬ HV-001, расположенный на линии дренажа из емкости Е-1, и оставить его открытым до тех пор, пока емкость Е-1 не будет опорожнена.

3. Открыть отсекаТЕЛЬ HV-002, расположенный на линии дренажа из емкости Е-2, и оставить его открытым до тех пор, пока емкость Е-2 не будет опорожнена.

4. Перевести регуляторы давления PIRC-210 и PIRC-230 в ручной режим. Закрыть клапаны «В» и открыть клапаны «А», чтобы сбросить давление.

5. Когда датчики PIRC-210 и PIRC-230 покажут 0 кг/см<sup>2</sup>, закрыть все регулирующие клапаны.

#### **4.5.4. Упражнение 4 – Отказ клапана LV-430 на линии откачки воды в положении ОТКРЫТ**

*Цель упражнения.* Распознавание отказа клапана регулятора на линии отвода воды из емкости Е-2 по его последствиям, изучение правильных действий в такой ситуации.

**Описание ситуации.** Система емкостей функционирует в нормальном режиме, когда клапан регулятора уровня на линии откачки воды из системы внезапно отказывает в открытом положении.

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Расход воды из Е-2 (FIR-130) возрастет.
2. Уровень в Е-2 (LIR-430) уменьшится.
3. Давление нагнетания насосов Н-1/А, В (PIR-232) слегка уменьшится.
4. Давление воды после клапана (PIR-233) слегка увеличится.

**Требуемые действия.** Оператор должен быстро распознать такой отказ регулирующего клапана, не допуская опорожнения емкости Е-2. Необходимо отсечь отказавший клапан задвижками и перейти на управление отводом воды по байпасу клапанной сборки.

**Процедура.**

Определив причину нарушения рабочего режима, оператор должен выполнить следующие действия:

1. Отсечь неисправный регулирующий клапан прибора LIRC-430, закрыв отсекатели BV-430.

2. Когда в емкости Е-2 восстановится нормальный уровень (50%), слегка открыть задвижку НС-430 на байпасе клапанной сборки.

3. Постепенно открыть задвижку НС-430 на байпасе клапанной сборки так, чтобы поддерживать уровень в емкости Е-2 в пределах 50%. Расход воды контролировать по показаниям датчика FIR-130. Если уровень жидкости в Е-2 будет упущен, то это приведет к сбросу работающего насоса жидкости. В таком случае перед открытием байпасной задвижки НС-430 следует перепустить (выключить и включить) сбросивший насос.

Нормальный режим работы системы емкостей постепенно восстановится.

На реальном производстве необходимо сообщить о неисправности клапана в службу КИП и управлять отводом воды вручную, пока клапан не будет отремонтирован.

#### **4.5.5. Упражнение 5 – Отказ клапана LV-430 на линии откачки воды в положении ЗАКРЫТ**

**Цель упражнения.** Распознавание отказа клапана регулятора на линии отвода воды из емкости Е-2 по его последствиям, изучение правильных действий в такой ситуации.

**Описание ситуации.** Система емкостей функционирует в нормальном режиме, когда клапан регулятора уровня на линии откачки воды из системы внезапно закрывается.

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Расход воды из Е-2 (FIR-130) уменьшится до нуля.
2. Уровень воды в Е-2 (LIRC-430) увеличится.
3. Давление нагнетания насосов Н-1/А, В (PIR232) увеличится.
4. Давление воды после клапана (PIR-233) уменьшится.

**Требуемые действия.** Оператор должен быстро распознать такой отказ регулирующего клапана, не допуская переполнения емкости Е-2. Необходимо отсечь отказавший клапан задвижками и перейти на управление отводом воды по байпасу клапанной сборки.

**Процедура.**

Определив причину нарушения рабочего режима, оператор должен выполнить следующие действия:

1. Отсечь неисправный регулирующий клапан прибора LIRC-430. Для этого закрыть отсекатели BV-430.
2. Открыть задвижку НС-430 на байпасе клапанной сборки, чтобы понизить уровень в емкости Е-2.
3. Когда уровень в Е-2 будет близок к норме (50%), прикрыть задвижку НС-430 на байпасе клапанной сборки так, чтобы вер-

нуть отвод воды из Е-2 к норме – 227,0 м<sup>3</sup>/ч. Расход воды контролировать по показаниям датчика FIR-130.

Нормальный режим работы системы емкостей постепенно восстановится.

На реальном производстве необходимо сообщить о неисправности клапана в службу КИП и управлять отводом воды вручную, пока клапан не будет отремонтирован.

#### **4.5.6. Упражнение 6 – Колебания клапана LV-430 на линии откачки воды**

**Цель упражнения.** Научить оператора распознавать неисправность регулирующего клапана на линии отвода воды из емкости Е-2 и устранять ее.

**Описание ситуации.** Система функционирует в нормальном режиме, когда датчик FIR-130 показывает колебания расхода.

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Расход воды (FIR-130) будет колебаться.
2. Клапан LV-430 будет колебаться от 0% до 100% открытия.
3. Уровень в Е-2 (LIRC-430) будет колебаться.
4. Давление нагнетания насосов Н-1/А, В (PIR-232) и давление после клапана (PIR-233) будут колебаться.
5. Давление в Е-2 (PIRC-230) будет колебаться.

**Требуемые действия.** Оператор должен распознать такой отказ клапана регулятора и взять систему под контроль. Необходимо отсечь отказавший клапан и перейти на управление отводом воды по байпасу клапанной сборки.

#### **Процедура.**

Определив причину нарушения рабочего режима, оператор должен выполнить следующие действия:

1. Перевести регулятор LIRC-430 в ручной режим. Убедиться, что клапан не управляется вручную – колебания клапана продолжают.

2. Отсечь неисправный регулирующий клапан прибора LIRC-430. Для этого закрыть отсекатели ВV-430.

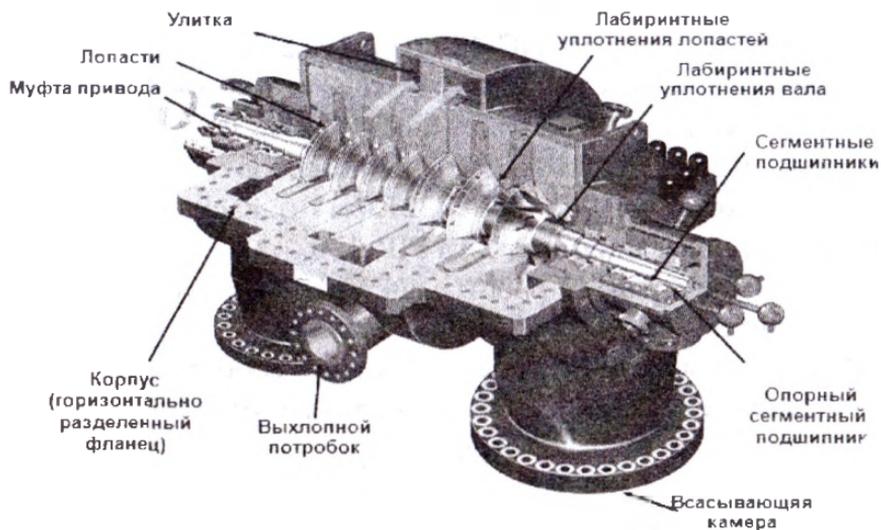
3. Открыть задвижку НС-430 на байпасе клапанной сборки и установить уровень в емкости Е-2 около нормы (50%).

4. Когда уровень в Е-2 будет близок к норме (50%), прикрыть задвижку НС-430 на байпасе клапанной сборки так, чтобы вернуть отвод воды из Е-2 к норме (227,0 м<sup>3</sup>/ч). Расход воды контролировать по показаниям датчика FIR-130.

Нормальный режим работы системы емкостей постепенно восстановится.

На реальном производстве необходимо сообщить о неисправности клапана в службу КИП и управлять отводом воды вручную, пока клапан не будет отремонтирован.

## ГЛАВА 5. ЦЕНТРОБЕЖНЫЙ КОМПРЕССОР



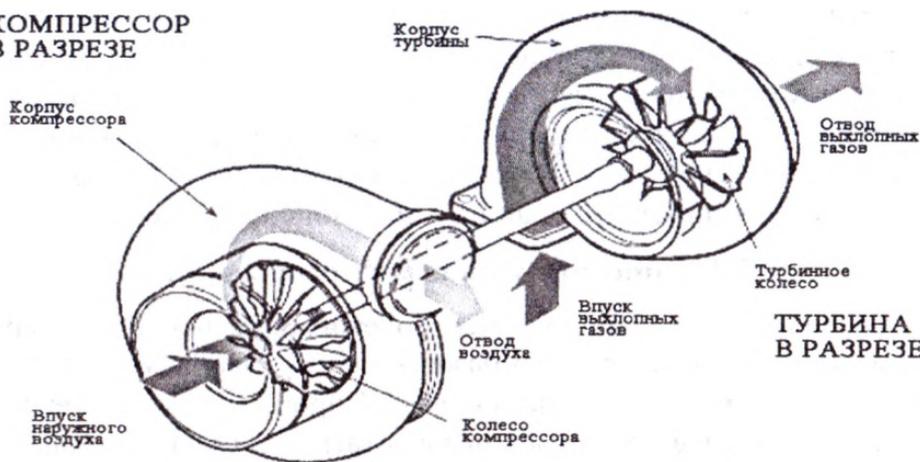
**Центробежный компрессор** (турбокомпрессор) – это такой компрессор, через диффузор и лопатки которого продвигается сжимаемая среда. Движение этой среды в большинстве случаев происходит перпендикулярно оси вращения.

**Компрессор** (от лат. compressio – сжатие) – устройство промышленного применения для сжатия и подачи воздуха и других газов под давлением.

Во время работы компрессора поток рабочего тела (в основном воздух) движется вдоль оси двигателя, попадая на рабочее колесо. Это колесо в центробежном компрессоре представляет собой диск с заборными (от «забор воздуха») лопатками, которые расходятся от его центра к краям.

Воздух, попадая в межлопаточный диффузорный канал, меняет направление и начинает двигаться от оси колеса к периферии по радиусу. При таком движении на частицы воздуха действует центробежная сила, придавая им дополнительную кинетическую энергию. Под действием данной силы рабочее тело сжимается и увеличивает свою скорость.

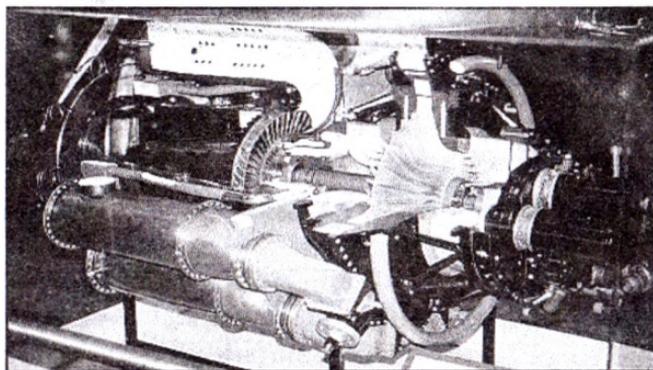
## КОМПРЕССОР В РАЗРЕЗЕ



### Принцип работы центробежного компрессора

Сошедший с рабочего колеса воздух уже обладает скоростью, превышающей скорость его вхождения. Устройство под названием диффузор, которое есть в каждом агрегате, позволяет снизить скорость воздушных частиц после того, как они сойдут с рабочего колеса. В диффузоре возросшая кинетическая энергия преобразуется в статическую, что и позволяет на выходе получить более сжатый воздух.

### Сферы применения



Препарированный ТРД General Electric J-31 с радиальным центробежным компрессором.

Эти компрессоры используются для получения промышленного воздуха во многих производственных отраслях, включая пищевую, текстильную, фармацевтическую, автомобильную, электронную и химическую промышленность. Без центробежных компрессоров не могут обойтись космонавтика и авиация, нефтепромышленность, компании, занимающиеся очисткой воды.

## 5.1. Описание узла компримирования

Моделируется типичный центробежный компрессор с паровым приводом вместе с его базовым оборудованием (рис. 5.1). Рабочим газом является газообразный пропан. Назначение тренажера состоит в том, чтобы выработать у операторов понимание принципов сжатия газа и получить навыки управления узлом компримирования.

Рабочий газ проходит через всасывающую емкость с регулируемым давлением, после чего попадает на всасывающую сторону (на «прием») компрессора. Газ сжимается и проходит в выходной трубопровод («выкид» компрессора) с регулируемым давлением перед тем, как выйти из системы.



Рис. 5.1. Схема узла компримирования.

Компрессор имеет байпас минимального расхода, который используется для предотвращения помпажа, когда прямоток газа меньше, чем минимально необходимый для компрессора.

Скорость паротурбинного привода регулируется по выходному давлению газа от компрессора.

## 5.2. Принципы управления

Холодный рабочий газ подается во всасывающий барабан E-1 и далее – в приемный трубопровод компрессора. Давление во входном трубопроводе из E-1 поддерживает регулятор PIRC-200, клапан которого PV-200 расположен в линии подачи газа в E-1. Датчик TIR-310 контролирует температуру в E-1, датчик FIR-100 – расход рабочего газа в емкость E-1.

Уровень конденсата в E-1 контролирует датчик LIR-400. Конденсат по мере набора уровня сбрасывается из E-1 через ручную задвижку HC-001. Для аварийного сброса давления на емкости E-1 установлен предохранительный клапан с регулируемой задвижкой HC-003 на байпасе пружинного предохранительного клапана (ППК).

Газ поступает на всасывающую сторону компрессора ТК-1 и сжимается до более высокого давления, когда проходит через ступени компрессора. Сжатый газ выходит из компрессора при заданном давлении, которое поддерживает регулятор PIRC-210. При сжатии температура рабочего газа повышается, ее показывает датчик TIR-320.

Регулятор PIR-210 управляет скоростью паротурбинного привода с помощью клапана PV-210, расположенного на линии подачи пара к турбине. Датчик XIR-700 показывает скорость компрессора.

Газ затем проходит в выходной трубопровод компрессора и отводится после охлаждения в водяном холодильнике X-1 в емкость с постоянным давлением 10 кг/см<sup>2</sup>. Газ отводится через клапан FV-130 регулятора расхода FIRC-130. Датчик TIR-330 показывает температуру газа после холодильника X-1.

Если прамоток газа от ТК-1 станет ниже уровня помпажа компрессора, регулятор FIRC-120 открывает клапан FV-120 на байпасе компрессора, чтобы предотвратить возникновение помпажа. После охлаждения газ возвращается в емкость Е-1 на всасывающую сторону компрессора. Датчик FIR-110 контролирует расход газа по байпасу.

При выходе основных параметров узла компримирования за границы рабочего диапазона появляется предупредительная или аварийная сигнализация.

При уменьшении расхода газа от компрессора появляется предупредительное сообщение оператору: «ВОЗМОЖЕН ПОМПАЖ».

При увеличении скорости компрессора выше 18 тыс. оборотов в минуту или по достижении в емкости Е-1 60%-ного уровня срабатывает автоматическая блокировка: закрывается отсекающий клапан HV-010 на линии пара к турбине, чтобы остановить турбокомпрессор.

### 5.3. Измеряемые и управляющие переменные узла компримирования и их значения в нормальном режиме работы

#### 5.3.1. Измеряемые переменные (датчики)

№ позиции (тэг)	Измеряемая переменная	Единица измерения	Значение в нормальном режиме
FIR-100	Расход газа в Е-1	нм <sup>3</sup> /ч	60006,00
FIR-110	Расход рецикла газа по байпасу компрессора ТК-1	нм <sup>3</sup> /ч	0,00
FIRC-120	Расход сжатого газа от ТК-1	нм <sup>3</sup> /ч	60000,00
FIRC-130	Расход газа с установки	нм <sup>3</sup> /ч	60000,00
LIR-400	Уровень конденсата в Е-1	%	1,14
PIRC-200	Давление во всасывающей емкости Е-1	кг/см <sup>2</sup>	2,00
PIRC-210	Давление газа на выходе компрессора ТК-1	кг/см <sup>2</sup>	12,00
TIR-300	Температура газа на входе в Е-1	°С	50,00
TIR-310	Температура в Е-1	°С	50,00

TIR-320	Температура сжатого газа от компрессора ТК-1	°С	90,00
TIR-330	Температура газа после X-1	°С	60,00
XIR-700	Скорость компрессора	об/мин	10000,00

### 5.3.2. Аналоговые управляющие параметры (регуляторы)

№ позиции (тэг)	Регулируемая переменная	Выход на клапан (%)	Режим управления	Тип регуляторов
FIRC-120	Расход сжатого газа от ТК-1	0,0	Авто	Лок
FIRC-130	Расход газа с установки	50,0	Авто	Лок
HC-001	Задвижка на линии сброса конденсата из E-1	0,0	Ручн.	–
HC-002	Задвижка на линии подачи воды в холодильник X-1	50,0	Ручн.	–
HC-003	Задвижка на байпасе предохранительного клапана емкости E-1	0,0	Ручн.	–
HC-130	Задвижка на байпасе регулят. клапана прибора FIRC-130	0,0	Ручн.	–
PIRC-200	Давление во всасывающей емкости E-1	50,0	Авто	Лок
PIRC-210	Давление газа на выкиде компрессора ТК-1	50,0	Авто	Лок

### 5.3.3. Дискретные управляющие параметры (операторские ключи)

Имя ключа (тэг)	Оборудование / Назначение	Положение ключа
HV-001	Отсекатель на линии рабочего газа E-1	ОТКР
HV-002	Отсекатель на приемном трубопроводе ТК-1	ОТКР
HV-003	Отсекатель на выходном трубопроводе ТК-1	ОТКР

HV-004	Сброс газа с компрессора на факел	ЗАКР
HV-010	Отсекатель на линии подачи пара к турбине	ОТКР
HV-020	Отсекатель на линии подачи воды в холодильник Х-1	ОТКР
BV-130	Отсекатели регулирующего клапана FV-130	ОТКР

## 5.4. Стандартные процедуры

К числу стандартных процедур в тренажерной модели «Центробежный компрессор» относятся «Холодный старт» и «Нормальный останов». Стратегия действий оператора и подробная последовательность операций приведены ниже.

### 5.4.1. Холодный старт

#### Общие замечания.

**Цель упражнения** «Холодный старт» – изучить последовательности действий, необходимых для безопасного и правильного пуска центробежного компрессора.

Предполагается, что необходимое оборудование до узла сжатия газа и далее по ходу процесса готово к пуску и все энергетические системы доступны.

Предполагается, что следующие системы, которые не моделируются в тренажере, находятся в состоянии готовности для пуска:

1. Оборудование для подачи рабочего газа;
2. Емкость для приема сжатого газа;
3. Заводские системы общего назначения:
  - заводской и приборный воздух;
  - системы подачи пара и охлаждающей воды;
  - дренажная и факельная системы;
  - система инертного газа;
  - система вентиляции.

Оператор должен быть уверен, что все из перечисленных ниже предпусковых операций выполнены и узел компримирования готов к началу пуска.

### ***Предпусковые операции:***

1. Проверка пусковой схемы и удаление заглушек.
2. Проверка проходимости трубопроводов по всей технологической цепочке с обязательным контролем наличия давления.
3. Прием на установку воздуха КИП и технологического воздуха, пара, воды.
4. Проверка работоспособности оборудования, обкатка, подготовка к работе системы вентиляции.
5. Проверка и включение в работу приборов КИП (все регуляторы должны находиться в ручном режиме с закрытыми регулирующими клапанами).
6. Уведомление о начале пуска персонала всех служб, связанных с работой узла компримирования.

Ниже описывается процедура пуска, т.е. последовательность действий оператора при пуске технологического узла.

### ***Процедура.***

Оператор должен выполнить следующие действия:

1. Открыть отсекатели: HV-001 на линии рабочего газа, HV-010 на линии пара к турбине, HV-020 на линии воды к холодильнику X-1.
2. Подать воду в холодильник X-1. Для этого открыть задвижку HC-002 на 50%.
3. Вручную открыть клапан FV-120 регулятора FIRC-120 на байпасе компрессора примерно на 35%.
4. Вручную открыть на 10–15% клапан PV-200 регулятора FIRC-200 на линии подачи рабочего газа, чтобы получить в емкости E-1 давление 2,0 кг/см<sup>2</sup>.
5. Перевести регулятор FIRC-200 в автоматический режим.
6. Подготовить к работе компрессор: открыть отсекатели HV-002 и HV-003 на приемном и выкидном трубопроводах.
7. Пустить компрессор: вручную открыть клапан PV-210 регулятора FIRC-210 на линии подачи пара к турбине компрессора на 25–30%. (При меньшей подаче пара возможно возникновение помпажа.)

8. Увеличивая подачу пара, довести давление на выкиде компрессора до  $12 \text{ кг/см}^2$  и перевести регулятор PIRC-210 в автоматический режим.

9. Если появится сигнализация высокой скорости (датчик XIR-700), то уменьшить уставку для регулятора PIRC-210, чтобы поддерживать скорость компрессора не выше 12000 об./мин.

10. Открыть отсекатели BV-130 у регулирующего клапана на клапанной сборке регулятора FIRC-130. Постепенно открыть клапан FV-130 регулятора расхода сжатого газа FIRC-130 до значения  $60000,0 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Одновременно клапаном регулятора FIRC-120 уменьшать до нуля расход газа по байпасу компрессора.

11. При достижении регламентного значения расхода газа от компрессора ТК-1 перевести регулятор FIRC-130 в автоматический режим.

12. Контролировать температуру сжатого газа после холодильника X-1 по показаниям датчика TIR-330. Она должна быть около  $55\text{--}60^\circ\text{C}$ . При необходимости корректировать подачу воды в X-1.

13. Перевести регулятор расхода FIRC-120 в автоматический режим с уставкой  $50000,0 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Эта уставка определяет минимальное значение расхода газа через компрессор, при котором необходимо пускать часть газа по антипомпажной линии.

Узел компримирования выведен на нормальный режим работы.

#### 5.4.2. Нормальный останов

##### **Общие замечания.**

**Цель упражнения** «Нормальный останов» – изучить необходимую последовательности действий для правильного и безопасного отключения компрессора.

Полная остановка узла компримирования производится обычно для проведения планового ремонта основного оборудования или из-за производственной необходимости по указанию

руководства. Все заинтересованные службы должны быть уведомлены о предстоящем отключении.

### ***Процедура.***

Оператор должен выполнить следующие действия:

1. Перевести регулятор FIRC-130 в ручной режим и прекратить отвод газа, закрыв клапан регулятора.
2. Перевести регулятор давления во всасывающей емкости PIRC-200 в ручной режим и закрыть его клапан.
3. Слегка открыть клапан FV-130 регулятора FIRC-130, чтобы стравить часть газа.
4. При уменьшении давления в емкости E-1 до 0,5–0,7 кг/см<sup>2</sup> закрыть клапан регулятора FIRC-130 и отсекатели BV-130 на клапанной сборке.
5. Перевести регулятор давления сжатого газа PIRC-210 в ручной режим и вручную постепенно уменьшать подачу пара к турбине, чтобы затормозить компрессор.
6. Продолжать закрывать клапан PV-210 до тех пор, пока компрессор не остановится.
7. Закрывать отсекатели HV-002 и HV-003 на приемном и выкидном трубопроводах компрессора.
8. Закрывать отсекатели HV-001, HV-010, HV-020 и задвижку HC-002.
9. Перевести регулятор FIRC-120 в ручной режим и полностью закрыть его клапан на байпасе компрессора.
10. Сбросить давление из емкости E-1, открыв задвижку HC-003 на байпасе ППК.
11. Сбросить давление с компрессора на факел с помощью отсекателя HV-004.

Узел компримирования остановлен и готов для продувки азотом, промывки и очистки перед тем, как будет производиться его техобслуживание. Операции по подготовке аппаратов к ремонту в тренажере не моделируются и должны выполняться в соответствии с действующими на предприятии инструкциями.

## 5.5. Тренировочные упражнения

Для каждого из описанных ниже упражнений в раздел «Наблюдения» включены наиболее заметные изменения, которые возникают при нарушении нормальной работы технологического узла.

### 5.5.1. Упражнение 1 – Прекращение подачи рабочего газа

**Цель упражнения.** Научить оператора распознавать эту аварию по изменениям показаний приборов и предпринимать необходимые действия для восстановления нормального режима.

**Описание ситуации.** Компрессор функционирует в нормальном режиме, когда внезапно прекращается подача рабочего газа в емкость E-1. Появляется сигнализация о низком давлении газа в E-1.

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Расход газа в E-1 (FIR-100) уменьшится до нуля.
2. Давление в емкости E-1 (PIRC-200) уменьшится. Клапан PV-200 откроется на 100%.
3. Расход газа через компрессор (FIRC-120) уменьшится.
4. Клапан FV-120 откроется, чтобы предотвратить помпаж. Расход по байпасу (FIR-110) вырастет.
5. Давление сжатого газа (PIRC-210) уменьшится.
6. Скорость вращения турбины (XIR-700) увеличится.
7. Расход газа в линии отвода (FIRC-130) уменьшится.

**Требуемые действия.** Необходимо аккуратно восстановить проток газа. При кратковременном перерыве питания перевести компрессор на работу в режиме циркуляции по антипомпажной линии. При длительном перерыве в подаче газа остановить компрессор.

### ***Процедура.***

Определив причину нарушения рабочего режима, оператор должен сообщить о прекращении подачи рабочего газа и выполнить следующие действия:

1. Перевести регулятор расхода сжатого газа FIRC-130 в ручной режим и закрыть его клапан.
2. Перевести регулятор PIRC-200 давления во всасывающей емкости E-1 в ручной режим и закрыть клапан. Компрессор будет работать в режиме циркуляции газа.
3. Скорректировать подачу воды в холодильник X-1 задвижкой HC-002, чтобы температура газа после холодильника была близка к норме.
4. Если подача рабочего газа быстро восстановилась, то набрать нормальное давление в емкости E-1. Затем постепенно довести расход сжатого газа до нормы. Перевести регуляторы PIRC-200 и FIRC-130 в автоматический режим.

Если же перерыв в подаче газа длительный, то следует остановить компрессор. Для этого оператор должен следовать процедуре нормального останова, описанной выше.

### **5.5.2. Упражнение 2 – Прекращение подачи пара к турбине**

***Цель упражнения.*** Научить оператора распознавать эту аварию по изменениям показаний приборов и предпринимать необходимые действия для возврата к нормальному режиму.

***Описание ситуации.*** Компрессор функционирует в нормальном режиме, когда внезапно прекращается подача пара к турбине.

***Признаки.*** Будут иметь место следующие изменения:

1. Скорость компрессора (XIR-700) уменьшится до нуля.
2. Расход газа от компрессора (FIRC-120) уменьшится до нуля. Клапан на байпасе FV-120 откроется на 100%.
3. Давление сжатого газа (PIRC-210) уменьшится.
4. Давление в емкости E-1 (PIRC-200) увеличится. Клапан PV-200 закрывается.

5. Расход газа в E-1 (FIR-100) уменьшится до нуля.

6. Расход газа в линии отвода (FIRC-130) уменьшится до нуля. Возможен обратный поток через клапаны FV-130, FV-120 с подрывом ППК в емкости E-1.

