СИСТЕМА ИДЕНТИФИКАЦИИ ПРЕДАВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА АММИАЧНОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ

В.Ф. Шуршев, А.В. Абзалов

Для раннего распознавания предаварийных ситуаций и предотвращения аварий на аммиачных холодильных установках предложено использовать систему идентификации предаварийных ситуаций, которая является отдельным программным модулем в составе автоматизированной системы управления холодильной установкой. Разработана модель такой системы, основой которой является продукционная база знаний. Разработана методика идентификации предаварийных ситуаций.

Аммиачные холодильные установки (АХУ) относятся к опасным производственным объектам, так как содержат в своем составе механизмы движения, электроопасные механизмы, сосуды, работающие под давлением, а также токсичный и пожаро- и взрывоопасный хладагент.

Для того, чтобы своевременно распознать возможный переход процесса получения холода в аварийный режим, предлагается использовать систему идентификации предаварийных ситуаций (ПАС), основанную на современных информационных технологиях и методах искусственного интеллекта.

Система идентификации ПАС является отдельным программным модулем в составе автоматизированной системы управления холодильной установкой. Она работает в режиме реального времени, т.е. в сопряжении с датчиками, с помощью которых информация о параметрах работы АХУ поступает на вход в систему. Таким образом, можно оценивать состояние холодильной установки и проводить диагностику неисправностей во время ее работы, т.е. в динамике, что является чрезвычайно актуальной задачей¹.

Модель системы идентификации ПАС *MSI* может быть представлена в символьном виде следующим образом:

$$MSI : \{X, Y, FP\}, \quad (1)$$

где X – входные координаты модели; Y – выходные координаты модели; FP – функция перевода, обеспечивающая преобразование X в Y .

В свою очередь, функцию перевода можно представить в символьном виде следующим образом:

$$FP : \{BP, BN\}, \quad (2)$$

где BP – база продукционных правил; BN – база нормативных данных.

Входные координаты модели разделим на две группы. К первой группе относятся все количественные параметры состояния АХУ, изменение значений которых может привести к предаварийной и аварийной ситуации. Эти данные поступают в систему от первичных преобразователей. Ко второй группе относятся качественные данные о состоянии оборудования. Эти данные машинист холодильной установки получает, проводя внешний осмотр оборудования, и вводит в систему в диалоговом режиме.

Основные количественные параметры представлены в таблице.

Основными качественными данными являются: уровень шума и вибрации машин и механизмов, их отдельных узлов и деталей, обмерзание цилиндров компрессора или жидкостного трубопровода, наличие аммиака в воде, выходящей из конденсатора или переохладителя, скопление масла в циркуляционном ресивере или промежуточном сосуде и др.

Выходные координаты модели – это, во-первых, информация, предоставляемая машинисту, который в данном случае является лицом, принимающим решения (ЛПР). Эта информация включает оценку текущей ситуации, признак или симптом неисправности, причину неисправности и способ ее устранения. Во-вторых – это прямые воздействия со стороны системы идентификации на объект управления в виде выдачи команд исполнительным механизмам и коммутационным устройствам. Прямые воздействия заключаются в следующем.

Таблица

Контролируемые параметры состояния АХУ

№	Наименование параметра	Обозначение	Ед. изм.
1	Температура всасывания компрессора	$t_{вс}$	°С
2	Температура нагнетания компрессора	$t_{н}$	°С
3	Давление всасывания компрессора	$p_{вс}$	МПа
4	Давление нагнетания компрессора	$p_{н}$	МПа
5	Давление масла в системе смазки компрессора	$p_{м}$	МПа
6	Расход воды, охлаждающей цилиндры компрессора	G_w	м ³ /ч
7	Уровень аммиака в циркуляционном ресивере	$H_{цр}$	мм
8	Уровень аммиака в промежуточном сосуде	$H_{пс}$	мм
9	Температура масла в компрессоре	$t_{м}$	°С
10	Температура воды на выходе из охлаждающей рубашки компрессора	t_w	°С
11	Давление аммиачного насоса	$p_{ан}$	МПа
12	Давление водяного насоса	$p_{вн}$	МПа
13	Сила тока в электродвигателе компрессора	$I_{эд}$	А
14	Температура цилиндров компрессора	$t_{цл}$	°С
15	Температура подшипников компрессора	$t_{пд}$	°С
16	Температура картера компрессора	$t_{кр}$	°С
17	Уровень аммиака в линейном ресивере	$H_{лр}$	мм
18	Уровень аммиака в дренажном ресивере	$H_{др}$	мм
19	Температура кипения в циркуляционном ресивере	t_0	°С
20	Температура конденсации в конденсаторе	t_k	°С
21	Температура переохлаждения перед регулирующим вентилем	$t_{по}$	°С
22	Температура воды, поступающей на конденсатор	t_{w1}	°С
23	Температура воды, выходящей из конденсатора	t_{w2}	°С
24	Температура воздуха в камерах	$t_{кам}$	°С

