

Васильев Дмитрий Сергеевич

К ВОПРОСУ О РАСЧЕТАХ ЧАСТОТЫ ПРОХОЖДЕНИЯ ЖИДКОСТНО-ГАЗОВЫХ ПРОБКОВЫХ СТРУКТУР В ПРОМЫСЛОВЫХ ТРУБОПРОВОДАХ

Вследствие большого влияния на безопасную эксплуатацию промысловых нефтегазопроводов структур углеводородных потоков, транспортируемых по трубам, разрабатываются зависимости и формулы, основанные на результатах проведенных опытов и позволяющие рассчитать интересующие инженеров параметры пробкового режима. В настоящей статье представлены методы расчета частоты прохождения по трубопроводу жидкостно-газовых пробковых структур, дающие удовлетворительные по точности результаты.

Адрес статьи: www.gramota.net/materials/1/2014/3/11.html

Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по рассматриваемому вопросу.

Источник

Альманах современной науки и образования

Тамбов: Грамота, 2014. № 3 (82). С. 46-50. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: www.gramota.net/editions/1.html

Содержание данного номера журнала: www.gramota.net/materials/1/2014/3/

© Издательство "Грамота"

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: www.gramota.net
Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: almanac@gramota.net

По данным сумм осадков, превышающих в полтора раза норму теплого периода, прослежена неравномерность их выпадения, связанная с особенностями атмосферной циркуляции. Рассмотрены причины, под влиянием которых сформировались экстремальные паводки в бассейнах дальневосточных рек летом 2013 г.

Список литературы

1. Василевская Л. Н., Шкаберда О. А., Ламаш Б. Е., Платонова В. А., Кукаренко Е. А. Особенности долгопериодной изменчивости температуры, осадков и сроков наступления второй стадии летнего муссона в заливе Петра Великого // Вестник ДВО РАН. 2013. № 6. С. 71-82.
2. Кубай Б. В., Мендельсон Э. А., Цурикова Т. В. Изменяется ли климат Приморского края? Владивосток: ПУГМС, 2012. 130 с.
3. Шатилина Т. А., Анжина Г. И. Изменчивость параметров азиатской и дальневосточной депрессий во второй половине 20-го столетия // Известия ТИНРО-центра. 2006. Вып. 144. С. 247-258.
4. <http://primpogoda.ru> (дата обращения: 01.11.2013).
5. <http://www.jma.go.jp> (дата обращения: 01.11.2013).
6. <http://www.kremlin.ru/acts/19116> (дата обращения: 01.11.2013).
7. <http://www.meteo.ru/data> (дата обращения: 01.11.2013).

MONTHLY PRECIPITATION AMOUNTS VARIABILITY OF WARM PERIOD IN PRIMORSKY KRAI TERRITORY

Vasilevskaya Lyubov' Nikolaevna, Ph. D. in Geography, Associate Professor
Blokina Valeriya Ivanovna, Ph. D. in Geography, Associate Professor
Far Eastern Federal University (Vladivostok)
Lubavass@mail.ru; blokina.vi@dvfu.ru

The results of the distribution and temporary changes regularities research of precipitation amounts in the territory of Primorsky Krai during the warm period from 1966 till 2013 are presented. The statistical structure and tendencies of monthly precipitation amounts temporary series were analyzed. The reasons, under the influence of which extreme floods in the basins of the Far East rivers were formed in summer of 2013, are considered.

Key words and phrases: Primorsky Krai; extreme monthly precipitation amounts; spatiotemporal characteristics; precipitation amounts distribution; extreme floods.

УДК 622.692

Технические науки

Вследствие большого влияния на безопасную эксплуатацию промысловых нефтегазопроводов структур углеводородных потоков, транспортируемых по трубам, разрабатываются зависимости и формулы, основанные на результатах проведенных опытов и позволяющие рассчитать интересующие инженеров параметры пробкового режима. В настоящей статье представлены методы расчета частоты прохождения по трубопроводу жидкостно-газовых пробковых структур, дающие удовлетворительные по точности результаты.

Ключевые слова и фразы: трубопровод; газожидкостная смесь; пробковая структура; частота прохождения; формулы расчета.