**Требуемые действия.** После того как закроется отсекающий водяного пара, компрессор остановится. После устранения неисправности необходимо заново пустить компрессор.

### **Процедура.**

1. Переведите ключ MF-002 в положение ОТКАЗ.

2. Определив причину нарушения рабочего режима, оператор должен сообщить о прекращении подачи рабочего газа и выполнить следующие действия:

3. Закрыть отсекающий HV-001 на линии рабочего газа в емкость E-1.

4. Перевести все регуляторы в ручной режим и закрыть их клапаны.

5. После устранения нарушения подачи пара провести все описанные выше (см. раздел 5.5.1) операции, необходимые для пуска узла компримирования.

## **5.5.3. Упражнение 3 – Отказ клапана FV-130 на линии отвода газа в положении ОТКРЫТ**

**Цель упражнения.** Распознавание отказа клапана регулятора на линии отвода сжатого газа по его последствиям, изучение правильных действий в такой ситуации.

**Описание ситуации.** Компрессор функционирует в нормальном режиме, когда клапан регулятора расхода на линии отвода сжатого газа оказывается в открытом положении и расход газа увеличивается.

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Отвод сжатого газа (FIRC-130) увеличится.

2. Давление на выходе ТК-1 (PIRC-210) уменьшится.

3. Число оборотов турбины (XIR-700) увеличится.

4. Давление в емкости Е-1 (PIRC-200) уменьшится.

5. Расход газа в Е-1 (FIR-100) увеличится.

**Требуемые действия.** Когда клапан регулятора расхода сжатого газа полностью откроется, компрессор будет увеличивать скорость вращения турбины, чтобы поддержать заданное выходное давление PIRC-210. Необходимо восстановить нормальный отвод газа, используя байпасный клапан.

### **Процедура.**

Переведите ключ MF-003 в положение ОТКАЗ.

Определив причину нарушения рабочего режима, оператор должен выполнить следующие действия:

1. Открыть задвижку HC-130 на байпасе клапанной сборки регулятора FIRC-130.

2. Отсечь неисправный регулирующий клапан FV-130 прибора FIRC-130, закрыв отсекатели BV-130.

3. Открывая задвижку HC-130, вернуть отвод сжатого газа к норме 60000,0 м<sup>3</sup>/ч. Расход газа контролировать по показаниям датчика FIRC-130.

Постепенно режим вернется к норме.

На реальном производстве необходимо сообщить о неисправности клапана в службу КИП и управлять отводом сжатого газа вручную, пока клапан не будет отремонтирован.

## **5.5.4. Упражнение 4 – Отказ клапана FV-130 на линии отвода газа в положении ЗАКРЫТ**

**Цель упражнения.** Распознавание отказа клапана регулятора на линии отвода сжатого газа по его последствиям, изучение правильных действий в такой ситуации.

**Описание ситуации.** Компрессор функционирует в нормальном режиме, когда клапан регулятора на линии отвода сжатого газа внезапно закрывается и расход газа падает.

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Отвод газа (FIRC-130) уменьшится до нуля.
2. Давление на выходе ТК-1 (PIRC-210) увеличится, а затем возвратится к норме.
3. Скорость турбины (XIR-700) уменьшится.
4. Расход газа от ТК-1 (FIRC-120) уменьшится, клапан FV-120 откроется. Расход через FIRC-120 установится на значении, равном уставке регулятора.
5. Давление в емкости Е-1 (PIRC-200) увеличится.
6. Расход газа в Е-1 (FIR-100) уменьшится до нуля.

**Требуемые действия.** Когда клапан на трубопроводе отвода сжатого газа закрывается, скорость вращения турбины снижается, чтобы поддержать заданное выходное давление (PIRC-210). Когда расход газа от компрессора (FIRC-120) установится на значении, равном уставке регулятора (т.е. выше величины расхода помпажа), компрессор будет продолжать работать на полной рециркуляции.

#### **Процедура.**

Определив причину нарушения рабочего режима, оператор должен выполнить следующие действия (а на реальной установке также сообщить о неисправности клапана в службу КИП):

1. Отсечь неисправный регулирующий клапан FV-130 прибора FIRC-130, закрыв отсекатели BV-130.
2. Медленно открыть задвижку НС-130 на байпасе клапанной сборки так, чтобы вернуть отвод сжатого газа к норме 60000,0 м<sup>3</sup>/ч. Расход газа контролировать по показаниям датчика FIRC-130. Нормальный режим работы постепенно восстановится.

#### **5.5.5. Упражнение 5 – Отказ датчика регулятора давления PIRC-210 на низком показании**

**Цель упражнения.** Научить оператора распознавать такой отказ прибора по изменениям показаний датчиков и предпринимать необходимые действия для возврата к нормальному режиму.

**Описание ситуации.** Компрессор функционирует в нормальном режиме, когда внезапно датчик давления сжатого газа от компрессора PIR-210 отказывает (залипает) на низком показании.

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Давление на выходе компрессора (PIRC-210) уменьшится до нуля и не изменится. Клапан регулятора полностью откроется.
2. Скорость турбины (XIR-700) увеличится.
3. Расход газа от компрессора (FIRC-120) увеличится.
4. Давление в емкости Е-1 (PIRC-200) уменьшится.
5. Расход газа в Е-1 (FIR-100) увеличится.
6. Отвод газа (FIRC-130) увеличится.

**Требуемые действия.** Когда падает выходное давление газа от ТК-1, регулятор давления PIRC-210 начинает разгонять компрессор, пытаясь вернуть давление к уровню уставки. Оператор должен быстро устранить нарушение режима, управляя давлением газа вручную.

**Процедура.**

Определив причину нарушения рабочего режима, оператор должен выполнить следующие действия:

1. Перевести регулятор давления PIRC-210 в ручной режим. Прикрыть клапан PV-210 на линии пара к турбине так, чтобы скорость компрессора понизилась до нормы 10000 об/мин.
2. Режим постепенно вернется к норме.

На реальном производстве необходимо сообщить о неисправности клапана в службу КИП и управлять давлением сжатого газа от ТК-1 вручную. Когда датчик будет отремонтирован, можно перейти на автоматическое регулирование давления.

### **5.5.6. Упражнение 6 – Повреждение уплотнения компрессора**

**Цель упражнения.** Научить оператора распознавать это повреждение по изменениям показаний приборов и предпринимать необходимые действия по ликвидации аварии.

**Описание ситуации.** Компрессор функционирует в нормальном режиме, когда внезапно появляется пропуск в торцевом уплотнении компрессора. Появляется сигнализация о загазованности в компрессорной.

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Расход газа от компрессора (FIRC-120) несколько уменьшится, затем возвратится к норме.
2. Давление сжатого газа (PIRC-210) уменьшится, затем возвратится к норме.
3. Скорость компрессора (XIR-700) несколько увеличится.
4. Давление газа в E-1 (PIRC-200) уменьшится, затем возвратится к норме.
5. Расход газа в E-1 (FIR-100) слегка увеличится.

**Требуемые действия.** Когда появляется утечка рабочего газа через уплотнения компрессора, требуется срочная остановка узла компримирования.

**Процедура.**

Определив причину нарушения рабочего режима, оператор должен выполнить следующие действия по аварийному останову узла компримирования:

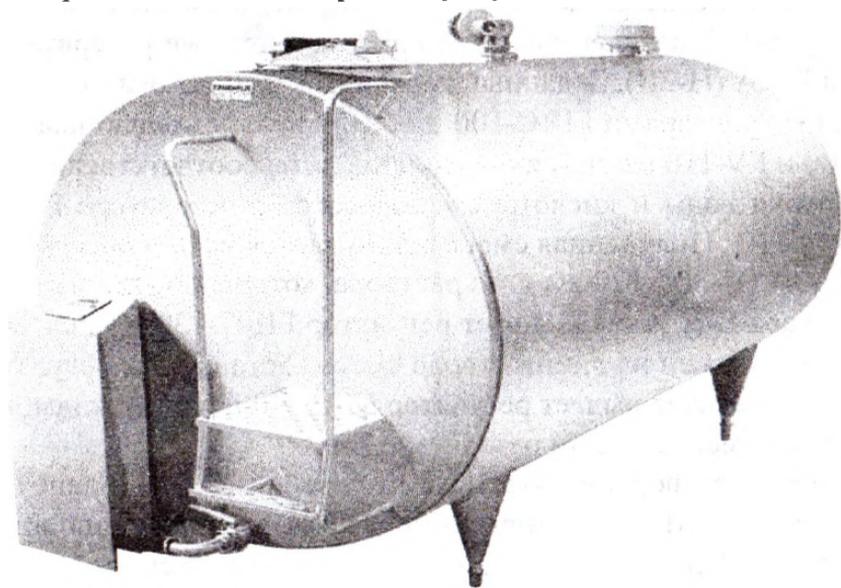
1. Перевести регулятор давления PIRC-210 в ручной режим и закрыть его клапан на линии пара, чтобы остановить компрессор. Закрыть отсекаТЕЛЬ HV-010 на линии подачи пара к турбине.
2. Закрыть отсекатели HV-002 и HV-003 на приеме и выкиде компрессора. Сбросить давление с корпуса компрессора на факел, открыв отсекаТЕЛЬ HV-004.
3. Закрыть отсекаТЕЛЬ HV-001 на приеме рабочего газа в емкость E-1.
4. Перевести все регуляторы в ручной режим и закрыть клапаны.
5. Сбросить давление из емкости E-1 на факел, открыв задвижку HC-003 на ППК.
6. Прекратить подачу воды в холодильник X-1.

## ГЛАВА 6. СМЕСИТЕЛЬНЫЙ РЕЗЕРВУАР

Смесительный бак используется для трансформации, упаковки и хранения материалов, в большинстве случаев жидких. Микродвигатель приводит в движение вращающийся магнит или магнитное поле, чтобы в свою очередь привод внутри бака тоже заработал, вращаясь. Загруженный материал нагревается и смешивается в строго указанной температуре. Бак используется в биологических, медицинских, химических и химико-инженерных отраслях производства.

1. Смесительный бак может использоваться как резервуар для жидкости, резервуар для смешивания материала, резервуар для временного хранения, емкость для хранения воды и так далее.

2. Аппарат стал незаменимым в производствах молочных продуктов, продуктов питания, напитков, для предприятий, занятых производством фармацевтических, химических, химико-инженерных и биоинженерных продуктов.



## 6.1. Описание технологического узла

В тренажере моделируется емкость, в которой осуществляется смешение потоков чистой воды и уксусной кислоты в целях получения разведенного раствора требуемой концентрации. Вода и кислота непрерывно подаются насосами в смесительный резервуар, где происходит механическое перемешивание с помощью мешалки. Разведенный раствор непрерывно откачивается продуктовым насосом при поддержании заданного уровня в резервуаре.

Схема технологического узла представлена на рис. 6.1.

## 6.2. Принципы управления

Задача управления системой смешивания заключается в получении раствора требуемой концентрации и ведении технологического процесса согласно требованиям безопасности и эффективного использования оборудования.

Вода нагнетается насосом Н-1А (Н-1В) в смесительный резервуар Е-1. Уксусная кислота подается в этот же резервуар насосом Н-2А (Н-2В). Заданный расход каждого потока поддерживается регуляторами FIRC-100 и FIRC-110 с помощью клапанов FV-100 и FV-110 на линиях воды и кислоты соответственно.

Потоки воды и кислоты смешиваются в резервуаре Е-1 мешалкой М-1. Полученная смесь откачивается из резервуара насосом Н-3А (Н-3В). Количество раствора, который откачивается из резервуара Е-1, устанавливает регулятор FIRC-120, клапан которого расположен на линии отвода смеси. Уставку для регулятора расхода в каскаде выдает регулятор LIRC-400, поддерживающий уровень в смесительном резервуаре Е-1.

Состав раствора, выводимого из резервуара, контролируется анализатором AI-520, который определяет концентрацию кислоты в смеси. Предусмотрена возможность вывода смеси в линию



некондиции, если состав смеси не соответствует спецификации. Датчики PIR-200, PIR-210 и PIR-220 контролируют давление в линиях с нагнетания насосов Н-1/А, В, Н-2/А, В и Н-3/А, В соответственно.

### 6.3. Измеряемые и управляющие переменные технологического узла и их значения в нормальном режиме работы

#### 6.3.1. Измеряемые переменные (датчики)

*Примечание.*

«Датчик» AI-521 в тренажерной модели имитирует лабораторный анализ концентрации смеси. Он постоянно показывает истинное значение концентрации, в отличие от поточного анализатора AI-520, который может давать неверные показания.

В нормальном режиме работы технологического узла показания «датчика» AI-521 на экран Рабочей станции оператора не выводятся. Чтобы их увидеть, оператор должен сделать щелчок мышью по кнопке с изображением колбы.

№ позиции (тэг)	Измеряемая переменная	Единица измерения	Значение в нормальном режиме
AI-520	Концентрация смеси	% масс	42,86
AI-521	Концентрация смеси в Е-1 (лабораторный анализ)	% масс	42,86
FIRC-100	Расход воды в резервуар Е-1	м <sup>3</sup> /час	9,08
FIRC-110	Расход кислоты в Е-1	м <sup>3</sup> /час	6,81
FIRC-120	Расход смеси из Е-1	м <sup>3</sup> /час	15,89
LIR-401	Уровень смеси в резервуаре Е-1 (замер по месту)	%	0,00
LIRC-400	Уровень смеси в Е-1	кг/см <sup>2</sup>	50,00
PIR-200	Давление на выкиде Н-1	кг/см <sup>2</sup>	0,55
PIR-210	Давление на выкиде Н-2	кг/см <sup>2</sup>	0,63
PIR-220	Давление на выкиде Н-3	кг/см <sup>2</sup>	0,49

### 6.3.2. Аналоговые управляющие параметры (регуляторы)

№ позиции (тэг)	Регулируемая переменная	Выход на клапан (%)	Режим управления	Тип регуляров.
FIRC-100	Расход воды в резервуар E-1	50,0	Авто.	Лок
FIRC-110	Расход кислоты в E-1	50,0	Авто.	Лок
FIRC-120	Расход смеси из E-1	50,0	Авто.	Дист
HC-120	Задвижка на байпасе регулir. клапана прибора FIRC-120	0,0	Ручн.	—
LIRC-400	Уровень смеси в E-1	—	Авто.	Лок

### 6.3.3. Дискретные управляющие параметры (операторские ключи)

Имя ключа (тэг)	Оборудование / Назначение	Положение ключа
BV-120	Отсекатели у регулирующего клапана FV-120	ОТКР
HV-001	Отсекатель на линии вывода смеси в парк	ОТКР
HV-002	Отсекатель на выводе смеси в линию некондиции	ЗАКР
KP-001	Получение замера уровня в E-1 по месту (мерное стекло)	ЗАКР
M-1	Электродвигатель мешалки	ВКЛ
H-1A	Основной насос воды	ВКЛ
H-1B	Резервный насос воды	ВЫКЛ
H-2A	Основной насос уксусной кислоты	ВКЛ
H-2B	Резервный насос уксусной кислоты	ВЫКЛ
H-3A	Основной насос откачки смеси из E-1	ВКЛ
H-3B	Резервный насос откачки смеси из E-1	ВЫКЛ

## 6.4. Стандартные процедуры

К числу стандартных процедур в тренажерной модели «Смесительный резервуар» относятся «Холодный старт» и «Нормальный останов». Стратегия действий оператора и подробная последовательность операций описаны ниже.

### 6.4.1. Холодный старт

**Цель упражнения** «Холодный старт» – изучить последовательность действий, необходимых для безопасного и правильного пуска узла смешения.

Предполагается, что необходимое оборудование до и после смесительного резервуара (т.е. выше и ниже его по технологической цепочке) готово к пуску и все энергетические системы находятся в рабочем состоянии.

Предполагается также, что следующие системы, которые не моделируются в тренажере, находятся в состоянии готовности для пуска:

1. Емкости воды и уксусной кислоты.
2. Емкость для приема смеси.
3. Заводские системы общего назначения:
  - заводской и приборный воздух;
  - система электроснабжения;
  - дренажная система;
  - система вентиляции.

Оператор должен быть уверен, что все из перечисленных ниже предпусковых операций выполнены и оборудование готово к началу пуска.

#### ***Предпусковые операции:***

1. Промывка и очистка трубопроводов и оборудования, удаление заглушек.
2. Проверка проходимости трубопроводов по всей технологической цепочке с обязательным контролем наличия давления.

3. Прием на установку электроэнергии, воздуха КИП, технологического воздуха и азота.

4. Проверка работоспособности оборудования, подготовка к работе и обкатка насосов и системы вентиляции.

5. Проверка и введение в работу приборов КИП (все регуляторы должны находиться в ручном режиме с закрытыми регулирующими клапанами).

6. Уведомление о начале пуска персонала всех служб, связанных с работой узла.

Ниже описывается процедура пуска, т.е. последовательность действий оператора при пуске технологического узла.

### *Процедура.*

1. Включить питающий насос воды Н-1А.

2. Включить питающий насос уксусной кислоты Н-2А.

3. Слегка открыть вручную клапаны регуляторов расхода воды (FV-100) и кислоты (FV-110).

4. Медленно увеличивать потоки, пока расходы не достигнут нормальных значений: FIRC-100 – 9,08 м<sup>3</sup>/ч и FIRC-110 – 6,81 м<sup>3</sup>/ч.

5. Перевести регуляторы FIRC-100 и FIRC-110 в автоматический режим.

6. Контролировать уровень в резервуаре Е-1 по показаниям датчика LIRC-400.

7. Когда уровень в Е-1 достигнет примерно 25%, включить мешалку М-1.

8. Включить отсасывающий насос смеси Н-3А. Открыть отсекающий HV-001 на линии отвода смеси в парк.

9. Открыть отсекатели (BV-120) регулирующего клапана на клапанной сборке регулятора расхода смеси FIRC-120.

10. Начать отвод смеси из резервуара Е-1 – открыть клапан регулятора FV-120 так, чтобы расход смеси был небольшим. Проверить по показаниям анализатора А1-520 концентрации раствора и убедиться, что концентрация получаемого продукта близка к норме (42,8%).

11. Когда уровень в резервуаре Е-1 достигнет приблизительно 50%, перевести регулятор расхода смеси FIRC-120 в удаленный режим. Затем перевести регулятор LIRC-400 уровня в резервуаре Е-1 в автоматический режим и задать ему уставку 50%.

12. Контролировать каждую измеряемую величину и регулировать процесс так, как это необходимо для приведения работы узла смешения в желаемое состояние.

Технологический узел выведен на нормальный режим работы.

#### **6.4.2. Нормальный останов**

##### **Общие замечания.**

**Цель упражнения** «Нормальный останов» – изучить необходимую последовательность действий для правильного и безопасного отключения оборудования.

Полная остановка узла смешения производится обычно для проведения ремонта основного оборудования или в силу производственной необходимости.

Нормальный (плановый) останов состоит в выполнении заранее определенной последовательности операций, изложенной ниже. Далее в разделе «Процедура» подробно излагаются действия оператора, выполняемые им во время нормального останова с конкретным оборудованием и приборами.

Последовательность операций при нормальном останове:

1. Остановить поток уксусной кислоты к узлу смешения.
2. Остановить поток воды.
3. Опустошить резервуар.
4. Подготовить систему для безопасной работы персонала при ремонте или для обслуживания оборудования.

##### **Процедура.**

1. Уведомить операторов по технологической цепочке (до и после узла смешения) о начале останова смесительного резервуара.

2. Перевести регуляторы расхода FIRC-110 и FIRC-100 в ручной режим. Медленно и поровну уменьшать потоки уксусной кислоты и воды до нуля, прикрывая клапаны регуляторов FV-110 и FV-100 соответственно.

3. Когда потоки воды и уксусной кислоты уменьшатся до нуля, выключить насосы Н-1А и Н-2А.

4. Постепенно, шагами уменьшать уставку регулятора уровня LIRC-400 до 5%. Когда уровень в резервуаре будет 25%, выключить мешалку М-1.

5. Перевести регулятор расхода смеси FIRC-120 в ручной режим.

6. Наблюдать за показаниями датчика LIRC-400. Когда уровень в Е-1 понизится до 0%, это будет означать, что резервуар пуст. Выключить насос Н-3А.

7. Закрыть клапан регулятора расхода смеси FV-120 и отсекатели BV-120 на клапанной сборке.

8. Закрыть отсекатель HV-001.

На реальном производстве далее следует подготовить систему для безопасной работы персонала при ремонте или техническом обслуживании оборудования. Эти операции в тренажере не моделируются и должны выполняться в соответствии с действующими на предприятии инструкциями.

## **6.5. Тренировочные упражнения**

Для каждого из описанных ниже упражнений в раздел «Наблюдения» включены наиболее заметные изменения, которые возникают при нарушении нормальной работы технологического узла.

### **6.5.1. Упражнение 1 – Отказ основного насоса воды Н-1А**

**Цель упражнения.** Научить оператора распознавать эту аварию по изменениям показаний приборов и предпринимать необходимые действия для возврата к нормальному режиму.

**Описание ситуации.** Узел функционирует в нормальном режиме, когда внезапно отказывает работающий насос воды Н-1А и расход воды падает до нуля.

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Расход воды (FIRC-100) уменьшается до нуля. Клапан FV-100 откроется до 100%.
2. Давление нагнетания насоса Н-1 (PIR-200) уменьшается.
3. Уровень в Е-1 (LIRC-400) уменьшается.
4. Расход смеси (FIRC-120) уменьшается.
5. Концентрация смеси (AI-520) увеличивается.

**Требуемые действия.** Когда подача воды на смешение прекратится, концентрация смеси быстро изменяется. Необходимо немедленно запустить резервный насос, чтобы вернуть процесс смешения к норме, пока потери продукта невелики.

**Процедура.**

Определив причину нарушения, оператор должен выполнить следующие действия:

1. Запустить резервный насос воды Н-1В.
2. Перевести регулятор расхода воды FIRC-100 в ручной режим и прикрыть клапан так, чтобы расход был около нормы 9,08 м<sup>3</sup>/ч.
3. Когда расход установится, перевести регулятор в автоматический режим.

Нормальный режим работы узла постепенно восстановится.

### **6.5.2. Упражнение 2 – Отказ основного и резервного насосов воды Н-1**

**Цель упражнения.** Научить оператора распознавать эту аварию по изменениям показаний приборов и предпринимать необходимые действия для возврата к нормальному режиму.

**Описание ситуации.** Узел смешения функционирует в нормальном режиме, когда внезапно отказывает работающий насос

воды Н-1А и расход воды падает до нуля. Резервный насос Н-1В также неисправен.

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Расход воды (FIRC-100) уменьшится до нуля. Клапан FV-100 откроется на 100%.
2. Давление нагнетания Н-1 (PIR-200) уменьшится.
3. Уровень в Е-1 (LIRC-400) уменьшится.
4. Расход смеси (FIRC-120) уменьшится,
5. Концентрация смеси (AI-520) увеличится.

**Требуемые действия.** Когда подача воды на смешение прекращается, быстро изменяется концентрация отводимой смеси. Необходимо немедленно запустить резервный насос. Если резервный насос также неисправен, следует временно остановить узел смешения до тех пор, пока один из насосов не будет готов к работе.

**Процедура.**

Когда оператор определит причину нарушения режима и обнаружит, что резервный насос неработоспособен, он должен выполнить следующее:

1. Выключить насосы Н-2А и Н-3А, чтобы на время приостановить процесс смешения.
2. Перевести все регуляторы уровня и расхода в ручной режим и закрыть клапаны регуляторов расхода.

Теперь переведите один из ключей MF-001 или MF-002 в положение «Норма», чтобы оператор мог вернуть технологический узел к нормальному режиму.

Для этого оператору необходимо проделать следующие действия:

1. Включить исправный насос воды, а также запустить насосы Н-2А и Н-3А.
2. Вручную открыть клапаны регуляторов FIRC-100 и FIRC-110 так, чтобы расходы воды и кислоты были близки к норме (9,08 м<sup>3</sup>/ч и 6,81 м<sup>3</sup>/ч соответственно).

3. Следить за показаниями анализатора AI-520. Если концентрация смеси сильно отличается от нормы (42,8% масс.), перевести продукт в линию некондиции. Для этого открыть отсекаТЕЛЬ HV-002 и закрыть отсекаТЕЛЬ HV-001.

4. Когда расходы воды и уксусной кислоты установятся, перевести регуляторы FIRC100 и FIRC-110 в автоматический режим.

5. Вручную открыть клапан регулятора расхода FV-120 на линии отвода смеси так, чтобы уровень в Е-1 понизился до 50%, и перевести регулятор FIRC-120 в удаленный режим. Затем перевести регулятор уровня LIRC-400 в автоматический режим и задать уставку 50%.

6. Когда концентрация смеси будет близка к норме (42,8% масс.), закрыть отсекаТЕЛЬ HV-002 на линии некондиционного продукта и открыть отсекаТЕЛЬ HV-001 на линии отвода продукта в парк.

Система постепенно вернется к расчетному режиму.

Если ни один из двух водяных насосов не удастся привести в рабочее состояние, то необходимо остановить технологический узел. Для этого оператор должен следовать процедуре нормального останова, описанной выше.

### **6.5.3. Упражнение 3 – Отказ основного насоса уксусной кислоты Н-2А**

**Цель упражнения.** Научить оператора распознавать эту аварию по изменениям показаний приборов и предпринимать необходимые действия для возврата к нормальному режиму.

**Описание ситуации.** Узел смешения функционирует в нормальном режиме, когда внезапно отказывает работающий насос уксусной кислоты Н-2А и расход кислоты падает до нуля.

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Расход кислоты (FIRC-110) уменьшится до нуля. (Клапан FV-110 откроется до 100%.)

2. Давление нагнетания Н-2 (PIR-210) уменьшится.
3. Уровень в Е-1 (LIRC-400) уменьшится.
4. Расход смеси (FIRC-120) уменьшится,
5. Концентрация смеси (AI-520) уменьшится.

**Требуемые действия.** Когда подача кислоты на смешение прекращается, быстро изменяется концентрация смеси. Необходимо быстро запустить резервный насос подачи кислоты, чтобы вернуть процесс смешения к норме, пока потери продукта невелики.

### **Процедура.**

Определив причину нарушения, оператор должен выполнить следующие действия:

1. Запустить резервный насос уксусной кислоты Н-2В.
2. Перевести регулятор расхода кислоты FIRC-110 в ручной режим и прикрыть его клапан так, чтобы расход был близок к норме (6,81 м<sup>3</sup>/ч).
3. Когда расход кислоты установится, перевести регулятор расхода FIRC-10 в автоматический режим.

Нормальный режим работы узла смешения постепенно восстановится.

## **6.5.4. Упражнение 4 – Отказ основного и резервного насосов уксусной кислоты Н-2**

**Цель упражнения.** Научить оператора распознавать эту аварию по изменениям показаний приборов и предпринимать необходимые действия для возврата к нормальному режиму.

**Описание ситуации.** Узел смешения функционирует в нормальном режиме, когда внезапно отказывает работающий насос кислоты Н-2А и расход кислоты падает до нуля. Резервный насос Н-2В также неисправен.

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Расход кислоты (FIRC-110) уменьшается до нуля. (Клапан FV-110 откроется на 100%.)