1. Система идентификации автоматически останавливает компрессор или всю установку при возникновении аварийной ситуации (АС). В этом случае она дублирует систему автоматической защиты (САЗ).

2. Система идентификации предотвращает основную ПАС – влажный ход компрессора – посредством автоматического закрытия всасывающего вентиля компрессора и регулирующего вентиля подачи аммиака в соответствующий циркуляционный ресивер или промежуточный сосуд.

Такие действия позволят значительно сократить количество аварий, так как, по статистике, основной причиной аварий на АХУ являются неправильные действия обслуживающего персонала, влекущие за собой гидравлические удары в компрессорах², которые являются следствием влажного хода компрессора.

База производственных правил хранит в формализованном виде знания экспертов о предаварийных и аварийных ситуациях, а также о причинах неисправностей и способах их устранения.

База нормативных данных хранит нормы, т.е. диапазоны допустимых значений для параметров, измеряемых с помощью датчиков.

Основой модели, таким образом, является производственная база знаний. Знания экспертов при оценке ситуации в этой базе знаний представлены в виде правил следующего вида:

«Если ($x_1 = x_{11}$ и $x_2 = x_{21}$ и ... и $x_N = x_{N1}$),
то $S = S_1$ и ($P = P_{11}$ и $P = P_{21}$ и ... и $P = P_{K1}$),
Иначе, если ($x_1 = x_{12}$ и $x_2 = x_{22}$ и ... и $x_N = x_{N2}$),
то $S = S_2$ и ($P = P_{12}$ и $P = P_{22}$ и ... и $P = P_{K2}$),

...

Иначе, если ($x_1 = x_{1m}$ и $x_2 = x_{2m}$ и ... и $x_N = x_{Nm}$),
то $S = S_m$ и ($P = P_{1m}$ и $P = P_{2m}$ и ... и $P = P_{Km}$)»,

где x – входные параметры (включая их динамические характеристики); N – количество входных параметров; t – количество правил; S – оценка ситуации; P – признак неисправности; K – количество признаков неисправности.

Например: «Если (перегрев на всасывании в компрессор = положительное отклонение от нормы и изменение перегрева на всасывании в компрессор = положительное и температура нагнетания компрессора = положительное отклонение от нормы и изменение температуры нагнетания компрессора = положительное), то Ситуация = ПАС и (Признак неисправности = высокая температура всасывания и Признак неисправности = высокая температура нагнетания)».

Для выработки корректных управляющих воздействий необходимо знать причины, которые обусловили предаварийное состояние АХУ.

Знания экспертов при выявлении причины отклонения ситуации от нормы и определения действий, которые необходимо предпринять в целях нормализации ситуации, в продукционной базе знаний представлены в виде правил следующего вида:

«Если ($x_1 = x_{11}$ и $x_2 = x_{21}$ и ... и $x_N = x_{N1}$)
и ($P = P_{11}$ и $P = P_{21}$ и ... и $P = P_{K1}$),
то ($PR = PR_{11}$ и $SP = SP_{11}$) или ($PR = PR_{21}$ и $SP = SP_{21}$)
или ... или ($PR = PR_{L1}$ и $SP = SP_{L1}$),
Иначе, если ($x_1 = x_{12}$ и $x_2 = x_{22}$ и ... и $x_N = x_{N2}$)
и ($P = P_{12}$ и $P = P_{22}$ и ... и $P = P_{K2}$),
то ($PR = PR_{12}$ и $SP = SP_{12}$) или ($PR = PR_{22}$ и $SP = SP_{22}$)
или ... или ($PR = PR_{L2}$ и $SP = SP_{L2}$),

...