Васильев Дмитрий Сергеевич

*Кубанский государственный технологический университет
dim-vas@mail.ru*

**К ВОПРОСУ О РАСЧЕТАХ ЧАСТОТЫ ПРОХОЖДЕНИЯ ЖИДКОСТНО-ГАЗОВЫХ
ПРОБКОВЫХ СТРУКТУР В ПРОМЫСЛОВЫХ ТРУБОПРОВОДАХ[©]**

При транспорте газонефтяной смеси по промысловым трубопроводам от устья скважины до пункта первичной подготовки нефти в трубах присутствуют следующие структуры потока: волновая, пробковая, пробково-диспергированная, кольцевая, эмульсионная и некоторые другие. Области существования той или иной структуры зависят от расходных параметров (скорости газожидкостной смеси и объемного расходного газосодержания), направления движения продукта, рабочего режима транспорта, а также от физических свойств фаз и геометрии трубы.

В процессе эксплуатации промысловых нефтегазопроводов наибольшие сложности при регулировании работы трубопроводов возникают при пробковой структуре потока, когда в трубопроводах наблюдаются значительные перепады давления. Отличительной особенностью пробковой структуры потока является ее постоянное изменение с течением времени, вызванное специфичным распределением фаз.

На Рисунке 1 представлена физическая модель пробковой структуры, на которой изображены возможные состояния газожидкостной смеси при данном виде течения [11].

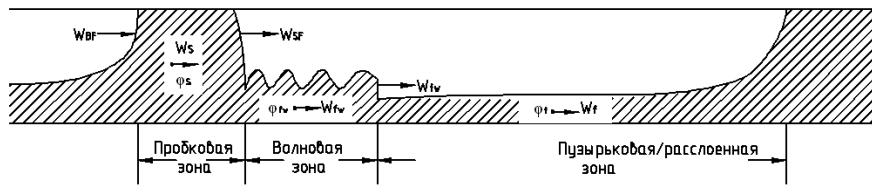


Рис. 1. Физическая модель пробковой структуры потока газожидкостной смеси

Передняя часть жидкостной пробки движется со скоростью W_{SF} , передняя часть скопления газа (пузыря) – со скоростью W_{BF} . Скорость фазы внутри пробки, W_S , учитывая гомогенную структуру самой пробки, является скоростью смеси W_m ($W_S = W_m = W_{SL} + W_{SG}$), где W_{SL} , W_{SG} – средние скорости, соответственно, жидкости и газа (м/с) [Ibidem]. Данные величины являются отношением объемного расхода жидкости (газа) к площади сечения трубопровода, и их физический смысл состоит в том, что для них не учитывается наличие в трубопроводе второй фазы.

Перед пробкой могут наблюдаться два вида течения смеси: волновой и расслоенный. В ходе формирования пробки перед ней присутствует волновая структура, скорость движения которой – W_{fw} (м/с). Постепенно более медленный волновой тип течения переходит в пробковый, и размеры пробки стабилизируются. В этот момент перед пробкой находится только жидкость, сбрасываемая с «хвоста» впереди идущей пробки. Скорость смеси на данном участке обозначается W_f , истинное содержание жидкости – ϕ_{fw} и ϕ_f для волновой и расслоенной структуры, соответственно. Истинное содержание жидкости в пробке обозначается ϕ_S .

На Рисунке 2 схематично изображена упрощенная модель пробковой структуры течения смеси, представляющая собой переменный поток газовых «карманов» (*Taylor-bubbles* – «пузыри Тэйлора») и жидкостных пробок [1].

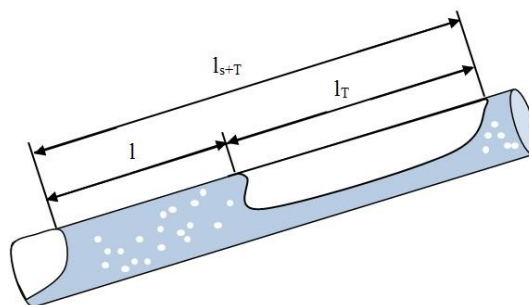


Рис. 2. Упрощенная модель пробковой структуры потока газожидкостной смеси: l_s – длина жидкостной пробки (м);

l_g – длина газового кармана (м); l_{s+g} – общая длина пробки из жидкости и газа (м)

Возможность предугадать поведение пробковой структуры потока двухфазной смеси в трубопроводах большой протяженности является важным аспектом для нефтегазовых месторождений, ведь определение основных физико-геометрических параметров пробок, таких как длина (l_s) и частота их прохождения (v_s), дает возможность внести необходимые корректировки в расчет эксплуатационного ресурса трубопровода и позволяет спрогнозировать возможный выход из строя трубопровода без проведения частых мероприятий по мониторингу его состояния. Расчет вышеуказанных параметров пробкового режима является трудноразрешимой задачей, так как природа жидкостной пробки и условия ее существования находятся на стадии исследования. Вследствие этого разрабатываются зависимости и формулы, основанные на результатах проведенных опытов и позволяющие рассчитать интересующие инженеров параметры пробкового режима. В настоящей статье представлены методы расчета частоты прохождения жидкостно-газовых пробковых структур (v_s), дающие удовлетворительные по точности результаты.

