

# УПРАВЛЕНИЕ, МОДЕЛИРОВАНИЕ, АВТОМАТИЗАЦИЯ

DOI: 10.24143/2072-9502-2020-1-7-17  
УДК 004.589:66.028

## ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СИСТЕМА НЕЧЕТКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ АЦЕТИЛЕНА ОКИСЛИТЕЛЬНЫМ ПИРОЛИЗОМ ПРИРОДНОГО ГАЗА<sup>1</sup>

*Г. Н. Санаева<sup>1</sup>, А. Е. Пророков<sup>1</sup>, В. Н. Богатиков<sup>2</sup>, Д. П. Вент<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Новомосковский институт РХТУ имени Д. И. Менделеева,  
Новомосковск, Тульская обл., Российская Федерация*

<sup>2</sup> *Тверской государственный технический университет,  
Тверь, Российская Федерация*

Производство ацетилена окислительным пиролизом природного газа представляет собой сложную химико-технологическую систему, необходимым условием функционирования которой является обеспечение технологической безопасности. Рассматриваются вопросы создания системы управления указанным процессом при обеспечении его технологической безопасности на основе определения области и центра его безопасности. Предложен вариант двухуровневого управления, при котором верхний уровень выполняет динамическую коррекцию заданий регуляторов локальных контуров нижнего уровня с учетом требований безопасности. Предлагается подход с использованием аппарата нечеткой логики для реализации работы верхнего уровня системы управления с целью повышения степени технологической безопасности процесса. Представлен алгоритм работы верхнего уровня системы управления с учетом периодичности получения сведений о состоянии процесса. Для предотвращения перехода в аварийную ситуацию в промежутках времени между получением сведений о состоянии процесса предлагается использование математической модели процесса с периодической корректировкой входных данных, используемых для расчетов. Предлагаемый вариант системы управления позволит уменьшить число аварийных остановок процесса, что приведет к экономии используемых ресурсов и уменьшению загрязнения окружающей среды.

**Ключевые слова:** производство ацетилена, окислительный пиролиз природного газа, аварийная ситуация, технологическая безопасность, предельные значения, система управления, центр безопасности, область безопасности.

**Для цитирования:** Санаева Г. Н., Пророков А. Е., Богатиков В. Н., Вент Д. П. Иерархическая система нечеткого регулирования процесса получения ацетилена окислительным пиролизом природного газа // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2020. № 1. С. 7–17. DOI: 10.24143/2072-9502-2020-1-7-17.

### Введение

Производство ацетилена окислительным пиролизом природного газа представляет собой сложную химико-технологическую систему, характеризующуюся наличием большого числа как внутренних, так и внешних возмущающих воздействий, а также выходных параметров, которыми являются показатели качества работы как отдельных технологических аппаратов, так и всего производства в целом. Рассматриваемый процесс характеризуется особой взрыво- и пожароопасностью, в связи с чем повышение уровня его технологической безопасности является актуальной задачей, требующей применения современных подходов и решений [1, 2].

*Целью данной работы* является разработка системы управления процессом производства ацетилена окислительным пиролизом природного газа в условиях обеспечения его технологической безопасности.

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 17-07-013680).

### Общая характеристика процесса окислительного пиролиза

Производство ацетилена окислительным пиролизом природного газа включает в себя следующие стадии [3]: пиролиз природного газа и получение газа пиролиза; охлаждение и очистка газа пиролиза от сажи; извлечение ацетилена из газа пиролиза.

Исходными продуктами для процесса окислительного пиролиза при получении ацетилена являются предварительно подогретые до температуры 650–700 °С природный газ и кислород, которые поступают в реактор окислительного пиролиза, состоящий из смесителя, горелочного блока, реакционной зоны и зоны «закалки».

В смесителе происходит физическое перемешивание струй исходных продуктов с целью получения метаноокислородной смеси. В реакторе происходит разложение (пиролиз) метана при его горении с получением большого количества побочных продуктов. Высокая температура в реакторе (1 400–1 500 °С), необходимая для разложения метана с образованием ацетилена, достигается в результате сжигания части природного газа в том же самом объеме, где происходит реакция получения ацетилена из метана (окислительный пиролиз).

Ацетилен при высоких температурах является неустойчивым соединением: он может разлагаться на водород и углерод (сажу). С целью уменьшения потерь ацетилена как требуемого товарного продукта проводят так называемую «закалку»: понижают температуру в нижней части реактора до 80 °С введением холодной воды. Получаемый при этом газ пиролиза, содержащий ацетилен (7–8 %) и ряд других продуктов (водород, угарный газ, углекислый газ и пр.), поступает на дальнейшее охлаждение, очистку от сажи, выделение и концентрирование ацетилена.

### Условия обеспечения безопасности процесса окислительного пиролиза

Из-за повышенной взрыво- и пожароопасности любое отклонение протекания процесса от регламентных условий приводит к тому, что процесс переводится «на свечу» с целью предотвращения аварийной ситуации – продукты окислительного пиролиза сжигаются в факеле, а вся система продувается азотом (независимо от содержания ацетилена в газе пиролиза).

При протекании процесса окислительного пиролиза должны быть обеспечены следующие ограничения, определяющие его технологическую безопасность:

- максимально допустимая температура метаноокислородной смеси на входе в реактор для предупреждения преждевременного воспламенения смеси или проскока пламени из реакционной камеры в смеситель,  $T_{реш}$  (710 °С);
- максимально допустимые концентрации кислорода и метана на выходе из реактора во избежание получения взрывоопасных концентраций продуктов окислительного пиролиза,  $C_{CH_4}$  и  $C_{O_2}$  (9 и 0,8 % (об.));
- минимально и максимально допустимая температура газа пиролиза на выходе из реактора окислительного пиролиза,  $T_{ГП}$  (50 и 100 °С).

