

## Продукционные правила и продукционные модели представления знаний

*Продукционные правила — PR* — это структурно-лингвистические модели представления процедурных знаний предметной области (рекомендаций, указаний, стратегий или эвристических правил), которые формально записываются в виде следующих пар:

Если <условие>, то <действие>

Если <причина>, то <следствие>

Если <посылка>, то <заключение>

Если <ситуация>, то <действие>.

Приведем примеры некоторых продукционных правил: ЕСЛИ (рН жидкости меньше 6), ТО (жидкость — кислота);

ЕСЛИ (температура кипения вещества меньше текущей температуры), ТО (фазовое состояние вещества — пар);

ЕСЛИ (фазовое состояние вещества *x* в смеси двух компонентов—жидкость) и (фазовое состояние вещества *y* в смеси двух компонентов — жидкость), ТО (для разделения веществ *x* и *y* использовать процесс ректификации).

Достоинства представления знаний в виде продукционных правил:

- модульность организации знаний;
- независимость правил, выражающих самостоятельные части знаний;
- легкость и естественность модификации знаний;
- отделение управляемых знаний от предметных, что позволяет применять различные управляющие стратегии;
- возможность создания управляющих механизмов для автоматизированного решения задач в ряде приложений.

### *Классификация продукционных правил*

С точки зрения структурно-синтаксических особенностей формирования выделяют четыре типа ПП: простое, составное, фокусирующее, разветвляющееся.

1. *Простое ПП*— это ПП, имеющее единственное условие и единственное действие. Например: «ЕСЛИ (основной аппарат насос), ТО (технологический блок — блок нагнетания)».

2. *Составное ПП* имеет множество условий и действий. Например: «ЕСЛИ (аппарат—ректификационная колонна) И (габариты аппарата—крупногабаритный), ТО (высота установки аппарата —на нулевом уровне) И (очередность размещения — в первую

очередь)».

3. *Фокусирующее ПП* имеет множество условий и одно действие. Например: «ЕСЛИ (основной аппарат — абсорбер) И (узел вспомогательного назначения — узел теплообмена) И (узел вспомогательного назначения — узел перекачки), ТО (технологический блок — блок абсорбции)».

4. *Разветвляющееся ПП* имеет одно условие и множество действий. Например: «ЕСЛИ (технологический блок—блок перекачки), ТО (основной аппарат — емкость) И (узел вспомогательного назначения — узел нагнетания)».

Формализовано продукционные правила можно представить в виде **продукционных моделей**, которые записываются с использованием **лингвистических переменных** и элементов алгебры логики высказываний (логико-лингвистической модели).

Переменные, значениями которых являются термины (слова, фразы, предложения), выраженные на естественном языке называются **лингвистическими переменными**.

Инверсия – « $\neg$ », не,  $\bar{\quad}$ ,  $\neg$  – логическое отрицание

Конъюнкция – « $\wedge$ », и,  $\wedge$  – логическое умножение

Дизъюнкция – « $\vee$ », или,  $\vee$  – логическое сложение

Например, запишем в виде продукционной модели такое правило:

Если «температура сырьевого потока» = «выше нормы», то «расход водяного пара, подаваемого на распыл сырья» = «увеличить».

Обозначим лингвистические переменные:

$x$  – «температура сырьевого потока»,

$u$  – «расход водяного пара, подаваемого на распыл сырья».

Эти переменные могут принимать следующие значения:

$x = \langle \text{«ниже нормы»}, \text{«норма»}, \text{«выше нормы»} \rangle = \langle LN, N, PN \rangle;$

$u = \langle \text{«уменьшить»}, \text{«не изменять»}, \text{«увеличить»} \rangle = \langle D, O, Up \rangle/$

Тогда продукционная модель, соответствующая приведенному выше правилу:

$M_1 \equiv [(x = PN) \rightarrow (u = Up)].$

### **Система продукционных правил, проверка продукционных правил на противоречивость и избыточность**

*Система продукционных правил* – множество продукционных правил (ПП), отображающих разнообразные процедурные знания предметной области, порядок выполнения которых задается с помощью стратегии управления выводом.

Достоинствами продукционных систем (ПС) как моделей представления знаний являются: простота создания и понимания отдельных ПП; простота пополнения и модификации ПП, входящих в базу знаний (БЗ); простота процедуры вывода по здравому смыслу решения НФЗ.

