

2. Kirichenko I. A., Starchenko I. B. Metod dekompozitsii v postroenii adaptivnykh gidroakusticheskikh sistem. [Decomposition method in the construction of adaptive hydroacoustical systems]. *Inzhernyy vestnik Dona* [Engineering Bulletin of Don]. Rostov-on-Don, 2012, no. 4. Available at: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2012/1139/>, accessed 14 October 2012.

3. Novikov B. K., Timoshenko V. I. *Parametricheskie anteny v gidrolokatsii* [Parametric arrays in hydrolocation]. Leningrad, Shipbuilding, 1983. 256 p.

4. Olshevskiy V. V. *Statisticheskie metody v gidrolokatsii* [Statistical methods in hydrolocation]. Leningrad, Shipbuilding, 1973. 184 p.

5. Chuykin B. V., Dolgova I. A., Eremenko A. V. Analiz ustoychivosti periodicheskikh kolebaniy v nelineynykh nepreryvno-diskretnykh sistemakh [Analysis of stability of periodical vibrations in non-linear continuous-discrete systems]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2013, no. 1.

6. Yakunin P. S., Yagudaev G.G., Satyshev S. N., Kotov A. A., Zhigarev R. G. Analiz kharakteristik gaussovskikh uslovno nestatsionarnykh protsessov v zadachakh imitatsionnogo modelirovaniya sistem [Analysis of Gaussian conditionally non-stationary processes characteristics in the problems of imitation system modeling]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2011, no. 3, pp. 85–93.

7. Sibul L. H., Dixon T. L. Environmentally adaptive signal processing. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1997, vol. 101, issue 5, pp. 3157–3157

8. Starchenko I. B. Decomposition method in constructing simulation models of parametric location for statistically irregular mediums. *JASA*, vol. 117, no. 4, pt. 2 of 2, April 2005, p. 2576.

УДК 681.51.012:004.8

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ АММИАЧНОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ**

*Путилин Сергей Сергеевич*, аспирант, Астраханский государственный технический университет, 414057, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, e-mail: hakish@ya.ru

В работе рассмотрена задача обеспечения аммиачной холодильной установки (АХУ) дополнительным слоем защиты, который повысит безопасность ее функционирования и обеспечит оптимальные эксплуатационные параметры. Главной функцией нового слоя является контроль и безопасное управление холодильным процессом. При ограниченности ресурсов именно внедряемая интегрированная система идентификации эксплуатационных параметров (СИЭП) оптимизирует распределение усилий по обеспечению безопасности и эффективности работы АХУ. В работе проанализированы возможные состояния для автоматизированной системы управления АХУ, приведена модель процесса функционирования системы, управления противоаварийной защитой. Благодаря полученной математической модели по статистическим данным можно рассчитывать значение коэффициентов снижения риска, а также определять показатели безопасности. Показано, что использование СИЭП повышает общую безопасность эксплуатации АХУ и позволяет обеспечить выполнение условий оптимальности параметров.

**Ключевые слова:** модель, анализ, холодильная установка, идентификация, искусственный интеллект, база правил, безопасность, оптимальность, интегрированная система, система управления

**MATHEMATICAL MODEL AND THE SYSTEM ANALYSIS**  
**APPLICATION FOR AN AMMONIAC REFRIGERATING**  
**UNIT OPTIMAL CONTROL**

*Putilin Sergey S.*, post-graduate student, Astrakhan State Technical University, 414057, Russian Federation, Astrakhan, 16 Tatishchev St., e-mail: hakish@ya.ru

This study solves the problem of provision an additional layer of protection to an ammoniac refrigerating unit that will improve the safety of its functioning and will provide optimal operating parameters. The main function of the new layer is to control and secure control of the refrigeration process. The introduced system of identification of operational parameters is the only system that ensures optimal efforts distribution to ensure the safety and efficiency of ammoniac refrigeration unit in the terms of limited resources. This research analyzes the possible states of ammoniac refrigerating unit automated control system, the model of the control system functioning and also the quality of emergency protection system. By the received mathematical model, according to statistical data, engineers can calculate the value of the risk reduction coefficient, as well as determine its safety performance. It is shown that the implemented integrable system improves the overall safety of ammoniac refrigerating unit operation and can provide optimal parameters of its functionality.

**Keywords:** model, analysis, refrigerating machine, identification, artificial intelligence, rule base, security, optimality, integrated system, control system

Одним из направлений повышения эффективности работы и безопасности промышленных объектов является обеспечение необходимого уровня контроля эксплуатационных параметров, их автоматической защиты и регулирования.