Одна из первых зависимостей для расчета частоты прохождения пробок была разработана G. A. Gregory и D. S. Scott в 1969 г. [4] на основании данных, используемых M. G. Hubbard [8]. В качестве рабочей среды в ходе проведения опытов использовалась смесь углекислого газа и воды [6; 11]:

$$v_s = 0,0226 \left(\frac{W_{SL}}{gD} \right)^{1,2} \left[\frac{19,75}{W_m} + W_m \right]^{1,2}, \quad (1)$$

где g – ускорение свободного падения (м/с²);

D – внутренний диаметр трубопровода (м).

Согласно условиям экспериментов и проведенным анализам формулы (1), область применения формулы включает в себя:

- трубы малого диаметра (до 150 мм);
- жидкости с низкой вязкостью;
- средние скорости жидкой и газовой фаз $W_{SL} < 1,3$ м/с, $W_{SG} < 10$ м/с.

E. J. Greskovich и *A. L. Shrier* в 1972 г. [5] обнаружили среднеквадратичное отклонение результатов расчетов по формуле (1) в 16%. Используя собственные исходные данные совместно с данными *M. G. Hubbard*, *E. Kordyban* и *T. Ranov* [8; 9], они преобразовали корреляцию *G. A. Gregory* и *D. S. Scott* [4] с помощью ввода в расчет числа Фруда (Fr_m) и объемного содержания жидкости (β_L) [3]:

$$v_s = 0,0226 \left[\beta_L \cdot \left(\frac{2,02}{D} + Fr_m \right) \right]^{1,2}, \quad (2)$$

$$\beta_L = \frac{W_{SL}}{W_m}, \quad (3)$$

$$Fr_m = \frac{W_m^2}{gD}. \quad (4)$$

Данная формула применима для систем со следующими параметрами:

- горизонтальное положение трубы;
- трубы малого диаметра (до 150 мм);
- жидкости с низкой вязкостью;
- средние скорости жидкой и газовой фаз $W_{SL} < 1,3$ м/с, $W_{SG} < 10$ м/с.

Зависимость, разработанная *N. I. Heywood* и *J. F. Richardson* в 1979 г. [7], основывается на результатах замеров истинного объемного содержания жидкости для смеси вида «вода-воздух» в трубе диаметром 42 мм с помощью рентгеновских лучей. Используемый метод замеров позволил также определить плотность жидкости при ее истинном объемном содержании и, таким образом, была получена следующая формула [3]:

$$v_s = 0,0364 \cdot \beta_L \left[\frac{2,02}{D} + \frac{W_m^2}{gD} \right]^{1,06}. \quad (5)$$

Область применимости:

- горизонтальное и слегка наклонное положение трубы;
- трубы малого диаметра (до 50 мм);
- жидкости с низкой вязкостью.

Американский ученый *G. J. Zabaras*, основываясь на 399-ти опытных результатах, после тщательного анализа существующих методик, предложил следующую формулу для расчета частоты прохождения жидкостной пробки [13]:

$$v_s = 0,0226 \cdot \left(\frac{W_{SL}}{gD} \right)^{1,2} \cdot \left[\frac{64,8}{W_m} + 3,281 \cdot W_m \right]^{1,2} \left[0,836 + 2,75 (\sin \theta)^{0,25} \right], \quad (6)$$

где θ – угол между осью трубы и горизонтом, град.

G. J. Zabaras ограничивает область применимости своей зависимости следующими условиями:

- горизонтальное и наклонное положение трубы (до 11°);
- трубы малого и среднего диаметра (от 0,0254 до 0,2 м);
- жидкости с низкой вязкостью.

Наиболее часто применяемая формула для инженерных расчетов частоты прохождения пробок по трубопроводу разработана компанией “Shell” [2] на основе опытов *N. I. Heywood* и *J. F. Richardson* [7]:

$$v_s = \left[F_{\min} + A (F_m^{0,1} - F_{S,\min}^{0,1})^2 \right] \cdot \left(\frac{g}{D} \right), \quad (7)$$

$$F_{\min} = 0,048 \cdot F_{SL}^{0,81}, \quad (8)$$

$$F_{S,\min} = 4,9 \cdot F_{SL}^{0,64}, \quad (9)$$

$$A = 0,73 \cdot F_{SL}^{2,34}, \quad (10)$$

$$F_m = \sqrt{\frac{W_m^2}{gD}}, \quad (11)$$

$$F_{SL} = \beta_L F_m. \quad (12)$$

Данная формула применяется при расчетах горизонтальных трубопроводов малого диаметра (до 100 мм), используемых для транспорта жидкостей с низким значением вязкости.