Для каждой из переменных, определяющих технологическую безопасность протекания процесса окислительного пиролиза, на основании опроса экспертов выявлены «критические» значения недопустимого приближения к соответствующим предельным границам значений переменных (табл.).

#### Предельные значения переменных и критические значения их отклонений от границ

Переменная	Предельное значение	Критическое отклонение
Температура решетки, $T_{реш}$ , °С	max 710	10
Содержание метана в газе пиролиза, $C_{CH_4}$ , % (об.)	max 9	1
Содержание кислорода в газе пиролиза, $C_{O_2}$ , % (об.)	max 0,8	0,1
Температура газа пиролиза, $T_{ГП}$ , °С	max 100 min 50	10
Расход воды на «закалку», $G_{вз}$ , м <sup>3</sup> /ч	min 10	10

При этом критические отклонения соответствующих значений от предельных будут определять область «LOW» (рис. 1), в которой процесс еще продолжает оставаться безопасным, но, в случае возникновения каких-либо возмущений, с высокой долей вероятности возможно превышение предельных значений соответствующих переменных с возникновением аварийной ситуации.

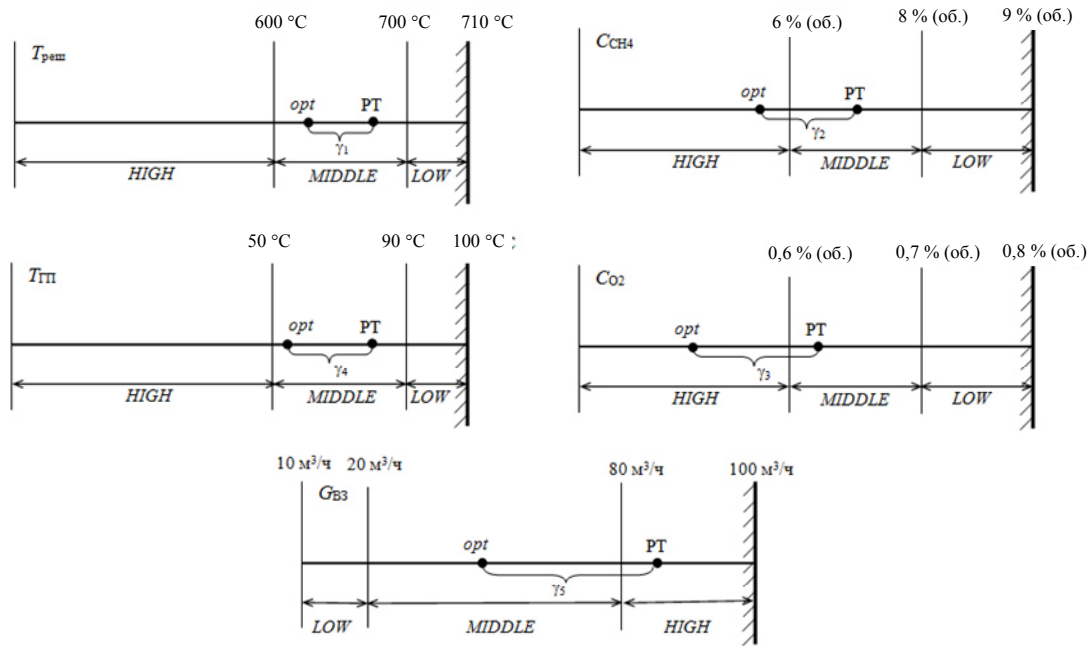


Рис. 1. Вариант положения рабочей точки процесса по переменным, определяющим его технологическую безопасность, относительно соответствующих критических и оптимальных с точки зрения обеспечения его технологической безопасности (*opt*) значений

В то же время нахождение значений, определяющих безопасность протекания процесса, в областях, соответствующих значениям «MIDDLE» и «HIGH» по каждой переменной, к возникновению аварийной ситуации не приводит.

### Определение области безопасности процесса окислительного пиролиза

Для обеспечения наивысшего уровня безопасности процесса целесообразно его поддержание в некоторой оптимальной точке (центре безопасности – ЦБ), максимально удаленной от границ, которые определяются ограничениями, накладываемыми на процесс, который геометрически представляет собой точку пересечения нормалей к линиям, соответствующим технологическим ограничениям.

Таким образом, задача определения ЦБ при управлении процессом окислительного пиролиза заключается в минимизации суммы квадратов расстояний от текущей точки процесса до точки, соответствующей ЦБ,  $\gamma_i$ :

$$\sum_i k_i \cdot \gamma_i^2 \rightarrow \min ,$$

при соблюдении ограничений, не допускающих выход технологического процесса в область недопустимого приближения к границам области безопасности:

$$\delta \geq \delta^{kp} ,$$

где  $y_i^*$  – предельные значения технологических переменных, определяющие безопасность ведения процесса;  $\delta_i$  и  $\delta_i^{kp}$  – отклонения реальных измеренных значений от границ области безопасности и критические значения этих отклонений по данной переменной  $i$ ;  $k_i$  – нормирующий коэффициент. Однако точка ЦБ может не соответствовать регламентным условиям, обеспечивающим заданный состав газа пиролиза, в частности содержанию в газе пиролиза ацетилена как требуемого товарного продукта. В связи с этим целесообразно ввести понятие *области безопасности* – области, в которой при некотором приемлемом снижении индекса безопасности обеспечивается требуемый состав газа пиролиза. Границы области безопасности определяются расстояниями от значений технологических ограничений до текущих значений переменных процесса, при которых обеспечивается заданный уровень технологической безопасности в динамике. Таким образом, задача управления процессом окислительного пиролиза заключается в получении

вектора управления, осуществляющего перевод технологического процесса в область безопасности, определяемую значениями «HIGH» и «MIDDLE» при поддержании требуемой концентрации ацетилена в газе пиролиза на выходе из реактора [4].