По данным Ростехнадзора, на промышленных объектах России ежегодно происходят десятки аварий. В частности, в 2012 г. только на предприятиях, использующих в технологическом процессе искусственный холод, произошло одиннадцать несчастных случаев со смертельным исходом, семь из которых по причине аварий установок [1].

Решение вопросов обеспечения необходимого уровня безопасности возможно на основе системного анализа технологического процесса, идентификации эксплуатационных и аварийных ситуаций с использованием новых компьютерных технологий, а также методов искусственного интеллекта.

В настоящей работе поставлена и решена задача повышения безопасности функционирования и обеспечения оптимального управления на предприятиях, использующих искусственный холод. Для усовершенствования систем автоматизированного управления предлагается внедрение дополнительного слоя защиты. Это повысит безопасность и обеспечит оптимальные эксплуатационные параметры (ЭП).

**Общепринятые показатели.** В качестве конкретного промышленного объекта для выполнения поставленной задачи была выбрана промышленная тепловая машина – аммиачная холодильная установка (АХУ). Такие установки предназначены для искусственного снижения и поддержания пониженной температуры в заданном охлаждаемом технологическом объекте. Задача усовершенствования систем управления такими установками стала особо актуальной в последнее время из-за несвоевременного внедрения новых технологических систем управления при значительном увеличении потребностей в наращивании объемов производства искусственного холода.

Поскольку АХУ является опасным промышленным объектом, то при ее эксплуатации могут возникать нештатные ситуации, способные создать нежелательные последствия, в том числе нанести вред окружающей среде, производственному персоналу; привести к экономическим потерям.

Рассмотрим сначала правовые и методические основы мероприятий по обеспечению безопасности функционирования АХУ. К нормативной базе, существующей в настоящее

время, относятся Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ [2], а также в ПБ 09-595-03 [3]. Кроме того, в 2008 г. был принят стандарт ГОСТ Р МЭК 61508 [4] и его специализированная часть для промышленных процессов – МЭК 61511 [5] – это стандарт, в котором излагается единый международный подход к обеспечению безопасности функционирования технологических процессов.

В этих стандартах безопасность холодильного процесса рассматривается на протяжении всего «жизненного цикла» АХУ: от стадии проектирования оборудования и его системы автоматизации до прекращения эксплуатации и списания. В указанных выше стандартах: приведены интегральные показатели безопасности процессов; выявлены взаимосвязи показателей надежности технических средств защиты и показателей безопасности автоматизированных систем; приводятся показатели слоев защиты по обеспечению безопасности и взаимосвязи этих слоев.

Поэтому на этапе проектирования и расчёта показателей безопасности АХУ представляется необходимым использование унифицированных показателей безопасности, которые приведены в международных стандартах.

**Обеспечение безопасности и эффективности.** В настоящее время функционирование типичных АХУ в безаварийном режиме обеспечивает система безопасности (СБ), которая предусматривает не только организационные мероприятия, но и различные технические средства защиты. Важной составляющей СБ являются технические средства, входящие в состав автоматизированной системы управления (АСУ) АХУ. Данные средства защищают холодильный процесс от возможных опасных последствий, которые могут произойти при нештатных ситуациях на холодильном оборудовании, в том числе потери качества продукции, разрушении оборудования, получении персоналом травм и пр.

Под «системой безопасности» будем понимать технические средства, непосредственно связанные с АСУ АХУ, либо интегрированные в ее слои защиты. К основным характеристикам СБ и каждого его слоя защиты в соответствии с [3, 4] можно отнести коэффициент снижения риска (КСР). Он равен отношению интенсивностей возникновения опасных последствий при наличии слоя защиты и при его отсутствии.

Правильно спроектированная система обеспечивает достаточно безопасное функционирование холодильного процесса, так как в нее закладывается такой КСР, который может обеспечить приемлемую частоту возникновения опасных последствий (приемлемый риск). Такие риски определяют согласно требованиям ГОСТ Р МЭК 61511, МЭК 61508 и прогнозируемых технико-экономических показателей холодильного процесса. Также могут применяться иные отраслевые нормативные документы. В приведенных выше стандартах каждому значению КСР установлено конкретное значение уровня полноты безопасности (SIL или УПБ), являющееся основной характеристикой СБ. В зависимости от частоты появления опасных последствий могут быть выделены четыре уровня полноты безопасности: SIL1, ..., SIL4 [3, 4].

Преимуществами разрабатываемой СБ по отношению к существующим системам управления АХУ являются:

- более точное и раннее определение аварийных и предаварийных состояний;
- снижение процента ошибок при идентификации нештатных эксплуатационных состояний.

