

А. В. Абзалов

Астраханский государственный технический университет

РАСПОЗНАВАНИЕ ПРЕДАВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА АММИАЧНОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Введение

На крупных холодильных установках в качестве хладагента широко используется аммиак, который является одним из наиболее эффективных хладагентов. Однако применение аммиака требует повышенных мер безопасности, т. к. он относится к сильнодействующим ядовитым веществам, а также является пожаро- и взрывоопасным.

Очевидно, что одной из актуальных проблем в настоящее время является поиск наиболее рациональных методов обеспечения требуемого уровня безопасности действующих и проектируемых холодильных установок. Высокие энергетические показатели аммиачных холодильных установок (АХУ) обеспечивают конкурентные технико-экономические показатели даже с учетом дополнительных затрат на поддержание уровня безопасной эксплуатации.

Приборы автоматической защиты при возникновении опасных режимов на аммиачной холодильной установке останавливают компрессоры и включают аварийную сигнализацию. Однако при работе холодильной установки может возникнуть ряд отклонений, появление которых не приводит к отключению компрессоров системой защитной автоматики. Несвоевременное принятие мер по устранению этих нарушений приводит к серьезным авариям. К таким нарушениям относятся влажный ход компрессора, пониженная температура смазочного масла, повышенная температура воды, охлаждающей цилиндры компрессора, высокая температура всасывания, повышенный нагрев отдельных узлов компрессора, появление посторонних шумов и стуков, утечка масла через сальник компрессора или маслонасоса, повышенная вибрация компрессора и др.

Вследствие этого представляется целесообразным использование специализированной системы, имитирующей функции машиниста холодильной установки при распознавании тех или иных ситуаций на объекте управления и позволяющей заблаговременно идентифицировать возможный переход процесса в аварийный режим.

Анализ деятельности машиниста при оценке ситуации на АХУ

При наблюдении машинист контролирует ход технологического процесса по представительному набору оценок. В число оценок входят как показания приборов, так и данные о состоянии оборудования. Окончательное решение машиниста на этом этапе состоит в том, чтобы признать ход процесса нормальным либо обнаружить отклонения в процессе.

Рассмотрим более подробно решения, принимаемые машинистом при наблюдении. Прежде всего машинист формирует представительный набор оценок M , который включает в себя важнейшие, обязательно контролируемые величины M_c , и оценки, привлекаемые в связи со сложившейся ситуацией M_v .

Далее из M выделяется часть оценок M_1 , для которой существуют жесткие, заранее известные нормы-уставки, например давление масла в компрессоре или расход воды, охлаждающей цилиндры компрессора. Поочередно подбирая к каждой оценке m_i ее норму n_i и сравнивая m_i и n_i , машинист выявляет отклонения от нормы d_i .

После исчерпания всех оценок из M_1 машинист формирует нормы-уставки n_j для тех оценок m_j , для которых они неизвестны заранее, а определяются ситуативно, в зависимости от режима, например температура всасывания компрессора или температура нагнетания компрессора. Затем, также подбирая к каждой оценке m_j ее норму n_j и сравнивая m_j и n_j , машинист выявляет отклонения от нормы d_j .

Отметим, что некоторые из выявленных отклонений машинист может считать терпимыми и признавать ход процесса нормальным. Однако отклонения d_i и d_j , которые машинист порознь оценил как незначительные, совместно могут вызвать переоценку ситуации. Кроме того, машинист, признавая ситуацию в целом нормальной, может испытывать тревогу по поводу некоторых ее элементов и поэтому немедленно повторить цикл наблюдения или сократить интервал между циклами.

Оценки состояния технологического процесса, которые производит машинист, можно разделить на приборные и неприборные. К приборным оценкам относятся данные, получаемые от мнемосхемы, сигнальных табло, контрольно-измерительных приборов и других индикаторов щита управления. К неприборным оценкам относится внешний осмотр оборудования и выявление нарушений. Важную группу неприборных оценок составляет уровень шума и вибрации, а также нагрев отдельных узлов и деталей компрессоров.

Таким образом, деятельность машиниста при наблюдении представляет собой в известной мере размытый алгоритм формирования норм и в целом, учитывая неприборные оценки, процедура наблюдения имеет размытый характер. В связи с этим для формализации качественной информации при создании системы, моделирующей деятельность машиниста при оценке ситуации на АХУ, предлагается использовать теорию нечетких множеств (НМ). Для хранения знаний об объекте управления как источнике предаварийных ситуаций предлагается использовать технологию экспертных систем (ЭС).

