

**УДК 681.542.3****РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ТЕМПЕРАТУРЫ ЛИНИИ ЗАХОЛАЖИВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ХОЛОДИЛЬНИКА ХВ-101 УЗЛА ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ УСТАНОВКИ ВИСБРЕКИНГА****Князьков Никита Евгеньевич,**

Бакалавр, Самарский государственный технический университет, Россия, 443100, город Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244
E-mail: knyazkov_nikita666@mail.ru

Аннотация

В статье рассматривается разработка системы противоаварийной автоматической защиты (ПАЗ) температуры паров верха колонны К-3 на выходе аппарата воздушного охлаждения ХВ-101 узла фракционирования установки висбрекинга. Описан технологический процесс охлаждения паров и обоснована необходимость защиты по верхнему и нижнему пределам температуры. Предложена структура алгоритма блокировок с использованием логического элемента «ИЛИ» и RS-триггера с приоритетом загрузки памяти, обеспечивающего автоматическую остановку электродвигателя вентилятора В-1 при выходе температуры за допустимый диапазон. В работе проанализированы причины отказов штатных средств защиты, обусловленные инерционностью релейных схем и отсутствием функции регистрации предотказных состояний. На основе функционального моделирования в среде реального времени определены количественные показатели быстродействия и времени реакции системы на запредельные отклонения. Реализация алгоритма на базе контроллера А01 ПАЗ с применением дублированной RS-памяти позволила исключить ложные срабатывания при кратковременных флуктуациях сигнала и обеспечить соответствие ГОСТ Р МЭК 61508-2. Проведена верификация логики блокировок методом имитационного моделирования, подтвердившая корректность работы защит во всех эксплуатационных режимах. Выполнен сравнительный анализ отечественных контроллеров ПАЗ по техническим характеристикам и обоснован выбор контроллера А01 ПАЗ (Метран). Полученные решения повышают надёжность функционирования воздушного холодильника и предотвращают развитие аварийных ситуаций на узле фракционирования.

Ключевые слова: противоаварийная автоматическая защита, воздушный холодильник, сигнализация, блокировка, RS-триггер, контроллер ПАЗ, узел фракционирования, висбрекинг.

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC EMERGENCY PROTECTION SYSTEM FOR THE COOLING LINE TEMPERATURE OF AIR COOLER KHV-101 AT THE FRACTIONATION UNIT OF THE VISBREAKING PLANT

Knyazkov Nikita Evgenievich,

Bachelor, Samara State Technical University, 244 Molodogvardeyskaya St., Samara, 443100, Russia

E-mail: knyazkov_nikita666@mail.ru

ABSTRACT

The article addresses the development of an emergency automatic protection (EAP) system for the temperature of the top vapours of column K-3 at the outlet of the air cooler XB-101 in the fractionation unit of a visbreaking plant. The cooling process is described and the need for protection against both upper and lower temperature limits is justified. A blocking algorithm structure is proposed based on an OR logic element and an RS flip-flop with memory load priority, which provides automatic shutdown of the V-1 fan motor when the temperature exceeds the permissible range.

The paper analyzes the causes of failures of standard protective equipment due to the inertia of relay circuits and the lack of a function for registering pre-failure states. Quantitative indicators of the system's performance and response time to extreme deviations have been determined based on functional modeling in a real-time environment. The implementation of the algorithm based on the A01 PAZ controller using a duplicated RS memory made it possible to eliminate false alarms during short-term signal fluctuations and ensure compliance with GOST R IEC 61508-2. The logic of the locks was verified by the method of simulation modeling, which confirmed the correctness of the protection in all operating modes. A comparative analysis of domestic EAP controllers is performed and the choice of the A01 PAZ controller (Metran) is justified. The proposed solutions improve the reliability of the air cooler operation and prevent the development of emergency situations at the fractionation unit.

Keywords: emergency automatic protection, air cooler, alarm, interlock, RS flip-flop, EAP controller, fractionation unit, visbreaking.

