

**Пискарёва Татьяна Ивановна,**  
к.т.н., доцент, ОГУ  
Piskaryova Tatyana Ivanovna  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, OSU

**Горшкова Полина Сергеевна,** Студент, филиал в г Оренбург  
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина  
Gorshkova Polina Sergeevna, Student, Branch in Orenburg  
Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National University)

**РАЗРАБОТКА ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ИНГИБИТОРОВ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ  
НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПРИРОДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ  
ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ**  
**DEVELOPMENT OF DOMESTIC HYDRATE FORMATION INHIBITORS BASED  
ON MODIFIED NATURAL COMPOUNDS FOR THE OIL AND GAS INDUSTRY**

**Аннотация.** В приведенной статье рассматривается разработка отечественных низкодозированных ингибиторов-антиагломераторов для нефтегазовой отрасли РФ на основе модифицированных природных соединений как стратегического решения проблемы гидратообразования для обеспечения технологического суверенитета, снижения импортозависимости и минимизации экологического ущерба в условиях Арктики

**Abstract.** The article is devoted to the development of domestic low-dosage anti-agglomerant inhibitors for the Russian oil and gas industry based on modified natural compounds (cellulose esters and surfactants from vegetable oils) as a strategic solution to the hydrate formation problem, aimed at ensuring technological sovereignty, reducing import dependence, and minimizing environmental damage in the Arctic

**Ключевые слова:** Газовые гидраты, ингибиторы гидратообразования, антиагломераты, низкодозированные ингибиторы, поверхностно-активные вещества (ПАВ), импортозамещение

**Keywords:** Gas hydrates, hydrate inhibitors, anti-agglomerants, low-dosage hydrate inhibitors (LDHIs), cellulose, vegetable oils, surfactants, import substitution

Газовые гидраты – эти кристаллообразные вещества, напоминающие рыхлый лед, способны полностью блокировать технологическое оборудование, шлейфы и магистральные трубопроводы. Подобные гидратные пробки приводят к серьезным авариям, вынужденным остановкам добычи и колоссальным экономическим потерям, исчисляемым миллиардами рублей ежегодно [1, 5]. Традиционные методы борьбы с гидратами, такие как глубокая осушка газа, активный подогрев продуктивного потока или аварийное снижение давления, являются чрезвычайно энергозатратными, технологически сложными и зачастую неприменимыми на удаленных и морских месторождениях. В связи с этим, наиболее технологичным, гибким и экономически выгодным методом является применение химических реагентов – ингибиторов гидратообразования [2]. Однако современная ситуация в России характеризуется высокой зависимостью от импортных реагентов, что создает существенные риски в условиях санкционного давления. Поэтому разработка и внедрение собственных, эффективных и адаптированных к российским условиям ингибиторов является не просто научной задачей, а стратегической необходимостью для обеспечения энергетической безопасности и экономической эффективности отрасли [6].



Существует два основных класса химических ингибиторов, принципиально различающихся по механизму действия: термодинамические и низкодозированные. Термодинамические ингибиторы (ТИ), такие как метанол иmonoэтоксигликоль (МЭГ), являются исторически первыми и до сих пор широко применяемыми. Их механизм действия основан на смещении термодинамического равновесия образования гидратов в область более низких температур и более высоких давлений. Молекулы активно взаимодействуют с молекулами воды посредством водородных связей, нарушая структуру жидкой воды и делая ее «менее доступной» для формирования стабильного гидратного каркаса [2, 3]. Несмотря на свою эффективность, ТИ имеют фундаментальный недостаток – чрезвычайно высокие концентрации ввода, которые могут достигать 30-60% от массы воды в системе. Для крупного месторождения это означает необходимость закупки, хранения и транспортировки десятков тысяч тонн реагента в год, что влечет за собой огромные логистические и экономические издержки. Кроме того, метанол обладает высокой токсичностью, а его утечки наносят значительный экологический ущерб [5].

В отличие от них, низкодозированные ингибиторы (НДИ) эффективно работают при концентрациях всего 0,1-1,0% от массы воды, что на два порядка ниже.

Несмотря на доказанную эффективность НДИ, их широкое применение в России сталкивается с системными проблемами. Во-первых, многие высокоэффективные реагенты являются разработками зарубежных сервисных компаний (Baker Hughes, Schlumberger, Halliburton) и имеют высокую стоимость. Во-вторых, их полный химический состав и механизм действия часто являются коммерческой тайной, что затрудняет точное прогнозирование их поведения в специфических условиях российских месторождений, характеризующихся особым солевым составом пластовых вод, наличием попутных нефтяных фракций, сероводорода и экстремально низкими температурами [6]. В-третьих, геополитическая ситуация создает риски прерывания поставок, отсутствия технической поддержки и невозможности быстрой адаптации реагентов под меняющиеся условия. В связи с этим, стратегически важной и реально достижимой задачей для российской нефтегазовой отрасли является разработка и организация собственного производства конкурентоспособных НДИ, адаптированных к местным условиям [5, 6]. Одним из наиболее перспективных направлений представляется создание ингибиторов-антиагломераторов на основе модифицированных природных соединений и побочных продуктов других отраслей промышленности.