### Реализация системы управления

Для реализации системы управления рассматриваемым процессом наиболее важными являются расход природного газа на горелку подогревателя, расходы и температуры метана и кислорода на входе в реактор, расход воды на «закалку» газа пиролиза. Параметры выходных технологических потоков можно только контролировать, а управление ими осуществляется только за счет изменения значений входных технологических параметров – расходов исходных компонентов и температуры метаноокислородной смеси. В связи с этим задача управления процессом окислительного пиролиза заключается в получении вектора управления  $u$ , не допускающего выход технологического процесса в область недопустимого приближения к границам, определяемым технологическими ограничениями  $\delta_i$ .

При нахождении рабочей точки процесса в области, формируемой значениями «MIDDLE» или «HIGH» для переменных  $\delta C_{CH_4}$ ,  $\delta C_{O_2}$ , «MIDDLE» для переменных  $\delta T_{ГП}$  и  $\delta T_{реш}$  (рис. 2, а), «HIGH» для переменной  $C_{C_2H_2}$ , достаточно стабилизировать имеющиеся значения управляемых переменных локальных контуров управления.

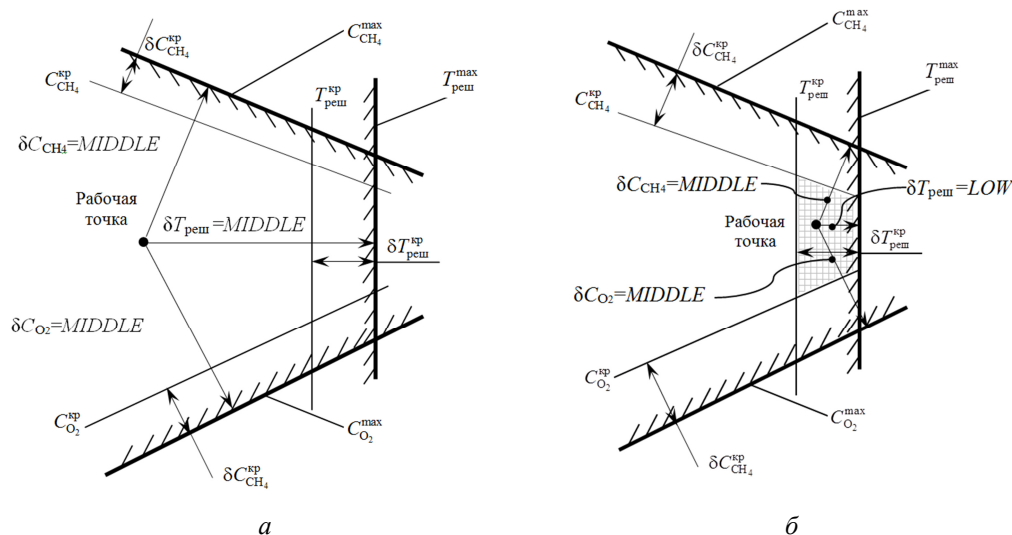


Рис. 2. Положение рабочей точки процесса внутри области безопасности: в безопасном (а) и менее безопасном (б) режимах

При переходе рабочей точки процесса в область, определяемую значениями «LOW» для любой из перечисленных переменных (рис. 2, б), необходимо осуществить его переход в более безопасную область протекания («MIDDLE» или «HIGH» для соответствующих переменных) с помощью нечеткого регулирования в соответствии с правилами нечеткого вывода, полученными на основании опроса экспертов.

Для управления технологической безопасностью процесса окислительного пиролиза производится периодический анализ состава газа пиролиза с целью определения содержания в нем потенциально взрывоопасных концентраций метана, кислорода, ацетилена и постоянный контроль температуры кислорода и природного газа на выходе подогревателя и температуры газа пиролиза на выходе из реактора. На основании значений этих параметров определяется индекс безопасности как расстояние от текущего значения параметра до предельного значения соответствующего технологического ограничения.

Для управления процессом окислительного пиролиза с учетом обеспечения его технологической безопасности синтезирована система управления. При этом входными данными являются параметры, получаемые с объекта управления, относительно которых решается задача нелинейного программирования для определения ЦБ и области безопасности с последующей корректировкой положения рабочей точки процесса.

Предлагаемая система управления представлена двумя уровнями (рис. 3).