Введение. Современные установки нефтепереработки относятся к категории опасных производственных объектов, на которых отклонение технологических параметров от установленных пределов способно привести к серьёзным аварийным последствиям.

В соответствии с действующими требованиями промышленной безопасности технологические процессы нефтепереработки должны быть оснащены системами противоаварийной автоматической защиты (ПАЗ), функционирующими независимо от штатной системы регулирования и обеспечивающими приведение объекта в безопасное состояние при возникновении предаварийных условий [1].

Целью работы является разработка структуры и алгоритма функционирования системы противоаварийной автоматической защиты температуры паров верха колонны К-3 на выходе ХВ-101, а также обоснование выбора отечественного контроллера ПАЗ для реализации предложенных решений.

Материалы и методы. В составе установки висбрекинга узел фракционирования с колонной К-3 выполняет ключевую функцию разделения продуктов термического крекинга. Пары с верха колонны К-3 направляются на охлаждение в аппарат воздушного охлаждения ХВ-101 и далее в теплообменник Т-6а. Стабильность температурного режима на выходе ХВ-101 непосредственно влияет на качество и эффективность процесса

конденсации, а её отклонение в любую сторону создаёт предпосылки к развитию аварийной ситуации.

Для данного контура рассмотрена задача оптимальной настройки ПИ-регулятора температуры на выходе теплообменника Т-6а. Настоящая работа посвящена смежной, но самостоятельной задаче — разработке системы ПАЗ температуры линии захлаживания на выходе воздушного холодильника ХВ-101.

Описание технологического процесса

Пары с верха колонны К-3 охлаждаются в аппарате воздушного охлаждения ХВ-101 и далее поступают на доохлаждение в теплообменник Т-6а. Температура паров верха К-3 на выходе ХВ-101 измеряется первичным преобразователем температуры (поз. ТЕ 0146); сигнал поступает в контроллер на индикацию и регулирование (поз. ТІСА 0146) с сигнализацией минимального и максимального значений. Контур регулирования связан с частотным преобразователем вращения электродвигателя вентилятора В-1 холодильника ХВ-101 (поз. SC В-1), что обеспечивает плавное изменение производительности охлаждения. Технологическая схема контура приведена на рисунке 1.

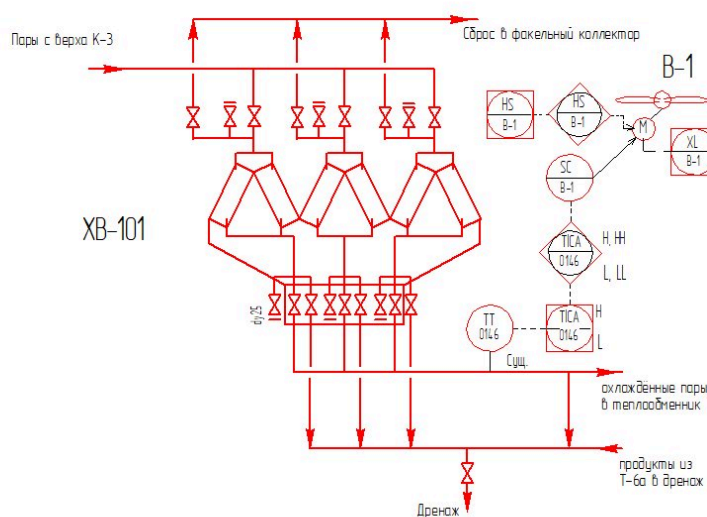


Рисунок 1 – Технологическая схема контура охлаждения паров верха К-3 в воздушном холодильнике ХВ-101 (составлено на основе [2])

Отклонение температуры на выходе ХВ-101 от допустимого диапазона нарушает стабильность процесса конденсации. При повышении температуры снижается степень охлаждения и конденсации паров, что приводит к росту тепловой нагрузки на последующее оборудование, увеличению давления в системе и возможному развитию аварийной ситуации, связанной с перегревом аппаратуры.

