

# Исследование склеротических явлений в горизонтальном трубопроводе при течении углеводородного газа<sup>1</sup>

Шагапов В.Ш.\* , Мусакаев Н.Г.\*\* , Уразов Р.Р.\*\*

\*Институт механики им. Р.Р. Мавлютова УНЦ РАН, Уфа,

\*\*Тюменский филиал Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН, Тюмень,

\*\*\*Филиал Уфимского государственного авиационного технического университета в г. Ишимбай, Ишимбай

На основе предложенной математической модели проведено численное исследование склеротических явлений в горизонтальном трубопроводе, связанных с отложениями газовых гидратов на стенках канала при транспортировке влажного природного газа. Рассмотрены различные условия транспортировки газа: давление имеет постоянное значение на входе или на выходе из трубопровода, либо давление постоянно на обоих концах трубопровода. Изучен процесс диссоциации газогидратных отложений при подаче в газовый поток метанола.

## 1. Введение

Нормальная эксплуатация ряда газовых месторождений зачастую бывает осложнена образованием газовых гидратов в скважинах, системах сбора и подготовки углеводородного, для которых перекрытие проходных сечений труб приводит к срыву работы оборудования и авариям [1–3]. При изучении проблемы образования газовых гидратов в трубопроводах традиционными являются задачи определения участка канала, подверженного склерозу, и его протяженности, вычисления скорости и времени полного перекрытия проходного сечения трубы.

Известно, что необходимым условием для образования газовых гидратов является наличие воды (или ее паров) и легких углеводородных компонент, которые растворяясь в воде при определенных температурах и давлениях, образуют твердую фазу [1, 4]. Поэтому важно выбрать такие режимы транспортировки газа, при которых температура потока  $T_g$  выше температуры образования гидрата  $T_s$ . Такое исследование возможно на основе математической модели, адекватно описывающей процессы, происходящие при течении углеводородного газа в системах наземного газопромыслового оборудо-

ования. В наших статьях [5, 6] такая модель приведена.

## 2. Численное исследование

На основе предложенной математической модели для различных условий транспортировки газа определим изменение параметров газового потока в подземном трубопроводе с учетом образования или диссоциации газогидратных отложений на внутренних стенках канала. В расчетах приняты следующие значения параметров: длина трубопровода составляет 10 км, его внутренний диаметр 22 мм, начальная температура грунта  $T_{G0} = 6^\circ \text{C}$ , массовый расход  $m_g = 0,7 \text{ кг/с}$ , температура газа на входе  $T_{g0} = 50^\circ \text{C}$ , массовая концентрация влаги в нулевом сечении  $k_{w0} = 0,003$ . Ось  $z$  направлена по течению газа, ее начало совпадает с входным сечением трубопровода.

На рис. 1 представлено распределение температуры (температура стенки трубопровода практически совпадает с температурой потока) по длине трубопровода (отложения газовых гидратов на стенках трубопровода отсутствуют). Значение равновесной температуры гидратообразования достигается при температуре стенки в сечении с координатой  $z_s \approx 2 \text{ км}$ , т.е. начиная с этого участка и ниже по течению возможно образование на внутренних стенках трубопровода газовых гидратов.

Рассмотрим режим транспортировки газа при

<sup>1</sup>Работа выполнена при финансовом содействии Совета по грантам Президента Российской Федерации для государственной поддержки ведущих научных школ РФ (НШ-834.2012.1).

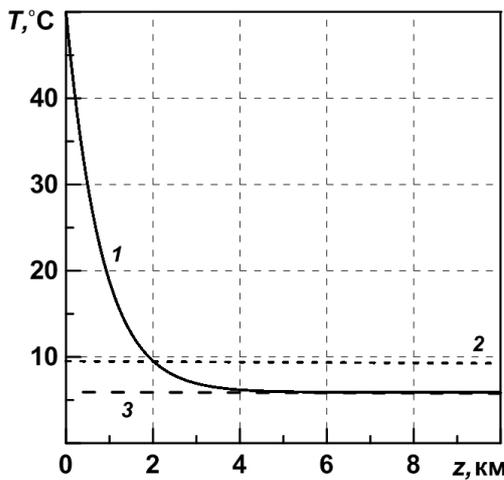


Рис. 1. Изменение по координате  $z$  температуры в начальный момент времени. 1 — температура газа; 2 — температура гидратообразования; 3 — температура грунта