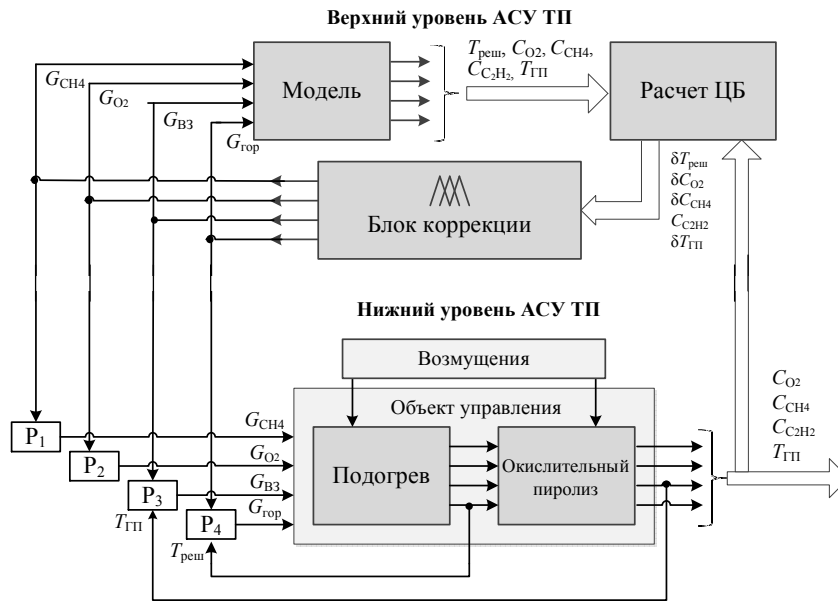


Рис. 3. Система управления процессом окислительного пиролиза: P<sub>1</sub>–P<sub>4</sub> – регуляторы

Нижний уровень обеспечивает требуемые характеристики потоков следующих локальных контуров управления:

- стабилизация расхода метана на реакцию окислительного пиролиза (регулятор P<sub>1</sub>) для обеспечения требуемого количества получаемого из него ацетилена как требуемого товарного продукта;
- стабилизация расхода кислорода на реакцию окислительного пиролиза (регулятор P<sub>2</sub>) с учетом соблюдения соотношения «кислород-метан» в диапазоне, обеспечивающем максимальное содержание ацетилена в газе пиролиза и минимальное образование сажи, являющейся при этом мелкодисперсной и хорошо всплывающей, что удобно для ее последующей утилизации;
- регулирование расхода воды на «закалку» (регулятор P<sub>3</sub>) для обеспечения требуемой температуры газа пиролиза на выходе из реактора;
- регулирование расхода природного газа на горелку (регулятор P<sub>4</sub>) для обеспечения требуемой температуры кислорода на выходе из подогревателя.

Контроль перечисленных температур производится автоматически постоянно. Контроль состава газа пиролиза производится периодически – 1 раз в час.

Блок коррекции верхнего уровня в зависимости от значений температуры метанокислородной смеси на входе в реактор, содержания метана и кислорода в газе пиролиза на выходе из реактора в соответствии с правилами нечеткого вывода определяет задания для регуляторов нижнего уровня (P<sub>1</sub>–P<sub>4</sub>). При этом определяются следующие лингвистические переменные:

- а) определяющие безопасность протекания процесса:
  - «отклонение температуры распределительной решетки»,  $\delta T_{\text{реш}}$ ;
  - «отклонение содержания метана в газе пиролиза»,  $\delta C_{\text{CH}_4}$ ;
  - «отклонение содержания кислорода в газе пиролиза»,  $\delta C_{\text{O}_2}$ ;
  - «отклонение температуры газа пиролиза»,  $\delta T_{\text{ГП}}$ ;
  - «отклонение расхода воды на «закалку» газа пиролиза»,  $\delta G_{\text{ВЗ}}$ ;
- б) определяющие протекание процесса окислительного пиролиза на уровне локальных контуров управления:
  - «содержание ацетилена в газе пиролиза»,  $C_{\text{C}_2\text{H}_2}$ ;
  - «расход метана на реакцию»,  $G_{\text{CH}_4}$ ;
  - «расход кислорода на реакцию»,  $G_{\text{O}_2}$ ;
  - «расход природного газа на горелку»,  $G_{\text{Гор}}$ ;
  - «расход воды на «закалку» газа пиролиза»,  $G_{\text{ВЗ}}$ .

Функции принадлежности лингвистических переменных приведены на рис. 4.