При понижении температуры возрастает риск переохлаждения и частичного застывания тяжёлых фракций: увеличивается вязкость продукта, образуются отложения на стенках трубопроводов, возможны гидравлические удары и снижение пропускной способности [2].

Таким образом, защита по температуре должна быть двусторонней — как по верхнему, так и по нижнему пределам.

Структура и алгоритм работы системы ПАЗ

В качестве источника информации о температуре в системе ПАЗ используется независимый первичный измерительный преобразователь температуры (поз. ТТ 0146), установленный на линии захлаживания продуктов верха К-3 на выходе ХВ-101. Контроллер ПАЗ формирует пять режимных состояний температуры: сверхвысокое (НН),

высокое (H), нормальное (NOR), низкое (L) и сверхнизкое (LL). Логические состояния выходов компаратора приведены в таблице 1.

Таблица 1

Логические состояния выходов компаратора по температуре

Режим	Обозначение	Состояние выхода	Сигнал	Действие
Сверхвысокий	HH	ON	1	Аварийная сигнализация, активация ПАЗ
Высокий	H	ON	1	Предупредительная сигнализация
Нормальный	NOR	OFF	0	Штатный режим
Низкий	L	ON	1	Предупредительная сигнализация
Сверхнизкий	LL	ON	1	Аварийная сигнализация, активация ПАЗ

Принцип функционирования системы построен по двухуровневому принципу. При достижении температурой значений H или L формируется предупредительная сигнализация, информирующая оператора распределённой системы управления (PCY) о приближении параметра к границе безопасного диапазона.

Если корректирующее воздействие оператором не выполнено и температура продолжает изменяться, при достижении значений HH или LL формируется аварийная сигнализация и активируется алгоритм ПАЗ [3], [4].

Алгоритм блокировок реализован на базе логического элемента «ИЛИ» (мажоритарная схема «не менее трёх входов» — ≥ 3 на схеме) и RS-триггера с приоритетом загрузки памяти (приоритет S). Схема логических связей приведена на рисунке 2.

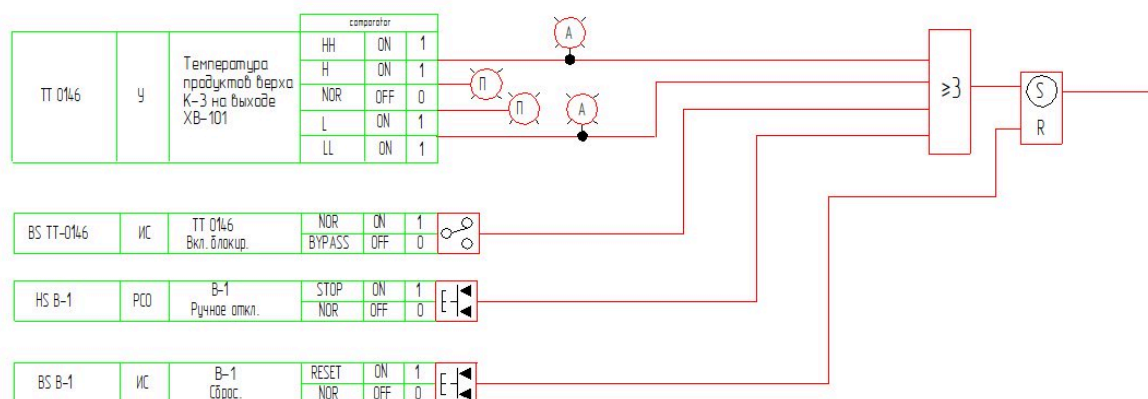


Рисунок 2 – Схема сигнализаций и блокировок системы ПАЗ температуры на выходе ХВ-101(составлено на основе [2],[4])

На входы логического элемента «ИЛИ» поступают три сигнала: сигнал о сверхвысоком (HH) или сверхнизком (LL) значении температуры с компаратора ТТ 0146; сигнал с инженерной станции (ИС) об автоматическом включении блокировки первичного преобразователя (поз. BS TT-0146); сигнал с рабочей станции оператора (PCO) о ручном отключении электродвигателя вентилятора В-1 (поз. HS B-1). Появление сигнала логической

единицы на любом из входов вызывает срабатывание элемента «ИЛИ» и подачу сигнала на вход S RS-триггера.