Предлагаемый слой защиты СБ кроме своей основной задачи по снижению вероятностей возникновения неблагоприятных ситуаций также способен уменьшить тяжесть последствий в случае их возникновения по сравнению с вариантом отсутствия такого слоя.

Автоматизированные СБ обычно осуществляют квазинепрерывный (с малой дискретностью по времени) контроль работоспособности АХУ.

В соответствии с ГОСТ Р МЭК 61508 СБ АХУ состоит из последовательных снижающих уровни рисков слоев защиты (рис. 1).

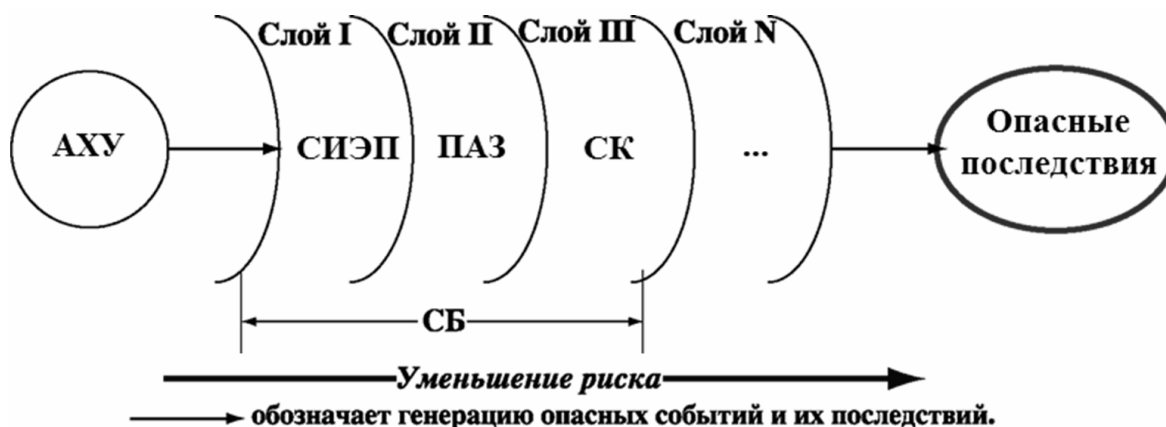


Рис. 1. Структура слоев защиты АХУ

В качестве первого слоя отображена внедряемая интегрированная защита, которая занимает место перед системой противоаварийных средств защиты (ПАЗ) и называется системой идентификации эксплуатационных параметров (СИЭП). Каждый последующий слой защиты вводится в работу в случае невыполнения функций защиты предыдущим слоем.

Главной функцией СИЭП является контроль и безопасное управление холодильным процессом. Поэтому СИЭП проектируется исходя из требований качества контроля и управления холодильным процессом с фиксированным показателем безопасности SIL1 по международной классификации.

Слой I характеризует уменьшение уровня риска за счёт разрабатываемой интегрированной СИЭП, которая является одной из частей СБ. Сутью данного слоя защиты является сигнализация, осуществляемая системой при выходе значений параметров из допустимых областей, и выдача соответствующих рекомендаций по действиям оператора.

Слой II реализует дальнейшее снижение риска путем использования автоматических ПАЗ, которые можно конфигурировать. Снижая риск до приемлемого уровня путем конфигурирования, можно повышать надежность системы.

Слой III включает в себя систему предохранительных и отсекающих клапанов (СК). Конфигурация СК имеет неизменяемые показатели безопасности и ее срабатывание проектируется только на определённые группы последствий.

Слой N иллюстрирует иные слои защиты, не входящие в состав типичной АСУ ТП АХУ.

Можно считать, что наиболее ответственным в плане обеспечения безопасности является первый слой защиты, так как его наличие значительно сокращает риски нештатных ситуаций. В условиях ограниченности ресурсов на создание/эксплуатацию СБ АХУ эффективность СИЭП обеспечивает оптимальное распределение усилий, направленных на обеспечение безопасности и производительности установки.

**Общая безопасность АХУ.** АХУ во время эксплуатации может находиться в одном из следующих трех состояний: рабочее, опасное и состояние вынужденного останова. Под последним понимается вынужденный простой из-за срабатывания ПАЗ. Если на АХУ произошёл инцидент, то такое состояние называется опасным. Оба этих состояния выявляются вторым слоем защиты, соответствующим ПАЗ. В случае если у АХУ произошел отказ без попадания ее в опасное состояние, то осуществляется ремонт оборудования.