2. Давление нагнетания Н-2 (PIR-210) уменьшится.
3. Уровень в Е-1 (LIRC-400) уменьшится.
4. Расход смеси (FIRC-120) уменьшится,
5. Концентрация смеси (AI-520) уменьшится.

**Требуемые действия.** После прекращения подачи кислоты на смешение быстро изменяется концентрация отводимой смеси. Необходимо немедленно запустить резервный насос. Если резервный насос также неисправен, следует временно остановить узел смешения до тех пор, пока один из насосов подачи кислоты не будет готов к работе.

### **Процедура.**

Когда оператор определит причину нарушения режима и обнаружит, что резервный насос также неработоспособен, он должен выполнить следующее:

1. Выключить насосы Н-1А и Н-3А, чтобы на время приостановить процесс смешения.
2. Перевести все регуляторы уровня и расхода в ручной режим и закрыть клапаны регуляторов расхода.

Теперь переведите один из ключей MF-003 или MF-004 в положение «Норма», чтобы оператор мог вернуть технологический узел к нормальному режиму.

Для этого оператору необходимо проделать следующие действия:

1. Включить исправный насос подачи кислоты, а также запустить насосы Н-1А и Н-3А.
2. Вручную открыть клапаны регуляторов FIRC-100 и FIRC-110 так, чтобы расходы воды и кислоты были близки к норме (9,08 м<sup>3</sup>/ч и 6,81 м<sup>3</sup>/ч соответственно).
3. Следить за показаниями анализатора AI-520. Если концентрация смеси сильно отличается от нормы (42,8% масс.), перевести продукт в линию некондиции. Для этого открыть отсекабель HV-002 и закрыть отсекабель HV-001.

4. Когда расходы воды и кислоты установятся, перевести регуляторы в автоматический режим.

5. Вручную открыть клапан регулятора расхода FV-120 на линии отвода смеси так, чтобы уровень в Е-1 понизился до 50%, и перевести регулятор FIRC-120 в удаленный режим. Затем перевести регулятор уровня LIRC-400 в автоматический режим и задать уставку 50%.

6. Когда концентрация смеси будет близка к норме (42,8% масс.), закрыть отсекающий клапан HV-002 на линии некондиционного продукта и открыть отсекающий клапан HV-001 на линии отвода продукта в парк.

Система постепенно вернется к нормальному режиму.

Если ни один из двух насосов уксусной кислоты не удастся привести в рабочее состояние, то необходимо остановить технологический узел. Для этого оператор должен следовать процедуре нормального останова, описанной выше.

#### **6.5.5. Упражнение 5 – Отказ основного насоса откачки смеси Н-3А**

**Цель упражнения.** Научить оператора распознавать эту аварию по изменениям показаний приборов и предпринимать необходимые действия для возврата к нормальному режиму.

**Описание ситуации.** Узел смешения функционирует в нормальном режиме, когда внезапно отказывает работающий насос откачки смеси Н-3А и расход смеси падает до нуля.

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Расход смеси (FIRC-120) уменьшится до нуля. (Клапан FV-120 откроется на 100%.)
2. Давление нагнетания Н-3 (PIR-220) уменьшается.
3. Уровень смеси (LIRC-400) увеличивается.

**Требуемые действия.** Когда насос, откачивающий смесь, останавливается, уровень в резервуаре Е-1 начинает увеличиваться.

ваться. Необходимо быстро запустить резервный насос откачки смеси, чтобы не допустить переполнения резервуара.

### ***Процедура.***

Определив причину нарушения, оператор должен выполнить следующие действия:

1. Запустить резервный насос смеси Н-3В.
2. Перевести регулятор уровня LIRC-400 и регулятор расхода смеси FIRC-120 в ручной режим.
3. Довести уровень в резервуаре Е-1 до нормы 50%, прикрыть клапан на линии отвода смеси до нормы и перевести регулятор FIRC-120 в удаленный режим. Затем перевести регулятор уровня LIRC-400 в автоматический режим и задать уставку 50%.

## **6.5.6. Упражнение 6 – Отказ основного и резервного насосов откачки смеси Н-3**

***Цель упражнения.*** Научить оператора распознавать эту аварию по изменениям показаний приборов и предпринимать необходимые действия для возврата к нормальному режиму.

***Описание ситуации.*** Узел смешения функционирует в нормальном режиме, когда внезапно отказывает работающий насос откачки смеси из резервуара Е-1 и расход смеси падает до нуля. Резервный насос смеси Н-3В также неисправен.

***Признаки.*** Будут иметь место следующие изменения:

1. Расход смеси (FIRC-120) уменьшится до нуля. (Клапан FV-120 откроется до 100%.)
2. Давление нагнетания Н-3 (PIR-220) уменьшится.
3. Уровень смеси (LIRC-400) в Е-1 увеличится.

***Требуемые действия.*** Когда насос, откачивающий смесь, останавливается, уровень в резервуаре Е-1 увеличивается. Следует быстро запустить резервный насос откачки смеси, чтобы не допустить переполнения резервуара. Поскольку резервный насос также неисправен, следует временно остановить процесс смешения, пока один из насосов откачки смеси не будет готов к работе.

### ***Процедура.***

Когда оператор определит причину нарушения режима и обнаружит, что резервный насос также неработоспособен, он должен сообщить об этом инструктору и выполнить следующее:

1. Выключить насосы Н-1А и Н-2А, чтобы на время приостановить процесс смешения.

2. Перевести все регуляторы (уровня и расхода) в ручной режим и закрыть клапаны регуляторов расхода.

Теперь переведите один из ключей MF-005 или MF-006 в положение «Норма», чтобы оператор мог вернуть технологический узел к нормальному режиму.

Для этого оператору необходимо проделать следующие действия:

1. Включить исправный насос откачки смеси, а также запустить насосы Н-1А и Н-2А.

2. Вручную открыть клапаны регуляторов FIRC-100 и FIRC-110 так, чтобы расходы воды и кислоты были близки к норме (9,08 м<sup>3</sup>/ч и 6,81 м<sup>3</sup>/ч соответственно)

3. Когда расходы установятся, перевести регуляторы в автоматический режим.

4. Вручную открыть клапан регулятора расхода FV-120 на линии отвода смеси так, чтобы уровень в Е-1 понизился до 50%, и перевести регулятор в удаленный режим. Затем перевести регулятор уровня LIRC-400 в автоматический режим и задать уставку 50%.

Система постепенно вернется к нормальному режиму.

Если ни один из двух насосов откачки смеси не удастся привести в рабочее состояние, то необходимо остановить технологический узел. Для этого оператор должен следовать процедуре нормального останова, описанной выше.

### 6.5.7. Упражнение 7 – Отказ датчика уровня LI-400 на нижнем показании

**Цель упражнения.** Распознавание отказа датчика и изучение правильных действий в такой ситуации.

**Описание ситуации.** Узел смешения функционирует в нормальном режиме, когда датчик уровня в резервуаре LI-400 отказывает (залипает) на нижнем показании. Его показания не совпадают с замером уровня по месту (мерное стекло).

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Показание датчика уровня смеси (LIRC-400) станет равным нулю и не будет изменяться.
2. Расход смеси (FIRC-120) резко уменьшится.
3. Клапан FV-120 закроется.

**Требуемые действия.** Оператор должен убедиться в неисправности датчика уровня и обеспечить нормальный отвод смеси из резервуара E-1. Следует перейти на управление расходом смеси без коррекции по уровню в E-1.

**Процедура:**

Определив причину нарушения, оператор должен выполнить следующие действия:

1. Перевести ключ КР-001 в положение ВКЛ, чтобы определить реальный уровень в резервуаре E-1 по месту и убедиться в неисправности датчика LIR-400.

2. Перевести регулятор расхода смеси FIRC-120 в ручной режим и открыть клапан для понижения уровня в E-1. Контроль уровня вести по мерному стеклу.

3. После понижения уровня до нормы (50%) прикрыть клапан регулятора FV-120 так, чтобы расход смеси был близок к норме (15,89 м<sup>3</sup>/ч).

4. Перевести регулятор расхода смеси FIRC-120 в автоматический режим с уставкой 15,89 м<sup>3</sup>/ч.

5. Продолжать вести процесс, контролируя уровень по мерному стеклу, пока датчик уровня не будет отремонтирован.

На реальном производстве необходимо сообщить о неисправности датчика в службу КИП и А.

### 6.5.8. Упражнение 8 – Отказ датчика уровня LI-400 на верхнем показании

**Цель упражнения.** Распознавание отказа датчика и изучение правильных действий в такой ситуации.

**Описание ситуации.** Узел смешения функционирует в нормальном режиме, когда датчик уровня в резервуаре LI 400 отказывает (залипает) на верхнем показании. Его показания не совпадают с замером уровня по месту (мерное стекло).

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Показание датчика уровня смеси (LIRC-400) вырастет до 100% и далее не изменится.
2. Расход смеси (FIRC-120) резко увеличится.
3. Клапан FV-120 откроется до 100%.

**Требуемые действия.** Оператор должен убедиться в неисправности датчика уровня и обеспечить нормальный отвод смеси из резервуара E-1. Следует перейти на управление расходом смеси без коррекции по уровню в E-1.

#### **Процедура.**

Определив причину нарушения, оператор должен выполнить следующие действия:

1. Перевести ключ КР-001 в положение ВКЛ, чтобы определить реальный уровень в резервуаре E-1 по месту и убедиться в неисправности датчика.
2. Перевести регулятор расхода смеси FIRC-120 в ручной режим и прикрыть клапан для повышения уровня в E-1. Контроль уровня вести по мерному стеклу.
3. Если жидкость в E-1 отсутствует, то происходит сброс насоса Н-3А. Следует дождаться появления уровня 1–3%, после чего перепустить (выключить и включить) насос Н-3А.

4. После повышения уровня до нормы (50%) открыть клапан регулятора FV-120 так, чтобы расход смеси был близок к норме (15,89 м<sup>3</sup>/ч).

5. Перевести регулятор расхода смеси FIRC-120 в автоматический режим с уставкой 15,89 м<sup>3</sup>/ч.

6. Продолжать вести процесс, контролируя уровень по мерному стеклу, пока датчик уровня не будет отремонтирован.

На реальном производстве необходимо сообщить о неисправности датчика в службу КИП и А.

### **6.5.9. Упражнение 9 – Отказ клапана FV-120 на линии откачки смеси в положении ОТКРЫТ**

**Цель упражнения.** Распознавание отказа клапана регулятора на линии отвода смеси из резервуара Е-1 по его последствиям, изучение правильных действий в такой ситуации.

**Описание ситуации.** Узел смешения функционирует в нормальном режиме, когда клапан регулятора расхода на линии откачки смеси внезапно отказывает в открытом положении.

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Расход смеси (FIRC-120) резко возрастет.
2. Клапан FV-120 откроется до 100%.
3. Уровень смеси (LIRC-400) быстро уменьшится.

**Требуемые действия.** Оператор должен быстро распознать отказ регулирующего клапана, не допуская опорожнения резервуара Е-1. Необходимо отсечь отказавший клапан задвижками и перейти на управление расходом смеси по байпасу клапанной сборки.

**Процедура.**

Определив причину нарушения, оператор должен выполнить следующие действия:

1. Отсечь неисправный регулирующий клапан FV-120, закрыв отсекатели BV-120.

2. Когда в резервуаре Е-1 восстановится нормальный уровень, открыть задвижку НС-120 на байпасе клапанной сборки.

3. Если жидкость в Е-1 отсутствует, то происходит сброс насоса Н-3А. В этом случае перед открытием байпасной задвижки следует перепустить (выключить и включить) насос Н-3А.

4. Открыть задвижку НС-120 на байпасе клапанной сборки настолько, чтобы вернуть отвод смеси из Е-1 к норме (15,89 м<sup>3</sup>/час). Расход контролировать по показаниям датчика FIR-120.

Нормальный режим работы узла смешения постепенно восстановится.

На реальном производстве необходимо сообщить о неисправности клапана в службу КИП и управлять отводом воды вручную, пока клапан не будет отремонтирован.

#### **6.5.10. Упражнение 10 – Отказ анализатора АІ-520 (залипание на текущем показании)**

**Цель упражнения.** Распознавание отказа датчика и изучение правильных действий в такой ситуации.

**Описание ситуации.** Узел смешения функционирует в нормальном режиме, когда поточный анализатор состава смеси АІ-520 отказывает (залипает) на текущем показании.

**Признаки.** Показания анализатора остаются неизменными при изменении расхода воды или кислоты на смешение.

**Требуемые действия.** Оператор должен убедиться в неисправности датчика концентрации смеси и продолжать вести процесс смешения, используя данные лабораторных анализов. По возвращении анализатора в работу после ремонта следует проверить правильность его показаний.

#### **Процедура.**

Предложите оператору увеличить расход воды, например, на 1 м<sup>3</sup>/ч. Для этого оператор должен:

Увеличить уставку регулятора расхода воды до 10,08 м<sup>3</sup>/ч.

Поскольку анализатор AI-520 неисправен, его показание останется прежним, несмотря на изменение расхода и снижение вследствие этого фактической концентрации смеси. Это является признаком неисправности. На реальном производстве необходимо сообщить о неисправности анализатора в службу КИП.

Определив повреждение, оператор должен выполнить следующие действия:

1. Щелкнуть мышью по изображению датчика AI-521 (в виде бело-зеленой колбы слева от резервуара E-1), имитирующему лабораторный анализ. Вместо изображения колбы на экране появится правильное значение концентрации смеси.

2. На основе «лабораторного анализа» (AI-521) отрегулировать расходы воды и кислоты, чтобы концентрация смеси соответствовала спецификации.

3. Продолжать вести процесс на основе лабораторного анализа, пока поточный анализатор не будет отремонтирован.

Если положение «Норма», то оператору нужно сообщить, что анализатор снова в рабочем состоянии. Оператор должен проверить работу анализатора, создавая небольшие изменения в концентрации раствора и сравнивая показания анализатора AI-520 и данных «лабораторного анализа» (AI-521).

## ГЛАВА 7. ТЕПЛООБМЕННИК

**Теплообменный аппарат** – устройство, в котором осуществляется теплообмен между двумя теплоносителями, имеющими различные температуры. По принципу действия теплообменники подразделяются на рекуператоры и регенераторы. В рекуператорах движущиеся теплоносители разделены стенкой. К этому типу относится большинство теплообменников различных конструкций. В регенеративных теплообменниках горячий и холодный теплоносители контактируют с одной и той же поверхностью поочередно. Теплота накапливается в стенке при контакте с горячим теплоносителем и отдается при контакте с холодным как, например, в кауперах доменных печей. Теплообменники применяются в технологических процессах нефтеперерабатывающей, нефтехимической, химической, атомной, холодильной, газовой и других отраслях промышленности, в энергетике и коммунальном хозяйстве.

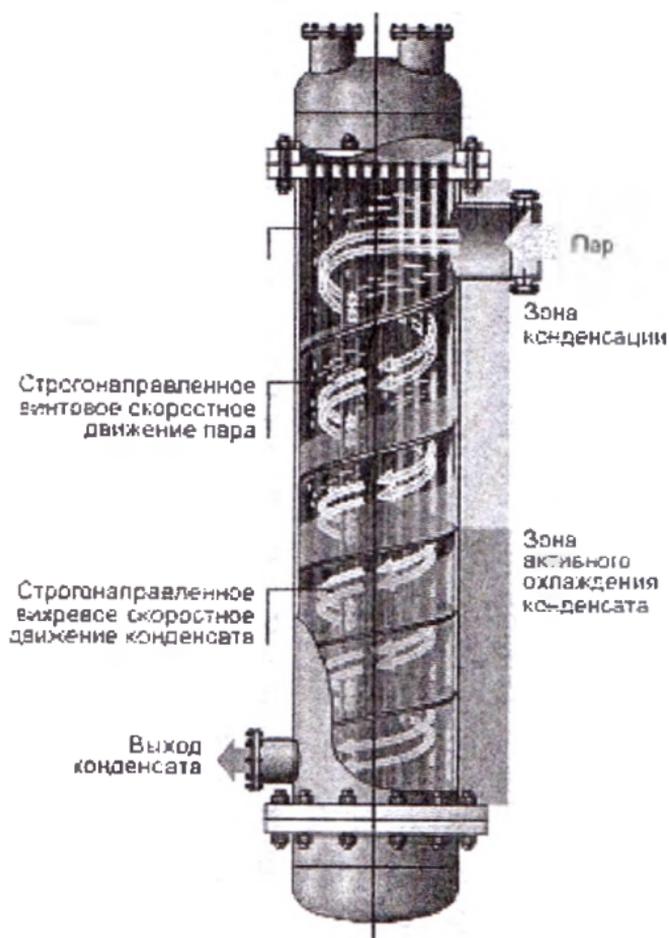
От условий применения зависит конструкция теплообменника. Существуют аппараты, в которых одновременно с процессами теплообмена протекают и смежные процессы, такие как фазовые превращения, например, конденсация, испарение, смешение. Такие аппараты имеют свои наименования: конденсаторы, испарители, градирни, конденсаторы смешения.

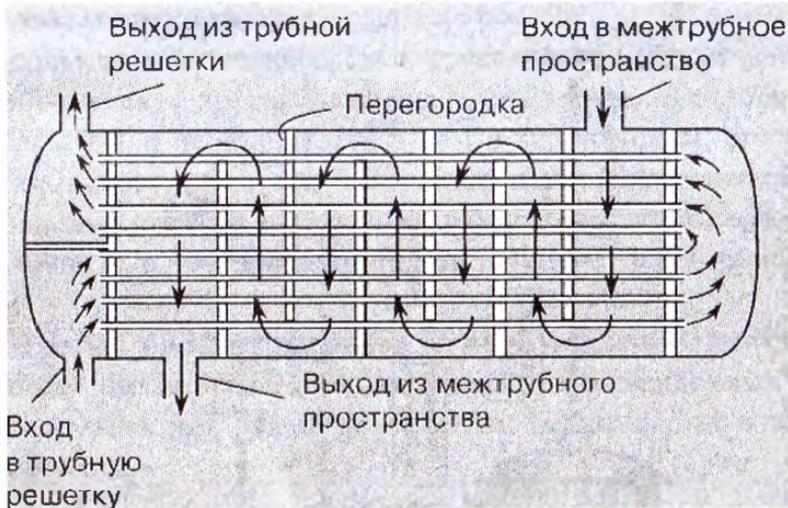
В зависимости от направления движения теплоносителей рекуперативные теплообменники могут быть прямоточными при параллельном движении в одном направлении, противоточными при параллельном встречном движении, а также при взаимно перпендикулярном движении двух взаимодействующих сред.

Наиболее распространенные в промышленности рекуперативные теплообменники:

- Кожухотрубчатые (кожухотрубные) теплообменники.
- Элементные (секционные) теплообменники.
- Двухтрубные теплообменники типа «труба в трубе».
- Витые теплообменники.

Теплообменник LoLs





**Рис. 7.1.** Теплообменник поверхностного типа (кожухотрубный).

- Погружные теплообменники.
- Оросительные теплообменники.
- Ребристые теплообменники.
- Спиральные теплообменники.
- Пластинчатые теплообменники.
- Пластинчато-ребристые теплообменники.
- Графитовые теплообменники.

### 7.1. Описание технологического узла

Моделируется процесс нагрева одного потока (продукта) за счет охлаждения другого (теплоносителя) в противоточном теплообменнике. В тренажере в качестве нагреваемого продукта используется холодная вода, а в качестве теплоносителя – горячая вода.

Кожухотрубный теплообменник (рис.7.1) состоит из пучка труб и оболочки, окружающей трубы. Жидкости проходят по этим двум частям теплообменника, обмениваясь теплом между собой через поверхности труб.

# ТЕПЛООБМЕННИК

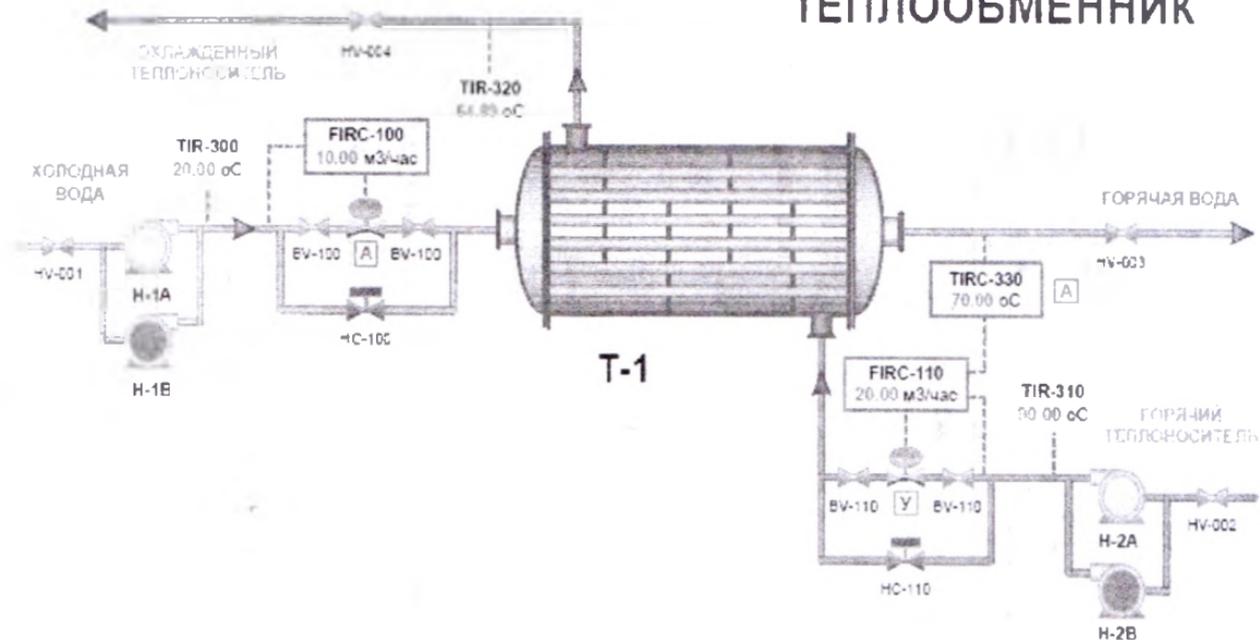


Рис. 7.2. Схема узла нагрева.

Схема узла нагрева приведена на рис. 7.2.

Продукт подается насосом к трубам теплообменника Т-1, а теплоноситель – другим насосом в его корпус. Теплоноситель втекает в Т-1 и перемещается в нем в направлении, противоположном потоку продукта в трубном пучке. Противоположное направление потоков обеспечивает более высокую скорость теплообмена, что позволяет минимизировать размеры теплообменника.

Нагретый продукт вытекает из труб теплообменника в том его конце, где поступает теплоноситель, а охлажденный теплоноситель выходит с той стороны теплообменника, где в него втекает продукт.

## 7.2. Принципы управления

Задача управления теплообменником заключается в проведении процесса нагрева в соответствии с требованиями безопасности и эффективного использования оборудования.

Продукт подается насосом Н-1/А, В в трубный пучок теплообменника Т-1. Управление расходом продукта осуществляет регулятор FIRC-100 с помощью клапана FV-100 на линии к теплообменнику. Температуру продукта измеряет прибор TIR-300.

Теплоноситель подается в теплообменник Т-1 с помощью насоса Н-2/А, В. Его температура при поступлении в теплообменник измеряется прибором TIR-310.

Заданную температуру нагретого продукта на выходе из теплообменника Т-1 («температуру нагрева») поддерживает регулятор TIRC-330, который в каскаде управляет потоком теплоносителя в Т-1, корректируя уставку на расход для прибора FIRC-110. Регулятор FIRC-110 обеспечивает требуемый расход теплоносителя с помощью клапана FV-110, который расположен на трубопроводе подачи теплоносителя в теплообменник. Температуру выводимого из Т-1 охлажденного теплоносителя контролирует датчик TIR-320.

### 7.3. Измеряемые и управляющие переменные технологического узла и их значения в нормальном режиме работы

#### 7.3.1. Измеряемые переменные (датчики)

№ позиции (тэг)	Измеряемая переменная	Единица измерения	Значение в нормальном режиме
FIRC-100	Расход продукта в Т-1	м <sup>3</sup> /ч	10,00
FIRC-110	Расход теплоносителя в Т-1	м <sup>3</sup> /ч	20,00
TIR-300	Температура продукта на входе в Т-1	°С	20,00
TIR-310	Температура теплоносителя на входе из Т-1	°С	90,00
TIR-320	Температура охлажденного теплоносителя на выходе из Т-1	°С	64,89
TIRC-330	Температура продукта из Т-1	°С	70,00

#### 7.3.2. Аналоговые управляющие параметры (регуляторы)

№ позиции (тэг)	Регулируемая переменная	Выход на клапан (%)	Режим управления	Тип регуляторов
FIRC-100	Расход воды в резервуар Т-1	50,0	Авто.	Лок
FIRC-110	Расход теплоносителя в Т-1	50,0	Авто.	Дист.
НС-100	Задвижка на байпасе регул. клапана прибора FIRC-100	0,0	Ручн.	—
НС-110	Задвижка на байпасе регул. клапана прибора FIRC-110	0,0	Ручн.	—
TIRC-330	Температура нагретого продукта на выходе из Т-1	—	Авто.	Лок

### 7.3.3. Дискретные управляющие параметры (операторские ключи)

Имя ключа (тэг)	Оборудование / Назначение	Положение ключа
BV-100	Отсекатели у регулирующего клапана FV-100	ОТКР
BV-110	Отсекатели у регулирующего клапана FV-110	ОТКР
HV-001	Отсекатель на линии подачи продукта в Т-1	ОТКР
HV-002	Отсекатель на линии подачи теплоносителя в Т-1	ОТКР
HV-003	Отсекатель на линии отвода продукта из Т-1	ОТКР
HV-004	Отсекатель на линии отвода теплоносителя из Т-1	ОТКР
H-1A	Основной насос подачи продукта в Т-1	ВКЛ
H-1B	Основной насос подачи продукта в Т-1	ВЫКЛ
H-2A	Основной насос подачи теплоносителя в Т-1	ВКЛ
H-2B	Резервный насос подачи теплоносителя в Т-1	ВЫКЛ

## 7.4. Стандартные процедуры

К числу стандартных процедур в тренажерной модели «Теплообменник» относятся «Холодный старт» и «Нормальный останов». Стратегия действий оператора и подробная последовательность операций описаны ниже.

### 7.4.1. Холодный старт

#### **Общие замечания.**

*Цель упражнения* «Холодный старт» – изучение последовательности действий, необходимых для безопасного и правильного введения теплообменника в работу.

Предполагается, что необходимое оборудование до и после узла нагрева (т.е. выше и ниже его по технологической цепочке)

готово к пуску и все энергетические системы находятся в рабочем состоянии.

Предполагается также, что следующие системы, которые не моделируются в тренажере, находятся в состоянии готовности для пуска:

1. Емкости продукта и теплоносителя.
2. Аппараты, принимающие нагретый продукт и охлажденный теплоноситель.
3. Заводские системы общего назначения (заводской и приборный воздух, дренажная система).

Оператор должен быть уверен, что все из перечисленных ниже предпусковых операций выполнены и оборудование готово к началу пуска.