Недостатки ПС: неясность взаимосвязей между отдельными ПП; сложность представления большого объема процедурных знаний; весьма низкая эффективность операций переработки знаний при выводе решений НФЗ; отсутствие гибкости в процедуре вывода решений по здравому смыслу.

Продукционная модель обладает тем недостатком, что при накоплении достаточно большого числа (порядка нескольких сотен) продукций они начинают противоречить друг другу, может наблюдаться неясность взаимосвязей между отдельными ПП; также осложняется представление большого объема продукционных знаний и их переработка при выводе решений неформализованной задачи (НФЗ); система становится менее гибкой в процедуре вывода решений.

### ***Процедура (алгоритм) формирования рабочего набора ПП***

При формировании базы знаний в виде набора правил предлагается принципиально использовать две схемы.

1. Схема с наличием одного лица, принимающего решения (ЛПР), продуцирующего правила, которые и попадают в обработку. Предполагается, что одно ЛПР продуцирует правила, которые непротиворечивы. В связи с этим исключения отдельных правил не происходит - все они используются при обработке информации.

Хотя эта схема и не сталкивает исследователя с проблемами избыточности и противоречивости правил, она ставит под сомнение корректность каждого правила и их полноту и может быть применена только в крайнем случае.

2. Схема с наличием ЛПР в количестве  $n$ , каждое из которых независимо продуцирует свой набор правил. В этом случае каждое последующее ЛПР может вносить новое правило, увеличивая тем самым полноту модели; может повторять некоторые правила, создавая избыточность модели; может вводить правила, противоречащие правилам из набора другого эксперта. Можно выделить две основные причины, по которым эксперты формулируют разные правила: размытость понятий экспертов о значениях лингвистических переменных и профессиональная некомпетентность. Четкой грани между этими двумя причинами нет, но тем не менее, если правила расходятся достаточно сильно, очевидно, что причина - некомпетентность эксперта, а в противном случае - размытость понятий. Под оценкой качества рабочего набора правил (РНП) будем понимать проверку

его на противоречивость, избыточность и полноту.

Для этой цели введем ряд понятий, характеризующих качество РНП. В виде примера для простоты мы будем рассматривать гипотетическую интеллектуальную математическую модель, имеющую две входные координаты -  $X$  и  $Y$  и одну выходную -  $Z$ .

**Понятие полноты РНПП:** чем больше правил в рабочем наборе, тем больше полнота продукционной БЗ.

**Понятие приоритета** – частота появления правила в наборах разных ЛПР. Чем чаще ПП встречается в разных наборах, тем выше у него приоритет.

**Понятие однозначности** – свойство правило, заключающееся в следующем: каждому сочетанию значений входных координат  $x$  и  $y$  соответствует одно и только одно значение выходной координаты  $z$ .

Если  $x = x_1$  И  $y = y_1$ , то  $z = z_1$  – верно

Если  $x = x_1$  И  $y = y_1$ , то  $z = z_2$  – неверно

**Понятие дублирования:** если  $x$  и  $y$  однозначно определяют  $z$ , то обратное утверждение неверно, то есть результат  $z$  может достигаться различными сочетаниями входных координат  $x$  и  $y$ .

Если  $x = x_1$  И  $y = y_1$ , то  $z = z_1$ ;

Если  $x = x_1$  И  $y = y_2$ , то  $z = z_1$

**Понятие избыточности:** может возникнуть ситуация, когда значения  $y$  различны только по внешнему виду, а по сути своей очень близки. В частности, если  $y$  принимает значение «любое», тогда все остальные значения будут являться частью значения «любое».

Если  $x = x_1$  И  $y = \text{любое}$ , то  $z = z_1$

Если  $x = x_1$  И  $y = y_1$ , то  $z = z_1$  – избыточное

**Понятие противоречивости:** если два правила при одних и тех же значениях входных координат имеют разные значения выходной координаты, то есть нарушается гипотеза однозначности, то такие правила противоречивы.

Если  $x = x_1$  И  $y = y_1$ , то  $z = z_1$

Если  $x = x_1$  И  $y = y_1$ , то  $z = z_2$ .