ПАЗ может находиться в двух состояниях: работоспособном и неработоспособном. Частота «входных» запросов на срабатывание ПАЗ характеризует частоту перехода АХУ из нормального состояния в опасное (обозначим эту частоту через « $d$ »). При неработоспособном состоянии ПАЗ не может перевести АХУ в останов при попадании АХУ в опасное состояние.

Примем в качестве  $\lambda_d$  частоту перехода ПАЗ из работоспособного состояния в состояние отказа. ПАЗ обладает средствами самодиагностики, которые позволяют автоматически выявить часть отказов сразу после их появления и вывести ПАЗ в состояние ремонта, а АХУ – в состояние останова. Примем вероятность отказов такого типа за единицу времени, равной « $\alpha$ », а вероятность отказов, определяемых только путем периодических контрольных проверок, осуществляемых СИЭП, соответственно равной  $(1 - \alpha)$ . При этом величина  $\alpha$  ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ) является характеристикой качества системы самодиагностики ПАЗ.

Контрольные проверки для выявления  $(1 - \alpha)$  отказов осуществляются СИЭП последовательно через фиксированные промежутки времени  $\tau = x + z$ . При этом на период проверки ПАЗ выводится из работы на время  $z$ . Здесь  $x$  – длительность времени подготовки к проверке; а  $z$  – продолжительность собственно проверки, диагностирующей неработоспособное состояние ПАЗ, которое не было выявлено системой самодиагностики.

Системы ПАЗ по причине своего несовершенства могут генерировать ложные срабатывания, в том числе даже в состоянии отказа [2]. Обозначим через  $\lambda_{s1}$  и  $\lambda_{s2}$  – соответственно частоты ложных срабатываний при нахождении ПАЗ в работоспособном состоянии и состоянии отказа.

Включение СИЭП в СБ увеличивает процент выявления отказов ПАЗ и тем самым повышает общую безопасность АХУ.

Укажем ситуации, влияющие на функционирование ПАЗ совместно с системой автоматизации АХУ.

I. Если самодиагностикой ПАЗ выявляется отказ, то АХУ переводится в состояние останова и осуществляется ремонт ПАЗ.

II. Если попаданию АХУ в опасное состояние предшествует не выявленный самодиагностикой отказ ПАЗ, то АХУ находится в критическом состоянии и в этом случае должны включиться в работу следующие после ПАЗ слои защиты.

III. Если состояние отказа ПАЗ выявилось при проведении ручной проверки, то осуществляется выведение ПАЗ из работы и ее ремонт, а АХУ переводится в состояние принудительного останова.

Основой для метода идентификации нестандартных значений эксплуатационных параметров является интеллектуальная ситуационная модель (ИСМ) [7]. Она использует продукционную базу знаний, содержащую набор правил, отражающих знания экспертов об идентификации эксплуатационной ситуации (ЭС) в процессе эксплуатации АХУ.

При формировании правил используются лингвистические переменные (ЛП), характеризующие пять состояний, в которых может находиться автоматизированная система управления (рис. 2):

- $\Omega_1$  – работоспособное состояние АХУ и СБ;
- $\Omega_2$  – возникновение при эксплуатации АХУ нестандартной ЭС (работоспособное состояние АХУ; отказ ПАЗ, выявленный СИЭП);
- $\Omega_3$  – возникновение при эксплуатации АХУ нестандартной ЭС, связанной с ожидаемым отказом (работоспособное состояние АХУ, ложные срабатывания ПАЗ в рабочем состоянии, отказ ПАЗ, выявленный самодиагностикой);
- $\Omega_4$  – появление при эксплуатации АХУ нестандартной ЭС, связанной с появлением нарушения (АХУ в режиме попадания одного или нескольких технологических параметров в критическую область из-за не выявленного отказа ПАЗ);

- $\Omega_5$  – возникновение при эксплуатации АХУ безусловной нештатной ЭС (АХУ в предаварийном состоянии из-за не выявленного отказа ПАЗ).