#### ***Предпусковые операции:***

1. Промывка и чистка линий и оборудования.
2. Прием на установку электроэнергии, воздуха КИП и технологического воздуха.
3. Проверка проходимости трубопроводов по всей технологической цепочке с обязательным контролем наличия давления.
4. Проверка работоспособности оборудования, подготовка к работе и обкатка насосов.
5. Проверка и введение в работу КИП (все регуляторы должны находиться в ручном режиме с закрытыми регулирующими клапанами).
6. Уведомление о начале пуска персонала всех служб, связанных с работой узла нагрева.

Ниже описывается процедура пуска, т.е. последовательность действий оператора при введении в работу теплообменника.

#### ***Процедура.***

1. Открыть отсекатели HV-001 и HV-003, HV-002 и HV-004 на входных и выходных трубопроводах теплообменника Т-1 по продукту и теплоносителю.
2. Включить насос продукта Н-1А.

### **Примечание.**

При пуске теплообменника всегда сначала подается более холодная жидкость.

3. Открыть отсекатели BV-100 у регулирующего клапана на клапанной сборке прибора FIRC-100.

4. Слегка открыть вручную клапан FV-100 регулятора расхода продукта.

5. Медленно увеличивать поток, пока расход не достигнет нормальной величины ( $10,0 \text{ м}^3/\text{ч}$ ).

6. Перевести регулятор FIRC-100 в автоматический режим.

7. Включить насос Н-2А для подачи теплоносителя (горячей жидкости).

8. Открыть отсекатели BV-110 у регулирующего клапана на клапанной сборке прибора FIRC-110.

9. Вручную слегка открыть клапан FV-110 на трубопроводе подачи теплоносителя в теплообменник Т-1.

10. Медленно увеличивать поток теплоносителя, пока расход не достигнет нормальной величины ( $20,0 \text{ м}^3/\text{ч}$ ).

11. Перевести регулятор FIRC-110 в автоматический режим.

12. Когда температура нагретого продукта на выходе из теплообменника Т-1 установится, скорректировать, при необходимости, уставку на расход теплоносителя так, чтобы температура TIRC-330 была близка к норме ( $70,0^\circ\text{C}$ ).

13. Перевести регулятор FIRC-110 в удаленный режим.

14. Перевести регулятор температуры TIRC-330 в автоматический режим и задать ему уставку  $70,0^\circ\text{C}$ .

15. Контролировать все измеряемые величины и корректировать уставки регуляторов для поддержания требуемого режима узла нагрева.

Узел нагрева выведен на нормальный режим работы.

## 7.4.2. Нормальный останов

### **Общие замечания.**

**Цель упражнения** «Нормальный останов» – изучить необходимую последовательность действий для правильного и безопасного отключения теплообменника.

Полная остановка узла нагрева производится обычно для проведения ремонта основного оборудования или в силу производственной необходимости.

### **Процедура.**

1. Остановить насос подачи теплоносителя (горячей жидкости) Н-2А.

2. Перевести регулятор расхода теплоносителя FIRC-110 в ручной режим. Когда поток теплоносителя упадет до нуля, закрыть клапан FV-110. При этом продолжать подачу продукта для охлаждения теплообменника.

3. Перевести регулятор расхода продукта FIRC-100 в ручной режим. Когда температура нагретого продукта (показание датчика TIRC-330) будет близка к температуре продукта на входе в Т-1 (показание TIR-300), остановить насос Н-1А и закрыть клапан FV-100.

4. Закрыть отсекатели HV-001, HV-002, HV-003, HV-004 на всех входных и выходных трубопроводах теплообменника.

Узел нагрева остановлен и готов для подготовки к техобслуживанию или ремонту оборудования. Операции по подготовке теплообменника к ремонту (дренирование корпуса, продувка трубного пучка и т.д.) в тренажере не моделируются. На реальной установке они должны выполняться в соответствии с действующими на предприятии инструкциями.

## 7.5. Тренировочные упражнения

Для каждого из описанных ниже упражнений в раздел «Наблюдения» включены наиболее заметные изменения, которые

возникают при нарушении нормальной работы технологического узла.

### 7.5.1. Упражнение 1 – Отказ насоса подачи продукта

**Цель упражнения.** Научить оператора распознавать эту аварию по изменениям показаний приборов и предпринимать необходимые действия для возврата к нормальному режиму.

**Описание ситуации.** Узел нагрева работает в нормальном режиме, когда внезапно отказывает работающий насос продукта и расход продукта резко падает.

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Расход продукта (FIRC-100) упадет до нуля.
2. Клапан FV-100 откроется до 100%.
3. Температура нагрева (TIRC-330) увеличится, затем возвратится к норме.
4. Температура теплоносителя из Т-1 (TIR-320) увеличится.
5. Расход теплоносителя (FIRC-110) упадет.

**Требуемые действия.** Когда подача продукта в Т-1 прекращается, это нарушение режима должно быть исправлено прежде, чем оно повлияет на работу аппаратов далее по ходу процесса. Запуск резервного насоса вернет процесс нагрева к нормальному режиму.

#### **Процедура.**

Определив причину нарушения, оператор должен выполнить следующие действия:

При отказе только основного насоса подачи продукта:

1. Выключить отказавший насос подачи продукта.
2. Перевести регулятор расхода FIRC-100 в ручной режим и прикрыть его клапан до 510%.
3. Запустить резервный насос подачи продукта.
4. Регулируя положение клапана регулятора расхода FIRC-100, вернуть расход продукта к расчетному значению (10,0 м<sup>3</sup>/ч).

5. Перевести регулятор FIRC-100 в автоматический режим с уставкой 10,0 м<sup>3</sup>/ч.

6. Перевести регулятор температуры нагретого продукта TIRC-330 в ручной режим.

7. Перевести регулятор расхода теплоносителя FIRC-110 в ручной режим и установить расход теплоносителя вблизи расчетного значения (20,0 м<sup>3</sup>/ч).

8. Перевести регулятор FIRC-110 в автоматический режим с уставкой 20,0 м<sup>3</sup>/ч.

9. Когда температура нагретого продукта на выходе из теплообменника Т-1 установится, скорректировать, при необходимости, уставку на расход теплоносителя так, чтобы температура TIRC-330 была близка к норме (70,0°С).

10. Перевести регулятор FIRC-110 в удаленный режим.

11. Перевести регулятор температуры TIRC-330 в автоматический режим и задать уставку 70,0 °С.

Нормальный режим узла нагрева постепенно восстановится.

При отказе основного и резервного насосов подачи продукта:

1. Убедиться, что отказавшие насосы подачи продукта выключены.

2. Остановить основной насос теплоносителя Н-2А.

3. Перевести регуляторы расходов FIRC-100 и FIRC-110 в ручной режим и закрыть их клапаны.

4. Закрыть отсечные задвижки BV-100 и BV-110 у регулирующих клапанов на клапанных сборках приборов FIRC-100 и FIRC-110 соответственно.

5. Перевести регулятор температуры TIRC-330 в ручной режим.

6. Закрыть отсекатели HV-001, HV-002, HV-003, HV-004 на всех входных и выходных трубопроводах теплообменника.

Через некоторое время узел охладится до температуры окружающей среды.

Узел нагрева остановлен. После устранения неисправностей необходимо провести пуск узла в соответствии с процедурой «Холодного старта».

### **7.5.2. Упражнение 2 – Отказ насоса подачи теплоносителя**

**Цель упражнения.** Научить оператора распознавать эту аварию по изменениям показаний приборов и предпринимать необходимые действия для возврата к нормальному режиму.

**Описание ситуации.** Узел нагрева работает в нормальном режиме, когда внезапно отказывает работающий насос подачи теплоносителя в Т-1 и расход теплоносителя резко падает.

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Расход теплоносителя (FIRC-110) упадет до нуля.
2. Клапан FV-110 откроется на 100%.
3. Температура нагрева (TIRC-330) уменьшится.
4. Температура теплоносителя после Т-1 (TIR-320) уменьшится.

**Требуемые действия.** Когда подача теплоносителя в Т-1 прекращается, это нарушение режима должно быть исправлено прежде, чем оно повлияет на работу аппаратов далее по ходу процесса. Запуск резервного насоса вернет процесс нагрева в нормальный режим.

#### **Процедура.**

Определив причину нарушения, оператор должен выполнить следующие действия:

При отказе основного насоса подачи теплоносителя:

1. Выключить отказавший насос теплоносителя.
2. Перевести регулятор расхода FIRC-110 в ручной режим и прикрыть его клапан до 510%.
3. Запустить резервный насос теплоносителя.
4. Регулируя положение клапана регулятора расхода FIRC-110, вернуть расход теплоносителя к расчетному значению (20,0 м<sup>3</sup>/ч).

5. Перевести регулятор температуры TIRC-330 в ручной режим.

6. Перевести регулятор FIRC-110 в автоматический режим с уставкой 20,0 м<sup>3</sup>/ч.

7. Когда температура нагретой воды на выходе из теплообменника Т-1 установится, скорректировать при необходимости, уставку на расход теплоносителя так, чтобы температура TIRC-330 была близка к норме (70,0°С).

8. Перевести регулятор FIRC-110 в удаленный режим.

9. Перевести регулятор температуры TIRC-330 в автоматический режим и задать уставку 70,0 °С.

Нормальный режим узла нагрева постепенно восстановится.

При отказе основного и резервного насосов подачи теплоносителя:

1. Убедиться, что отказавшие насосы теплоносителя выключены.

2. Перевести регулятор расхода FIRC-110 в ручной режим и закрыть его клапан.

3. Закрыть отсечные задвижки BV-110 у регулирующего клапана на клапанной сборке прибора FIRC-110.

4. Перевести регулятор расхода холодной воды FIRC-100 в ручной режим. Уменьшить постепенно поток продукта. Когда температура нагретого продукта на выходе из Т-1 (показания датчика TIRC-330) будет близка к температуре холодного продукта на входе в Т-1 (показания TIR-300), остановить основной насос подачи продукта Н-1А.

5. Полностью закрыть клапан FV-100. Закрыть отсечные задвижки BV-100 у регулирующего клапана на клапанной сборке прибора FIRC-100.

6. Перевести регулятор температуры TIRC-330 в ручной режим.

7. Закрыть отсекатели НV-001, НV-002, НV-003, НV-004 на всех входных и выходных трубопроводах теплообменника.

Через некоторое время узел охладится до температуры окружающей среды.

Узел нагрева остановлен. После устранения неисправностей необходимо провести пуск узла в соответствии с процедурой «Холодного старта».

### **7.5.3. Упражнение 3 – Отказ датчика регулятора температуры нагретого продукта TIRC-330 на нижнем показании**

**Цель упражнения.** Научить оператора распознавать такой отказ прибора по изменениям показаний датчиков и предпринимать необходимые действия для возврата к нормальному режиму.

**Описание ситуации.** Теплообменник работает в нормальном режиме, когда внезапно датчик температуры нагретого продукта отказывает (залипает) на нижнем показании.

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Температура нагретого продукта (TIRC-330) резко упадет до минимума и далее меняться не будет.
2. Расход теплоносителя (FIRC-110) увеличится. Клапан откроется до 100%.
3. Температура теплоносителя после T-1 (TIR-320) увеличится.

**Требуемые действия.** Необходимо быстро распознать отказ датчика температуры, не допуская резкого роста реальной температуры нагретого продукта. Необходимо перейти на управление подачей теплоносителя без каскада по температуре нагрева.

#### **Процедура.**

Определив причину нарушения режима, оператор должен выполнить следующие действия:

1. Перевести регулятор расхода теплоносителя FIRC-110 в ручной режим и прикрыть клапан так, чтобы расход был около нормы 20,0 м<sup>3</sup>/ч.
2. Перевести регулятор в автоматический режим. Режим нагрева в T-1 начнет возвращаться к норме.

3. Контролировать температуру теплоносителя на выходе из Т-1 по показаниям датчика TIR-320. Поддерживать ее вблизи нормы 65,0°С, корректируя при необходимости уставку на расход теплоносителя для регулятора FIRC-110. На реальной уставке бывает возможен контроль температуры нагретого продукта по месту.

На реальном производстве необходимо сообщить о неисправности датчика в службу КИП и А.

#### **7.5.4. Упражнение 4 – Отказ клапана регулятора расхода продукта FIRC-100 в положении ОТКРЫТ**

**Цель упражнения.** Распознавание отказа клапана регулятора на линии подачи продукта в Т-1 по его последствиям и изучение правильных действий в такой ситуации.

**Описание ситуации.** Теплообменник работает в нормальном режиме, когда клапан регулятора расхода на линии подачи продукта в Т-1 внезапно открывается на 100%.

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Расход продукта (FIRC-100) резко увеличится.
2. Температура нагретого продукта (TIRC-330) уменьшится.
3. Расход теплоносителя (FIRC-110) увеличится.
4. Температура охлажденного теплоносителя (TIR-320)

уменьшится.

**Требуемые действия.** Когда клапан на трубопроводе подачи продукта в теплообменник Т-1 отказывает в положении ОТКРЫТ, в последующие аппараты подается нагретого продукта больше, чем это требуется по норме. Необходимо восстановить регламентный расход продукта по байпасу клапанной сборки.

**Процедура.**

Определив причину нарушения режима, оператор должен выполнить следующие действия:

1. Отсечь неисправный клапан FV-100 регулятора FIRC-100. Для этого закрыть отсекатели BV-100.

2. Медленно открыть задвижку НС-100 на байпасе клапанной сборки так, чтобы вернуть подачу продукта к норме (10,0 м<sup>3</sup>/ч). Расход продукта контролировать по показаниям датчика FIRC-100.

Нормальный режим узла нагрева постепенно восстановится.

На реальном производстве необходимо сообщить о неисправности клапана в службу КИП и А.

#### **7.5.5. Упражнение 5 – Отказ клапана регулятора расхода продукта FIRC-100 в положении ЗАКРЫТ**

**Цель упражнения.** Распознавание отказа клапана регулятора на линии подачи продукта в Т-1 по его последствиям и изучение правильных действий в такой ситуации.

**Описание ситуации.** Теплообменник работает в нормальном режиме, когда клапан регулятора расхода на линии подачи продукта в теплообменник внезапно закрывается.

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Расход продукта (FIRC-100) упадет до нуля.
2. Температура нагрева (TIRC-330) увеличится, затем возвратится к норме.
3. Расход теплоносителя (FIRC-110) упадет.
4. Температура теплоносителя из Т-1 (TIR-320) увеличится.

**Требуемые действия.** Если клапан на трубопроводе подачи продукта в теплообменник отказал в положении ЗАКРЫТ, следует восстановить подачу продукта по байпасу клапанной сборки.

#### **Процедура.**

Определив причину нарушения, оператор должен выполнить следующие действия:

1. Отсечь неисправный клапан FV-100 регулятора FIRC-100. Для этого закрыть отсекатели BV-100.
2. Медленно открыть задвижку НС-100 на байпасе клапанной сборки так, чтобы вернуть подачу продукта к норме

(10,0 м<sup>3</sup>/ч). Расход продукта контролировать по показаниям датчика FIRC-100.

Нормальный режим узла нагрева постепенно восстановится.

На реальном производстве необходимо сообщить о неисправности клапана в службу КИП и А.

### **7.5.6. Упражнение 6 – Отказ клапана регулятора расхода теплоносителя FIRC-110 в положении ОТКРЫТ**

**Цель упражнения.** Распознавание отказа клапана регулятора на линии подачи теплоносителя в Т-1 по его последствиям и изучение правильных действий в такой ситуации.

**Описание ситуации.** Теплообменник работает в нормальном режиме, когда клапан регулятора расхода на линии подачи теплоносителя в теплообменник внезапно открывается до 100%.

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Расход теплоносителя в Т-1 (FIRC-110) резко увеличится.
2. Температура нагрева (TIRC-330) увеличится.
3. Температура теплоносителя из Т-1 (TIR-320) увеличится.

**Требуемые действия.** Когда клапан на трубопроводе подачи теплоносителя в теплообменник Т-1 отказывает в положении ОТКРЫТ, в последующие аппараты подается нагретый продукт с более высокой температурой. Необходимо восстановить нормальный нагрев продукта, подавая теплоноситель по байпасу клапанной сборки.

#### **Процедура.**

Определив причину нарушения режима, оператор должен выполнить следующие действия:

1. Отсечь неисправный клапан FV-110 регулятора FIRC-110, закрыв отсекатели BV-100.

2. Медленно открыть задвижку НС-110 на байпасе клапанной сборки так, чтобы вернуть подачу теплоносителя к норме (20,0 м<sup>3</sup>/ч). Расход контролировать по показаниям датчика

FIRC-110. Температуру нагрева контролировать по показаниям датчика TIRC-330.

Нормальный режим узла нагрева постепенно восстановится.

На реальном производстве необходимо сообщить о неисправности клапана в службу КИП и А.

#### **7.5.7. Упражнение 7 – Отказ клапана регулятора расхода теплоносителя FIRC-110 в положении ЗАКРЫТ**

**Цель упражнения.** Распознавание отказа клапана регулятора на линии подачи теплоносителя в Т-1 по его последствиям и изучение правильных действий в такой ситуации.

**Описание ситуации.** Теплообменник работает в нормальном режиме, когда клапан регулятора расхода на линии подачи теплоносителя в Т-1 внезапно закрывается.

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Расход теплоносителя (FIRC-110) упадет до нуля.
2. Температура нагретого продукта (TIRC-330) уменьшится.
3. Температура охлажденного теплоносителя (TIR-320) уменьшится.

**Требуемые действия.** Когда клапан на трубопроводе теплоносителя в теплообменник отказывает в положении ЗАКРЫТ, нагрев продукта в Т-1 прекращается. Следует восстановить подачу теплоносителя в Т-1 по байпасу клапанной сборки.

#### **Процедура.**

Определив причину нарушения режима, оператор должен выполнить следующие действия:

1. Отсечь неисправный клапан FV-110 регулятора FIRC-110, закрыв отсекатели BV-110.

2. Медленно открыть задвижку HC-110 на байпасе клапанной сборки так, чтобы вернуть подачу теплоносителя к норме (20,0 м<sup>3</sup>/ч). Расход теплоносителя контролировать по показаниям датчика FIRC-110. Температуру нагрева контролировать по показаниям датчика TIRC-330.

Нормальный режим узла нагрева постепенно восстановится.

На реальном производстве необходимо сообщить о неисправности клапана в службу КИП и А.

### 7.5.8. Упражнение 8 – Низкая температура теплоносителя

**Цель упражнения.** Научить оператора распознавать причину изменения режима по изменениям в показаниях приборов и настраивать режим при низкой температуре теплоносителя.

**Описание ситуации.** Теплообменник работает в нормальном режиме, когда внезапно температура теплоносителя в теплообменник Т-1 понижается с 90°С до 50°С. Появляется сигнализация низкой температуры нагрева в теплообменнике Т-1.

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Температура теплоносителя в Т-1 (TIR-310) уменьшится.
2. Температура нагретого продукта в Т-1 (TIRC-330) уменьшится.
3. Расход теплоносителя в Т-1 (FIRC-110) увеличится.
4. Температура охлажденного теплоносителя из Т-1 (TIR-320) уменьшится.

**Требуемые действия.** Нарушение работы оборудования, подающего теплоноситель в теплообменник Т-1, не может быть исправлено оператором. Если последующие аппараты это допускают, снизить расход продукта до получения приемлемой температуры нагрева, иначе необходимо остановить узел нагрева.

#### **Процедура.**

Определив причину нарушения режима, оператор должен выполнить следующие действия:

1. Постепенно снизить подачу продукта в теплообменник, уменьшая уставку регулятора FIRC-100, до получения приемлемой температуры нагрева в диапазоне 40–45°С.

2. Если снижение расхода продукта недопустимо, следует начать останов узла нагрева. Для этого оператор должен следовать процедуре нормального останова, описанной выше.

### 7.5.9. Упражнение 9 – Протечка теплообменника

**Цель упражнения.** Научить оператора распознавать причину изменения режима по изменениям в показаниях приборов и настраивать режим при низкой температуре теплоносителя.

**Описание ситуации.** Теплообменник работает в нормальном режиме, когда внезапно образуется протечка, в результате которой теплоноситель попадает в продукт.

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Температура нагретого продукта в Т-1 (TIRC-330) уменьшится.
2. Расход теплоносителя в Т-1 (FIRC-110) увеличится.
3. Температура охлажденного теплоносителя из Т-1 (TIR-320) увеличится.
4. Расход продукта (FIRC-100) уменьшится.

**Требуемые действия.** Нарушение работы оборудования, подающего теплоноситель в теплообменник Т-1, не может быть исправлено оператором самостоятельно. Если последующие аппараты это допускают, то необходимо снизить расход продукта до получения приемлемой температуры нагрева, иначе необходимо остановить узел нагрева.

#### **Процедура.**

Определив причину нарушения, оператор должен выполнить следующие действия:

1. Постепенно снизить подачу продукта в теплообменник, уменьшая уставку регулятора FIRC-100, до получения приемлемой температуры нагрева в диапазоне 40–45°С. Сообщить начальнику установки или старшему оператору о замеченной неисправности.

2. Если снижение расхода продукта недопустимо, следует начать останов узла нагрева. Для этого необходимо следовать процедуре нормального останова, описанной выше.

### 7.5.10. Упражнение 10 – Засорение теплообменника

**Цель упражнения.** Научить оператора распознавать причину изменения режима по изменениям в показаниях приборов и настраивать режим при низкой температуре теплоносителя.

**Описание ситуации.** Теплообменник работает в нормальном режиме, когда внезапно происходит засорение трубного пространства.

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Температура нагретого продукта в Т-1 (TIRC-330) уменьшится.
2. Расход теплоносителя в Т-1 (FIRC-110) увеличится.
3. Температура охлажденного теплоносителя из Т-1 (TIR-320) увеличится.
4. Расход продукта (FIRC-100) уменьшится.

**Требуемые действия.** Нарушение работы оборудования, подающего теплоноситель в теплообменник Т-1, не может быть исправлено оператором самостоятельно. Если последующие аппараты это допускают, снизить расход продукта до получения приемлемой температуры нагрева, иначе необходимо остановить узел нагрева.

**Процедура.**

Определив причину нарушения, оператор должен выполнить следующие действия:

1. Постепенно снизить подачу продукта в теплообменник, уменьшая уставку регулятора FIRC-100, до получения приемлемой температуры нагрева в диапазоне 40-45°C. Сообщить начальнику установки или старшему оператору о замеченной неисправности.

2. Если снижение расхода продукта недопустимо, следует начать останов узла нагрева. Для этого необходимо следовать процедуре нормального останова, описанной выше.

## ГЛАВА 8. СЕПАРАТОР

Сепаратор – аппарат, производящий разделение продукта на фракции с разными характеристиками (например, одну жидкость отделить от другой – моторное масло и вода, или отделить взвеси от жидкости – вино и осадок, и т. д.)

Сепаратор нефтегазовый представляет собой технологическую конструкцию, позволяющую отделить нефть и газ из добытого материала.

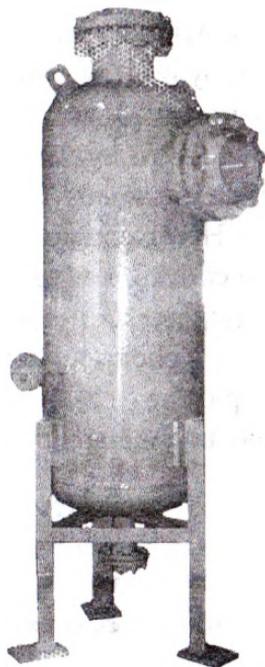
### Типы конструкций

Большое распространение получили двухфазные сепараторы, конечным продуктом работы которых являются нефтяной газ и сырая нефть, но также можно встретить и трехфазные конструкции, позволяющие отделить не только нефть и соответствующий газ, но и воду.

Оба типа нефтегазовых сепараторов могут быть горизонтальными, вертикальными или сферическими. Наилучшей производительностью и гарантированным отделением отличаются вертикальные сепараторы. Несмотря на то, что цена на них высока, они полностью оправдывают себя при эксплуатации, а также незаменимы в условиях, когда в добытом продукте содержится незначительное количество газа.

Горизонтальные сепараторы дешевле, их рекомендуется применять в случае, когда отношение газа к жидкости достаточно велико.

Сферические сепараторы пригодны только для работы с материалом, в котором содержится незначительное количество жидкости.



## Рабочее давление

Нефтегазовые сепараторы могут быть классифицированы в соответствии с рабочим давлением, на которое они рассчитаны. Аппараты низкого давления рассчитаны на давление от 69 до 1241 килопаскалей, среднего давления – от 1586 до 4826 килопаскалей, высокого давления – от 6722 до 10342 килопаскалей.

## Принцип действия

Отделение жидкости от газа во всех типах нефтегазовых сепараторов обычно осуществляется за счет гравитационной сегрегации (есть и другие типы, но они менее распространены).

Фактически это означает, что легкие вещества (газ) поднимаются вверх, а тяжелые (жидкость) – оседают. При этом, насколько тщательно будет осуществлено отделение, зависит от следующих параметров: рабочего давления сепаратора, времени пребывания жидкости внутри аппарата и типа потока материала. Турбулентный поток обычно предполагает образование пузырей, которые поднимаются вверх, что ускоряет процесс, в то время как ламинарный поток образует значительно меньшее количество пузырей.

Необходимое время удерживания жидкости в аппарате обычно составляет пять минут. При этом в двухфазных нефтегазовых сепараторах нефтяной газ поднимается вверх, а сырая нефть стекает в расположенный внизу устройства сосуд. В трехфазных сепараторах газ тоже поднимается вверх, но вниз стекает свободная вода, в то время как нефть собирается в центре сосуда.

## Основные требования к конструкции

Сепаратор нефтегазовый должен:

- Осуществлять первичное отделение жидких углеводородов от газа.