Меняя уровень противоречивости, мы корректируем количество правил, участвующих в модели. При низком уровне противоречивости количество правил в рабочем наборе

снижается, однако при этом повышается корректность расчетов по модели. Малое количество правил может вызвать уменьшение индекса полноты, т. е. не позволит достичь желаемого результата во всем диапазоне изменения выходной координаты.

Включение избыточных правил корректность процедуры расчета не нарушит, но сильно усложнит, что приведет к неоправданным затратам времени при расчете.

На основе введенных нами понятий предлагается следующий алгоритм отбора правил, структурную реализацию которого назовем модулем формирования рабочего набора правил (рис. 1).

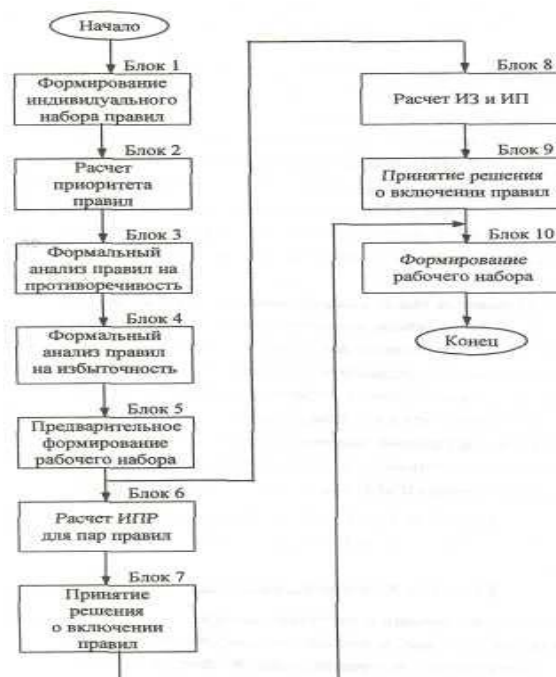


Рис. 1. Формирование рабочего набора правил

**Алгоритм формирования РНП:**

1. Формирование индивидуальных наборов ПП каждым ЛПП;
2. Определение приоритета правил;
3. Предварительный анализ правил, подозрительных на противоречивость;
4. Предварительный анализ правил, подозрительных на избыточность;
5. Формирование предварительного РНП;
6. Парное сравнение ПП, подозрительных на противоречивость и избыточность;
7. Принятие решения о включении предварительных правил в РНП;
8. Формирование РНП.

Первоначально каждый эксперт формирует собственный исходный набор правил (блок 1). Каждому правилу по результатам расчета (блок 2) присваивается приоритет. В

результате перебора осуществляется предварительный (формальный) анализ правил, подозрительных на противоречивость (блок 3) и избыточность (блок 4). Формальный анализ сводится к перебору правил по внешнему виду. Для анализа на противоречивость отбираются правила, имеющие одинаковое сочетание значений входных координат, но разные значения выходной координаты. Для анализа на избыточность осуществляется обратная процедура: отыскиваются правила по одинаковому значению выходной координаты. Выбранные в результате анализа неподозрительные правила помещаются в рабочий набор (блок 5). Правила, подозрительные на противоречивость, анализируются попарно (блок 6), для чего рассчитывается индекс противоречивости (ИПР), и для установленного уровня противоречивости принимается решение о возможном включении одного или двух правил в рабочий набор (блок 7). Правила, подозрительные на избыточность, анализируются попарно (блок 8), для чего рассчитываются индекс избыточности (ИЗ) и коэффициент полноты модели, затем принимается решение о возможном включении одного или двух правил в рабочий набор (блок 9). По результатам полного анализа правил на противоречивость и избыточность формируется дополнительный набор, который и загружается в рабочий. Правила, отброшенные в результате анализа на противоречивость и избыточность, помещаются в резервный набор и в формировании модель в настоящий момент не участвуют. Процесс формирования правил на этом заканчивается. В результате рабочий набор правил, участвующих в построении, выглядит следующим образом:

```
Если  $X = X_1$  и  $Y = Y_1$ , то  $Z = Z_1$ , иначе  
Если  $X = X_2$  и  $Y = Y_2$ , то  $Z = Z_2$ , иначе  
...  
Если  $X = X_n$  и  $Y = Y_n$ , то  $Z = Z_n$ ,
```

где  $n$  - количество правил в рабочем наборе.