Метод распознавания предаварийных ситуаций

Основой модели для такой системы является продукционная база знаний. Знания экспертов при оценке ситуации в этой базе знаний представлены в виде правил следующего вида:

«Если Параметр1 принимает Значение1₁ и Параметр2 принимает Значение2₁ и ... и Параметр N принимает Значение N₁, то Ситуация = Ситуация1 и Признак отклонения = Признак1,

Иначе, если Параметр1 принимает Значение1₂ и Параметр2 принимает Значение2₂ и ... и Параметр N принимает Значение N₂, то Ситуация = Ситуация2 и Признак отклонения = Признак2,

...

Иначе, если Параметр1 принимает Значение1_m и Параметр2 принимает Значение2_m и ... и Параметр N принимает Значение N_m, то Ситуация = Ситуация m и Признак отклонения = Признак m»

ИЛИ

«Если X1 = X1₁ и X2 = X2₁ и ... и XN = XN₁, то S = S₁ и P = P₁,

Иначе, если X1 = X1₂ и X2 = X2₂ и ... и XN = XN₂, то S = S₂ и P = P₂...

Иначе, если X1 = X1_m и X2 = X2_m и ... и XN = XN_m, то S = S_m и P = P_m».

Каждый параметр состояния (ПС) X_k будем считать лингвистической переменной (ЛП), принимающей вербальные значения. Тогда каждый ПС можно представить в следующем виде:

$$X_{I_k} = \{ xi_1 / \mu_1^{X_{I_k}}, \dots, xi_j / \mu_j^{X_{I_k}}, \dots, xi_l / \mu_l^{X_{I_k}} \},$$

где l – количество элементов множества; μ – функция принадлежности (ФП).

Для входных параметров, измеренных с помощью первичных преобразователей, предлагается использовать следующие значения ЛП:

- БПО (большое положительное отклонение);
- ПО (положительное отклонение);
- Н (норма);
- ОО (отрицательное отклонение);
- БОО (большое отрицательное отклонение).

Кроме того, необходимо учитывать скорость изменения входных параметров.

Выходные координаты должны принимать конкретные значения в каждом продукционном правиле. Таким образом, S – четкое, конкретное значение ситуации, например, предаварийная ситуация, а P – четкое, конкретное значение признака отклонения, например, высокая температура нагнетания.

Для выработки корректных управляющих воздействий необходимо знать причины, которые обусловили предаварийное состояние технологического объекта управления. Знания экспертов при выявлении причины отклонения ситуации от нормы и определения действий, которые необходимо предпринять в целях нормализации ситуации, также представляются в виде продукционных правил, где для каждого признака отклонения указывается причина и действие.

Действие 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 методов устранения этих причин.

Особенностью холодильной установки, как было отмечено выше, является то, что некоторые контролируемые параметры, которые влияют на оценку ситуации, не имеют жестко установленных норм, а зависят от режима. Например, температура всасывания и температура нагнетания зависят от температуры кипения и конденсации хладагента, которые, в свою очередь, зависят от тепловой нагрузки на объект охлаждения и температуры охлаждающей воды, поступающей на конденсатор. Таким образом, описать эти параметры в виде постоянных НМ не представляется возможным. Предлагается в этом случае описывать в виде НМ не сами эти параметры, а их отклонения.

Например, для распознавания влажного хода компрессора необходимо контролировать перегрев на всасывании:

$$\Delta t_{\text{в}} = t_{\text{в}} - t_0,$$

где $\Delta t_{\text{в}}$, $t_{\text{в}}$, t_0 – соответственно перегрев на всасывании, температура всасывания, температура кипения, °С.

Именно перегрев на всасывании и будет рассматриваться как контролируемый параметр, представленный в виде НМ.

Температуру нагнетания аммиачного поршневого компрессора можно практически точно определить по следующей формуле [1]:

$$t_{\text{н}} = 2,4(t_{\text{к}} + |t_0|),$$

где $t_{\text{н}}$, $t_{\text{к}}$, t_0 – соответственно температура нагнетания, температура конденсации, температура кипения, °С.

В качестве контролируемого параметра, представленного в виде НМ, предлагается рассматривать отклонение измеренного значения температуры нагнетания от рассчитанного.

Кроме того, некоторые контролируемые параметры являются регулируемыми параметрами, например давление всасывания компрессора или температура кипения хладагента в циркуляционном ресивере. В этом случае предлагается в качестве ЛП рассматривать отклонения этих параметров от значения, которое должно поддерживаться на постоянном уровне. Очевидно, что в этом случае причиной отклонения будет неисправность системы автоматического регулирования.