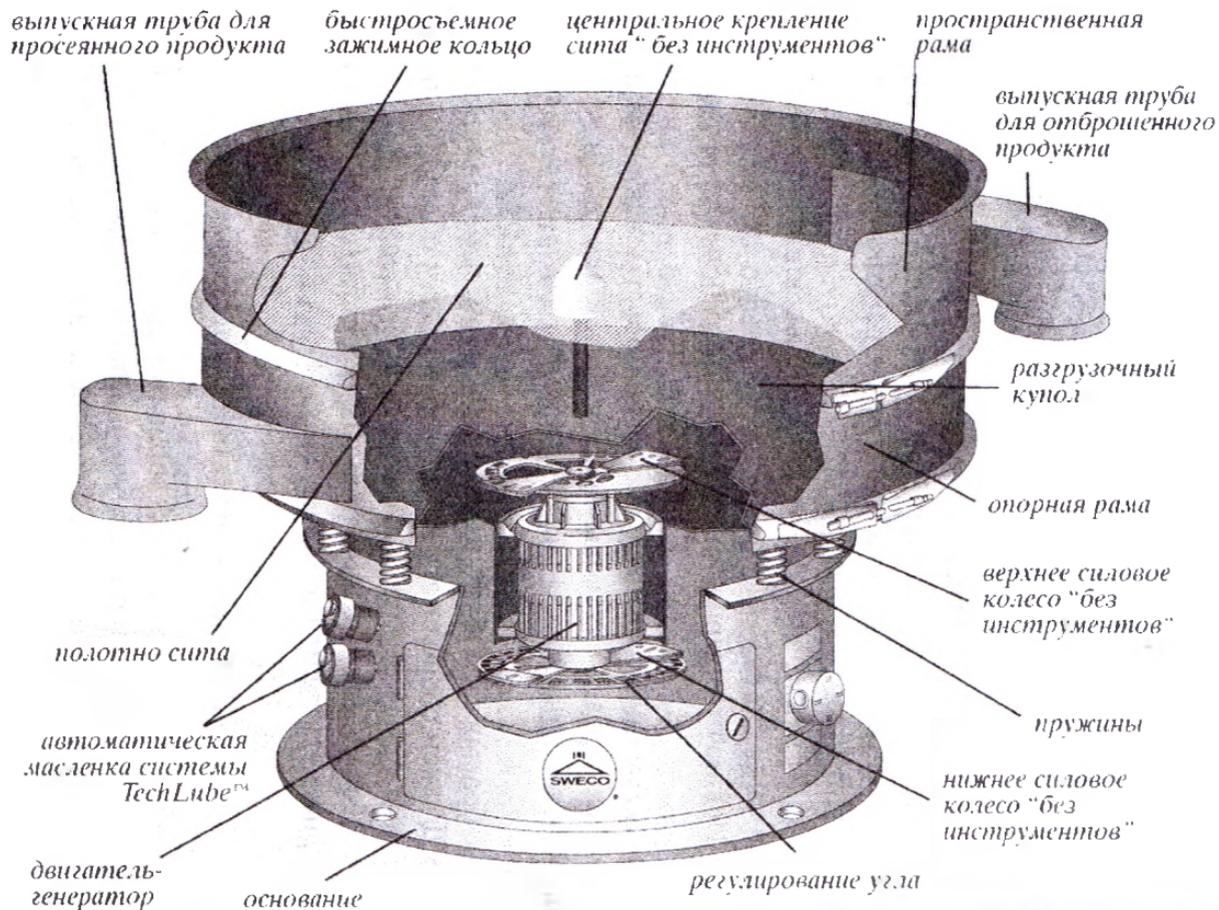
- Отделять большую часть жидкости после фазы первичного отделения.
- Производить дальнейшее отделение путем удаления растворенного газа из аккумулярованной жидкости.
- Выпускать отделенные газ и жидкость из сосуда, предотвращая вторичное попадание как газа в жидкость, так и жидкости в газ.
- Рассеивать энергию движения газа и жидкости.
- Отрегулировать такую скорость поступления материала, чтобы обеспечить гравитационную сегрегацию и состояние равновесия жидкости и газа.
- Минимизировать турбулентность в секции аппарата, в которой находится газ.
- Исключить вероятность повторного попадания жидкости в газ.
- Аккумулировать пену и контролировать ее образование.
- Располагать спусковыми патрубками для газа и жидкости с приборами контроля заданного рабочего давления и уровня жидкости.
- Сбрасывать избыточное давление при неисправностях.
- Должен располагать всем необходимым оборудованием, позволяющим осуществлять контроль за процессом.
- Обеспечивать вывод твердых веществ (песка, грязи), если материал содержит примеси.

## **8.1. Описание технологического узла**

Моделируется типичный сепаратор для разделения парожидкостной смеси на газообразную и жидкую фазы.

Схема технологического узла представлена на рис. 8.1.

Холодная бутан-гексановая смесь подается в масляный теплообменник, где происходит ее предварительный нагрев перед поступлением в сепаратор. Сепаратор дает возможность разде-



# СЕПАРАТОР

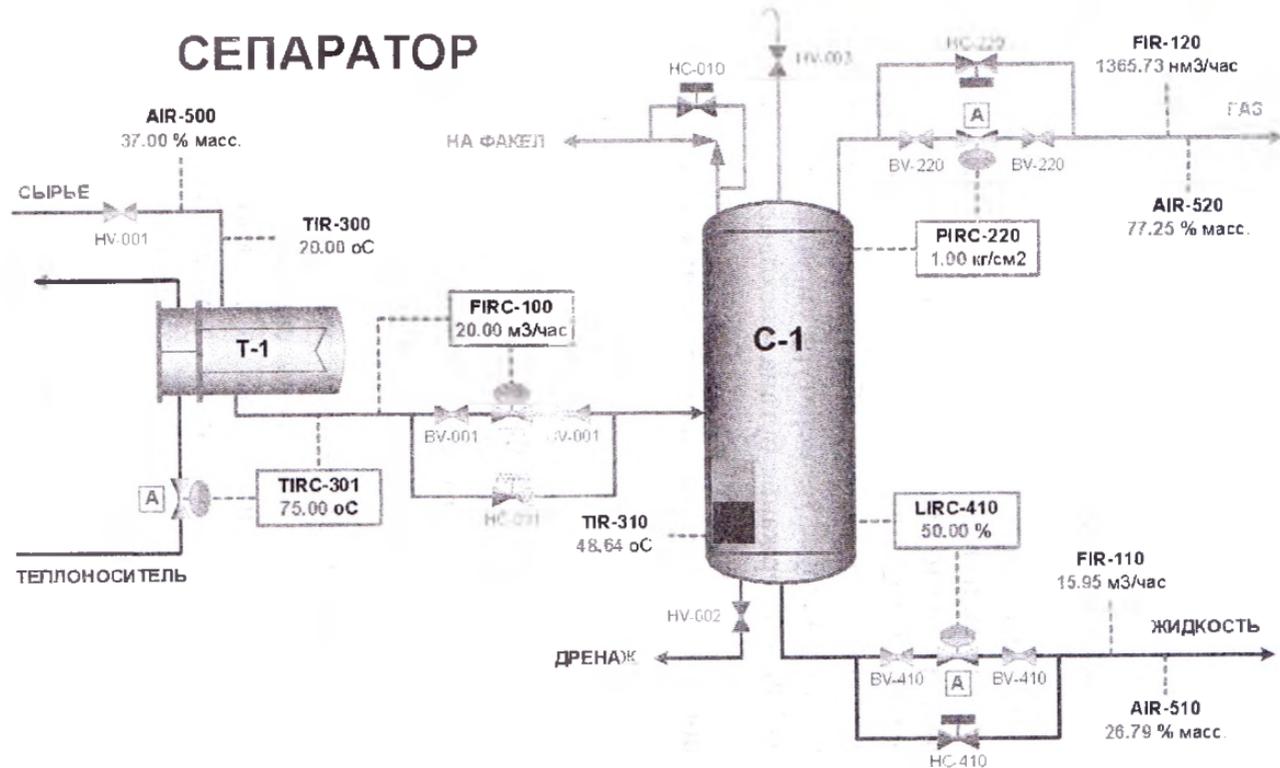


Рис. 8.1. Схема узла сепарирования

лить компоненты парожидкостной смеси за счет испарения при понижении давления в основном более легкого компонента смеси. Пары отводятся с верха сепаратора через клапан регулятора давления, а жидкая фаза – с низа через клапан регулятора уровня.

## 8.2. Принципы управления

Холодная бутан-гексановая смесь подается в теплообменник Т-1, где она нагревается потоком теплоносителя (горячего масла или другого нефтепродукта). Расход смеси в теплообменник поддерживает регулятор FIRC-100, клапан которого расположен на трубопроводе подачи смеси из теплообменника в сепаратор С-1. Датчик TIR-300 контролирует температуру смеси на входе в Т-1, анализатор AIR-500 – содержание бутана в исходной смеси.

Температуру смеси на выходе из Т-1 регулирует прибор TIRC-301, который управляет расходом теплоносителя в теплообменник.

Подогретая смесь подается в сепаратор С-1, где она разделяется на пар (газы) и жидкость.

Газы выводятся через верхнюю часть сепаратора. Регулятор PIRC-220 поддерживает давление в С-1 с помощью клапана на трубопроводе отвода газов. Датчик FIR-120 измеряет расход газов, анализатор AIR-520 контролирует содержание бутана в газовой фазе.

Жидкая фаза отводится самотеком через дно сепаратора по трубопроводу, на котором расположен клапан регулятора LIRC-410, поддерживающего заданный уровень жидкого продукта в сепараторе. Датчик TIR-310 контролирует температуру в сепараторе, датчик FIR-110 – расход жидкости из сепаратора, анализатор AIR-510 – содержание бутана в жидкой фазе.

При выходе основных переменных процесса за границы рабочего диапазона срабатывает предупредительная или аварийная сигнализация.

Для аварийного сброса давления на сепараторе С-1 установлен предохранительный клапан с регулируемой задвижкой НС-010 на байпасе. Предохранительный клапан открывается при давлении 3 кг/см<sup>2</sup>.

### 8.3. Измеряемые и управляющие переменные технологического узла и их значения в нормальном режиме работы

#### 8.3.1. Измеряемые переменные (датчики)

№ позиции (тэг)	Измеряемая переменная	Единица измерения	Значение в нормальном режиме
AIR-500	Содержание бутана в сырье	% масс.	37,00
AIR-510	Содержание бутана в нижнем продукте сепаратора С-1	% масс.	26,79
AIR-520	Содержание бутана в верхнем продукте сепаратора С-1	% масс.	77,25
FIR-110	Расход нижнего продукта из сепаратора С-1	м <sup>3</sup> /ч	15,95
FIR-120	Расход верхнего продукта из сепаратора С-1	нм <sup>3</sup> /ч	1365,73
FIRC-100	Расход буган-гексановой смеси в сепаратор С-1	м <sup>3</sup> /ч	20,00
LIRC-410	Уровень жидкой фазы в С-1	%	50,00
PIRC-220	Давление в сепараторе С-1	кг/см <sup>2</sup>	1,00
TIR-300	Температура холодного сырья в теплообменник Т-1	°С	20,00
TIR-310	Температура в сепараторе С-1	°С	48,64
TIRC-301	Температура нагретого сырья после теплообменника Т-1	°С	75,50

### 8.3.2. Аналоговые управляющие параметры (регуляторы)

№ позиции (тэг)	Регулируемая переменная	Выход на клапан (%)	Режим управления	Тип регулиров.
FIRC-100	Расход бутан-гексановой смеси в сепаратор С-1	50,0	Авто	Лок
НС-010	Ручная задвижка на байпасе предохранит клапана на С-1	0,0	Ручн.	—
НС-100	Ручная задвижка на байпасе клапана регулятора FIRC-100	0,0	Ручн.	—
НС-220	Ручная задвижка на байпасе клапана регулятора PIRC-220	0,0	Ручн.	—
НС-410	Ручная задвижка на байпасе клапана регулятора LIRC-410	0,0	Ручн.	—
LIRC-410	Уровень жидкой фазы в С-1	50,0	Авто	Лок
PIRC-200	Давление в сепараторе С-1	50,0	Авто	Лок
TIRC-301	Температура нагретого сырья после теплообменника Т-1	50,0	Авто	Лок

### 8.3.3. Дискретные управляющие параметры \ (операторские ключи)

Имя ключа (тэг)	Оборудование / Назначение	Положение ключа
BV-100	Отсекатели клапана регулятора расхода FV-100	ОТКР
BV-220	Отсекатели клапана регулятора давления PV-220	ОТКР
BV-410	Отсекатели клапана регулятора уровня LV-410	ОТКР
HV-001	Отсекатель на линии подачи сырья на установку	ОТКР
HV-002	Отсекатель на линии дренажа из сепаратора С-1	ЗАКР
HV-003	Воздушник сепаратора С-1	ЗАКР

## 8.4. Стандартные процедуры

К числу стандартных процедур в тренажерной модели «Сепаратор» относятся «Холодный старт» и «Нормальный останов». Стратегия действий оператора и подробная последовательность операций приведены ниже.

### 8.4.1. Холодный старт

#### **Общие замечания.**

**Цель упражнения** «Холодный старт» – научиться последовательности действий, необходимых для безопасного и правильного пуска узла сепарирования.

Предполагается, что необходимое оборудование до и после узла сепарирования (т.е. выше и ниже его по технологической цепочке) готово к пуску и все энергетические системы находятся в рабочем состоянии.

Предполагается также, что следующие системы, которые не моделируются в тренажере, находятся в состоянии готовности для пуска:

1. Оборудование для подачи холодной смеси
2. Оборудование для подготовки и подачи теплоносителя в теплообменник Т-1.
3. Емкости приема газа и жидкости из сепаратора.
4. Заводские системы общего назначения:
  - заводской и приборный воздух;
  - дренажная и факельная системы;
  - система инертного газа;
  - система вентиляции.

Оператор должен быть уверен, что все из перечисленных ниже предпусковых операций выполнены и оборудование готово к началу пуска.

### ***Предпусковые операции:***

1. Проверка пусковой схемы и удаление заглушек.
2. Проверка проходимости трубопроводов по всей технологической цепочке с обязательным контролем наличия давления.
3. Прием на установку воздуха КИП и технологического воздуха, горячего масла.
4. Подготовка к работе системы вентиляции.
5. Проверка и включение в работу приборов КИП (все регуляторы должны находиться в ручном режиме с закрытыми регулирующими клапанами).
6. Уведомление о начале пуска персонала всех служб, связанных с работой сепаратора.

Ниже описывается процедура пуска, т.е. последовательность действий оператора при введении в работу узла сепарирования.

### ***Процедура:***

1. Открыть отсекаТЕЛЬ HV-001 на линии холодной бутан-гексановой смеси к теплообменнику Т-1.
2. Открыть отсекатели BV-100, BV-220, BV-410 на клапанных сборках у клапанов регуляторов FIRC-100, PIRC-220, LIRC-410 соответственно. Убедиться, что задвижки на байпасах регулирующих клапанов закрыты.
3. Задать для регулятора давления в сепараторе PIRC-220 уставку  $0,8 \text{ кг/см}^2$  и перевести регулятор в автоматический режим.
4. Задать для регулятора расхода смеси FIRC-100 уставку  $10,0 \text{ м}^3/\text{час}$  и перевести регулятор в автоматический режим.
5. Когда в сепараторе появится жидкость, перевести регулятор уровня LIRC-410 в автоматический режим с уставкой 50%.
6. Вручную открыть клапан регулятора TIRC-301 на линии подачи теплоносителя в Т-1 так, чтобы получить температуру смеси на входе в сепаратор  $75,5^\circ\text{C}$ .
7. Перевести регулятор TIRC-301 в автоматический режим.
8. Поднять давление в сепараторе С-1, увеличив уставку регулятора давления PIRC-220 до нормы ( $1,0 \text{ кг/см}^2$ ).

9. Постепенно увеличивать расход смеси в сепаратор, изменяя уставку регулятора FIRC100. Довести уставку на расход до нормы 20,0 м<sup>3</sup>/час.

10. Контролировать все измеряемые величины. Когда процесс установится, проверить показания анализаторов AIR-510 и AIR-520. Убедиться, что сепаратор работает должным образом (т.е. продукты соответствуют спецификациям).

#### **8.4.2. Нормальный останов**

##### **Общие замечания.**

*Цель упражнения* «Нормальный останов» – изучить необходимую последовательность действий для правильного и безопасного отключения сепаратора.

Полная остановка узла сепарирования производится обычно для проведения ремонта основного оборудования или в силу производственной необходимости.

Перед началом останова необходимо сообщить операторам установок, связанных с работой сепаратора, о том, что сепаратор будет остановлен.

##### ***Процедура.***

1. Перевести регулятор расхода сырья FIRC-100 в ручной режим и постепенно уменьшать подачу сырья до нуля, прикрывая клапан.

2. Перевести регулятор температуры TIRC-301 в ручной режим и закрыть клапан.

3. Перевести регулятор уровня LIRC-410 в ручной режим и открыть клапан на 10–20%, чтобы вывести жидкую фазу за счет избыточного давления в С-1.

4. Когда уровень жидкости в С-1 понизится до 5–10%, закрыть клапан регулятора уровня LIRC-410. Дренировать остаток жидкости, открыв отсекающий HV-002 на линии дренажа. Когда сепаратор опустеет, закрыть отсекающий HV-002.

5. Перевести регулятор PIRC-220 в ручной режим. Сбросить давление из С-1, открыв клапан регулятора. Когда давление понизится, закрыть клапан.

6. Закрыть отсекающий клапан HV-001 на линии сырья. BV-100, BV-220 и BV-410 у регулирующих клапанов.

7. Закрыть отсекающие задвижки BV-100, BV-220 и BV-410 у регулирующих клапанов на клапанных сборках.

8. По мере остывания паров в сепараторе С-1 возможна их частичная конденсация. Это будет проявляться в появлении жидкости в сепараторе (датчик LIRC-410). При этом в сепараторе возникнет разрежение.

9. Для выдавливания конденсата из сепаратора следует открыть воздушник HV-003 на С1 (чтобы выровнять давление) и периодически дренировать жидкость, открывая и закрывая отсекающий клапан HV-002 на линии дренажа.

Узел сепарирования остановлен и готов для подготовки к техобслуживанию или ремонту оборудования. Операции по подготовке сепаратора к ремонту в тренажере не моделируются. На реальной установке они должны выполняться в соответствии с действующими на предприятии инструкциями.

## 8.5. Тренировочные упражнения

Для каждого из описанных ниже упражнений в раздел «Наблюдения» включены наиболее заметные изменения, которые возникают при нарушении нормальной работы технологического узла.

### 8.5.1. Упражнение 1 – Прекращение подачи сырья в Т-1.

**Цель упражнения.** Научить оператора распознавать эту аварию по изменениям показаний приборов и выполнять необходимые действия для проведения процедуры останова.

**Описание ситуации.** Установка функционирует в нормальном режиме, когда внезапно прекращается подача сырья.

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Расход сырья в С-1 (FIRC-100) упадет до нуля. Клапан FV-100 полностью откроется.

2. Температура нагрева в Т-1 (TIRC301) начнет увеличиваться, и регулятор закроет клапан TV301 на линии подачи теплоносителя в Т-1.

3. Уровень в С-1 (LIRC-410) уменьшится. Регулятор закроет клапан LV-410, чтобы поддержать уровень.

4. Расход жидкости из С-1 (FIR-110) уменьшится до нуля.

5. Давление в С-1 (PIRC-220) уменьшится. Чтобы поддержать давление, регулятор закроет клапан PV-220 на линии отвода газа.

6. Расход газа из С-1 (FIR-120) уменьшится до нуля.

**Требуемые действия.** Когда подача сырья к сепаратору прекращается, необходимо остановить технологический узел.

**Процедура.**

Определив причину нарушения режима, оператор должен сообщить о прекращении подачи сырья и начать останов технологического узла. При этом нужно следовать процедуре нормального останова, описанной выше.

### **8.5.2. Упражнение 2 – Отказ клапана регулятора расхода сырья FIRC-100 в положении ЗАКРЫТ**

**Цель упражнения.** Распознавание отказа клапана регулятора на линии подачи сырья в сепаратор С-1 по его последствиям, изучение правильных действий в такой ситуации.

**Описание ситуации.** Сепаратор работает в нормальном режиме, когда клапан регулятора на линии подачи сырья в сепаратор С-1 внезапно закрывается.

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Расход сырья в С-1 (FIRC-100) резко падает до нуля.

2. Температура нагрева в Т-1 (TIRC-301) начнет увеличиваться. Регулятор закроет клапан TV-301 на линии подачи теплоносителя в Т-1.

3. Уровень в С-1 (LIRC-410) уменьшится. Регулятор закроет клапан LV-410, чтобы поддержать уровень.

4. Расход жидкости из С-1 (FIR-110) уменьшится до нуля.

5. Давление в С-1 (PIRC-220) уменьшится. Чтобы поддержать давление, регулятор закроет клапан PV-220 на линии отвода газа.

6. Расход газа из С-1 (FIR-120) упадет до нуля.

**Требуемые действия.** Когда клапан на трубопроводе подачи нагретого сырья в сепаратор отказывает в положении ЗАКРЫТ, необходимо восстановить подачу сырья по байпасу клапанной сборки.

#### **Процедура.**

Определив причину нарушения, оператор должен выполнить следующие действия:

1. Отсечь неисправный клапан FV-100 регулятора FIRC-100, закрыв отсекатели BV-100.

2. Медленно открывая задвижку HC-100 на байпасе клапанной сборки, вернуть подачу сырья к норме 20,0 м<sup>3</sup>/ч. Расход сырья контролировать по показаниям датчика FIRC-100.

Нормальный режим работы узла сепарирования постепенно восстановится.

На реальном производстве необходимо сообщить о неисправности клапана регулятора в службу КИП и А.

### **8.5.3. Упражнение 3 – Отказ клапана регулятора уровня LIRC-410 в положении ОТКРЫТ**

**Цель упражнения.** Распознавание отказа клапана регулятора на линии отвода жидкости из сепаратора по его последствиям, изучение правильных действий в такой ситуации.

**Описание ситуации.** Сепаратор работает в нормальном режиме, когда поток жидкости из нижней части сепаратора С-1 внезапно увеличивается.

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Расход жидкости из С-1 (FIR-110) увеличится.
2. Уровень в С-1 (LIRC-410) уменьшится.
3. Сработает сигнализация по низкому уровню в С-1
4. При понижении уровня до нуля произойдет «проскок» газа с низа сепаратора.

**Требуемые действия.** Когда клапан на трубопроводе отвода жидкости из сепаратора С-1 отказывает в положении ОТКРЫТ, необходимо восстановить уровень жидкости, чтобы предотвратить «проскок» газа с низа С-1. Затем следует перейти на отвод жидкости по байпасу клапанной сборки.

**Процедура.**

Определив причину нарушения режима, оператор должен выполнить следующие действия:

1. Отсечь неисправный клапан LV-410 регулятора LIRC-410. Для этого нужно закрыть отсекатели BV-410.
2. Когда уровень в сепараторе повысится до нормы 50%, открыть задвижку НС-410 на байпасе клапанной сборки так, чтобы вернуть отвод жидкости к норме (15,95 м<sup>3</sup>/ч). Расход контролировать по показаниям датчика FIR-110.

Нормальный режим работы узла сепарирования постепенно восстановится.

На реальном производстве необходимо сообщить о неисправности клапана регулятора в службу КИП и А.

#### **8.5.4. Упражнение 4 – Отказ клапана регулятора уровня LIRC-410 в положении ЗАКРЫТ**

**Цель упражнения.** Распознавание отказа клапана регулятора на линии отвода жидкости из сепаратора по его последствиям, изучение правильных действий в такой ситуации.

**Описание ситуации.** Сепаратор работает в нормальном режиме, когда поток жидкости из нижней части сепаратора С-1 внезапно прекращается из-за отказа клапана.

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Расход жидкости из С-1 (FIR-110) упадет до нуля.
2. Уровень в С-1 (LIRC-410) увеличится.
3. Срабатывает сигнализация по высокому уровню в сепараторе С-1.

**Требуемые действия.** Когда клапан на трубопроводе отвода жидкости из сепаратора С-1 отказывает в положении ЗАКРЫТ, необходимо быстро восстановить отвод по байпасу клапанной сборки, не допуская возможного переполнения сепаратора.

**Процедура.**

Определив причину нарушения режима, оператор должен выполнить следующие действия:

1. Отсечь неисправный клапан LV-410 регулятора LIRC-410. Для этого нужно закрыть отсекатели BV-410.

2. Открыть задвижку НС-410 на байпасе клапанной сборки, чтобы понизить уровень до 50%. Уровень контролировать по показаниям датчика LIRC-410.

3. Отрегулировать положение задвижки НС-410 на байпасе клапанной сборки так, чтобы вернуть отвод жидкости к норме (15,95 м<sup>3</sup>/час). Расход контролировать по показаниям датчика FIR-110.

Нормальный режим работы узла сепарирования постепенно восстановится.

На реальном производстве необходимо сообщить о неисправности клапана регулятора в службу КИП и А.

### **8.5.5. Упражнение 5 – Отказ клапана регулятора давления PIRC-220 в положении ОТКРЫТ**

**Цель упражнения.** Распознавание отказа клапана регулятора на линии отвода газа из сепаратора по его последствиям, изучение правильных действий в такой ситуации.

**Описание ситуации.** Сепаратор работает в нормальном режиме, когда внезапно открывается клапан регулятора давления на линии отвода газа.

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Давление в С-1 (PIRC-220) уменьшится.
2. Расход газа из С-1 (FIR-120) увеличится.
3. Уровень в С-1 (LIRC-410) уменьшится, а затем возвратится к норме.

4. Расход жидкости из С-1 (FIR-110) уменьшится.
5. Температура в сепараторе (TIR-310) уменьшится.
6. Содержание бутана в газе (AIR-520) увеличится.
7. Содержание бутана в жидкости (AIR-510) уменьшится.

**Требуемые действия.** Когда клапан на трубопроводе отвода газа из С-1 отказывает в положении ОТКРЫТ, в сепараторе резко падает давление. Это приводит к изменению условий испарения и нарушению чистоты разделения смеси. Необходимо быстро восстановить нормальное давление в С-1, перейдя на отвод газа по байпасу клапанной сборки.

#### **Процедура.**

Определив причину нарушения режима, оператор должен выполнить следующие действия:

1. Отсечь неисправный клапан PV-220 регулятора PIRC-220. Для этого нужно закрыть отсекатели BV-220.

2. Постепенно открыть задвижку HC-220 на байпасе клапанной сборки так, чтобы вернуть отвод паров к норме (1365,73  $\text{м}^3/\text{ч}$ ) при нормальном давлении 1  $\text{кг}/\text{см}^2$ . Расход контролировать по показаниям датчика FIR-120, давление – по датчику PIRC-220.

Нормальный режим работы узла сепарирования постепенно восстановится.

На реальном производстве необходимо сообщить о неисправности клапана регулятора в службу КИП и А.

### **8.5.6. Упражнение 6 – Отказ клапана регулятора давления PIRC-220 в положении ЗАКРЫТ**

**Цель упражнения.** Распознавание отказа клапана регулятора на линии отвода паров из сепаратора по его последствиям, изучение правильных действий в такой ситуации.

**Описание ситуации.** Сепаратор работает в нормальном режиме, когда поток газа с верха сепаратора С-1 внезапно прекращается.

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Расход газа из С-1 (FIR-120) упадет до нуля.
2. Давление в С-1 (PIRC220) увеличится. При давлении 3 кг/см<sup>2</sup> сработает ППК.
3. Уровень в С-1 (LIRC-410) слегка увеличится, затем возвратится к норме.
4. Расход жидкости из С-1 (FIR-110) увеличится.
5. Расход сырья в С-1 (FIRC-100) уменьшится, клапан FV-100 полностью откроется.
6. Содержание бутана в жидкости (AIR-510) увеличится.

**Требуемые действия.** Когда клапан на линии отвода газа из С-1 отказывает в положении ЗАКРЫТ, необходимо быстро восстановить отвод паров по байпасу клапанной сборки регулятора, чтобы предотвратить отвод с низа С-1 большого количества некондиционного продукта.

**Процедура.**

Определив причину нарушения, оператор должен выполнить следующие действия:

1. Отсечь неисправный клапан PV-220 регулятора PIRC-220. Для этого нужно закрыть отсекатели BV-220.
2. Открыть задвижку HC-220 на байпасе клапанной сборки, чтобы понизить давление до 1,0 кг/см<sup>2</sup>. Давление контролировать по показаниям датчика PIRC-220.
3. Отрегулировать положение задвижки HC-220 на байпасе клапанной сборки так, чтобы вернуть отвод газа к норме (1365,73 нм<sup>3</sup>/час) при нормальном давлении 1,0 кг/см<sup>2</sup>. Расход контролировать по показаниям датчика FIR-120.