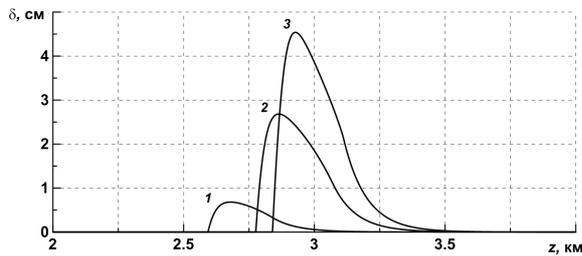


Рис. 2. Изменение по координате  $z$  толщины отложений газогидратов на внутренних стенках трубопровода. Линии 1, 2 и 3 соответствуют времени  $t = 5, 20$  и  $30$  сут

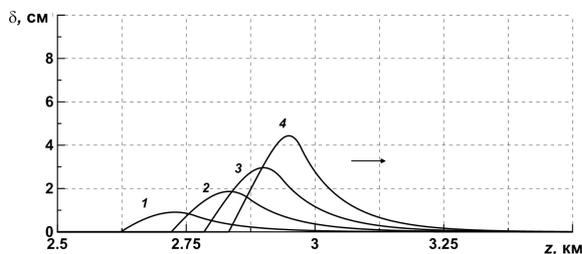


Рис. 3. Профилограмма отложений газогидратов на внутренних стенках трубопровода. Линии 1, 2, 3 и 4 соответствуют времени  $t = 5, 10, 15$  и  $20$  сут

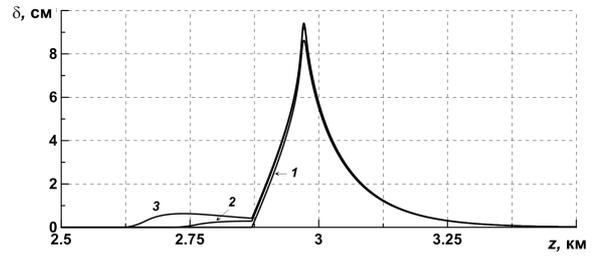


Рис. 4. Изменение по координате  $z$  толщины газогидратного слоя в различные моменты времени. Линии 1, 2 и 3 соответствуют  $t = 25, 27$  и  $30$  сут

постоянном во входном сечении давлении ( $p_0 = 3,2$  МПа) [6]. Время работы трубопровода примем равным 30 суток. За это время из-за отложений газовых гидратов проходное сечение составляет примерно 1/3 от первоначального (рис. 2). Из рис. 2 видно, что происходит своеобразное движение твердых отложений вниз по потоку: на левой кромке слоя гидраты разлагаются, а ниже по потоку происходит рост твердых отложений.

Проведенные расчеты показывают, что при течении газа в трубопроводе с постоянным давлением на выходе ( $p_L = 3,1$  МПа) формирование профиля газогидратных отложений до определенного момента времени происходит по похожему сценарию (рис. 3). Однако при дальнейшей эксплуатации трубопровода из-за повышающегося давления на входе (и соответственно смещению зоны гидратообразования влево) перед первой зоной твердых отложений образуется вторичная (рис. 4).

Рассмотрим режим транспортировки природного газа в трубопроводе при заданном давлении на входе и выходе трубопровода. При расчетах использовались следующие данные:  $p_0 = 3,2$  МПа,  $p_L = 3$  МПа. Расход газа  $m_g$  — неизвестная функция времени. Для данного режима режим транспортировки газа также наблюдается появление вторичной зоны твердых отложений (рис. 5). В этом случае по мере утолщения гидратного слоя расход газа падает, а давление перед слоем твердых отложений растет, что приводит к более раннему (по координате  $z$ ) выполнению условия образования газовых гидратов.