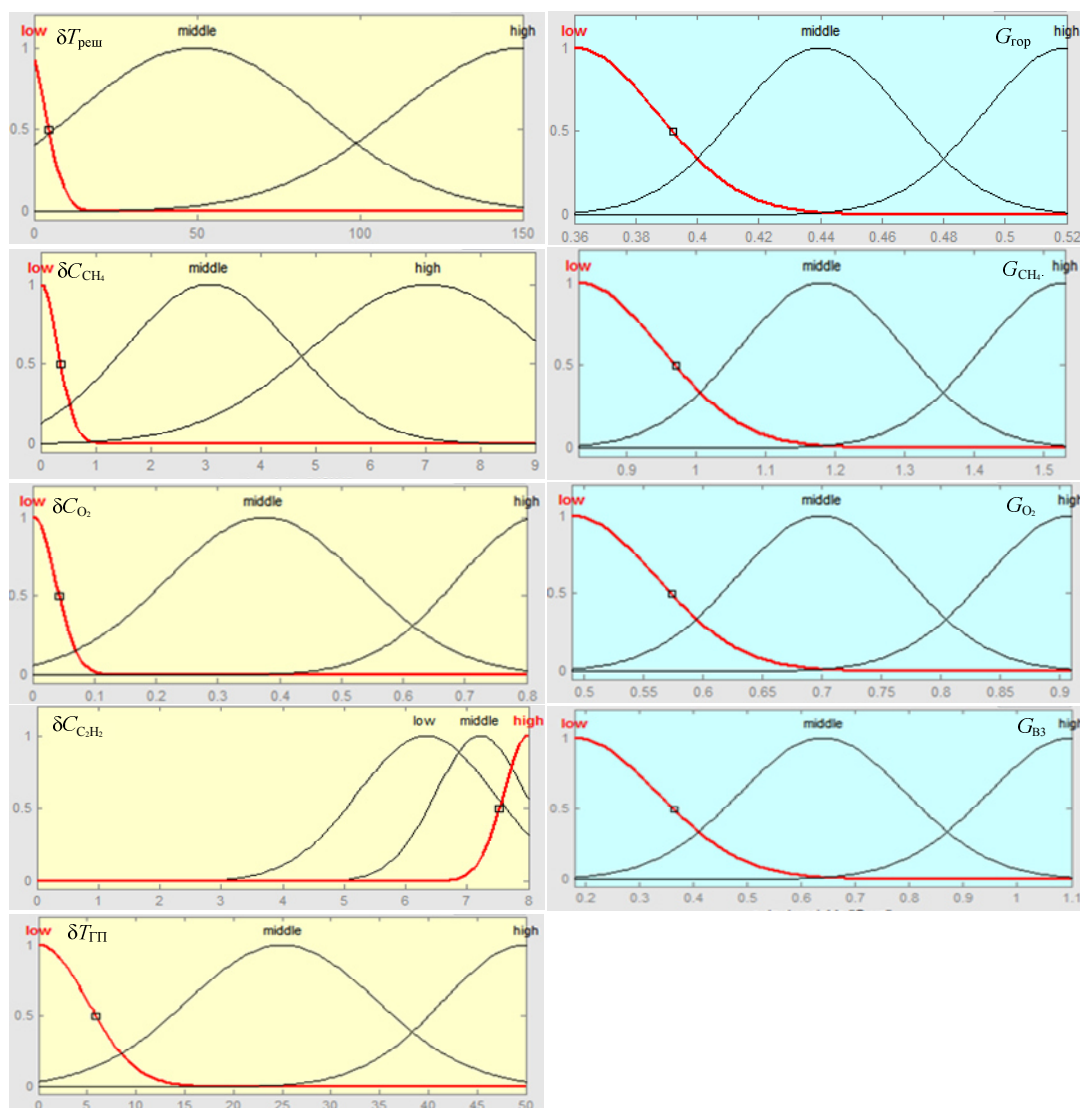


Рис. 4. Функции принадлежности лингвистических переменных

Верхний уровень системы управления процессом определяет задание для общего расхода метана на горелку подогревателя, а также осуществляет корректировку значения соотношения расходов «кислород-метан» изменением расхода кислорода в реактор, а также расход воды на «закалку» газа пиролиза. Поскольку функционирование процесса окислительного пиролиза осуществляется в условиях неопределенности и неполноты информации, при реализации верхнего уровня системы управления, определяющего технологическую безопасность указанного процесса, целесообразно использование аппарата нечеткой логики [5, 6]. При этом выработка управляющего воздействия осуществляется отдельно для каждой из управляемых переменных нижнего уровня с помощью блока коррекции задания отдельно по каждой переменной, определяющей безопасность процесса с собственным набором правил нечеткого логического вывода вида:

1. Если ( $\delta C_{CH_4}$  есть «LOW») и ( $\delta C_{CH_4}$  есть «MIDDLE»), и ( $C_{C_2H_2}$  есть «LOW»), то ( $G_{O_2}$  есть «HIGH»).
2. Если ( $\delta C_{CH_4}$  есть «MIDDLE») и ( $\delta C_{CH_4}$  есть «LOW»), и ( $C_{C_2H_2}$  есть «LOW»), то ( $G_{CH_4}$  есть «LOW»).
3. Если ( $\delta C_{CH_4}$  есть «LOW») и ( $\delta C_{CH_4}$  есть «MIDDLE»), и ( $C_{C_2H_2}$  есть «LOW»), то ( $G_{CH_4}$  есть «MIDDLE») и т. д.

С учетом того, что контроль состава газа пиролиза производится периодически для предотвращения возможного перехода процесса в штатную ситуацию, в промежуток времени между контролем состава газа пиролиза расчет заданий регуляторов нижнего уровня производится по составленной математической модели процесса [7]. При поступлении реальных значений с объекта (каждый час) производится корректировка всех требуемых значений – как заданий для регуляторов нижнего уровня, так и значений, рассчитываемых по модели, – с помощью поправочного коэффициента  $\alpha_k$ , который корректирует выходные параметры модели, при этом имея целью уменьшить расхождение измеренных и рассчитанных параметров на следующем шаге или исключить это расхождение.

В виде алгоритма функционирование верхнего уровня предлагаемой системы управления представлено следующим образом (рис. 5).