Нормальный режим работы узла сепарирования постепенно восстановится.

На реальном производстве необходимо сообщить о неисправности клапана регулятора в службу КИП и А.

### 8.5.7. Упражнение 7 – Отказ датчика регулятора уровня LIRC-410 на верхнем показании

**Цель упражнения.** Научить оператора распознавать такой отказ прибора по изменениям показаний датчиков и предпринимать необходимые действия для возврата к нормальному режиму.

**Описание ситуации.** Сепаратор работает в нормальном режиме, когда внезапно датчик уровня в сепараторе отказывает на верхнем показании (залипает). Регулятор уровня открывает клапан и реальный уровень уменьшается.

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Уровень в С-1 (датчик LIRC-410) резко увеличится до 100% и далее не изменится. Клапан регулятора уровня полностью откроется.
2. Расход жидкости из С-1 (FIRC-110) увеличится.
3. Сработает сигнализация по высокому уровню в сепараторе С-1.
4. При понижении реального уровня до нуля возможен «проскок» газа с низа сепаратора.

**Требуемые действия.** Необходимо быстро распознать отказ датчика уровня в С-1 и восстановить реальный уровень, чтобы предотвратить «проскок» газа с низа С-1.

**Процедура.**

Определив причину нарушения, оператор должен выполнить следующие действия:

1. Перевести регулятор уровня LIRC-410 в ручной режим и закрыть клапан, чтобы набрать нормальный уровень в сепараторе. На реальной установке контроль уровня в С-1 ведется по месту.
2. Открыть клапан LV-410 на линии отвода жидкости так, чтобы расход был близок к норме (15,95 м<sup>3</sup>/ч). Расход контролировать по показаниям датчика FIR-110.

Нормальный режим работы узла сепарирования постепенно восстановится.

На реальном производстве необходимо сообщить о неисправности датчика в службу КИИ и управлять отводом жидкости из сепаратора вручную, ориентируясь по показаниям датчиков FIRC-100, FIR-110 и FIR-120. Когда датчик LIRC-410 будет отремонтирован, можно перейти на автоматическое регулирование уровня.

### **8.5.8. Упражнение 8 – Изменение состава сырья: увеличение содержания легкого компонента**

**Цель упражнения.** Научить оператора распознавать изменение состава сырья по изменениям в показаниях приборов и настраивать режим в расчете на другой состав сырья.

**Описание ситуации.** Сепаратор работает в нормальном режиме, когда внезапно изменяется состав сырья: содержание легкого компонента (бутана) в поступающей в С-1 смеси увеличивается с 37% до 50%.

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Содержание бутана в сырье (AIR-500) увеличится.
2. Температура нагрева смеси (TIRC-301) уменьшится. Клапан TV-301 полностью откроется.
3. Давление в С-1 (PIRC-220) увеличится, затем возвратится к норме.
4. Расход газа из С-1 (FIR-120) увеличится.
5. Содержание бутана в газе (AIR-520) увеличится.
6. Уровень С-1 (LIRC-400) уменьшится, затем вернется к норме.
7. Расход жидкости из С-1 (FIR-110) уменьшится.
8. Содержание бутана в жидкости (AIR-510) увеличится.
9. Температура в сепараторе (TIR-310) уменьшится.

**Требуемые действия.** Когда содержание легкого компонента в сырье увеличивается, необходимо скорректировать режим, чтобы предотвратить вывод с низа сепаратора С-1 некондиционного продукта.

### **Процедура.**

Определив причину нарушения, оператор должен выполнить следующие действия:

1. Понизить уставку для регулятора давления PIRC-220 до 0,65–0,7 кг/см<sup>2</sup>.

2. Так как обеспечить нагрев смеси в Т-1 до требуемой температуры не удастся и невозможно получить продукт с низа сепаратора заданного качества – с содержанием бутана (AIR-510) в диапазоне 24–30% – следует снизить загрузку сырья и увеличить нагрев в теплообменнике Т-1.

3. Уменьшая уставку регулятора FIRC-100, снизить расход сырья до 10–15 м<sup>3</sup>/ч. Увеличить уставку регулятора температуры TIRC-301 до 77–80°С. Контролировать температуру нагрева в Т-1 по показаниям датчика TIRC-301.

Постепенно установится новый режим с нормальным качеством продукта.

При восстановлении прежнего состава сырья будет необходима обратная коррекция режима.

### **8.5.9. Упражнение 9 – Снижение температуры теплоносителя в Т-1**

**Цель упражнения.** Научить оператора распознавать причину изменения режима по изменениям в показаниях приборов и настраивать режим при низкой температуре теплоносителя.

**Описание ситуации.** Сепаратор работает в нормальном режиме, когда внезапно температура горячего масла, поступающего в теплообменник Т-1, понижается с 200 до 50°С. Появляется сигнализация низкой температуры нагрева в теплообменнике Т-1.

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Температура нагрева смеси (TIRC-301) уменьшится. Клапан TV-301 полностью откроется.

2. Давление в С-1 (PIRC-220) уменьшится, клапан PV-220 полностью закроется.

3. Расход газа из С-1 (FIR-120) уменьшится до нуля.
4. Расход жидкости из С-1 (FIR-110) увеличится. Показание FIR-110 сравнивается с показанием FIRC-100.
5. Температура в сепараторе (TIR-310) уменьшится.
6. Содержание бутана в жидкости (AIR-510) увеличится. Показание AIR-510 сравнивается с показанием AIR-500.

**Требуемые действия.** Нарушение работы оборудования, подающего горячее масло в теплообменник Т-1, не может быть исправлено оператором. Следует остановить работу узла сепарирования.

#### **Процедура.**

Определив причину нарушения, оператор должен сообщить о невозможности нагрева смеси до требуемой температуры и начать останов технологического узла. При этом нужно следовать процедуре нормального останова, описанной выше.

### **8.5.10. Упражнение 10 – Отказ датчика регулятора температуры TIRC-301 на верхнем показании**

**Цель упражнения.** Научить оператора распознавать такой отказ прибора по изменениям показаний датчиков и предпринимать необходимые действия для возврата к нормальному режиму.

**Описание ситуации.** Сепаратор работает в нормальном режиме, когда внезапно датчик температуры нагретого сырья после Т-1 отказывает (залипает) на верхнем показании.

**Признаки.** Будут иметь место следующие изменения:

1. Температура сырья из Т-1 (TIRC-301) увеличится и останется высокой. Клапан TV-301 регулятора температуры полностью закроется.
2. Уровень в С-1 (LIRC-410) вырастет. Клапан LV-410 полностью откроется.
3. Давление в С-1 (PIRC-220) уменьшится, клапан PV-220 полностью закроется.

4. Расход газа из С-1 (FIR-120) уменьшится до нуля.
5. Расход жидкости из С-1 (FIR-110) увеличится. Показание FIR-110 сравняется с показанием FIRC-100.
6. Температура в сепараторе (TIR-310) уменьшится.
7. Содержание бутана в жидкости (AIR-510) увеличится. Показание AIR-510 сравняется с показанием AIR-500.

**Требуемые действия.** Необходимо быстро распознать отказ датчика температуры сырья после Т-1 и перейти на ручное управление нагревом.

**Процедура.**

Определив причину нарушения режима, оператор должен выполнить следующие действия:

1. Перевести регулятор температуры TIRC-301 в ручной режим и открыть клапан до нормы (50%).
2. По мере восстановления нормального режима нагрева контролировать температурный режим в сепараторе по показаниям датчика TIR-310. Температура жидкости должна быть близка к норме (48,64°C). Если требуется, скорректировать подачу теплоносителя в Т-1.

На реальном производстве необходимо сообщить о неисправности датчика в службу КИП и А. Когда датчик будет отремонтирован, можно перейти на автоматическое регулирование температуры нагрева.

## ГЛАВА 9. МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕНИНГА

### 9.1. Общее описание методического обеспечения

Тренажеры в современном понимании появились только в индустриальном обществе, когда возникла необходимость массовой подготовки специалистов для работы на однотипном оборудовании, либо со схожими рабочими действиями, и уж, конечно, в первую очередь для военных нужд. Но только в последней четверти прошлого века со стремительной компьютеризацией мирового сообщества, созданием сложнейшей техники, эксплуатация которой связана с риском для жизни не только одного человека, но и человечества в целом, возникла целая индустрия – тренажерные технологии.

Тренажерные технологии сегодня – это не только спортивные тренажеры, но и сложные комплексы, системы моделирования и симуляции, компьютерные программы и физические модели, специальные методики, создаваемые для того, чтобы подготовить человека к принятию грамотных и быстрых решений, что станет весьма серьезной задачей и даже проблемой в XXI веке.

В современных тренажерах и программах подготовки и обучения, закладываются принципы развития практических навыков с одновременной теоретической подготовкой, т.е. тренажер способен развиваться вместе с обучаемым. Реализация такого подхода стала возможна в связи с бурным развитием и удешевлением электронно-вычислительной техники и прогрессом в области создания машинного зрения, виртуальной реальности и т.п. На базе этих технологий разработаны многочисленные тренажеры для военного применения, позволяющие имитировать боевые действия с высочайшей детализацией в реальном времени. Создано множество технологических приложений виртуальной реальности для медицины, позволяющих проводить операции электронному пациенту с высокой степенью достоверности, при

этом области применения тренажерных технологий постоянно расширяются.

Ниже излагаются основные понятия и правила, необходимые для запуска инсталлированных анимационных и имитационных моделей технологических объектов управления и использования их в процессе обучения. Описаны упражнения тренинга, способы отображения информации в динамике об операции процесса и действиях, связанных с этой операцией регулирующих, последовательных и контролирующих алгоритмов управления.

### **9.1.1. Общие сведения о программно-технических средствах тренинга**

Программные средства тренинга – совокупность составляющих программ, используемых для создания и моделирования ситуаций, которые представляют динамическое поведение типовых операций процесса, его средств управления и логики.

Программное обеспечение и модели находятся в моделирующем компьютере (сервере), который на основе использования сети Ethernet связывается с персональным компьютером обучаемого.

Имитационные модели технологических объектов инсталлированы на стандартные аппаратные средства (ПК).

### **9.1.2. Описание пользовательского интерфейса**

Для взаимодействия обучаемых со средствами тренинга проинсталлировано 12 станций. С помощью разработанного человеко-машинного интерфейса, который практически соответствует интерфейсу оператора распределенной системы управления, используемой в операторной промышленного предприятия (в данном пособии – Бухарского нефтеперерабатывающего завода), как по конфигурации дисплеев, так и по отображению информации и сигнализаций, обеспечивается информационный обмен между средствами тренинга и пользователем (обучающимся).

### 9.1.2.1. Роль человеческого фактора при создании графических экранов

Все люди имеют ограниченные способности, и поэтому эффективный интерфейс «человек-машина» должен быть спроектирован для увеличения поведенческих сил и компенсации человеческих слабостей. Усовершенствованный и осовремененный интерфейс «человек-машина» учитывает в полном объеме требования человеческого фактора.

Одним из наибольших ограничителей человеческих возможностей является краткий период памяти. При произвольных, несвязанных и неассоциированных обстоятельствах люди могут помнить приблизительно семь факторов, плюс-минус два. При увеличении стресса, это число уменьшается примерно до пяти, плюс-минус два.

Сенсорная память – это очень краткая, непознавательная форма памяти. Она может основываться на цвете, размере, образе, звуке и пр. Для увеличения кратковременного периода памяти необходимо, чтобы соответствующие окраски, размеры образы и звуки ассоциировались только с единственным предметом или явлением. Например, если красный цвет использован для окрашивания линий, состояний действия насосов, положений клапанов, а также для приоритета экстремальных аларменных ситуаций, то, когда оператор видит красный цвет на экране, он не воспринимает это немедленно как «Наличие чрезвычайной ситуации».

Изоляция, группирование и/или сбор информации по размеру или объему может использоваться для уменьшения числа отдельных пунктов, которые должен помнить оператор.

Человеко-машинный интерфейс тренировочных упражнений построен с учетом требований Заказчика и приближен по цветовым и поведенческим решениям к пользовательским мнемосхемам системы управления БНПЗ.

### **9.1.3. Дисплеи**

При разработке аппаратно-программных средств тренинга предусмотрено исполнение необходимого количества потребительских экранов.

#### **9.1.3.1. Экраны групп**

Эти экраны содержат стандартные оперативные данные до 8-ми точек, а также возможность представления трендов аналоговых величин. Экраны сконфигурированы на базе требуемых пользовательских данных.

#### **9.1.3.2. Экраны детализовки точек**

Эти экраны позволяют обеспечивать манипулирование параметров, в том числе и тех, которые не требуют ежедневных действий. Такие параметры, как константы настройки регулятора, пределы и приоритеты аварийной сигнализации – настраиваются посредством этих экранов.

#### **9.1.3.3. Экраны трендов**

Эти экраны представляют изменение параметров во времени. Возможно воспроизведение информации из истории, если переменные были записаны в историческую коллекцию.

#### **9.1.3.4. Экраны деталей упражнений (мнемосхемы)**

Экраны деталей упражнений – это такие экраны, которые содержат всю имеющуюся информацию о регулировании и контроле объектом или узлом, включенным в обучающее упражнение. Экраны деталей упражнения являются первичным интерфейсом для обучаемого.

Данные графические экраны используются для выполнения задач упражнений – таких, как наблюдение за ходом выполнения

операций, переключение насосов, управления запорной арматурой, переход с ручного режима управления на автоматическое регулирование и обратно и т.д.

#### **9.1.3.4.1. Цветовые и поведенческие решения графических дисплеев – мнемосхем**

Для отображения поведения объектов упражнений, связанных с изменением параметров процесса, состоянием технологического оборудования, технологической схемы, а также действиями обучаемого использованы: изменение цвета, мигание и звуковой сигнал.

Хорошо действующий объект имеет только черный, белый и серый цвета на экране.

Для динамизации (оживления) мнемосхем использовались следующие типы объектов:

- изображение технологического оборудования на мнемосхемах соответствует его действительной конфигурации на технологических схемах;

- символы технологического оборудования выполнены двухмерными статическими объектами;

- цвет технологического оборудования – серый.

Позиционное обозначение оборудования соответствует технологической схеме.

*Алфавитно-цифровые объекты* – для отображения численных параметров (действительное значение, задание, режим, уставки сигнализации и т.д.) и для визуальной индикации отклонения параметров от заданных границ.

Для цветовой динамизации алфавитно-цифровых объектов использовались четыре уставки сигнализации и два приоритета сигнализации для отображения аварийной ситуации процесса:

- 1 – Сигнализация с высоким приоритетом (HIGH) – цвет **КРАСНЫЙ**;

2 – Сигнализация с низким приоритетом (LOW) – цвет ЖЕЛТЫЙ.

*Бары* (мерные окошки) – для представления численных параметров в графическом виде. Для визуализации изменений уровня в емкостях бары дополнительно снабжены цветом.

*Кнопки* – переключатели, встроенные в мнемосхемы. Они используются для ручного управления. Ручное управление может вызывать, как изображения (например, другие мнемосхемы), так и изменять параметры процесса (вкл/выкл и т.д.). Кнопки обеспечивают быстрый переход из данного дисплея в другой необходимый дисплей (движение между экранами).

Для просмотра детальной информации о процессе необходимо выделить интересующий объект мнемосхемы. При выделении объекта появляется его лицевая панель.

#### **9.1.3.4.2. Цветовые и поведенческие решения для объектов мнемосхем упражнений**

Цветовые и поведенческие решения для объектов мнемосхем обучающих упражнений являются необходимыми для изучения и применения при выполнении упражнений обучающимися.

#### **9.1.4. Характеристика имитационных моделей**

Разработка включает 14 анимационных моделей для информационной поддержки лекционного цикла подготовки учащихся и пять тренировочных упражнений на отработку сенсорных и моторных действий на базе разработанного пользовательского интерфейса.

Точность построения моделей такова, что они могут использоваться для приобретения и поддержания навыков управления технологическим процессом, поиска неисправностей оборудования и оценки действий по регулированию и контролю.

Последовательность выполнения упражнений совпадает с их нумерацией и соответствует направлению от менее сложного к более сложному, от общего к частному, с наращиванием функций от сенсорных до моторных.

#### 9.1.4.1. Анимационные модели

Разработаны анимационные модели и мнемосхемы, соответствующие реальной технологии БНПЗ.

Данные анимационные модели отображают основные конструктивные элементы оборудования, движение и взаимодействие основных материальных потоков и значения параметров процессов, соответствующие действительным регламентным значениям.

#### 9.1.4.2. Тренинговые упражнения

В основе разработанных тренинговых упражнений лежат модели поведения типовых технологических процессов.

В качестве типовых узлов и аппаратов для построения имитационных моделей используются:

**Узел, состоящий из насоса и группы задвижек (на всасе и на нагнетании насоса).** Модель, имитирующая работу узла, предназначена для обучения основам перекачки жидкости, приобретения навыка диагностики неисправностей оборудования. Модель управляет, запускает и останавливает насосы, открывает и закрывает задвижки.

**Узел – питающая емкость, насосы, запорная и регулирующая арматура.** Модель, имитирующая работу узла, предназначена для обучения основным принципам гидростатики. Модель показывает согласованную работу двух емкостей, с включением симптомов нарушения нормального хода перекачки.

**Теплообменник** – освоение принципов работы и управления теплообменной аппаратурой. Модель показывает реакцию объ-

екта на изменение внешних воздействий (нагрузка на теплообменник, температура потока). Модель призвана сформировать навыки управления, закрепить и отшлифовать навыки перехода с ручного управления на автоматическое и обратно в контуре с типовым регулятором.

**Колонна многокомпонентной ректификации** – обучение основным принципам работы массообменной аппаратуры на примере отгонки нефти в установках по ее первичной переработке на базе информационной модели многокомпонентной ректификации и основных схем регулирования.

**Печь-нагреватель** – в схеме установки атмосферной перегонки нефтяного сырья. Модель включает элементы последовательного и оперативного управления.

Для приобретения обучающимися операторских навыков наблюдения и управления технологическим процессом упражнения состоят из начального условия и одного или нескольких сценариев, содержащих выбранные операции и сбои. Предусматривается возможность изменения параметров инструктором. Упражнения включают небольшие расчеты для развития навыков количественных оценок.

Описание упражнений сопровождается основными понятиями и положениями темы, которые необходимо усвоить для анализа ситуации и практического выполнения действий, прописанных в пунктах упражнения.

В результате выполнения каждого отдельного упражнения навык навигации по экранам станет устойчивым.

## ГЛАВА 10. ЦВЕТОВЫЕ И ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ МНЕМОСХЕМ ТРЕНИНГОВЫХ УПРАЖНЕНИЙ

### 10.1. Изображение, цветовые и поведенческие решения технологического оборудования

Изображение технологического оборудования на мнемосхемах соответствует его действительной конфигурации на технологических схемах.

Символы технологического оборудования выполняются двумерными статическими объектами.

Цвет технологического оборудования – светло-серый.

Позиционное обозначение оборудования соответствует технологической схеме.

### 10.2. Таблица цветовых и поведенческих решений для надписей и сред

№	Наименование	Шрифт	Размер	Регистр	Цвет
1	Фон мнемосхемы				черный
2	Название мнемосхемы	Arial	12	прописные	белый
3	Название потока (среда)	Arial	8	строчные	светло-серый
4	Название оборудования	Arial	11	прописные	черный
5	Название запорной арматуры	Arial	8	прописные	светло-серый
6	Название насосов	Arial	10	прописные	светло-серый
7	Имя точки		8	прописные	светло-серый
	Значение параметров точки	Arial	8	прописные	соответствует состоянию параметра
8	Комментарии	Arial	10	прописные	светло-серый
	Среды				

9	Нефть	170x170x80			болотный
11	Мазут	218x165x32			коричневый
14	Легкий газойль	35x205x20			светло-зеленый
	Тяжелый газойль	0x170x0			ярко-зеленый
	Керосин	238x130x238			фиолетовый
15	Погон	230x210x180			бежевый
16	Паровой конденсат	255x150x150			светло-розовый
17	Пар	255x80x105			розовый
18	Вода	32x208x32			зеленый
25	Топливный газ	255x0x0			красный
	Технологические потоки				
29	Основные		2 пикселя		цвет потока
30	Вспомогательные		1 пиксель		цвет потока
31	Вспомогательные линии		1 пиксель		светло-серый

### 10.3. Оживление переменных процесса

#### 10.3.1. Цветовые и поведенческие решения для аналоговой точки

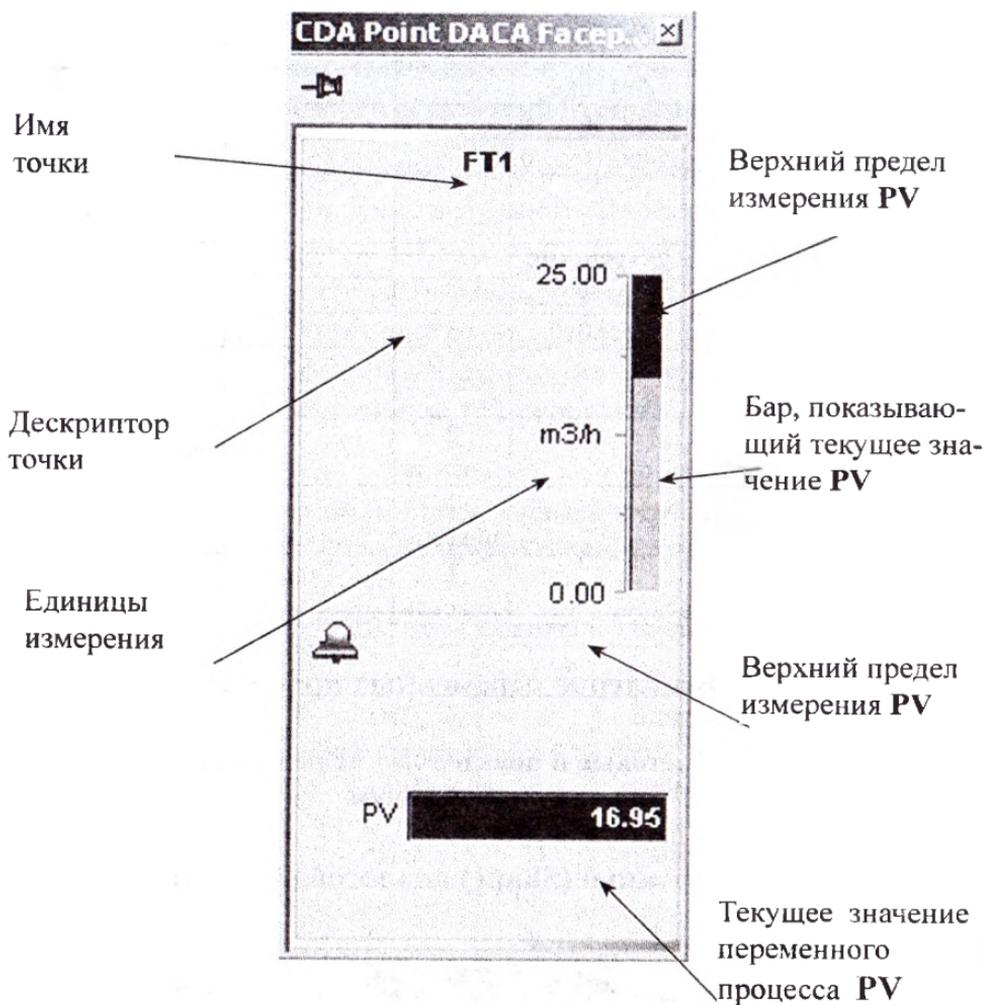
##### Подкартинка (Shape) аналоговой точки

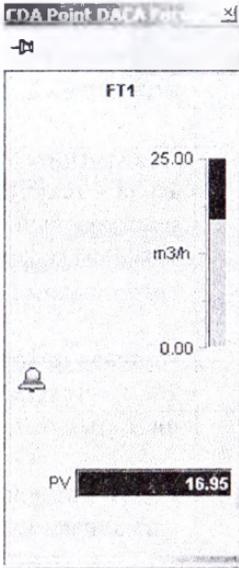
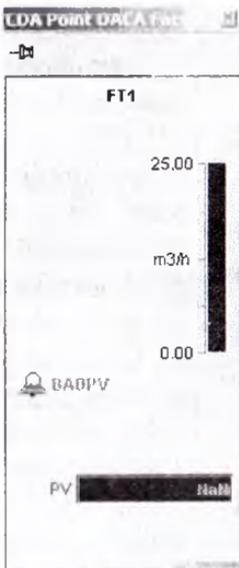
Текущее значение PV  
(Process Variable)

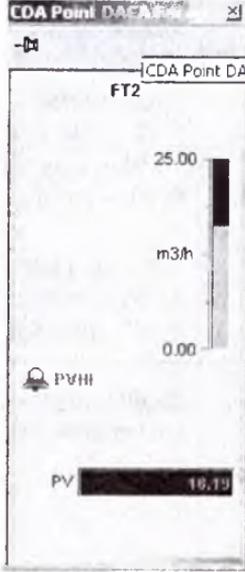
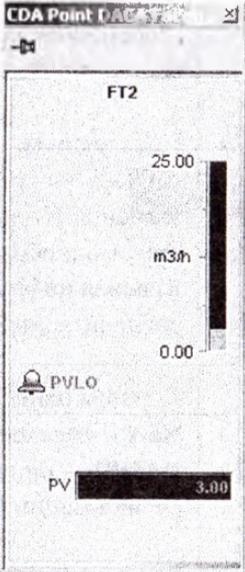
16.51 МЗ/Н

Единица измерения

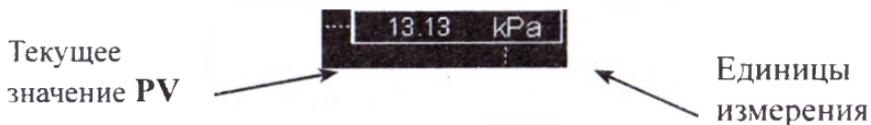
## Лицевая панель (Faceplate) аналоговой точки