Применение RS-триггера с приоритетом загрузки памяти обусловлено требованием сохранения аварийного состояния после кратковременного срабатывания защиты: даже при возврате контролируемой температуры в нормальный диапазон выходной сигнал триггера сохраняется до получения подтверждённой команды на сброс.

Выходной сигнал триггера переводит электродвигатель вентилятора В-1 в состояние OFF (логический сигнал 1), реализуя автоматическую остановку вентилятора. Возобновление работы вентилятора осуществляется через инженерную станцию (поз. BS В-1) подачей сигнала RESET на вход сброса памяти R RS-триггера, после чего вентилятор автоматически переключается из состояния OFF в состояние ON [4], [5].

Результаты и обсуждения.

Обоснование выбора контроллера ПА3

Реализация описанного алгоритма требует применения программируемого контроллера ПА3, удовлетворяющего требованиям функциональной безопасности и совместимости с существующей распределённой системой управления. С учётом курса на импортозамещение в нефтегазовой отрасли для сравнительного анализа выбраны три отечественных контроллера: АРБИТР.ПА3 (СПИК СЗМА), БАЗИС-14.3Р (БАЗИС) и А01 ПА3 (Метран). Сравнение основных технических характеристик приведено в таблице 2.

Таблица 2

Сравнительные характеристики контроллеров ПА3

Характеристика	АРБИТР.ПА3	БАЗИС-14.3Р	А01 ПА3
Производитель	СПИК СЗМА	БАЗИС	Метран
Наличие сертификатов	есть	есть	есть
Степень защиты	IP 20	IP 20	IP 20
Интерфейсы связи	RS-485, USB	RS-485, Ethernet, USB	RS-485, CAN, Ethernet, USB
Объём оперативной памяти	512 Мб	1 Гб	2 Гб
Возможность расширения	есть	есть	есть
Средний срок службы, лет	15	10	15

Все рассматриваемые контроллеры обладают необходимыми сертификатами соответствия, одинаковой степенью защиты IP 20 и возможностью аппаратного расширения. Различия проявляются по трём ключевым показателям: набору интерфейсов связи, объёму оперативной памяти и среднему сроку службы.

Контроллер А01 ПА3 (Метран) обеспечивает наибольший набор интерфейсов (RS-485, CAN, Ethernet, USB), что упрощает интеграцию с существующей РСУ и инженерной станцией; имеет максимальный объём оперативной памяти (2 Гб), достаточный для расширения функционала без замены оборудования; и обладает максимальным среди рассмотренных вариантов сроком службы (15 лет). На основании сопоставления указанных

характеристик для реализации системы ПАЗ температуры на выходе ХВ-101 обоснован выбор контроллера А01 ПАЗ производства ПК «Метран» [6], [7], [8].

Заключение. В работе разработана структура системы противоаварийной автоматической защиты температуры паров верха колонны К-3 на выходе аппарата воздушного охлаждения ХВ-101 узла фракционирования установки висбрекинга. Обоснована необходимость двусторонней защиты по верхнему и нижнему пределам температуры, исходя из анализа развития аварийных ситуаций при отклонении параметра.

Предложен двухуровневый алгоритм формирования сигнализаций и блокировок: предупредительная сигнализация при достижении значений Н и L и аварийная блокировка при достижении значений НН и LL. Реализация алгоритма выполнена на базе логического элемента «ИЛИ» и RS-триггера с приоритетом загрузки памяти, что обеспечивает сохранение аварийного состояния до подтверждённого сброса оператором.