R. Shea в 2004 г. [12] во время анализа данных, полученных с нефтегазового месторождения, выявил зависимость частоты прохождения пробок от длины трубопровода. Таким образом, впервые была разработана формула, учитывающая длину трубопровода [1]:

$$v_s = \frac{0,47 \cdot (\beta_L W_L)^{0,75}}{D^{1,2} \cdot S^{0,55}}, \quad (13)$$

где S – длина трубопровода от точки ввода продукта до исследуемого участка трубопровода (м).

Несмотря на то, что данная формула основывается исключительно на анализе опытных данных и не имеет под собой четкой теоретической основы, она хорошо зарекомендовала себя при расчетах параметров течения газожидкостной смеси в трубах различного диаметра, ввиду чего используется в программном обеспечении *OLGA 2000*. Область применимости формулы *R. Shea* включает в себя горизонтальные трубы любого диаметра.

B. Gokcal, E. M. Al-Safran [3] провели ряд исследований влияния механизма образования пробок и изменения структуры потока на величину частоты их прохождения в газожидкостных потоках горизонтальных труб и разработали формулу, представляющую собой функцию диаметра трубы D , действительной скорости жидкости W_L и отношения скорости фазы внутри жидкостной пробки W_s к скорости смеси W_m :

$$\ln(v_s) = 0,8 + 1,53 \cdot \ln(W_L) + 0,27 \cdot \left(\frac{W_s}{W_m} \right) - 34,1 \cdot D, \quad (14)$$

Приведенные выше формулы для расчета частоты прохождения пробок по горизонтальным и наклонным трубопроводам отображают зависимость рассчитываемой величины от геометрических, механических параметров и эксплуатационных условий. В то же время, не учитывается вязкость транспортируемой среды, так как большинство опытов проводилось с использованием воды и воздуха. Таким образом, при расчете частоты прохождения жидкостных пробок по трубопроводам главными факторами являются выбор правильной формулы и тщательная оценка возможной погрешности в результате расчета.

В работе [10] представлены средняя абсолютная погрешность и стандартное отклонение для большинства представленных формул расчета частоты прохождения газожидкостных пробковых структур по промысловым нефтегазопроводам. Так, для смесей с вязкостью в области 30 сПз наименьшая погрешность достигается при применении формулы (1), при вязкости в районе 1 сПз – формулы (7).

Выводы

Программное обеспечение, применяющееся для гидравлического расчета промысловых трубопроводов, предлагает большой выбор формул и зависимостей для определения перепада давления, температуры транспортируемой смеси, в то же время, ограничивая расчет параметров жидкостных пробок одной, максимум, двумя формулами.

В настоящей статье представлены наиболее точные зависимости для расчета частоты прохождения пробок по трубопроводу, которые используются инженерами иностранных нефтегазовых компаний при проектировании и обустройстве месторождений нефти и газа и могут быть применены в отечественной промышленности.