### Пример разработки системы продукционных правил

Разработать продукционные модели представления знаний по управлению технологическим процессом установки каталитического риформинга ЛЧ 35-11/1000 в предаварийном и аварийном режиме на примере сценария **A-1(1С-1)** – Остановка насоса Н-101/1,2.

| Наименование (код) сценариев и стадий развития аварий | Предпосылки и опознавательные признаки аварий   | Оптимальные способы противоаварийной защиты  | Технические средства (системы) противоаварийной защиты   | Порядок действия исполнителей  | Исполнители  |
|---|---|--|--|--|--|
| <b>A-1 (IC-1)</b><br>Остановка насоса Н-101/1,2       | 1.1 Ошибка персонала.<br>1.2 Прекращение подачи электроэнергии.<br>1.3 Коррозионный и механический износ.<br>1.4 Выход из строя подшипниковых узлов насоса Н-101/1,2.<br>2.1 Поступление светового и звукового сигнала на мониторе РСУ в операторной при 100 м3/час после сырьевых насосов Н-101/1,2 от датчиков расхода поз. FIRCAEL-36, FIRAEL-36/1, FIRAEL-97.<br>2.2 Срабатывание блокировки при снижении расхода сырья до 70 м3/час. | 1. Остановка сырьевых насосов.<br>2. Закрытие отсекающего клапана НСАС-500 на линии сырья, поступающего в тройники смещения.<br>3. Прекращение подачи топлива в печь П-101.<br>4. Остановка насоса гидрогенизата Н-104/1,2. <b>Блок №3.</b><br>5. Прекращение подачи топлива в печь П-103. <b>Блок №3.</b><br>6. Закрытие переточка гидрогенизата из С-101 в К-101.<br>7. Прекращение поступления ВСГ с риформинга на гидроочистку и из нее на выходе с установки.<br>8. Остановить подачу хлорорганических соединений.<br>9. Перевести блок гидроочистки на холодную циркуляцию ВГ. | 1. Световая и звуковая сигнализации и блокировка при снижении расхода сырья ниже 70 м3/час, поз. FIRCAEL-36, FIRAEL-36/, FIRAEL-97.<br>2. Клапаны-отсекатели: НСАС-500 на нагнетании сырьевых насосов Н-101/1,2; НСАС-504/1 на трубопроводе топливного газа в П-101.<br>3. Электроздвижка №188 на байпасе клапана регулятора давления на приеме ПК-101/1,2.<br>4. Ручная запорная арматура.<br>5. При длительном отсутствии сырья приступить к нормальной остановке согласно инструкции по безопасной остановке установки. | 1. Оповестить: диспетчера завода т. 21-34; администрацию цеха: начальник цеха т.81-66, зам. нач. цеха т. 25-78; нач. установки т. 25-41; установка ЛЧ-24/2000 т. 20-48; установка Л-24/5 т. 27-70.<br>2. Ст. оператор дает команду операторам используя противогазы ПФМГ с коробкой БКФ вывести с территории установки посторонних лиц.<br>3. При срабатывании блокировки по падению расхода сырья: Закрывается отсекающий клапан НСАС-500 на линии нагнетания сырьевых насосов Н-101/1,2, останавливается насос; Прекращается подача топливного газа к форсункам печи П-101 путем закрытия НСАС-504/1.<br>4. В случае не срабатывания блокировки необходимо дистанционно: закрыть клапаны-отсекатели НСАС-500 на нагнетании сырьевых насосов Н-101/1,2, остановить насос; НСАС-504/1 на подаче топливного газа к форсункам печи П-101.<br>5. Дистанционно закрыть: НСАС-501 на нагнетании Н-104/1,2 и остановить насос; НСАС-505, НСАС-503/1,2 на подаче топливного газа и мазута к форсункам печи П-103. <b>Блок №3.</b><br>6. Закрывают вручную задвижки на нагнетании насосов Н-104/1,2 №116 <b>Блок №3</b> , Н-101/1,2 №102.<br>7. Уменьшают подачу топлива в печи П-102, П-104 регулируя клапанами поз. TIRC-2, поз. TIRC-103 <b>Блоки №2,4.</b><br>8. Прекращают переток нестабильного гидрогенизата из сепаратора С-101 в отпарную колонну К-101, перекрыв вручную задвижку №109.<br>9. Закрыть задвижку №145 на трубопроводе избыточного ВСГ с блока риформинга на блок гидроочистки <b>Блок №3</b> ; Задвижки на сброс ВСГ: ЛЧ-24/2000 №190; в заводскую сеть №144.<br>10. Открыть электродвижку №188 и перевести блок гидроочистки на циркуляцию ВСГ. | Ст. оператор<br>Диспетчер завода<br>Опер-ры блоков гидроочистки, риформинга, стабилизации<br>Ст. оператор<br>Ст. оператор<br>Опер-ры блоков риформинга и гидроочистки<br>Опер-ры блоков гидроочистки и стабилизации<br>Оператор блока гидроочистки<br>Опер-ры блоков риформинга и гидроочистки<br>Ст. оператор<br>Оператор блока риформинга<br>Оператор блока стабилизации<br>Оператор блока |