Выполнен сравнительный анализ трёх отечественных контроллеров ПАЗ по техническим характеристикам, на основании которого обоснован выбор контроллера А01 ПАЗ производства ПК «Метран». Полученные решения повышают надёжность функционирования воздушного холодильника ХВ-101, обеспечивают защиту теплообменной аппаратуры узла фракционирования и соответствуют требованиям импортозамещения в нефтегазовой отрасли.

Список литературы:

1. ГОСТ Р МЭК 61508-2-2012 Библиографическая запись. Библиографическое описание. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 2. Требования к системам/ Федеральное агентство по техническому регулированию. – Изд. официальное. – Москва: Стандартинформ, 2012. – 5 с.
2. Котелева Н.И. Автоматизация технологических процессов нефтегазопереработки / Санкт-Петербургский горный университет. – СПб., 2019. – 25 с.
3. Полоцкий Л.М., Лапшенков Г.И. Автоматизация химических производств. Теория, расчёт и проектирование систем автоматизации: учеб. пособие. – М.: Химия, 1982. – 296 с.
4. Федоров Ю.Н., Калачев Д.В. Основы построения АСУТП взрывоопасных и химически опасных производств: учебное пособие. – М.: Инфра-Инженерия, 2023. – 320 с.
5. Фурсенко С.Н., Якубовская Е.С., Волкова Е.С. Автоматизация технологических процессов: учеб. пособие. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2018. – 376 с.
6. АРБИТР.ПАЗ. Контроллер противоаварийной автоматической защиты [Электронный ресурс] // Официальный сайт СПИК СЗМА. – URL: <https://szma.com/product/arbitr-paz/> (дата обращения: 19.06.2026).
7. БАЗИС-14. ЗР исполнение ПАЗ [Электронный ресурс] // Официальный сайт БАЗИС. – URL: <https://www.ecoresurs.ru/catalog/po-tipam/bazis-14/bazis-14-zr-ispolnenie-paz/> (дата обращения: 19.06.2026).
8. Контроллер противоаварийной защиты А01 ПАЗ [Электронный ресурс] // Официальный сайт ПК «Метран». – URL: <https://metran.ru/upload/iblock/0c5/riwmbxixaoe3wqr14tivwktnpz8cl6zu.pdf> (дата обращения: 19.06.2026).

References:

1. GOST R IEC 61508-2-2012 Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems. Part 2: Requirements for systems / Federal Agency on Technical Regulation. – Official edition. – Moscow: Standartinform, 2012. – 5 p.
2. Koteleva N.I. Automation of Technological Processes in Oil and Gas Refining / Saint Petersburg Mining University. – St. Petersburg, 2019. – 25 p.
3. Polotsky L.M., Lapshenkov G.I. Automation of Chemical Productions. Theory, Calculation and Design of Automation Systems: textbook. – Moscow: Khimiya, 1982. – 296 p.
4. Fedorov Yu.N., Kalachev D.V. Fundamentals of Building Automated Process Control Systems for Explosive and Chemically Hazardous Facilities: textbook. – Moscow: Infra-Inzheneriya, 2023. – 320 p.
5. Fursenko S.N., Yakubovskaya E.S., Volkova E.S. Automation of Technological Processes: textbook. – Minsk: Novoe Znanie; Moscow: INFRA-M, 2018. – 376 p.
6. ARBITR.PAZ. Emergency Shutdown Controller [Electronic resource] // Official Website of SPIK SZMA. – URL: <https://szma.com/product/arbitr-paz/> (accessed: 19.06.2026).
7. BAZIS-14.ZR ESD Version [Electronic resource] // Official Website of BAZIS. – URL: <https://www.ecoresurs.ru/catalog/po-tipam/bazis-14/bazis-14-zr-ispolnenie-paz/> (accessed: 19.06.2026).
8. Emergency Shutdown Controller A01 PAZ [Electronic resource] // Official Website of PK "Metran". – URL: <https://metran.ru/upload/iblock/0c5/riwmbxiaxoe3wqr14tivwktnpz8cl6zu.pdf> (accessed: 19.06.2026).