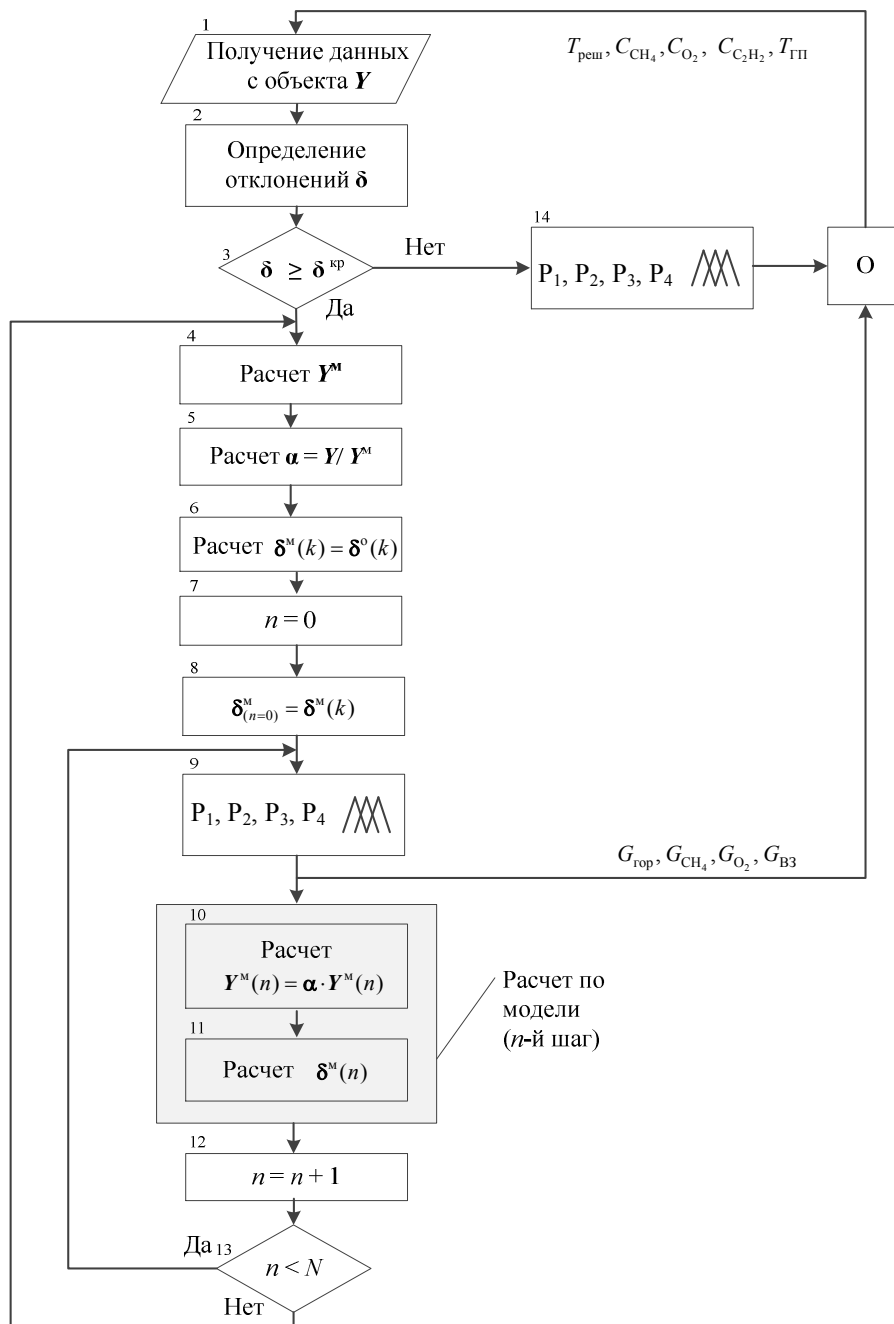


Рис. 5. Алгоритм работы верхнего уровня системы управления процессом: O – объект;  $Y^m$  – значения переменных, рассчитанные по модели;  $\delta^m$  – отклонения значений параметров, рассчитанные по модели;  $N$  – число промежуточных расчетов по модели

Блок 1. Получение данных с объекта в виде вектора  $Y = \{T_{\text{реш}}, C_{\text{CH}_4}, C_{\text{O}_2}, C_{\text{C}_2\text{H}_2}, T_{\text{ГП}}\}$ .

Блок 2. Определение вектора отклонений значений параметров, полученных с объекта и определяющих технологическую безопасность процесса  $\delta^0 = \{\delta C_{\text{CH}_4}, \delta C_{\text{O}_2}, \delta T_{\text{ГП}}, \delta T_{\text{реш}}\}$ , от их предельных значений  $\delta^{\text{кр}}$ .

Блок 3. Проверка превышения  $\delta^0 \geq \delta^{\text{кр}}$ . Если текущие значения отклонений параметров превышают критические значения соответствующих отклонений (система находится в безопасном режиме), осуществляется переход к Блоку 4, иначе – переход к Блоку 14, для скорейшего перевода системы в безопасное состояние непосредственной выработкой управляющего воздействия на объект с целью предотвращения аварийной ситуации.

Блок 4. Расчет вектора значений выходных параметров по математической модели  $Y^M$ .

Блок 5. Определение вектора расхождений  $\alpha = Y / Y^M$  как отношение параметров, полученных с объекта, к значениям, рассчитанным по модели.

Блок 6. Присваивание начальным значениям модели значений, полученных с объекта управления  $\delta^M(k) = \delta^0(k)$ .

Блок 7. Задание начального значения  $n = 0$  для промежуточных (проводимых в течение часа до получения следующих значений с объекта) расчетов по модели при отсутствии данных с объекта управления.

Блок 8. Задание начальных значений для промежуточных (проводимых в течение часа до получения следующих значений с объекта) расчетов по модели при отсутствии данных с объекта управления  $\delta_{(n=0)}^M = \delta^M(k)$ .

Блок 9. Расчет заданий для регуляторов  $P_1$ – $P_4$  нижнего уровня.

Блок 10. Расчет промежуточных значений  $Y^M(n) = \alpha \cdot Y^M(n)$  для  $n$ -го шага по модели.

Блок 11. Определение вектора значений отклонений параметров по модели ( $\delta^M$ ).

Блок 12. Переход к следующему промежуточному шагу расчета по модели.