| Наименование (код) сценариев и стадий развития аварий | Предпосылки и опознавательные признаки аварий   | Оптимальные способы противоаварийной защиты  | Технические средства (системы) противоаварийной защиты | Порядок действия исполнителей   | Исполнители   |
|---|---|--|--|---|---|
|   | <p>2.3 Погасание светового сигнала на мониторе ЭВМ, указывающего на работу насосов Н-101/1,2.</p> | <p>10. Перевести блок риформинга на горячую циркуляцию ВСГ.</p> <p>11. Прекращается вывод стабильного катализата, головки, углеводородного газа с установки.</p> <p>12. Блоки стабилизации гидрогенизата и катализата переводятся на горячую циркуляцию.</p> |  | <p>11. Прекращается подача ХОС в реактор путем остановки насоса Н-108, закрыть задвижку №118 <b>Блок №3.</b></p> <p>12. Дистанционно остановить насос Н-112/1,2, закрыть задвижку на выкиде №129. <b>Блок №4.</b></p> <p>13. Прекращается вывод с установки: стабильного катализата, закрыв задвижку №137; Углеводородного газа из Е-101 перекрыв №184; Углеводородного газа из Е-102 перекрыв №181; Нестабильной «головки» на УОР перекрыть задвижкой №171. <b>Блок №2,4.</b></p> <p>14. Блоки стабилизации гидрогенизата и катализата переводят на горячую циркуляцию по схеме.</p> <p>15. Компрессоры продолжают работать в нормальном режиме.</p> <p>16. Постоянно определяют снижение температуры в П-101, П-102, П-104 по монитору ЭВМ. <b>Блоки №1,2,3,4.</b></p> <p>17. При отсутствии сырья приступить к нормальной остановке согласно инструкции по безопасной остановке установки.</p> <p>18. До прибытия начальника установки, администрации цеха ст. оператор руководит локализацией аварийной ситуации.</p> | <p>стабилизации</p> <p>Операторы блоков гидроочистки и стабилизации</p> <p>Машинисты</p> <p>Операторы блоков</p> <p>Администрация цеха, начальник установки</p> <p>Ст. оператор</p> |



Для реализации управления технологическим процессом установки каталитического риформинга ЛЧ 35-11/1000 в предаварийном и аварийном режиме на примере сценария **A-1(1С-1)** – Остановка насоса Н-101/1,2 были разработаны следующие производственные правила:

Лингвистические переменные:

X<sub>1</sub> – «FIRCAEL36» = <больше 100, больше 70 и меньше либо равно 100, меньше либо равно 70>

X<sub>2</sub> – «FIRAEL36/1» = <больше 100, больше 70 и меньше либо равно 100, меньше либо равно 70>

X<sub>3</sub> – «FIRAEL97» = <больше 100, больше 70 и меньше либо равно 100, меньше либо равно 70>