На рис. 6 и 7 представлены результаты расчетов толщины отложений газогидратов на внутренней стенке трубопровода при подаче в поток метанола. Если гидратные отложения существенным образом не перекрыли проходное сечение канала (на рис. 6 проходное сечение составляет 1/3 от первоначального), то подача в поток ингибиторов явля-

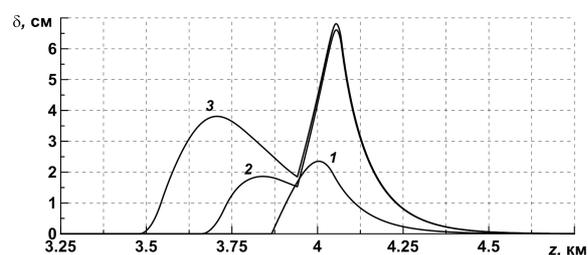


Рис. 5. Профилограмма отложений газогидратов на внутренних стенках трубопровода с заданным перепадом давления

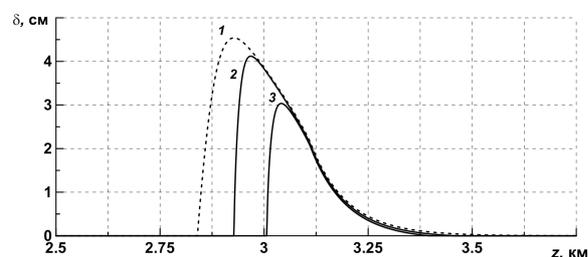


Рис. 6. Изменение по координате  $z$  толщины газогидратного слоя при подаче в газовый поток метанола с массовым расходом 250 кг/сут. Штриховая линия 1 соответствует профилю газогидратных отложений в начальный момент времени (слой образовался за 30 сут). Линии 2 и 3 соответствуют времени  $t = 24$  и 48 час

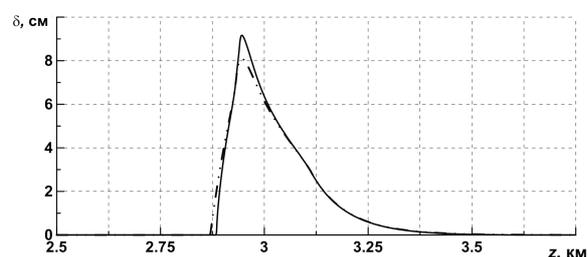


Рис. 7. Профилограмма отложений газовых гидратов на внутренних стенках трубопровода при подаче в газовый поток метанола. Штриховая линия соответствует профилю газогидратных отложений в начальный момент времени (слой образовался за 36 сут). Сплошная линия соответствуют времени 3,5 час.

ется эффективным средством борьбы с образовавшимся слоем твердых отложений: из рис. 6 видно, что левая кромка газогидратной пробки разлагается и общий объем газогидратных отложений за двое суток значительно уменьшился. Если же твердые отложения имеют значительную толщину (на рис. 7 проходное сечение составляет 1/12 от первоначального), то подача метанола с массовым расходом 250 кг/сут уже не препятствует перекрытию проходного сечения трубы (рис. 7). Картина не изменяется и при увеличении расхода метанола.

### Список литературы

- [1] Макогон Ю.Ф., Саркисянц Г.А. Предупреждение образования гидратов при добыче и транспорте газа. М.: Недра, 1966. 186 с.
- [2] Бондарев Э.А., Габышева Л.Н., Каниболотский М.А. Моделирование образования гидратов при движении газа в трубах // Известия АН СССР. Механика жидкости и газа. 1982. № 5. С. 105–109.
- [3] Истомина В.А., Квон В.Г. Предупреждение и ликвидация газовых гидратов в системах добычи газа. М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2004. 506 с.
- [4] Гужов А.И., Титов В.Г., Медведев В.Ф., Васильев В.А. Сбор, транспорт и хранение природных углеводородных газов. М.: Недра, 1978. 401 с.
- [5] Шагапов В.Ш., Мусакаев Н.Г., Уразов Р.Р. Математическая модель течения природного газа в трубопроводах с учетом диссоциации газогидратов // Инженерно-физический журнал. 2008. Т. 81, № 2. С. 271–279.
- [6] Shagapov V.Sh., Urazov R.R., Musakaev N.G. Dynamics of formation and dissociation of gas hydrates in pipelines at the various modes of gas transportation // Heat and mass transfer. 2012, DOI: 10.1007/s00231-012-1000-3.