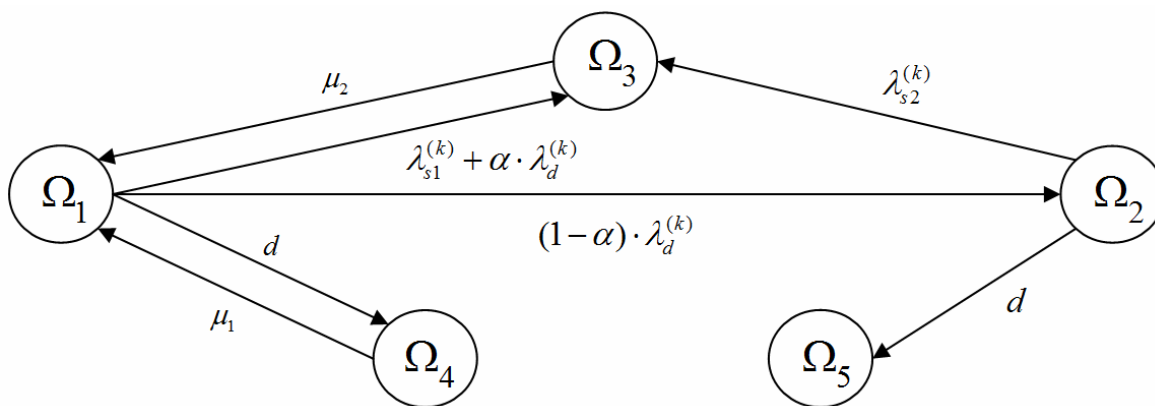


Рис. 2. Граф безопасности эксплуатационных параметров АХУ

**Математическая модель.** Моделью процесса функционирования системы автоматизации АХУ и ПАЗ является марковский процесс  $\eta(t)$ , который для любого  $t \in [0, T]$  определяется выражением:

$$\eta(t) = \xi_{k(t)}(t), \quad (2)$$

где  $k(t)$  – целое число из множества  $\{1, 2, \dots, n\}$ ;  $n = T/\tau$  определяется из условия:

$$k(t) = k, \text{ если } t \in [(k-1)\tau, k\tau]. \quad (3)$$

Тогда  $\xi_k(t) = \xi(\alpha^{(k)}, \Lambda^{(k)}, t)$  – это однородный марковский процесс, принадлежащий интервалу времени  $[tk - 1, tk] = [(k-1)\tau, k\tau]$ .  $T$  – время эксплуатации,  $\tau$  – период между контрольными проверками. Данный процесс задается вектором начального распределения  $\alpha^{(k)}$  и матрицей вероятностей переходов  $\Lambda^{(k)}$ , где  $\alpha^{(k)} = (\alpha_1^{(k)}, \dots, \alpha_5^{(k)})$ , а  $\Lambda^{(k)} = (\alpha_{ij}^{(k)})$ , а  $\lambda_{ij}^{(k)}$  – частота перехода из состояния  $i$  в состояние  $j$ , где  $i = 1, \dots, 5$ ;  $j = 1, \dots, 5$ .

Матрица вероятностей переходов  $\Lambda^{(k)}$  с принятой для уровня самодиагностики ПАЗ величины  $\alpha$ , имеет следующий вид:

$$\Lambda^{(k)} = \begin{pmatrix} -(d + \lambda_{s1}^{(k)} + \lambda_d^{(k)}) & (1-\alpha) \cdot \lambda_d^{(k)} & \lambda_{s1}^{(k)} + \alpha \cdot \lambda_d^{(k)} & d & 0 \\ 0 & -(d + \lambda_{s2}^{(k)}) & \lambda_{s2}^{(k)} & 0 & d \\ \mu_2 & 0 & -\mu_2 & 0 & 0 \\ \mu_1 & 0 & 0 & -\mu_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где  $\mu_1$  определяет период восстановления работы АХУ после опасного состояния, а  $\mu_2$  – период восстановления системы, когда ПАЗ находится в состоянии ремонта.

Элементы матрицы  $\Lambda^{(k)}$  зависят от  $k$ , данная зависимость отражает ухудшение надежности ПАЗ во времени.

Для любого « $1, \dots, n$ » начальное распределение  $\alpha^{(k)}$  определяется условием:

$$\alpha_j^{(k)} = P[\xi_{k-1}(\tau) = j], j = 1, \dots, 5, \quad (5)$$

где  $P$  – вероятность.

В начальный момент времени  $t_0 = 0$  (при  $k = 1$ ) имеют место следующие равенства:

$$\alpha_1^{(1)} = 1, \alpha_j^{(1)} = 0, j = 2, \dots, 5, \quad (6)$$

т.е. в этот момент времени система находится в работоспособном состоянии.

Корреляция процессов  $\xi_k(t)$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$  в моменты  $t_k = kt$  определяется рекуррентными равенствами:

$$\alpha_j^{(k+1)} = P[\xi_{k-1}(\tau) = j] = P[\xi_k(x+z) = j], j = 1, \dots, 5. \quad (7)$$

Если принять  $T_{15}$  равным случайному времени до попадания АХУ в состояние безусловной нештатной ЭС, то характеристикой риска эксплуатации АХУ в период  $[0, T]$  будет вероятность первого попадания системы в данное состояние, которая может быть определена как  $P(T) = P(T_{15} < T)$ .