X<sub>4</sub> – «Световой сигнал» = <вкл, выкл>

X<sub>5</sub> – «Звуковой сигнал» = <вкл, выкл>

X<sub>6</sub> – «Блокировка» = <вкл, выкл>

X<sub>7</sub> – «Оповестить диспетчера завода» = <да, нет>

X<sub>8</sub> – «Оповестить нач. цеха т.81 - 66» = <да, нет>

X<sub>9</sub> – «Оповестить зам. нач. цеха т. 25 - 78» = <да, нет>

X<sub>10</sub> – «Оповестить нач. установки т. 25 - 41» = <да, нет>

X<sub>11</sub> – «Оповестить установку ЛЧ-24/2000 т. 20 - 48» = <да, нет>

X<sub>12</sub> – «Оповестить установку Л-24/5 т. 27 - 70» = <да, нет>

X<sub>13</sub> – «Дать команду операторам вывести посторонних лиц» = <да, нет>

X<sub>14</sub> – «Клап. НСАС - 500» = <откр, закр>

X<sub>15</sub> – «Клап. НСАС - 504» = <откр, закр>

X<sub>16</sub> – «Насос Н - 101» = <вкл, выкл>

X<sub>17</sub> – «Дистанционно клап. НСАС - 500» = <откр, закр>

X<sub>18</sub> – «Дистанционно клап. НСАС - 504» = <откр, закр>

X<sub>19</sub> – «Дистанционно насос Н - 101» = <вкл, выкл>

X<sub>20</sub> – «Дистанционно клап. НСАС - 501» = <откр, закр>

X<sub>21</sub> – «Дистанционно насос Н - 104» = <вкл, выкл>

X<sub>22</sub> – «Дистанционно клап. НСАС - 505» = <откр, закр>

X<sub>23</sub> – «Дистанционно клап. НСАС - 503» = <откр, закр>

X<sub>24</sub> – «Вручную здвжк №116» = <откр, закр>

X<sub>25</sub> – «Вручную здвжк №102» = <откр, закр>

X<sub>26</sub> – «Клап. TIRC - 2» = <регулировать, не регулировать>

$X_{27}$  – «Клап. TIRC - 103» = <регулировать, не регулировать>  
 $X_{28}$  – «Вручную здвжк №109» = <откр, закр>  
 $X_{29}$  – «Здвжк №145» = <откр, закр>  
 $X_{30}$  – «Здвжк №190» = <откр, закр>  
 $X_{31}$  – «Здвжк №144» = <откр, закр>  
 $X_{32}$  – «Эл. здвжк №188» = <откр, закр>  
 $X_{33}$  – «Насос Н - 108» = <вкл, выкл>  
 $X_{34}$  – «Здвжк №118» = <откр, закр>  
 $X_{35}$  – «Дистанционно насос Н - 112» = <вкл, выкл>  
 $X_{36}$  – «Дистанционно здвжк №129» = <откр, закр>  
 $X_{37}$  – «Здвжк №137» = <откр, закр>  
 $X_{38}$  – «Здвжк №184» = <откр, закр>  
 $X_{39}$  – «Здвжк №181» = <откр, закр>  
 $X_{40}$  – «Здвжк №171» = <откр, закр>  
 $X_{41}$  – «Перевод блоков стабилизации на горяч. циркул.» = <да, нет>  
 $X_{42}$  – «Отсутствие сырья» = <да, нет>  
 $X_{43}$  – «Нормальная остановка установки» = <да, нет>  
 $X_{44}$  – «Прибытие начальства» = <да, нет>  
 $X_{45}$  – «Оператор руководить локализацией авар. ситуац.» = <да, нет>

Обозначения:

$X_1, X_2, X_3$  = <M, T, NM>  
 $X_4, X_5, X_6, X_{16}, X_{19}, X_{21}, X_{33}, X_{35}$  = <ON, OFF>  
 $X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{41}, X_{43}, X_{44}, X_{45}$  = <Y, N>  
 $X_{14}, X_{15}, X_{17}, X_{18}, X_{20}, X_{22}, X_{23}, X_{24}, X_{25}, X_{28}, X_{29}, X_{30}, X_{31}, X_{32}, X_{34}, X_{36}, X_{37}, X_{38}, X_{39},$   
 $X_{40}, X_{42}$  = <O, C>  
 $X_{26}, X_{27}$  = <R, NR>

Продукционные правила:

1. Если «FIRCAEL36» = <больше 70 и меньше либо равно 100> и «FIRAEL36/1» = <больше 70 и меньше либо равно 100> и «FIRAEL97» = <больше 70 и меньше либо равно 100>, то «Световой сигнал» = <вкл> и «Звуковой сигнал» = <вкл>.

$$M_1 \equiv [(X_1 = T) \wedge (X_2 = T) \wedge (X_3 = T)] \rightarrow [(X_4 = ON) \wedge (X_5 = ON)]$$