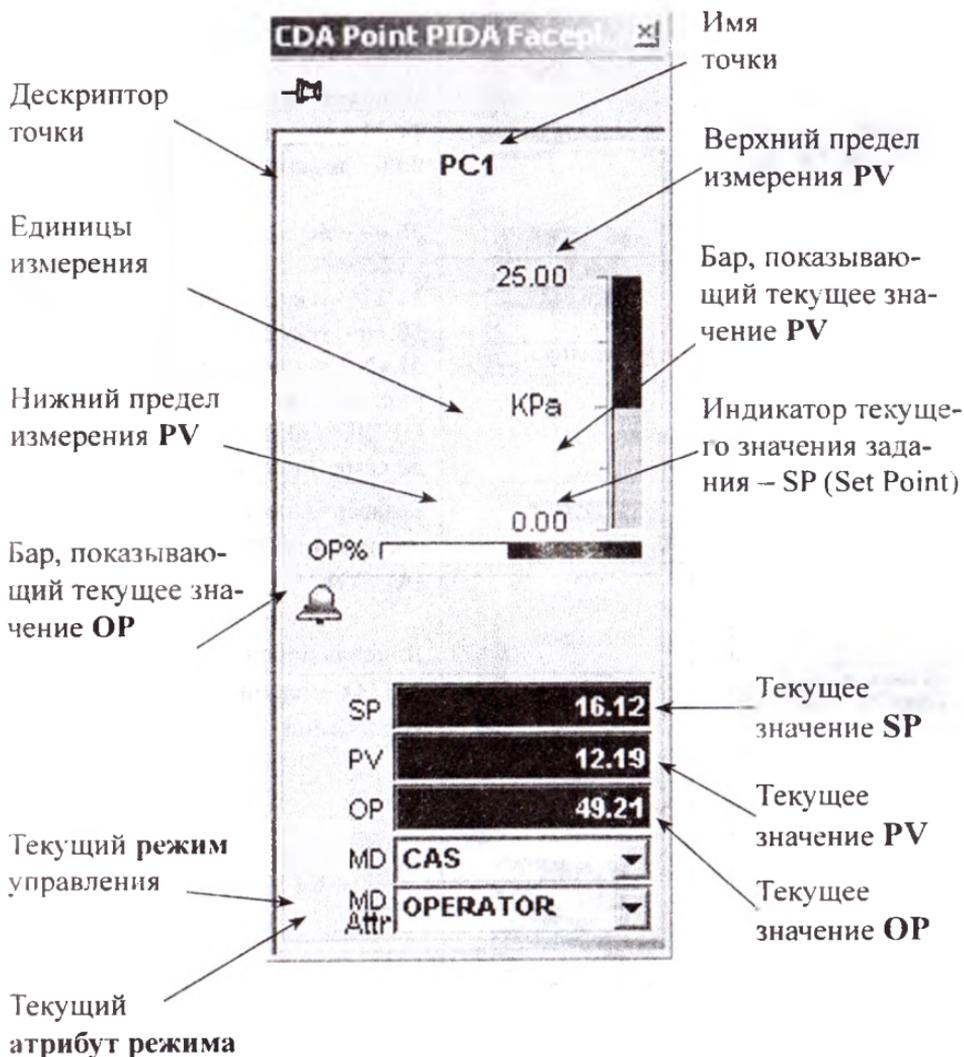
Подкартинка	Лицевая панель	Ситуация
		<p>Безаварийная ситуация для аналоговой точки.</p> <p><u>Подкартинка:</u>  <b>FT1</b> – имя точки  <b>16.51</b> – текущее значение PV  <b>m3/h</b> – единицы измерения</p> <p><u>Лицевая панель:</u>  <b>16.95</b> – текущее значение PV  <b>0.00</b> – нижний предел измерения PV  <b>25.00</b> – верхний предел измерения PV</p>
		<p>Аварийная ситуация (переменная процесса в состоянии BadPV).</p> <p><u>Подкартинка:</u>  <b>NaN</b> – «плохое» PV (выход значения PV за расширенный диапазон, обрыв цепи датчика).  Красная цифры - приоритет сигнализации High.</p> <p><u>Лицевая панель:</u>  <b>NaN</b> – «плохое» PV.  <b>BADPV</b> – причина срабатывания сигнализации («плохое» PV).</p>

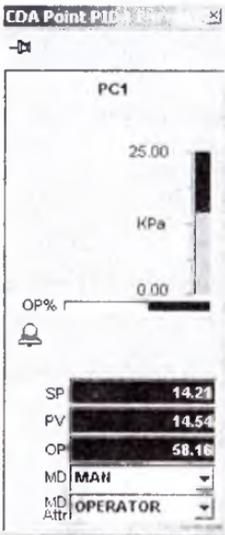
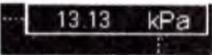
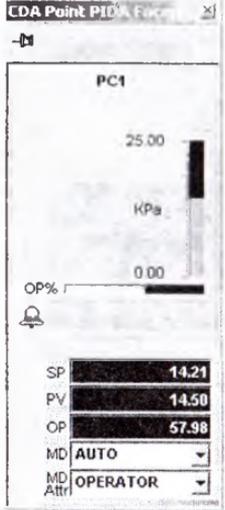
Подкартинка	Лицевая панель	Ситуация
		<p>Аварийная ситуация (нарушена уставка сигнализации PV выше верхнего).</p> <p><u>Подкартинка:</u>  <b>16.32</b> – текущее значение PV - цвет красный.  Красные цифры – приоритет сигнализации High.</p> <p><u>Лицевая панель:</u>  <b>16.19</b> – текущее значение PV - цвет красный.</p> <p><b>PVNI</b> – причина срабатывания сигнализации.</p>
		<p>Аварийная ситуация (нарушена уставка сигнализации PV ниже нижнего).</p> <p><u>Подкартинка:</u>  <b>3.00</b> – текущее значение PV - цвет красный.  Красные цифры – приоритет сигнализации High.</p> <p><u>Лицевая панель:</u>  <b>3.00</b> – текущее значение PV - цвет красный.</p> <p><b>PVLO</b> – причина срабатывания сигнализации.</p>

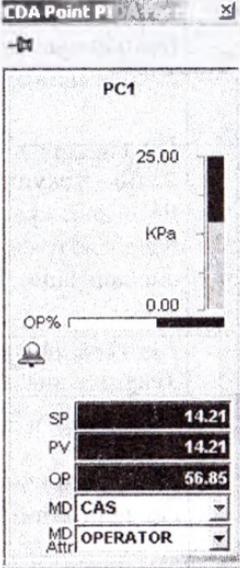
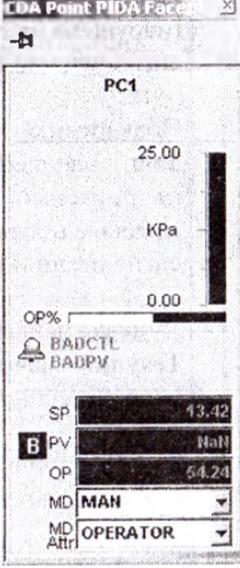
## Подкартинка (Shape) точки регулятора

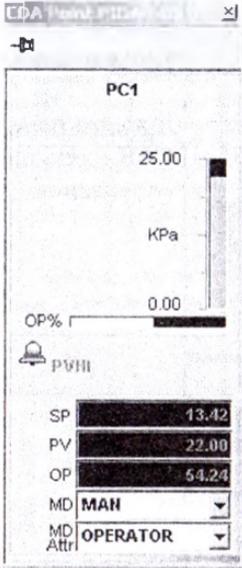
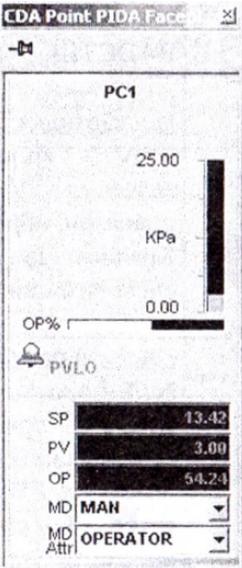


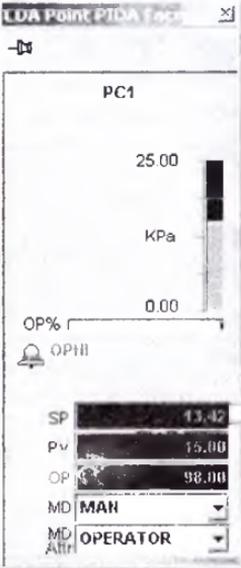
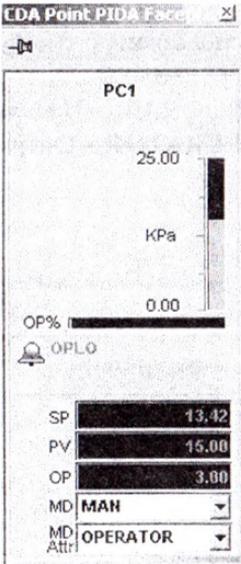
## Лицевая панель (Faceplate) точки регулятора

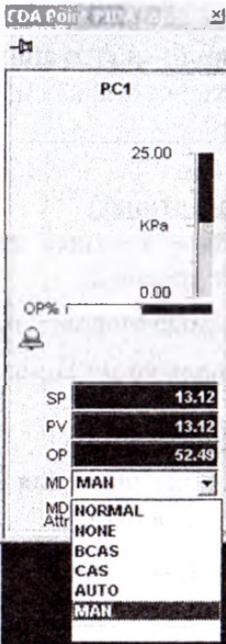
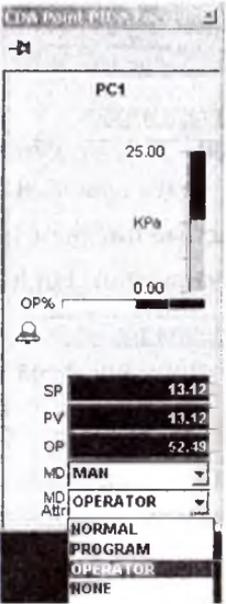


Подкартинка	Лицевая панель	Ситуация
		<p>Безаварийная ситуация. Режим управления Ручной (MAN).</p> <p><u>Подкартинка:</u>  <b>13.13</b> – текущее значение переменной процесса PV  <b>кПа</b> – единицы измерения</p> <p><u>Лицевая панель:</u>  <b>14.21</b> – текущее значение PV  <b>0.00</b> – нижний предел измерения PV  <b>25.00</b> – верхний предел измерения PV  <b>14.21</b> – текущее значение SP  <b>58.16</b> – текущее значение OP  <b>MAN</b> – текущий режим управления  <b>OPERATOR</b> – текущий атрибут режима (оператор)</p>
		<p>Безаварийная ситуация. Режим управления Автоматический (AUTO).</p> <p>Лицевая панель:  <b>AUTO</b> – текущий режим управления</p>

Подкартинка	Лицевая панель	Ситуация
		<p>Безаварийная ситуация. Режим управления Каскадный (CAS).</p> <p><u>Лицевая панель:</u>  <b>CAS</b> – текущий режим управления</p>
		<p>Аварийная ситуация (BADPV и BADCTL).</p> <p><u>Подкартинка:</u>  NaN – «плохое» PV (выход значения PV за расширенный диапазон, обрыв цепи датчика). Красные цифры – приоритет сигнализации High (высокий).</p> <p><u>Лицевая панель:</u>  NaN – «плохое» PV.  <b>BADPV</b> – причина срабатывания сигнализации («плохое» PV).  <b>BADCTL</b> – сигнализация «плохого» управления.</p>

Подкартинка	Лицевая панель	Ситуация
		<p>Аварийная ситуация (нарушена верхняя уставка сигнализации PV).</p> <p><u>Подкартинка:</u>  <b>22.00</b> – текущее значение PV – цвет красный.  Красные цифры – приоритет сигнализации High .</p> <p><u>Лицевая панель:</u>  Текущие значения PV, SP, OP – цвет красный.</p> <p><b>PVHI</b> – причина срабатывания сигнализации.</p>
		<p>Аварийная ситуация (нарушена нижняя уставка сигнализации PV).</p> <p><u>Подкартинка:</u>  <b>3.00</b> – текущее значение PV – цвет красный.  Красные цифры – приоритет сигнализации High.</p> <p><u>Лицевая панель:</u>  Текущие значения PV, SP, OP – цвет красный.</p> <p><b>PVLO</b> – причина срабатывания сигнализации.</p>

Подкартинка	Лицевая панель	Ситуация
		<p>Аварийная ситуация (нарушена верхняя уставка сигнализации OP).</p> <p><u>Подкартинка:</u>  <b>15.00</b> – текущее значение PV – цвет красный.  Красные цифры – приоритет сигнализации High.</p> <p><u>Лицевая панель:</u>  Текущие значения <b>PV, SP, OP</b> – цвет красный.  <b>OPNI</b> – причина срабатывания сигнализации.</p>
		<p>Аварийная ситуация (нарушена нижняя уставка сигнализации OP).</p> <p><u>Подкартинка:</u>  <b>15.00</b> – текущее значение PV – цвет красный.  Красные цифры – приоритет сигнализации High</p> <p><u>Лицевая панель:</u>  Текущие значения <b>PV, SP, OP</b> – цвет красный.  <b>OPLO</b> – причина срабатывания сигнализации.</p>

Подкартинка	Лицевая панель	Ситуация
	 <p>Скриншот панели управления ПК1. Показаны значения: SP 13.12, PV 13.12, OP 52.49. Меню MD открыто, выделен пункт MAN.</p>	<p>Используемые режимы управления:</p> <p><b>MAN</b> – Ручной  <b>AUTO</b> – Автоматический  <b>CAS</b> – Каскадный</p>
	 <p>Скриншот панели управления ПК1. Показаны значения: SP 13.12, PV 13.12, OP 52.49. Меню MD открыто, выделен пункт OPERATOR.</p>	<p>Используемые атрибуты режима:</p> <p><b>PROGRAM</b> – Программа  <b>OPERATOR</b> – Оператор</p>

### 10.3.2. Цветовые и поведенческие решения для регулирующего клапана

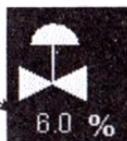
Индикатор положения клапана:

Клапан открыт менее чем на 6% – цвет фона

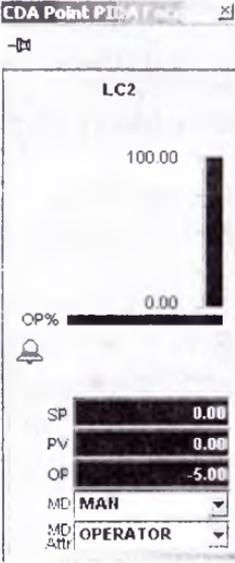


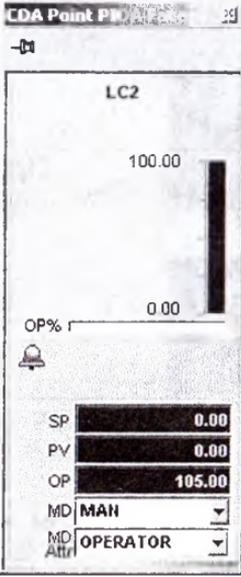
Процент открытия клапана

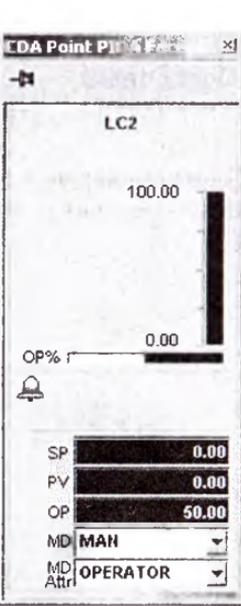
Клапан открыт на 6% и более – цвет зеленый

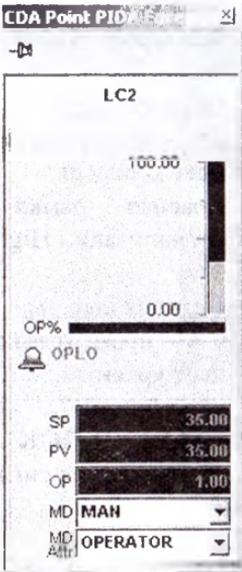
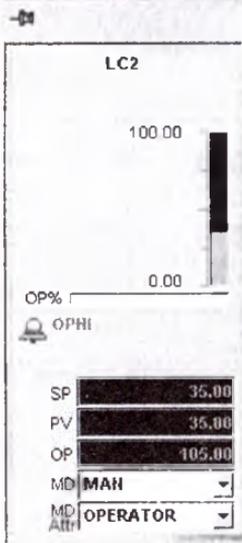


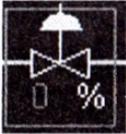
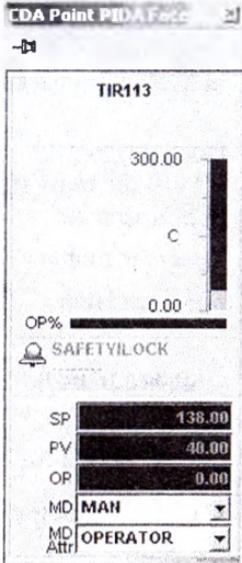
Таблица

Подкартинка	Лицевая панель	Ситуация
		<p>Безаварийная ситуация (клапан полностью закрыт).</p> <p><u>Подкартинка:</u> -5% – процент открытия клапана</p> <p><u>Лицевая панель:</u> -5% – процент выхода регулятора</p>

Подкартинка	Лицевая панель	Ситуация
		<p>Безаварийная ситуация (клапан полностью открыт)</p> <p><u>Подкартинка:</u> 105% – процент открытия клапана</p> <p><u>Лицевая панель:</u> 105% – процент выхода регулятора</p>

		<p>Безаварийная ситуация (клапан наполовину открыт)</p> <p><u>Подкартинка:</u> 50% – процент открытия клапана</p> <p><u>Лицевая панель:</u> 50% – процент выхода регулятора</p>
--	--	---

Подкартинка	Лицевая панель	Ситуация
	 <p>LC2</p> <p>100.00</p> <p>0.00</p> <p>OP%</p> <p>OPLO</p> <p>SP 35.00</p> <p>PV 35.00</p> <p>OP 1.00</p> <p>MD MAN</p> <p>MD Attr OPERATOR</p>	<p>Аварийная ситуация (нарушена нижняя уставка сигнализации OP).</p> <p><u>Подкартинка:</u>  <b>-5%</b> – процент открытия клапана – цвет красный.  Красные цифры – приоритет сигнализации High.</p> <p><u>Лицевая панель:</u>  <b>-5%</b> – процент выхода регулятора – цвет красный.</p> <p><b>OPLO</b> – причина срабатывания сигнализации.</p>
	 <p>LC2</p> <p>100.00</p> <p>0.00</p> <p>OP%</p> <p>OPNI</p> <p>SP 35.00</p> <p>PV 35.00</p> <p>OP 105.00</p> <p>MD MAN</p> <p>MD Attr OPERATOR</p>	<p>Аварийная ситуация (нарушена верхняя уставка сигнализации OP).</p> <p><u>Подкартинка:</u>  <b>105%</b> – процент открытия клапана – цвет красный.  Красные цифры – приоритет сигнализации High.</p> <p><u>Лицевая панель:</u>  <b>105%</b> – процент выхода регулятора – цвет красный.</p> <p><b>OPNI</b> – причина срабатывания сигнализации.</p>

Подкартинка	Лицевая панель	Ситуация
		<p>Аварийная ситуация (включена блокировка безопасности, клапан не откроется).</p> <p><u>Подкартинка:</u>  <b>0%</b> – процент открытия клапана – цвет красный.  Красная рамка – приоритет сигнализации High.</p> <p><u>Лицевая панель:</u>  <b>0%</b> – процент выхода регулятора – цвет красный.</p> <p><b>SAFETYLOCK</b> – причина срабатывания сигнализации.</p>

### 10.3.3. Цветовые и поведенческие решения для задвижек Подкартинка (Shape) задвижки

Индикатор положения задвижки:

Задвижка закрыта – цвет **фона**



Имя задвижки

Задвижка открыта – цвет **зеленый**



Задвижка в промежуточном положении – цвет **желтый**



#### Лицевая панель (Faceplate) для задвижки

Имя задвижки

Дескриптор задвижки

Состояния задвижки

Дескриптор состояния

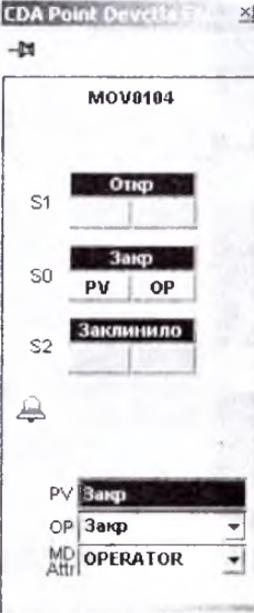
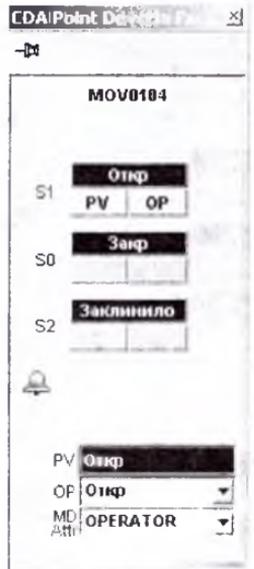
Индикатор состояния **PV** (цвет зеленый)

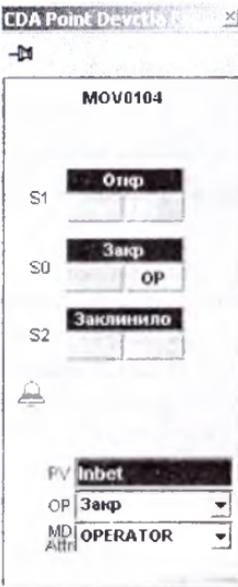
Индикатор состояния **OP** (цвет зеленый)

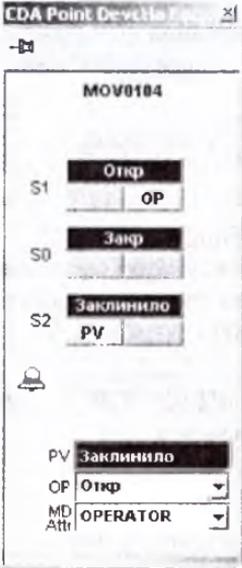
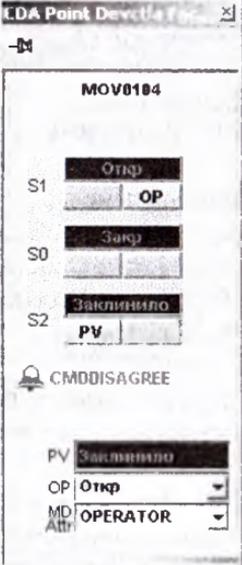
Текущее значение **PV**

Текущий атрибут режима

Текущее значение **OP**

Подкартинка	Лицевая панель	Ситуация
		<p>Безаварийная ситуация (задвижка закрыта).</p> <p><u>Подкартинка:</u>  <b>MOV0104</b>- имя задвижки.</p> <p><u>Лицевая панель:</u>  Индикаторы состояния <b>PV</b> и <b>OP</b> соответствуют состоянию задвижки <b>SO</b> (Закр).</p> <p><b>OPERATOR</b> – текущий атрибут режима</p>
		<p>Безаварийная ситуация (задвижка открыта).</p> <p><u>Подкартинка:</u>  <b>MOV0104</b> – имя задвижки.</p> <p><u>Лицевая панель:</u>  Индикаторы состояния <b>PV</b> и <b>OP</b> соответствуют состоянию задвижки <b>S1</b> (Открыт).</p> <p><b>OPERATOR</b> – текущий атрибут режима</p>

Подкартинка	Лицевая панель	Ситуация
		<p>Безаварийная ситуация (дана команда на закрытие, задвижка в промежуточном положении).</p> <p><u>Подкартинка:</u>  <b>MOV0104</b> – имя задвижки.</p> <p><u>Лицевая панель:</u>  Индикатор состояния <b>OP</b> соответствует состоянию задвижки <b>SO</b> (Закрыт).</p> <p><b>OPERATOR</b> – текущий атрибут режима</p>
		<p>Аварийная ситуация <b>BADPV</b> («плохое» PV).</p> <p><u>Подкартинка:</u>  <b>MOV0104</b> – имя задвижки.</p> <p><u>Лицевая панель:</u>  Индикатор состояния <b>OP</b> соответствует состоянию задвижки <b>S1</b> (Открыт). Индикаторы состояния <b>PV</b> не подсвечены.</p> <p>Текущее значение <b>PV</b>, дескрипторы состояния – цвет красный.</p> <p><b>BADPV</b> – причина срабатывания сигнализации («плохое» PV).</p>

Подкартинка	Лицевая панель	Ситуация
		<p>Задвижку заклинило.</p> <p><u>Подкартинка:</u>  <b>MOV0104</b> – имя задвижки.  Индикатор положения задвижки – цвет красный – задвижку заклинило.</p> <p><u>Лицевая панель:</u>  Индикатор состояния <b>OP</b> соответствует состоянию задвижки <b>S1</b> (Открыт), индикатор состояния <b>PV</b> соответствует состоянию <b>S2</b> (Заклинило).</p>
		<p>Аварийная ситуация (несогласованная команда).</p> <p><u>Подкартинка:</u>  <b>MOV0104</b> – имя задвижки.</p> <p><u>Лицевая панель:</u>  Индикатор состояния <b>OP</b> соответствует состоянию задвижки <b>S1</b> (Открыт), индикатор состояния <b>PV</b> соответствует состоянию <b>S2</b> (Заклинило).</p> <p>Текущее значение <b>PV</b>, дескрипторы состояния – цвет красный.</p> <p><b>CMDDISAGREE</b> – причина срабатывания сигнализации (несогласованная команда).</p>

### 10.3.4. Цветовые и поведенческие решения для отсечных клапанов

Индикатор состояния отсечного клапана:



Клапан открыт – цвет **зеленый**

Имя клапана



Клапан закрыт – цвет **фона**

LDA Point Director

Имя клапана

ROVZ0902

Состояния клапана

Open

Дескриптор состояния

PV OP

Индикатор состояния PV (цвет зеленый)

Индикатор состояния OP (цвет зеленый)

Текущее значение PV

Open

Текущее значение OP

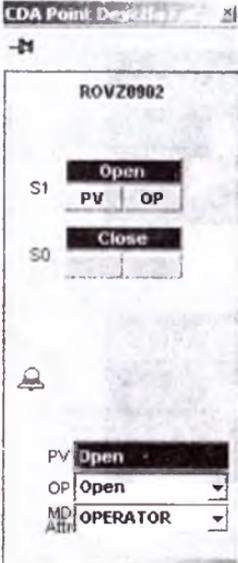
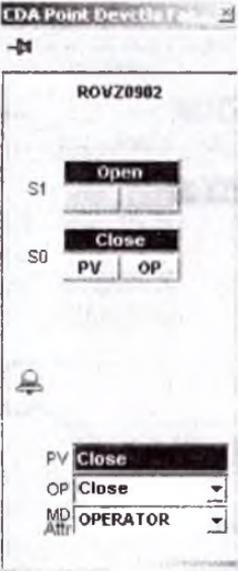
OP Open

MD Attr OPERATOR

Индикатор состояния S1

Индикатор состояния S0

Текущий атрибут режима

Подкартинка	Лицевая панель	Ситуация
		<p>Безаварийная ситуация (клапан открыт).</p> <p><u>Подкартинка:</u>  <b>ROVZ0902</b> – имя отсекателя.</p> <p><u>Лицевая панель:</u>  Индикаторы состояния <b>PV</b> и <b>OP</b> соответствуют состоянию насоса <b>S1</b> (открыт).</p> <p><b>OPERATOR</b> – текущий атрибут режима</p>
		<p>Безаварийная ситуация (клапан закрыт).</p> <p><u>Подкартинка:</u>  <b>ROVZ0902</b> – имя отсекателя.</p> <p><u>Лицевая панель:</u>  Индикаторы состояния <b>PV</b> и <b>OP</b> соответствуют состоянию насоса <b>S0</b> (закрыт).</p> <p><b>OPERATOR</b> – текущий атрибут режима</p>

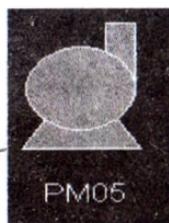
### 10.3.5. Цветовые и поведенческие решения для насосов