Под понятием риска эксплуатации для АХУ понимают частоту попадания ее технологических параметров в критическую область. Качественным показателем эффективности работы системы ПАЗ по снижению этой частоты является КСР (обозначим через  $\Phi$ ), равный отношению частоты входных запросов  $d$  к интенсивности  $h$  запросов на выходе ПАЗ, где  $h$  – средняя частота попаданий системы в состояние безусловной нештатной ЭС (пятое состояние). Величина  $h$  определяется при известной вероятности  $P(T)$  по формуле:

$$h = \frac{-\ln(1 - P(T))}{T}, \text{ т.е.} \\ \Phi = \frac{-dT}{\ln(1 - P(T))}. \quad (8)$$

Вероятность  $P(T)$  с учетом равенства  $T = t_n$  удовлетворяет соотношению

$$P(T) = P(T_{15} < t_n) = P(\eta(t_n) = 5) = P(\xi_k(t) = 5). \quad (9)$$

Одним из показателей влияния ПАЗ на функционирование АХУ в интервале  $[0, T]$  может являться среднее время пребывания процесса  $\eta(t)$  в ситуации останова, вызванного срабатыванием системы ПАЗ, т.е. в третьем и четвертом состояниях.

Благодаря полученной модели путем обработки статистических данных можно не только рассчитать значение КСР (или УПБ), но также и определять показатели безопасности.

**Метод идентификации.** Предлагается метод идентификации эксплуатационных параметров АХУ путем обработки информации о вероятных отказах оборудования и информации качественного характера. Метод включает следующие этапы.

1. Значения ЭП, измеренные датчиками, поступают в СИЭП дискретно через заданные промежутки времени.
2. Высчитывается скорость изменения ЭП.
3. Определяется время, при котором значения ЭП могут достичь неблагоприятных значений.
4. Методом экстраполяции определяются прогнозируемые значения ЭП для времени  $T$ .
5. Спрогнозированные значения сравниваются с заданными штатными значениями, после чего в память СИЭП заносятся признаки неисправностей.
6. Производится обработка правил, оценивающих ситуацию на объекте управления в отношении появления нештатной ситуации и выдачу предлагаемого решения (рекомендаций о действиях).

Основу для метода составляет идентификация АХУ как источника нештатных эксплуатационных ситуаций (ЭС) и последующее использование полученных данных из ИСМ для идентификации нештатных ЭС перед пуском и во время работы АХУ.

Обработка правил, оценивающих ситуацию на объекте, и выдача предлагаемого решения оператору проводится циклично. Для этой цели была разработана блок-схема алгоритма обработки информации, которая представлена на рис. 3.