2. Если «FIRCAEL36» = <меньше либо равно 70> и «FIRAEL36/1» = <меньше либо равно 70> и «FIRAEL97» = <меньше либо равно 70>, то «Блокировка» = <вкл>.

$$M_2 \equiv [(X_1 = NM) \wedge (X_2 = NM) \wedge (X_3 = NM)] \rightarrow (X_6 = ON)]$$

3. Если «Световой сигнал» = <вкл> и «Звуковой сигнал» = <вкл> и «Блокировка» = <вкл>, то «Оповестить диспетчера завода» = <да> и «Оповестить нач. цеха т.81 - 66» = <да> и «Оповестить зам. нач. цеха т. 25 - 78» = <да> и «Оповестить нач. установки т. 25 - 41» = <да> и «Оповестить установку ЛЧ-24/2000 т. 20 - 48» = <да> и «Оповестить установку Л-24/5 т. 27 - 70» = <да>.

$$M_3 \equiv [(X_4 = ON) \wedge (X_5 = ON) \wedge (X_6 = ON)] \rightarrow ((X_7 = Y) \wedge (X_8 = Y) \wedge (X_9 = Y) \wedge (X_{10} = Y) \wedge (X_{11} = Y) \wedge (X_{12} = Y))]$$

4. Если «Оповестить диспетчера завода» = <да> и «Оповестить нач. цеха т.81 - 66» = <да> и «Оповестить зам. нач. цеха т. 25 - 78» = <да> и «Оповестить нач. установки т. 25 - 41» = <да> и «Оповестить установку ЛЧ-24/2000 т. 20 - 48» = <да> и «Оповестить установку Л-24/5 т. 27 - 70» = <да>, то «Дать команду операторам вывести посторонних лиц» = <да>.

$$M_4 \equiv [(X_7 = Y) \wedge (X_8 = Y) \wedge (X_9 = Y) \wedge (X_{10} = Y) \wedge (X_{11} = Y) \wedge (X_{12} = Y)] \rightarrow (X_{13} = Y)]$$

5. Если «Блокировка» = <вкл>, то «Клап. НСАС - 500» = <закр> и «Насос Н - 101» = <выкл>.

$$M_5 \equiv [(X_6 = ON) \rightarrow ((X_{14} = C) \wedge (X_{16} = OFF))]$$

6. Если «Клап. НСАС - 500» = <закр> и «Насос Н - 101» = <выкл>, то «Клап. НСАС - 504» = <закр>.

$$M_6 \equiv [(X_{14} = C) \wedge (X_{16} = OFF)] \rightarrow (X_{15} = C)]$$

7. Если «Блокировка» = <выкл>, то «Дистанционно клап. НСАС - 500» = <закр> и «Дистанционно насос Н - 101» = <выкл>.

$$M_7 \equiv [(X_6 = \text{OFF}) \rightarrow ((X_{17} = \text{C}) \wedge (X_{19} = \text{OFF}))]$$

8. Если «Дистанционно клап. НСАС - 500» = <закр> и «Дистанционно насос Н - 101» = <выкл>, то «Дистанционно клап. НСАС - 504» = <закр>.

$$M_8 \equiv [((X_{17} = \text{C}) \wedge (X_{19} = \text{OFF})) \rightarrow (X_{18} = \text{C})]$$

9. Если «Клап. НСАС - 504» = <закр>, то «Дистанционно клап. НСАС - 501» = <закр> и «Дистанционно насос Н - 104» = <выкл>.

$$M_9 \equiv [(X_{15} = \text{C}) \rightarrow ((X_{20} = \text{C}) \wedge (X_{21} = \text{OFF}))]$$

10. Если «Дистанционно клап. НСАС - 504» = <закр>, то «Дистанционно клап. НСАС - 501» = <закр> и «Дистанционно насос Н - 104» = <выкл>.

$$M_{10} \equiv [(X_{18} = \text{C}) \rightarrow ((X_{20} = \text{C}) \wedge (X_{21} = \text{OFF}))]$$

11. Если «Дистанционно клап. НСАС - 501» = <закр> и «Дистанционно насос Н - 104» = <выкл>, то «Дистанционно клап. НСАС - 505» = <закр> и «Дистанционно клап. НСАС - 503» = <закр>.