Иначе, если ($x_1 = x_{1m}$ и $x_2 = x_{2m}$ и ... и $x_N = x_{Nm}$)
и ($P = P_{1m}$ и $P = P_{2m}$ и ... и $P = P_{Km}$),
то ($PR = PR_{1m}$ и $SP = SP_{1m}$) или ($PR = PR_{2m}$ и $SP = SP_{2m}$)
или ... или ($PR = PR_{Lm}$ и $SP = SP_{Lm}$)»,

где x – входные параметры (включая их динамические характеристики); N – количество входных параметров; t – количество правил; P – признак неисправности; K – количество признаков неисправности; PR – причина неисправности; L – количество причин неисправности; SP – способ устранения неисправности.

Например: «Если (подача воды на конденсатор = норма, и высокая температура конденсации) то (Причина = наличие воздуха в системе и Действие = удалить воздух из системы) или (Причина = загрязнение конденсатора и Действие = прочистить трубки конденсатора)».

Способ однозначно определяется причиной. В общем случае для одной и той же ситуации, характеризующейся каким-либо признаком отклонения, может быть несколько причин этого отклонения и, соответственно, несколько способов устранения этих причин.

Методика идентификации ПАС заключается в следующем.

1. Множество значений параметров состояния, измеренных с помощью датчиков, поступает на вход в систему идентификации:

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_N\}, \quad (3)$$

где i – отличительный номер параметра.

Множество X поступает на вход в систему идентификации дискретно через определенные промежутки времени T . Период времени T является настраиваемым параметром.

2. Рассчитываются динамические характеристики параметров состояния:

$$V_{xi} = x_i^k - x_i^{k-1}, \quad (4)$$

где k – порядковый номер такта опроса датчиков.

Динамические характеристики преобразуются в символьный вид следующим образом:

- если $V_{xi} > 0$, то $V_{xi} = \text{ПД}$ (положительная динамика);
- если $V_{xi} = 0$, то $V_{xi} = \text{Н}$ (нет);
- если $V_{xi} < 0$, то $V_{xi} = \text{ОД}$ (отрицательная динамика).

Таким образом, текущее значение параметра состояния сравнивается со значением, полученным на предыдущем такте опроса датчиков.

3. Значения параметров состояния сравниваются с нормами:

$$D_{xi} = (x_i, NR_i), \quad (5)$$

где NR_i – диапазон допустимых значений для i -го параметра, определяемый на основе правил безопасной эксплуатации АХУ, технологического регламента, инструкций завода-изготовителя, а также экспертных знаний. Диапазон NR_i определяется граничными значениями NR_i^{min} и NR_i^{max} .

После сравнения с нормами значения параметров преобразуются в символьный вид следующим образом:

- если $x_i \geq NR_i^{max}$, то $D_{xi} = \text{ПО}$ (положительное отклонение);
- если $NR_i^{min} < x_i < NR_i^{max}$, то $D_{xi} = \text{Н}$ (норма);
- если $x_i \leq NR_i^{min}$, то $D_{xi} = \text{ОО}$ (отрицательное отклонение).

4. Производится обработка правил, оценивающих ситуацию на объекте, и выдача решения.

Оценка ситуации может быть одной из следующих: норма; отклонение от нормы; ПАС; АС.

Если при возникновении ПАС машинист не принял необходимых мер и ситуация перешла в аварийную, то система отключает компрессор или всю установку, т.е. в этом случае она дублирует функции САЗ.

5. Производится обработка правил, выявляющих причины неисправности и способы их устранения, и выдача решения.

Диагностика неисправностей производится с учетом текущей ситуации. В общем случае для одного признака неисправности может быть несколько возможных причин в конкретной ситуации. В этом случае выбор окончательного решения остается за ЛПР.

6. ЛПР в диалоговом режиме может вводить качественную информацию (например, характер звука в узлах и деталях компрессора), которая сразу обрабатывается с помощью правил, выявляющих вероятную причину неисправности и способ ее устранения.

Таким образом, применение системы идентификации ПАС на крупных АХУ будет способствовать распознаванию предаварийных и аварийных ситуаций на ранней стадии, что приведет, во-первых, к сокращению количества аварий, и, во-вторых, к сокращению остановок процесса посредством срабатывания САЗ. Следовательно, применение такой системы будет способствовать повышению безопасности и эффективности работы холодильной установки.

¹ **Быков А.В., Береснев А.Е.** Некоторые аспекты развития холодильной автоматики // Холодильная техника. 2000. № 9. С. 9.

² **Бахвалов О.А.** Основные причины аварий при эксплуатации аммиачных холодильных систем // Холодильная техника. 2001. № 7. С. 11–12.