#### Подкартинка (Shape) насоса

Индикатор состояния насоса:

Насос выключен – цвет **красный**

Насос включен – цвет **зеленый**



Имя насоса

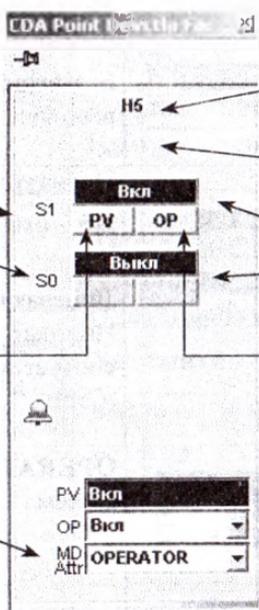


#### Лицевая панель (Faceplate) для насоса

Состояния насоса

Индикатор состояния PV (цвет зеленый)

Текущий атрибут режима



Имя насоса

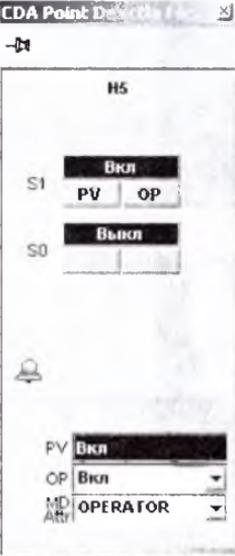
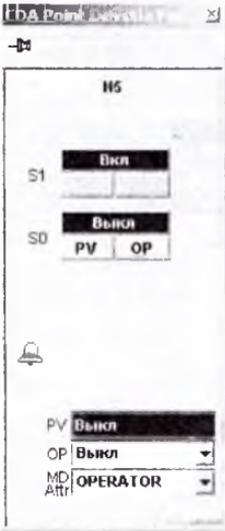
Дескриптор насоса

Дескриптор состояния

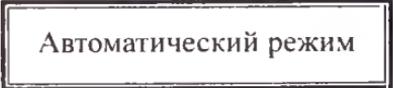
Индикатор состояния OP (цвет зеленый)

Текущее значение PV

Текущее значение OP

Подкартинка	Лицевая панель	Ситуация
		<p>Безаварийная ситуация (насос включен).</p> <p><u>Подкартинка:</u>  <b>H5</b> – имя насоса.</p> <p><u>Лицевая панель:</u>  Индикаторы состояния <b>PV</b> и <b>OP</b> соответствуют состоянию насоса <b>S1</b> (Включен).</p> <p><b>OPERATOR</b> – текущий атрибут режима</p>
		<p>Безаварийная ситуация (насос выключен).</p> <p><u>Подкартинка:</u>  <b>H5</b> – имя насоса.</p> <p><u>Лицевая панель:</u>  Индикаторы состояния <b>PV</b> и <b>OP</b> соответствуют состоянию насоса <b>S0</b> (Стоп).</p> <p><b>OPERATOR</b> – текущий атрибут режима</p>

10.3.6. Таблица цветовых и поведенческих решений  
для кнопок перехода

Подкартинка	Ситуация
 <p>Главное меню</p>	<p>Кнопка навигационной зоны (сигнализация отсутствует). <u>Подкартинка:</u> <b>Главное меню</b> – возврат в главное меню. Кнопка – цвет серый. Рамка – цвет черный.</p>
 <p>Исходное положение</p>	<p>Кнопка навигационной зоны (сигнализация отсутствует). <u>Подкартинка:</u> <b>Исходное положение</b> – приводит состояние схемы в исходное положение. Кнопка – цвет серый. Рамка – цвет черный.</p>
 <p>Автоматический режим</p>	<p>Кнопка навигационной зоны (сигнализация отсутствует). <u>Подкартинка:</u> <b>Автоматический режим</b> – включение работы схемы в автоматическом режиме. Кнопка – цвет серый. Рамка – цвет черный.</p>

<div data-bbox="94 180 484 270" style="border: 3px double black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>Ручной режим</p> </div>	<p>Кнопка навигационной зоны (сигнализация отсутствует).</p> <p><u>Подкартинка:</u></p> <p><b>Ручной режим</b> – включение работы схемы в ручном режиме.</p> <p>Кнопка – цвет серый. Рамка – цвет черный.</p>
<div data-bbox="94 525 484 615" style="border: 3px double black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>Увеличение нагрузки</p> </div> <div data-bbox="94 623 484 713" style="border: 3px double black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>Уменьшение нагрузки</p> </div>	<p>Кнопки навигационной зоны (сигнализация отсутствует).</p> <p><u>Подкартинка:</u></p> <p><b>Увеличение/уменьшение нагрузки</b> – в уроке 4 позволяет увеличить или уменьшить нагрузку на теплообменник.</p> <p>Кнопка – цвет серый. Рамка – цвет черный.</p>
<div data-bbox="94 962 484 1052" style="border: 3px double black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>Снять блокировку</p> </div> <div data-bbox="94 1059 484 1150" style="border: 3px double black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>Ввести блокировку</p> </div>	<p>Кнопки навигационной зоны (сигнализация отсутствует).</p> <p><u>Подкартинка:</u></p> <p><b>Снять/ввести блокировку</b> – в уроке 5 разрешает снять или ввести блокировку для клапана на входе топливного газа.</p> <p>Кнопка – цвет серый. Рамка – цвет черный.</p>

<p>Запуск сумматоров</p>	<p>Кнопки навигационной зоны (сигнализация отсутствует).  <u>Подкартинка:</u>  <b>Запуск/останов/сброс сумматора</b> – в уроке 5 разрешает запустить остановить или сбросить подсчет расхода топливного газа на печь F01.          Кнопка – цвет серый.          Рамка – цвет черный.</p>
<p>Останов сумматоров</p>	
<p>Сброс сумматоров</p>	

Примечание:

Цветовые и поведенческие решения, представленные выше, соответствуют точкам в активном состоянии.

Приоритеты сигнализации, используемые для мнемосхем:

- ✓ Высокий (High) – цвет красный

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В современном производстве для обеспечения надежного и эффективного функционирования предприятий необходимы новые, но в то же время проверенные инструменты и средства. Непъемлемыми компонентами любого современного промышленного предприятия является автоматизированная система управления, внедренная с целью повышения уровня безопасности, снижения затрат трудовых и энергетических ресурсов, повышения качества изготавливаемой продукции и, как следствие, повышение уровня жизни населения.

Практически ни одна из сфер применения АСУ не обходится без использования насосов, клапанов, различного рода резервуаров и емкостей, сепараторов и т. д., вобравших в себя все достижения науки и техники, позволяющие наиболее полно и эффективно использовать все их преимущества и минимизировать потери.

В данном учебном пособии представлен подробный обзор каждого элемента, участвующего в промышленном производстве, дана подробная информация и технические данные о приборах и устройствах. Также в данном пособии имеются поясняющие рисунки для облегчения понимания принципов функционирования арматуры и емкостей, наиболее часто применяемых на производстве.

Каждый прибор имеет свои особенности, которые, при их знании и грамотном применении, обеспечат наиболее эффективное применение их в производстве.

В материалах пособия Вы можете ознакомиться с процедурами, выполняемыми со стороны студентов (в будущем операторов) на практических занятиях.

Таким образом, данное учебное пособие дает возможность студенту представить технологические процессы и ситуации, которые могут возникнуть на промышленных нефтяных и газохимических комплексах.

# СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЙ КОМПЬЮТЕРНОГО ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЯ ОТ А ДО Я

**Автоматизированная обучающая система (АОС)**

программное средство профессиональной подготовки персонала, состоящее из одного или нескольких автоматизированных учебных курсов (АУК) и набора специализированных локальных тренажеров, позволяющих осуществлять формирование профессиональных навыков и умений, принятия и выполнения решений по управлению (обслуживанию) объектов, рассматриваемых в содержательной части АУК.

**Автоматизированный учебный курс (АУК)**

программное средство профессиональной подготовки персонала, отвечающее требованиям методик подготовки, реализующее предъявление обучаемому графического и текстового материала нормативно-технической документации конкретного учебного курса и обеспечивающее контроль качества подготовки обучаемых.

**Автономный тренажер**

тренажер оператора системы «человек-машина», функционирующий без системы «человек-машина».

<b>Алгоритм деятельности оператора системы «человек-машина»</b>	предписание, определяющее содержание и последовательность действий оператора в системе «человек-машина».
<b>Адаптивный тренажер</b>	тренажер оператора системы «человек-машина», обеспечивающий автоматическую оптимизацию управления процессом подготовки оператора системы «человек-машина» с учетом результатов выполнения им учебных задач.
<b>АСР – автоматическая система регулирования</b>	выполняет задачу автоматической стабилизации технологического параметра. Содержит объект регулирования, измерительное устройство, регулятор (контроллер), исполнительное устройство
<b>АСУТП</b>	Автоматизированная система управления технологическим процессом. Человеко-машинная система, предназначенная для сбора, обработки, представления информации о процессе и выработки управляющих воздействий. На оператора возложены задачи наблюдения за работой системы. В необходимых ситуациях оператор имеет возможность вмешаться в процесс управления.
<b>Встроенный тренажер</b>	тренажер оператора системы «человек-машина», функционирующий совместно с системой «человек-машина».

<b>Групповой тренажер</b>	тренажер оператора системы «человек-машина», предназначенный для одновременной подготовки операторов взаимосвязанных систем «человек-машина».
<b>Деятельность оператора системы «человек-машина»</b>	процесс, осуществляемый оператором для достижения поставленных перед системой «человек-машина» целей.
<b>Идентификатор</b>	Уникальное имя точки, по которому точка распознается в системе.
<b>Информационная модель системы «человек-машина»</b>	условное отображение информации о состоянии объекта воздействия, системы «человек-машина» и способов управления ими.
<b>Информационное поле рабочего места оператора системы «человек-машина»</b>	часть рабочего места оператора системы «человек-машина», в котором размещены средства отображения информации системы «человек-машина» и другие источники информации, используемые оператором системы «человек-машина».
<b>Качество деятельности оператора системы «человек-машина»</b>	совокупность свойств деятельности оператора системы «человек-машина», обуславливающих ее выполнение в конкретных условиях.
<b>Концептуальная модель оператора системы «человек-машина»</b>	совокупность представлений оператора о целях и задачах деятельности, состояниях объекта воздействия и системы «человек-машина», а также способах воздействия на них.

<b>Комплексный тренажер</b>	тренажер оператора системы «человек-машина», предназначенный для совместной подготовки операторов системы «человек-машина» в полном объеме алгоритмов их деятельности или одного оператора, деятельность которого в системе «человек-машина» осуществляется по нескольким специальностям.
<b>Компьютерный тренажер</b>	тренажер, в составе которого как модель объекта управления, так и рабочие места обучаемых и инструктора реализуются на базе компьютерных средств.
<b>Локальный тренажер</b>	специализированный тренажер, в составе которого моделируется отдельная технологическая система (функционально-технологический узел, техническое средство или группа средств и пр.) и обеспечивается возможность подготовки персонала к выполнению части деятельности по своей специальности.
<b>Мнемосхема системы «человек-машина»</b>	средство отображения информации системы «человек-машина», с помощью которого в наглядном виде воспроизводится структура и динамика состояний объекта или процесса, а также алгоритм управления системы «человек-машина».

<b>Моделирующее устройство тренажера</b>	устройство, формирующее учебную информационную модель в тренажере оператора системы «человек- машина» и управляющее ее изменением и состоянием среды на рабочем месте системы «человек-машина».
<b>Моделирующее устройство</b>	программное средство профессиональной подготовки персонала, реализующее модель объекта управления, но не обеспечивающее в полной мере выполнение требований, предъявляемых к тренажерам.
<b>Моторное поле рабочего места оператора системы «человек-машина»</b>	часть рабочего места оператора системы «человек-машина», в котором размещены используемые оператором системы «человек-машина» органы управления и осуществляются его двигательные действия по управлению системы «человек-машина».
<b>Надежность оператора системы «человек-машина»</b>	свойство человека-оператора системы «человек-машина» сохранять работоспособное состояние в течение требуемого интервала времени.
<b>Напряженность оператора системы «человек-машина»</b>	работоспособное состояние оператора системы «человек-машина», определяемое особенностью и интенсивностью психо-физиологических процессов, обеспечивающих выполнение деятельности оператора системы «человек- машина».

<b>Осваиваемость системы «человек-машина»</b>	свойство системы «человек- машина», обуславливающее приспособленность ее технических средств и алгоритмов деятельности к освоению человеком-оператором системы «человек-машина».
<b>Орган управления системы «человек-машина»</b>	техническое средство системы «человек-машина», предназначенное для передачи управляющих воздействий от оператора системы «человек-машина» к машине.
<b>Ошибка оператора системы «человек-машина»</b>	неправильное выполнение или невыполнение оператором системы «человек-машина» предписанных действий.
<b>Обслуживаемость системы «человек-машина»</b>	свойство системы «человек-машина», обуславливающее приспособленность ее технических средств к обслуживанию, ремонту и подготовке к применению человеком- оператором системы «человек-машина».
<b>Пульт управления системы «человек-машина»</b>	элемент рабочего места оператора системы «человек-машина», на котором размещены средства отображения информации и органы управления системы «человек-машина».
<b>Профессиональная подготовленность оператора системы «человек- машина»</b>	свойство оператора системы «человек-машина», определяемое совокупностью знаний, навыков и состояния психических и физиологических функций, которые обуславливают его способность осуществлять определенную деятельность с заданным качеством.

**Профессиональный отбор операторов системы «человек-машина»**

отбор лиц, наиболее пригодных к профессиональной подготовке и дальнейшей деятельности в системе «человек-машина» по определенной специальности, а также по психофизиологическим характеристикам.

**Полномасштабный тренажер**

комплексный тренажер, в котором с высокой степенью подобия воспроизводятся реальные рабочие места группы тренируемых специалистов.

**Программные средства подготовки (ПСП)**

автоматизированные учебные курсы, автоматизированные обучающие системы, тренажеры и учебно-тренировочные комплексы, реализуемые на базе компьютерных средств.

**Работоспособное состояние оператора системы «человек-машина»**

состояние оператора, при котором он способен осуществлять определенную деятельность с требуемым качеством.

**Рабочее место оператора системы «человек-машина»**

часть пространства в системе «человек-машина», оснащенная средствами отображения информации, органами управления и вспомогательным оборудованием и предназначенная для осуществления деятельности оператора системы «человек-машина».

**Рабочее место обучающего в тренажере**

часть пространства в тренажере, оснащенная техническими средствами, необходимыми для осуществления контроля и управления процессом подготовки оператора системы «человек-машина».

<b>Система «человек-машина»</b>	система, включающая в себя человека-оператора СЧМ, машину, посредством которой он осуществляет трудовую деятельность, и среду на рабочем месте.
<b>Система управления технологическим процессом</b>	совокупность одного или нескольких объектов управления и одного или нескольких управляющих устройств, взаимодействие которых подчинено определенной цели.
<b>Средство отображения информации системы «человек-машина»</b>	устройство в системе «человек-машина», предназначенное для восприятия оператором системы «человек-машина» сигналов о состоянии объекта воздействия, системы «человек-машина» и способов управления ими.
<b>Система эргономического обеспечения системы «человек-машина»</b>	совокупность взаимосвязанных организационных мероприятий, научно-исследовательских и проектных работ, реализующих эргономическое обеспечение системы «человек-машина».
<b>Среда на рабочем месте оператора системы «человек-машина»</b>	совокупность физических, химических, биологических и психологических факторов, воздействующих на оператора системы «человек-машина» на его рабочем месте в ходе его деятельности.
<b>Средство жизнеобеспечения на рабочем месте оператора системы «человек-машина»</b>	совокупность технических средств на рабочем месте оператора системы «человек-машина», создающих условия для обеспечения его работоспособного состояния и сохранения его здоровья.

<b>Средство отображения информации системы «человек-машина»</b>	средство отображения информации системы «человек-машина», предназначенное для одновременного использования в работе двумя и более операторами системы «человек-машина».
<b>Специализированный тренажер</b>	тренажер для персонала конкретных категорий специальностей, предназначенный для подготовки к выполнению деятельности по этим категориям.
<b>САПР</b>	система автоматизированного проектирования.
<b>СВР</b>	система виртуальной реальности.
<b>СУБД</b>	система управления базами данных.
<b>Сигнализатор системы «человек-машина»</b>	средство отображения информации системы «человек-машина», предназначенное для подачи сигналов с целью привлечения внимания оператора системы «человек- машина».
<b>Тренажер</b>	техническое средство, предназначенное для профессиональной подготовки операторов системы «человек-машина», отвечающее требованиям методик подготовки, реализующее модель системы «человек-машина» и обеспечивающее контроль качества деятельности обучаемого.

**Человек-оператор системы «человек-машина»**

человек, осуществляющий трудовую деятельность, основу которой составляет взаимодействие с объектом воздействия, машиной и средой на рабочем месте при использовании информационной модели и органов управления.

**Универсальный тренажер**

тренажер оператора системы «человек-машина», предназначенный для подготовки операторов системы «человек-машина» к выполнению идентичных результирующих действий в различных системах «человек-машина».

**Учебная информационная модель в тренажере**

информационная модель в тренажере оператора системы «человек-машина», создаваемая для подготовки оператора (операторов) системы «человек-машина» и отвечающая требованиям методики подготовки.

**Управляемость системы «человек-машина»**

свойство системы «человек-машина», обуславливающее ее приспособленность к управлению человеком-оператором.

**Участковый тренажер**

специализированный тренажер, в составе которого моделируется отдельная технологическая система (функционально-технологический узел, техническое средство или группа средств и пр.), и с высокой степенью подобия воспроизводятся соответствующие участки реальных рабочих мест обучаемых.

<b>Учебно-тренировочный комплекс (УТК)</b>	программное средство профессиональной подготовки персонала определенной специальности, включающее достаточный набор АОС, специализированных и комплексных тренажеров, дополненное набором учебно-методических материалов, необходимых для организации конкретной стадии подготовки персонала данной специальности (группы родственных специальностей). совокупность эргономических свойств системы «человек-машина».
<b>Эргономичность системы «человек-машина»</b>	
<b>ЭОК</b>	Электронный обучающий комплекс (Курс).
<b>Эргономическое обеспечение системы «человек-машина»</b>	установление эргономических требований и формирование эргономических свойств системы «человек-машина» на стадиях ее разработки и использовании.
<b>CASE (Computer-Aided Software/System Engineering)</b>	автоматизированное проектирование программных продуктов (систем).
<b>IMS (Instructional Management Systems)</b>	стандарт систем организации обучения.
<b>OLE (Objects Linking and Embedding)</b>	технология связывания и встраивания объектов.
<b>SCORM (Sharable Content Object Reference Model)</b>	модель обмена учебными материалами.

## Point (Точка)

Одно из основных понятий в современных компьютерных системах управления. Точка – это набор информации о вашем процессе, об определенной части вашей системы. Основными элементами точки являются:

- Point ID – идентификатор точки;
- Parameters – параметры;
- Functions – функции.

## Описание параметров точки

Точка, которая идентифицирована, представляет собой поименованную совокупность величин данных. Каждый элемент информации о точке называется параметром (**Parameters**). Параметры точки определяют набор назначенных функций (**Functions**). Набор функций определяет действие точки.

### Основные параметры точки

#### Параметр

#### Описание

**PV** (Process Variable –  
Переменная процесса)

Реальный вход от процесса. Текущее значение или состояние точки. Например, если точка представляет температуру на тарелке ректификационной колонны, то PV является текущей температурой. Представляется в натуральных единицах измерения или в % от диапазона измерения датчика

**SP** (Set Point –Задание)

Желаемая величина PV. Задание регулятору. Когда переменная процесса или текущая величина имеет одинаковое значение с заданием, регулятор не производит никаких действий. Изменение SP вызывает изменение PV. Единицы измерения совпадают с единицами измерения PV.

**OP ( Output – Выходное значение)**

Выходной сигнал системы, который поступает на исполнительный элемент, например, регулирующий клапан. В случае аналогового регулирования Выход измеряется в % от расчетного значения выхода точки. В случае с точкой состояния или с дискретной точкой OP имеет 8 различных значений.

**MD (Mode-Режим)**

Отображает режим управления точкой. Имеются следующие режимы управления:

- Manual – (Ручной),
- Automatic – (Автоматический),
- Cascade – (Каскадный).
- Normal – (Нормальный)

**Режим Man**

Режим **Manual** – останавливает действие автоматического управления. В этом режиме оператор имеет возможность изменить величину сигнала OP.

**Режим Auto**

Режим **Automatic** – если MD установлен в автоматический режим, то это означает, что точка управляется контроллером. В этом режиме регулятор автоматически регулирует сигнал OP с целью поддержать  $PV=SP$ . В режиме AUTO оператор имеет возможность управлять величиной SP.

**Режим Cas**

В режиме каскадного управления выходной сигнал OP одного регулятора управляет заданием SP другого регулятора. Регуляторы соединены в каскад. Задающее устройство называют первичным, ведущим, обычно он действует в режиме Automatic, вторичный регулятор – ведомый, обычно действует в режиме Cascade.

## Режим Normal

Нормальный режим – изначально установленный (skonфигурированный) режим управления для точки данных. Он может быть

Manual – (Ручной)

Automatic – (Автоматический)

Cascade – (Каскадный).

## Mode Attribute – (MDAtt атрибут режима)

Атрибут режима показывает на то, кто имеет право внести изменения в точку данных. Атрибут режима имеет два значения:

– Operator – оператор

– Program – программа.

Атрибут режима **Operator** – показывает на операторский доступ. В этом случае оператор может изменять задание, выход, соотношение, смещение. Атрибут режима **Program** – показывает, что только программа может изменять значения задания, выхода, соотношения, смещения.

## PV Range Limits – Пределы диапазона PV

Значения пределов диапазона PV определяются: нижним значением – **PVEULO** и верхним значением – **PVEUNI**. Показывают диапазон шкалы прибора в инженерных единицах измерения и должны соответствовать калибровочному диапазону сенсора.

## Bad PV ( «плохая» PV)

Если сигнал PV выходит из своего диапазона, то PV приобретает значение «**bad**». Если использовать возможность расширения диапазона PV, то PV будет рассматриваться как «хорошая», если значение находится внутри расширенного диапазона.

**PV Source (Источник PV)** Параметр, который показывает, кем в систему посылается сигнал PV. Обычно PV приходит в систему от «skonфигурированного источника» – первичного измерительного преобразователя (датчика), и поэтому параметр **PVSOURCE** имеет значение **AUTOMATIC**. Если же преобразователь выйдет из строя, то PV станет неопределенной, тогда можно skonфигурировать изменение источника PV от **AUTOMATIC** на **MANUAL**, что позволит ввести в систему фиктивную PV, пока не будет исправлена ситуация.

### Параметры выхода

**OPHILM**

Параметр верхнего предела выхода

**OPLOLM**

Параметр нижнего предела выхода

**Red Tag – «Красная метка»**

Если этот параметр включен, то изменение выхода (OP) системы – заблокировано (например, регулирующий клапан находится на техническом обслуживании). В этом случае выход не может быть изменен ни оператором, ни программой. Для включения **Red Tag** точка должна быть переведена в режим **Manual**.

**Alarm – Аларм (сигнал тревоги)**

При возникновении ненормальной ситуации или ненормальных условий по каждой точке генерируется сигнализация.

Переменная процесса – PV имеет в системе четыре уставки сигнализации, которые позволяют skonфигурировать предупредительную и аварийную сигнализации.

**Trip Point (Уставки):**

<b>Lo</b>	Низ
<b>LoLo</b>	Низ-Низ ( ниже нижнего)
<b>Hi</b>	Верх
<b>HiHi</b>	Верх-Верх (Выше верхнего)

**Priority (Приоритеты):**

Сигнализации отличаются по важности, согласно приоритетам.

**Urgent**

Срочный

**High**

Высокий

**Low**

Низкий

Каждая сигнализация может быть задана со своим приоритетом

11. Process Safety Management // U.S. Department of Labor. Occupational Safety and Health Administration, OSHA 3132, 1993, Washington, DC, USA.

12. Boothe, E.M. federal Aviation Administration Cooperation with the Nuclear Regulatory Commission on Simulation Evaluation Procedures // Proceedings of Simulators V, Society for Computer Simulation International. Orlando, FL, USA, 1988, April, pp. 139–141.

13. Duncan, K.D. and A. Shepard. A Simulator and Training Technique for Diagnosing Plant Failures from Control Panels // Ergonomics, 1975, Vol. 18, 6, pp. 627–641.

14. Glaser, D.C. The PC Simulator // Chemical Engineering Progress, 1986, September, pp. 45–48.

15. Pathe, D.C. Simulator a Key To Successful Plant Start-Up // Oil & Gas Journal, 1986, April, pp. 49–53.

16. Dawson. G.P. Pastures to Production and Beyond (The Training Challenge) // Proceedings of the Atlantic Simulation User's Conference, New York, NY, USA, 1987, October.

17. Krahi, D. An introduction to Extend // Proc. Of the 1994 Winter Simulation Confer., IEEE Piscataway, NJ, USA. 1994.

18. Juslin, K., Niemenmaa, A. Dynamic Simulation of a Black Liquour Evaporization Plant // Proc. Of the SIMS'94 Simulation Confer., Stockholm, Sweden, 1994. Pp. 156–159.

19. Ranta, J. *et al.* State-of-the-Art: Information Technology and Structural Change in the Paper and Pulp Industry // Computers in Industry. 1992. Vol 20. Pp. 255–269.

20. Malik, T.I. Process Training Simulators (PTS) – A Comparison of Different Types // Measurement & Control, Vol. 28, Dec/Jan 1995/96, pp. 302–308.

21. The Simulator. A Publication of Simulation Sciences Inc. 1997. Vol. 2. № 1.

22. OLE

23. Plant Optimization Solution

*Адилов Фарух Тулкунович* – доктор технических наук  
*Дозориев Виктор Михайлович* – доктор технических наук, профессор  
*Юсупбеков Азизбек Надирбекович* – доктор технических наук

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТИПОВЫХ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И КОМПЬЮТЕРНЫЙ  
ТРЕНИНГ НАВЫКОВ УПРАВЛЕНИЯ**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Утверждено к печати Советом Ташкентского государственного  
технического университета имени А.Р. Беруни

Редакторы: Покачалова Н.С.  
Григорьянц А.С.  
Каримова Ф.А.  
Корректор: Марданова Э.З.

Подписано в печать: 20.10. 2015 г. Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
Объем 10 п.л. Тираж 200 экз. Договор № 31/20. Заказ № 35/20.

Отпечатано в типографии ООО «ТАФАККУР-ВО‘СТОН!».  
10000, г. Ташкент, улица Чилонзор, 1.

**Адиллов Ф.Т., Дозорцев В.М., Юсупбеков А.Н.**

**И 54** Имитационное моделирование типовых технологических объектов и компьютерный тренинг навыков управления [Текст]: учебное пособие / А. Юсупбеков [и др.]. – Ташкент: «Tafakkur Bo'stoni», 2015. – 208 с.

**УДК: 0049(075)**

**ББК 32.81я73**



«TAFAKKUR BO'STONI»  
NASHIRIYOTI

978-9943-993-11-2



9 789943 993112