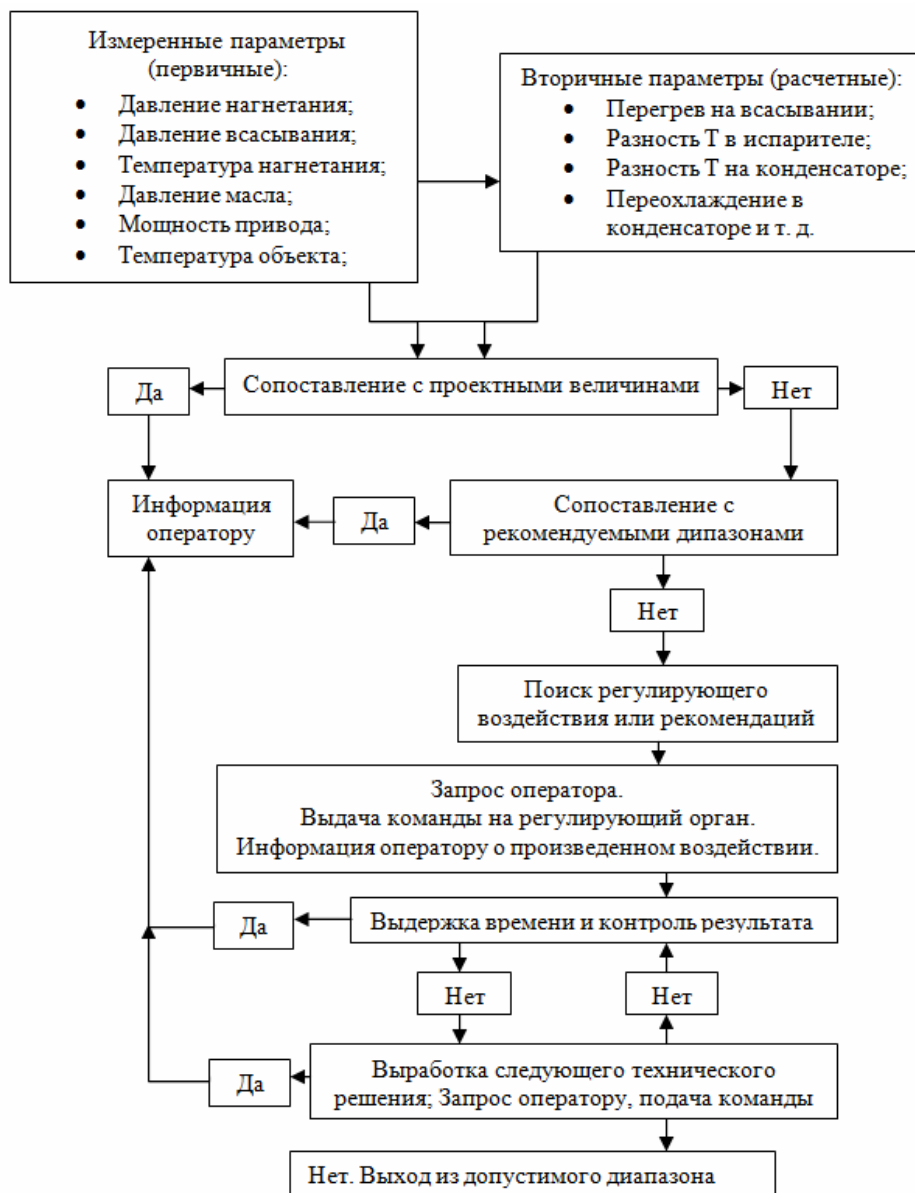


Рис. 3. Блок-схема управления АХУ

Нужно иметь в виду, что значения основных параметров АХУ зависят от наружных и внутренних условий эксплуатации. Поэтому при оценке допустимости того или иного значения ЭП необходимо проводить ряд сложных технических расчетов. Предлагаемая система СИЭП в режиме реального времени автоматически пересчитывает оптимальные значения эксплуатационных параметров при изменении условий. Критерием для выбора оптимального режима для АХУ является часть приведенных годовых затрат, изменение которых возможно при изменении стоимости электроэнергии, воды и др. Другими словами, эксплуата-



ционные характеристики, запроектированные для одного соотношения стоимостей оборудования и энергоносителей, могут быть пересмотрены при его изменении.

**Заключение.** В ходе анализа возможных состояний автоматизированной системы управления АХУ были рассмотрены факторы, влияющие на функционирование СИЭП совместно с ПАЗ. Предложенная модель процесса функционирования АХУ определяет качество работы автоматизированной системы управления по обеспечению безопасности. Разработанный метод идентификации ЭП АХУ используется в работе СИЭП и позволяет оценить критерии оптимальности параметров.

#### Список литературы

1. Безопасность труда в промышленности. – Москва : ЗАО НТЦ ПБ, 2013. – № 1. – 101 с.
2. Егоров А. Ф. Управление безопасностью химических производств на основе информационных технологий / А. Ф. Егоров. – Москва : Колос, 2004. – 416 с.
3. Международный стандарт МЭК 61508 «Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных связанных с безопасностью», принятый в России 01.06.2008 г. в качестве ГОСТ Р МЭК 61508. – Москва : Стандартиформ, 2008.
4. Международный стандарт МЭК 61511 «Функциональная безопасность: Приборные системы безопасности для сектора промышленных процессов». – Москва : ДЕАН, 2010. – 73 с.
5. ПБ 09-595-03. Правила безопасности аммиачных холодильных установок, утверждены постановлением Ростехнадзора России от 19 июня 2003 г. № 79. – Москва : ДЕАН, 2013. – 80 с.
6. Путилин С. С. Квалиметрические модели контроля эксплуатационных параметров аммиачной холодильной установки / С. С. Путилин, В. Ф. Шуршев // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2012. – № 1. – С. 131–135.
7. Путилин С. С. Разработка системы управления холодильной установкой, учитывающей изменения внешней среды / С. С. Путилин // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2013. – № 1. – С. 44–55.
8. Федеральный закон № 116-ФЗ. О промышленной безопасности опасных производственных объектов. – Москва : РГ, 2005. – Федеральный выпуск № 3831, приложение 1. – 45 с.
9. Шуршев В. Ф. Идентификация предаварийных ситуаций на аммиачной холодильной установке / В. Ф. Шуршев, А. В. Абзалов // Датчики и системы. – 2009. – № 5. – С. 31–34.
10. Шуршев В. Ф. Система идентификации предаварийных ситуаций на аммиачной холодильной установке / В. Ф. Шуршев, А. В. Абзалов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2008. – № 1. – С. 56–59.
11. Sousa J. M. Fuzzy predictive control applied to an air-conditioning system / J. M. Sousa, R. V. Babuska, H. B. Verbruggen // Control engineering practice. – 1997. – vol. 10. – P. 49–53.