Блок 13. Проверка условия  $n < N$  окончания промежуточных расчетов по модели (в результате проведенных расчетов установлено, что увеличение  $N > 4$  не приводит к принципиальным отличиям в расчетах) и возврат к Блоку 1 при получении очередных значений с объекта управления.

Блок 14. Расчет заданий для регуляторов  $P_1$ – $P_4$  нижнего уровня в случае необходимости немедленного перехода в более безопасную область [8].

Для предлагаемого варианта системы управления проведено имитационное моделирование с целью исследования динамических характеристик качества регулирования, обеспечиваемого предлагаемой схемой (рис. 6).

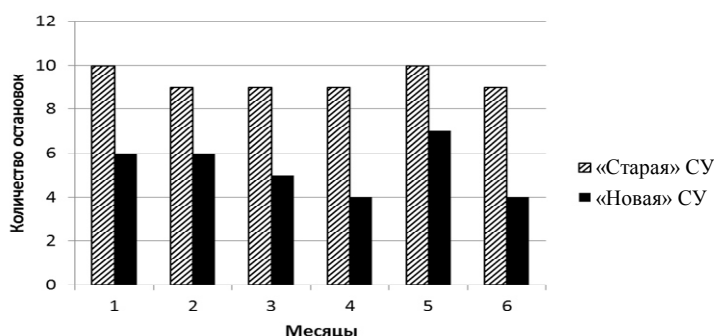


Рис. 6. Результаты имитационного моделирования системы управления (СУ)

Из анализа полученных данных можно сделать вывод о том, что при использовании предлагаемого варианта системы управления снижается число аварийных остановок процесса, что благоприятно с точки зрения обеспечения его технологической безопасности.



### Заключение

Предложен вариант двухуровневой системы управления процессом окислительного пиролиза, верхний уровень которой обеспечивает динамическую коррекцию настроек регуляторов нижнего уровня с целью обеспечения нахождения процесса в области его технологической безопасности и уменьшения числа аварийных остановок и последующих пусков системы, что благоприятно с точки зрения экономии всех видов используемых ресурсов и уменьшения выбросов вредных и опасных веществ в окружающую среду.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Палюх Б. В., Богатилов В. Н., Пророков А. Е., Алексеев В. В. Приложение метода разделения состояний для управления технологической безопасностью промышленных процессов на основе нечетко определенных моделей: моногр. Тверь: Изд-во ТГТУ, 2009. 348 с.
2. Цапко Г. П., Вериго А. А., Каташев А. С. Анализ рисков безопасности автоматизированных систем управления технологическими процессами // Интернет-журнал «Науковедение». 2016. Т. 8. № 5. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/55TVN516.pdf> (дата обращения: 16.05.2019).
3. Антонов В. Н., Липидус А. С. Производство ацетилена. М.: Химия, 1970. 416 с.
4. Мелихов А. Н., Бернштейн Л. С., Коровин С. Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. М.: Наука, 1990. 272 с.
5. Палюх Б. В., Богатилов В. Н., Олейник А. Г., Алексеев В. А., Пророков А. Е. Новые технологии диагностики состояний и управления безопасностью промышленных процессов: метод. рук. Тверь: Изд-во ТГТУ, 2012. 60 с.
6. Яхьяева Г. Э. Нечеткие множества и нейронные сети. М.: Изд-во ИНТУИТ, 2014. 320 с.
7. Санаева Г. Н., Пророков А. Е., Богатилов В. Н. Исследование динамических свойств процесса окислительного пиролиза // Вестн. Иркут. гос. техн. ун-та. 2017. Т. 21. № 7. С. 67–77.
8. Санаева Г. Н., Пророков А. Е., Богатилов В. Н. Синтез структуры системы управления технологической безопасностью производства ацетилена на основе вычисления центра безопасности // Современные сложные системы управления: НТКС'2017: материалы XII Междунар. науч.-практ. конф. (Липецк, 25–27 октября 2017 г.). Липецк: Изд-во Липецкого ГТУ, 2017. Т. 2. С. 169–173.

Статья поступила в редакцию 07.09.2019

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Санаева Галина Николаевна** – Россия, 301665, Новомосковск; Новомосковский институт РХТУ имени Д. И. Менделеева; старший преподаватель кафедры вычислительной техники и информационных технологий; [gsanaeva@nirhtu.ru](mailto:gsanaeva@nirhtu.ru).

**Пророков Анатолий Евгеньевич** – Россия, 301665, Новомосковск; Новомосковский институт РХТУ имени Д. И. Менделеева; канд. техн. наук, доцент; доцент кафедры вычислительной техники и информационных технологий; [a\\_prorokov@mail.ru](mailto:a_prorokov@mail.ru).

**Богатилов Валерий Николаевич** – Россия, 170026, Тверь; Тверской государственный технический университет; д-р техн. наук, профессор; профессор кафедры информационных систем; [vnbgtk@mail.ru](mailto:vnbgtk@mail.ru).

**Вент Дмитрий Павлович** – Россия, 301665, Новомосковск; Новомосковский институт РХТУ имени Д. И. Менделеева; д-р техн. наук, профессор; профессор кафедры автоматизации производственных процессов; [dpvent@nirhtu.ru](mailto:dpvent@nirhtu.ru).