Список литературы

1. **Bratland O.** Pipeflow 2: Multi-Phase Flow Assurance. Chonburi, 2010.
2. **Clayton T. C.** Multiphase Flow Handbook. Taylor and Francis Group, LLC, 2006.
3. **Gokcal B., Al-Safran E. M.** Prediction of Slug Frequency for High-Viscosity Oils in Horizontal Pipes // SPE Projects, Facilities & Construction. Texas, 2010. № 5. P. 136-144.
4. **Gregory G. A., Scott D. S.** Correlation of Liquid Slug Velocity and Frequency in Horizontal Gas-Liquid Slug Flow // AIChE Journal. New York, 1969. № 15. P. 933-935.
5. **Greskovich E. J., Shrier A. L.** Slug Frequency in Horizontal Gas-Liquid Slug Flow // Industrial and Engineering Chemistry Process Design and Development. Washington, 1972. № 11.
6. **Hernandez-Perez V., Abdulkadir M., Azzopardi B. J.** Slugging Frequency Correlation for Inclined Gas-Liquid Flow [Электронный ресурс]. URL: <http://waset.org/publications/15449> (дата обращения: 09.02.2014).
7. **Heywood N. L., Richardson J. F.** Slug Flow of Air-Water Mixtures in a Horizontal Pipe: Determination of Liquid Holdup by Gamma-Ray Absorption // Chemical Engineering Science. Brisbane, 1979. № 34.
8. **Hubbard M. G.** An Analysis of Horizontal Gas-Liquid Slug Flow: PhD dissertation. University of Huston, 1965.
9. **Kordyban E., Ranov T.** Mechanism of Slug Formation in Horizontal Two-Phase Flow // Journal of Basic Engineering. New York, 1970. № 4. P. 857-864.
10. **Rigoberto E. M. Morales, Cozin C.** A Comprehensive Analysis on Gas-Liquid Slug Flows in Horizontal Pipes // Offshore Technology Conference. Rio de Janeiro, 2013.
11. **Scott S. L., Kouba G. E.** Advances in Slug Flow Characterization for Horizontal and Slightly Inclined Pipelines // SPE Projects, Facilities & Construction. Texas, 1990. № 5. P. 125-140.
12. **Shea R.** Frequency Prediction Method Comparison // BHRG Multi-Phase Production Technology Proceedings. Bannf, 2004.
13. **Zabaras G. J.** Prediction of Slug Frequency for Gas-Liquid Flows // SPE Projects, Facilities & Construction. Texas, 2000. № 5. P. 252-258.

ON ISSUE OF CALCULATIONS OF LIQUID-GAS OBSTRUCTION STRUCTURES PASSING FREQUENCY IN FIELD PIPELINES

Vasil'ev Dmitrii Sergeevich
Kuban State Technological University
dim-vas@mail.ru

Owing to the great influence of hydrocarbon streams structures transported through pipes on the safe operation of field oil and gas pipelines, dependences and formulas, which are based on the results of conducted experiments and allow calculating obstruction mode parameters that are interesting for engineers, are developed. In this article the methods of the calculation of liquid-gas obstruction structures passing frequency in the pipeline, which give satisfactory results in relation to accuracy, are shown.

Key words and phrases: pipeline; liquid-gas mixture; obstruction structure; passing frequency; calculation formulas.

УДК 007.5

Технические науки

Манипуляционный робот представляет собой сложную многомерную систему. В работе предлагается новый подход к построению линейного управления манипулятором за счет применения локальных регуляторов. Это дает возможность получить простое, но достаточно эффективное управление роботом. Используются преимущества линейного управления, анализируется устойчивость.

Ключевые слова и фразы: механизм; манипулятор; система; управление; матрица.

Воронин Юрий Юрьевич, к.т.н.

Университет машиностроения (МАМИ), г. Москва
uru_v_2012@mail.ru

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯЦИОННЫМ РОБОТОМ С ЛОКАЛЬНЫМИ РЕГУЛЯТОРАМИ[©]

К роботам при использовании на производстве предъявляются высокие требования к качеству управления. Необходимо отметить, что сам манипуляционный робот с приводами степеней подвижности представляет собой сложный многомерный объект управления. Предлагается подход к построению системы управления манипулятором, основанный на применении локальных линейных регуляторов. Система отличается простотой и обеспечивает хорошее качество управления роботом.

Рассмотрим модель манипуляционного робота с приводами. Исполнительный механизм в матричной форме [2]:

$$A(q)\ddot{q} + B(q, \dot{q}) + G(q) = \mu,$$

где $q = (q_1, q_2, \dots, q_n)^T$ – обобщенные координаты (углы в сочленениях робота);

$\mu = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n)^T$ – моменты нагрузки приводов степеней подвижности;

$A(q)$ – матрица инерции $n \times n$;

$G(q)$ – моменты гравитационных сил;

$B(q, \dot{q})$ – моменты скоростных сил.

Уравнения приводов имеют вид [1]:

$$J_i \ddot{q}_i + \mu_i = S_i u_i(t) + N_i \dot{q}_i, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

где $J_i = (k_P^2 J_\partial)_i$ – собственные приведенные моменты инерции приводов. Здесь k_P – передаточное число редуктора, J_∂ – момент инерции ротора двигателя (имеются в виду двигатели постоянного тока с независимым возбуждением);

$S_i = \left(\frac{k_P c_M}{R} \right)_i$. Здесь c_M – моментный коэффициент двигателя, R – сопротивление обмотки ротора двигателя;

$N_i = \left(\frac{c_e c_M k_P}{R} \right)_i$ – скоростные коэффициенты приводов. Здесь c_e – коэффициент противоэДС двигателя привода;

u_i – управляющие напряжения приводов.