#### References

1. *Bezopasnost truda v promyshlennosti* [Labour safety in industry]. Moscow, 2013, no. 1. 101 p.
2. Yegorov A. F. *Upravlenie bezopasnostyu khimicheskikh proizvodstv na osnove informatsionnykh tekhnologiy* [Chemical production safety management on the bases of information technologies]. Moscow, Head, 2004. 416 p.
3. International Standard IEC 61508 “Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems” adopted in Russia in 01.06.2008 as GOST R IEC 61508. Moscow, Standartinform, 2008. (In Russ.).
4. International Standard IEC 61511 “Functional safety. Safety instrumented systems for the process industry sector”. Moscow, DEAN, 2010. 73 p. (In Russ.).
5. Safety Rules (SR) 09-595-03. Safety rules of ammonia refrigerating plants, approved by the resolution of Rospotrebnadzor of Russia, 19 June, 2003, no. 79. Moscow, DEAN, 2013. 80 p. (In Russ.).
6. Putilin S. S., Shurshev V. F. Kvalimetricheskie modeli kontrolya ekspluatatsionnykh parametrov ammiachnoy kholodilnoy ustanovki [Qualimetric control models of exploitation ammonia refrigerating plant]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychis-*

*litelnaya tekhnika i informatika* [Bulletin of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics], 2012, no. 1, pp. 131–135.

7. Putilin S. S. Razrabotka sistemy upravleniya kholodilnoy ustanovkoy, uchityvayushchey izmeneniya vneshney sredy [Development of control system of refrigeration unit which takes into account the changes in the environment]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika* [Bulletin of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics], 2013, no. 1, pp. 44–45.

8. Federal Law no. 116-FL. On industrial safety of dangerous production objects. Moscow, 2005, federal issue no. 3831, supplement 1. 45 p.

9. Shurshev V. F., Abzalov A. V. Identifikatsiya predavariynykh situatsiy na ammiachnoy kholodilnoy ustanovke [Identification of prefault situations at ammonia refrigerating plant]. *Datchiki i sistemy* [Sensors and systems], 2009, no. 5, pp. 31–34.

10. Shurshev V. F., Abzalov A. V. Sistema identifikatsii predavariynykh situatsiy na ammiachnoy kholodilnoy ustanovke [Identification system of prefault situations at ammonia refrigerating plant]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2008, no. 1, pp. 56–59.

11. Sousa J. M., Babuska R. V., Verbrugen H. B. Fuzzy predictive control applied to an air-conditioning system. *Control engineering practice*, 1997, vol. 10, pp. 49–53.

УДК 639.2.081.117

**АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ЭМПИРИЧЕСКИХ  
ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ, СВЯЗАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ФИЗИЧЕСКИХ ЗАКОНОВ, В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ЛОВОМ РЫБЫ**

*Лихтер Анатолий Михайлович*, доктор технических наук, доцент, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, e-mail: Likhter@bk.ru

*Чурунов Владимир Николаевич*, кандидат технических наук, член-корреспондент МАНЭБ, старший научный сотрудник, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а.

*Новожилов Евгений Павлович*, кандидат технических наук, доцент, Астраханский государственный технический университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16.

В статье на некоторых примерах показано, как общеизвестные законы физики нашли применение в системах управления ловом рыбы. Сюда относятся: нахождение силы сопротивления трению как в различных рыбопромысловых механизмах, так и при движении орудий лова по грунту; нахождение взаимосвязи усилия на сбегающем конце каната от набегающего усилия, коэффициентов трения и угла обхвата фрикционного барабана с учетом формулы Эйлера и ее производных, полученных для более сложных технических задач, особенно при выборке орудий лова жгутом.

Огромное значение для рыболовства имеет формула Ньютона, определяющая сопротивление тел при их движении в водной среде. Показана ее трансформация, в том числе с учетом некоторых работ авторов статьи.

**Ключевые слова:** законы физики, формулы Эйлера, Ньютона .сила трения, коэффициент трения, набегающее усилие, сбегающее усилие, угол обхвата, канат, жгут орудия лова, гидродинамическое сопротивление сети