## HIERARCHICAL SYSTEM OF FUZZY REGULATION OF ACETYLENE PRODUCTION PROCESS BY OXIDATIVE PYROLYSIS OF NATURAL GAS

G. N. Sanaeva<sup>1</sup>, A. E. Prorokov<sup>1</sup>, V. N. Bogatikov<sup>2</sup>, D. P. Vent<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Novomoskovsk Institute (branch) of Dmitri Mendeleev University  
of Chemical Technology of Russia,  
Novomoskovsk, Tula region, Russian Federation

<sup>2</sup> Tver State Technical University,  
Tver, Russian Federation

**Abstract.** The paper describes a complex chemical-technological system of producing acetylene by oxidative pyrolysis of natural gas, for which ensuring technological safety is a prerequisite for its functioning. There have been discussed the ways of developing a control system for this process while ensuring its technological safety based on the definition of its area and security center. A two-level control option is proposed, in which the upper level performs dynamic correction of the tasks of the regulators of the local contours of the lower level, taking into account the safety requirements. The approach using the fuzzy logic apparatus to implement the work of the upper level of the control system in order to increase the technological safety of the process is proposed. The algorithm of the upper level of the control system is presented taking into account the frequency of obtaining information about the state of the process. To prevent an emergency in the intervals between obtaining information about the state of the process, it is proposed to use a mathematical model of the process with periodic adjustment of the input data used for calculations. The proposed version of the control system can reduce the number of emergency stops of the process, which will lead to saving resources and reducing environmental pollution.

**Key words:** acetylene production, oxidative pyrolysis of natural gas, emergency, technological safety, limit values, control system, safety center, safety area, safety area.

**For citation:** Sanaeva G. N., Prorokov A. E., Bogatikov V. N., Vent D. P. Hierarchical system of fuzzy regulation of acetylene production process by oxidative pyrolysis of natural gas. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics*. 2020;1:7-17. (In Russ.) DOI: 10.24143/2072-9502-2020-1-7-17.

### REFERENCES

1. Paliukh B. V., Bogatikov V. N., Prorokov A. E., Alekseev V. V. *Prilozhenie metoda razdeleniia sostoianii dlia upravleniia tekhnologicheskoi bezopasnost'iu promyshlennykh protsessov na osnove nechetko opredelennykh modelei: monografiia* [Application of state separation method for controlling technological safety of industrial processes based on fuzzy defined models: monograph]. Tver', Izd-vo TGTU, 2009. 348 p.
2. Tsapko G. P., Verigo A. A., Katashev A. S. Analiz riskov bezopasnosti avtomatizirovannykh sistem upravleniia tekhnologicheskimi protsessami [Safety risk analysis of automated process control systems]. *Internet-zhurnal «Naukovedenie»*, 2016, vol. 8, no. 5. Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/55TVN516.pdf> (accessed: 16.05.2019).
3. Antonov V. N., Lapidus A. S. *Proizvodstvo atsetilena* [Acetylene production]. Moscow, Khimiia Publ., 1970. 416 p.
4. Melikhov A. N., Bernshtein L. S., Korovin S. Ia. *Situatsionnye sovetuiushchie sistemy s nechetkoi logikoi* [Situational advisory systems with fuzzy logic]. Moscow, Nauka Publ., 1990. 272 p.
5. Paliukh B. V., Bogatikov V. N., Oleinik A. G., Alekseev V. A., Prorokov A. E. *Novye tekhnologii diagnostiki sostoianii i upravleniia bezopasnost'iu promyshlennykh protsessov: metodicheskoe rukovodstvo* [New technologies for diagnosing conditions and managing industrial process safety: a methodological guide]. Tver', Izd-vo TGTU, 2012. 60 p.
6. Iakh"iaeva G. E. *Nechetkie mnozhestva i neironnye seti* [Fuzzy sets and neural networks]. Moscow, Izd-vo INTUIT, 2014. 320 p.
7. Sanaeva G. N., Prorokov A. E., Bogatikov V. N. Issledovanie dinamicheskikh svoistv protsessa okislitel'nogo piroliza [Study of dynamic properties of oxidative pyrolysis]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2017, vol. 21, no. 7, pp. 67-77.

8. Sanaeva G. N., Prorokov A. E., Bogatkov V. N. Sintez struktury sistemy upravleniia tekhnologicheskoi bezopasnost'iu proizvodstva atsetilena na osnove vychisleniia tsentra bezopasnosti [Synthesis of structure of process safety control system for acetylene production based on calculation of safety center]. *Sovremennye slozhnye sistemy upravleniia: HTCS'2017: materialy XII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Lipetsk, 25–27 oktiabria 2017 g.)*. Lipetsk, Izd-vo Lipetskogo GTU, 2017. Vol. 2. Pp. 169-173.

The article submitted to the editors 07.09.2019

### **INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Sanaeva Galina Nikolaevna** – Russia, 301665, Novomoskovsk; Novomoskovsk Institute (branch) of Dmitri Mendeleev University of Chemical Technology of Russia; Senior Lecturer of the Department of Computer Engineering and Information Technologies; gsanaeva@nirhtu.ru.

**Prorokov Anatoly Evgenievich** – Russia, 301665, Novomoskovsk; Novomoskovsk Institute (branch) of Dmitri Mendeleev University of Chemical Technology of Russia; Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Computer Engineering and Information Technologies; a\_prorokov@mail.ru.

**Bogatkov Valery Nikolaevich** – Russia, 170026, Tver; Tver State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Information Systems; vnbgtk@mail.ru.

**Vent Dmitry Pavlovich** – Russia, 301665, Novomoskovsk; Novomoskovsk Institute (branch) of Dmitri Mendeleev University of Chemical Technology of Russia; Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Automation of Production Processes; dpvent@nirhtu.ru.