$$M_{11} \equiv [((X_{20} = \text{C}) \wedge (X_{21} = \text{OFF})) \rightarrow ((X_{22} = \text{C}) \wedge (X_{23} = \text{C}))]$$

12. Если «Дистанционно клап. НСАС - 505» = <закр> и «Дистанционно клап. НСАС - 503» = <закр>, то «Вручную здвжк №116» = <закр> и «Вручную здвжк №102» = <закр>.

$$M_{12} \equiv [((X_{22} = \text{C}) \wedge (X_{23} = \text{C})) \rightarrow ((X_{24} = \text{C}) \wedge (X_{25} = \text{C}))]$$

13. Если «Вручную здвжк №116» = <закр> и «Вручную здвжк №102» = <закр>, то «Клап. TIRC - 2» = <регулировать> и «Клап. TIRC - 103» = <регулировать>.

$$M_{13} \equiv [((X_{24} = \text{C}) \wedge (X_{25} = \text{C})) \rightarrow ((X_{26} = \text{R}) \wedge (X_{27} = \text{R}))]$$

14. Если «Клап. TIRC - 2» = <регулировать> и «Клап. TIRC - 103» = <регулировать>, то «Вручную здвжк №109» = <закр>.

$$M_{14} \equiv [(X_{26} = R) \wedge (X_{27} = R) \rightarrow (X_{28} = C)]$$

15. Если «Вручную здвжк №109» = <закр>, то «Здвжк №145» = <закр>.

$$M_{15} \equiv [(X_{28} = C) \rightarrow (X_{29} = C)]$$

16. Если «Здвжк №145» = <закр>, то «Здвжк №190» = <закр>.

$$M_{16} \equiv [(X_{29} = C) \rightarrow (X_{30} = C)]$$

17. Если «Здвжк №190» = <закр>, то «Здвжк №144» = <закр>.

$$M_{17} \equiv [(X_{30} = C) \rightarrow (X_{31} = C)]$$

18. Если «Здвжк №144» = <закр>, то «Эл. здвжк №188» = <закр>.

$$M_{18} \equiv [(X_{31} = C) \rightarrow (X_{32} = C)]$$

19. Если «Эл. здвжк №188» = <закр>, то «Насос Н - 108» = <выкл> и «Здвжк №118» = <закр>.

$$M_{19} \equiv [(X_{32} = C) \rightarrow ((X_{33} = OFF) \wedge (X_{34} = C))]$$

20. Если «Насос Н - 108» = <выкл> и «Здвжк №118» = <закр>, то «Дистанционно насос Н - 112» = <выкл> и «Дистанционно здвжк №129» = <закр>.

$$M_{20} \equiv [(X_{33} = OFF) \wedge (X_{34} = C) \rightarrow ((X_{35} = OFF) \wedge (X_{36} = C))]$$

21. Если «Дистанционно насос Н - 112» = <выкл> и «Дистанционно здвжк №129» =

<закр>, то «Здвжк №137» = <закр> и «Здвжк №184» = <закр> и «Здвжк №181» = <закр> и «Здвжк №171» = <закр>.

$$M_{21} \equiv [(X_{35} = \text{OFF}) \wedge (X_{36} = C)] \rightarrow ((X_{37} = C) \wedge (X_{38} = C) \wedge (X_{39} = C) \wedge (X_{40} = C))]$$

22. Если «Здвжк №137» = <закр> и «Здвжк №184» = <закр> и «Здвжк №181» = <закр> и «Здвжк №171» = <закр>, то «Перевод блоков стабилизации на горяч. циркул.» = <да>.

$$M_{22} \equiv [(X_{37} = C) \wedge (X_{38} = C) \wedge (X_{39} = C) \wedge (X_{40} = C)] \rightarrow (X_{41} = Y)]$$

23. Если «Отсутствие сырья» = <да>, то «Нормальная остановка установки» = <да>.

$$M_{23} \equiv [(X_{42} = Y) \rightarrow (X_{43} = Y)]$$

24. Если «Прибытие начальства» = <нет>, то «Оператор руководить локализацией авар. ситуац.» = <да>.

$$M_{24} \equiv [(X_{44} = N) \rightarrow (X_{45} = Y)]$$