Для выходной координаты «ситуация» предлагается использовать следующие значения:

- норма;
- отклонение;
- ПАС (предаварийная ситуация);
- АС (аварийная ситуация).

Каждой ситуации, которая не является нормальной, соответствует признак отклонения, например, низкий перегрев на всасывании, высокая температура нагнетания и т. д.

Отличие понятия «отклонение» от понятия «ПАС» заключается в следующем. Отклонение – это такое состояние объекта управления, при котором режим работы не является оптимальным, но отклонения носят допустимый характер и не требуют немедленного вмешательства. Под оптимальным режимом понимается наиболее экономичный режим при соблюдении условий безопасности. ПАС – это состояние объекта управления, требующее немедленного вмешательства.

После того как текущие значения ПС, измеренные с помощью первичных преобразователей, поступают на вход в систему, прежде всего определяется скорость изменения этих параметров. Расчет скорости предлагается осуществлять методом численного дифференцирования [2]:

$$X = (X_{k+1} - X_k) / T,$$

где T – период, в пределах которого рассчитывается скорость изменения параметра.

Далее ПС преобразуются в НМ, затем каждому ПС присваивается значение ЛП. Для принятия решения об отнесении рассчитанного НМ к соответствующему значению ЛП необходимо определить, к какому эталонному (описанному априори) значению ЛП может быть отнесено полученное НМ. Для этой цели используем понятие индекса схожести (ИС) для оценки близости НМ. Предлагаем использовать ИС, найденный как расстояние Хемминга [3]:

$$v = \sum_{i=1}^n |\mu_{ki} - \mu_{\sigma i}|,$$

где n – число элементов НМ; μ_{ki} – значение ФП i -го элемента текущему значению ЛП; $\mu_{\sigma i}$ – значение ФП i -го элемента эталонному значению ЛП.

Таким образом определяется значение данной ЛП, наиболее близкое к рассчитанному НМ. После того как все ПС получили значения ЛП, производится просмотр правил, и если условие, содержащееся в правиле, будет истинным, то такое правило срабатывает и система выдает решение об оценке ситуации, о причинах неполадки в работе холодильной установки и методах их устранения. Действие механизма вывода основано на применении правила *modus ponens*: если известно, что истинно утверждение A и существует правило вида «ЕСЛИ A , ТО B », тогда утверждение B также истинно [4].

Кроме количественной информации, машинист холодильной установки может в диалоговом режиме вводить качественную информацию о состоянии объекта управления, которая также обрабатывается с помощью правил.

Заключение

Анализ оперативной деятельности машиниста АХУ показывает, что при оценке ситуации на объекте управления используются не только жесткие нормы-уставки, но и качественная информация. Кроме того, некоторые параметры состояния, изменение которых может привести к АС, зависят от режима работы холодильной установки и не имеют четко установленных норм. Поэтому для формализации такой информации при распознавании ПАС может быть использована теория НМ.

Предлагаемый метод, основанный на технологии ЭС, позволяет использовать знания экспертов при оценке ситуации, выявлении причин отклонения и определении управляющих воздействий. Использование системы для распознавания ПАС на крупной аммиачной холодильной установке будет способствовать повышению вероятности возврата процесса в нормальный режим, сокращению количества аварий и, следовательно, повышению эффективности и безопасности работы холодильной установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Червяков С. С., Кулаковский А. И. Основы холодильного дела. – М.: Высш. шк., 1988. – 144 с.
2. Проталинский О. М. Применение методов искусственного интеллекта при автоматизации технологических процессов: Моногр. – Астрахань: Изд-во АГТУ, 2004. – 184 с.
3. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. – М.: Радио и связь, 1982. – 414 с.
4. Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб.: Питер, 2001. – 384 с.

Статья поступила в редакцию 30.11.2006

RECOGNITION OF EMERGENCY SITUATIONS ON THE AMMONIA REFRIGERATING MACHINE WITH USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

A. V. Abzalov

For recognition of emergency situations it is offered to use system simulating functions of machinist of a refrigerating machine. The offered method based on technologies of expert systems, allows to use knowledge of the experts in estimating the situation, revealing the reasons of the deviation and defining the actions normalizing a situation in the object. For formalization of the qualitative information it is offered to use the fuzzy-set theory. The application of such system to a large ammonia refrigerating machine will promote increasing of efficiency and safety of its work.