Конкретным и инновационным предложением является разработка отечественных антиагломератов на основе производных растительных масел и целлюлозы. В качестве основы для таких реагентов можно рассматривать, во-первых, эфиры целлюлозы, такие как метилцеллюлоза (МЦ) и этилгидроксистилцеллюлоза (ЭГЭЦ).

Преимущества предлагаемого решения носят комплексный характер. Во-первых, это использование возобновляемого и легкодоступного отечественного сырья, что кардинально снижает себестоимость конечного продукта по сравнению с импортными аналогами на основе ископаемого сырья. Во-вторых, такие реагенты обладают значительно более высокой биоразлагаемостью и меньшей токсичностью, что критически важно для минимизации экологического следа в уязвимых регионах Крайнего Севера и Арктики [5, 6]. В-третьих, модульный подход к синтезу позволяет проводить тонкую «настройку» молекулярной структуры реагента под конкретные условия эксплуатации – определенный солевой состав воды, температуру, давление и наличие примесей. Это открывает возможность создания целого линейки продуктов для разных месторождений [7]. Экономический эффект от перехода с метанола или импортных НДИ на отечественные антиагломераты будет многократным. Снизятся затраты на закупку реагента и его логистику повысится надежность и бесперебойность работы газотранспортной системы [2, 6].



Внедрение такого реагента потребует четкой последовательности научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. На первом этапе необходимо синтезировать в лабораторных условиях библиотеку перспективных соединений – различных эфиров целлюлозы и этоксилированных ПАВ на основе жирных кислот. На втором этапе проводится их первичный скрининг с помощью высокопроизводительных автоматизированных установок – реакторов гидратообразования типа «Рока» (RCS). На третьем этапе наиболее успешные кандидаты проходят углубленные испытания на реальных пластовых флюидах, отобранных с целевых месторождений. Здесь изучается влияние минерализации воды, присутствия нефти, сероводорода и других факторов на эффективность реагента [5, 6]. После этого следует этап опытно-промышленных испытаний, отработки технологии синтеза в масштабах пилотной установки и создания нормативно-технической документации [7]. Такой комплексный подход позволит в сжатые сроки создать конкурентоспособный отечественный продукт, способный заменить импортные аналоги и обеспечить технологический суверенитет российской газовой отрасли в критически важном вопросе предотвращения гидратообразования

**Список литературы:**

1. Валиуллин, А.А., Валиуллин, Р.А. Ингибиование гидратообразования при добыче и транспорте газа: современное состояние и перспективы // Газовая промышленность. – 2020. – № 5 (788). – С. 66–71.
2. Закиров, Т.Р., Соколов, В.И. Перспективы применения низкодозированных ингибиторов гидратообразования на арктических месторождениях РФ // Нефтяное хозяйство. – 2021. – № 9. – С. 94–98.
3. Григорьев, В. И. Природные ингибиторы гидратообразования: от фундаментальных исследований к промышленному применению / В. И. Григорьев, Т. К. Серова // Нефтяное хозяйство. – 2023. – № 5. – С. 78-83.
4. Зайцев, С. Ю. Разработка и испытания отечественных ингибиторов гидратов на основе модифицированных полисахаридов для условий Арктики / С. Ю. Зайцев, А. М. Волков, П.Н. Иванова // Газовая промышленность. – 2022. – № 4 (820). – С. 56-63.
5. Калинин, А. А. Модификация экстрактов растительного сырья для создания эффективных реагентов-гидратообразователей / А. А. Калинин, О. Р. Смирнова // Химия в интересах устойчивого развития. – 2021. – Т. 29, № 6. – С. 702-710.
6. Морозов, П. С. Технология получения и анализ эффективности новых ингибиторов на основе отечественного сырья / П. С. Морозов, И. В. Дмитриева // Вестник МГТУ. Сер. Нефть и газ. – 2020. – № 3 (19). – С. 112-120.
7. Петрова, Е. А. Импортозамещение в нефтегазовой химии: перспективы применения модифицированных природных соединений в качестве ингибиторов гидратообразования / Е.А. Петрова // Бурение и нефть. – 2021. – № 12. – С. 34-39

