

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ЖИВЫХ СЕЧЕНИЙ ФАЗ ДВУХФАЗНЫХ ПОТОКОВ ПРИ ВАРЬИРОВАНИИ РАСХОДА ГАЗООБРАЗНОЙ ФАЗЫ

© 2009 Ю. С. Левкин

Тольяттинский государственный университет

Рассматриваются изменения живых сечений фаз в двухфазных потоках в зависимости от их расходов. Представлены две номограммы, которые помогают определению живых сечений обеих фаз по расходным и по скоростным характеристикам двухфазных потоков.

Двухфазный поток, живые сечения, газообразная фаза, жидкая фаза, расход газа, расход жидкости.

При эксплуатации нефтяных и газоконденсатных месторождений сопутствующими факторами всегда являлись огромные давления, в несколько сот атмосфер, и высокие температуры. Фонтанная «ёлка», находящаяся под влиянием этих факторов, работает в вибрационных режимах пульсаций. Объект исследования - транспорт двухфазной смеси по трубам при стратифицированном режиме, который возможен на значительных расстояниях от устья скважин. По мере уменьшения давления в системе трубопровода происходит активная дегазация жидкой фазы, приводящая к увеличению расхода газа, который при совместной транспортировке двухфазной смеси воздействует на жидкую фазу как штуцер, уменьшающий расход жидкости.

В отводящей трубе, по которой движется двухфазная смесь углеводородов, дегазация нефти позволяет постоянно наращивать расход газа, пока не произойдёт полная её дегазация. Если целью транспортировки является отбор нефти, то естественное штуцирование газовой фазы будет снижать его добычу. Выделяющийся газ наращивает давление в системе, что приводит к «раздавливанию» струи жидкой фазы, увеличивая скорость её движения для поддержания прежнего расхода. Количественное снижение расхода жидкой фазы подтверждают эксперименты.

В лабораторной установке использовалась прямоугольная трубка из органи-

ческого стекла, по которой двигалась двухфазная смесь, каждая фаза которой занимала по 50% живого сечения трубы. Конфигурация и материал трубы были выбраны для эффективного визуального контроля. Рычажными весами измерялся расход жидкой фазы, ротаметром РС-5 измерялся расход воздуха. Уровень раздела фаз измерялся измерительной линейкой. В таблице 1 приведены полученные результаты. Жидкость самотёком подавалась из алюминиевого бака с высоты 2660 см, а расход её регулировался краном. Воздух в систему подавался из заводской компрессорной установки. Длина трубки 80 см, а проходное сечение (20×4) мм.

Таблица 1. Зависимость живых сечений двух фаз от их расходных характеристик

Q_B л/мин	1,833	1,791	1,75	1,694	1,286
Q_G л/с	0,55	1,30	1,95	2,70	3,40
Γ мм ²	40	42	44,8	48	56,4
ω мм ²	40	38	35,2	32	23,6

При прозрачных стенках и постоянной ширине трубы замеры выполнялись визуально. Используем формулу [1]

$$Q = \int d = \omega, \quad (1)$$

где Q – расход, л/мин;
 ω – живое сечение, мм²;
 – скорость двух фаз, см/мин.

Так как двухфазный ламинарный поток является носителем двух автономных потоков, то нахождение средних скоростей фаз возможно по формуле (1).

Построим трёхмерную номограмму. Горизонтальная плоскость состоит из расхода воды Q_B и расхода газа Q_G , которые по мере транспортировки изменяют свои значения, а живые сечения обеих фаз (ω_B и ω_G) будут лежать на оси Z (рис. 1).

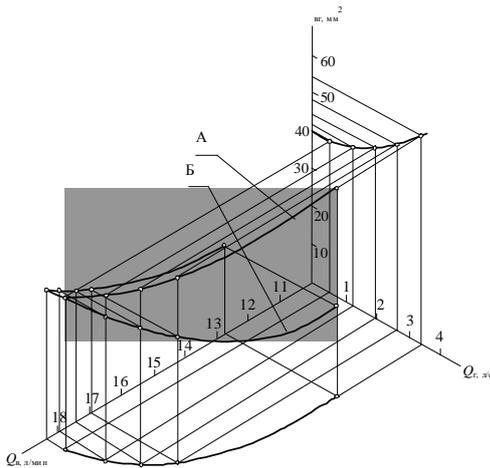


Рис. 1. Пространственная номограмма по определению живых сечений обеих фаз по их расходным характеристикам

Получается цилиндрическая поверхность общего положения, образующими которой являются отрезки прямых, а концы этих отрезков представляют значения живых сечений для того или иного сочетания расходов фаз двухфазного потока. Направляющей служит кривая расходов двух фаз (Q_B и Q_G), то есть конкретные параметры двухфазного потока, которым соответствуют значения проекций образующих, проецирующихся конкурирующими точками на горизонтальную плоскость. Полученная пространственная кривая цилиндрической поверхности представлена образующими А и Б. Нижнее основание (Б) характеризует живое сечение жидкой, а верхнее основание (А) - газообразной фазы двухфазного потока.

При транспортировке нефти и газа движущаяся нефть под давлением находится в насыщенном состоянии, и дегазация её происходит по мере продвижения

по трубе на значительные расстояния. Прогнозирование загруженности трубопровода каждой из фаз транспортируемых углеводородов проводится по живым сечениям, которые представлены в виде отрезков образующих цилиндрической поверхности номограммы. Верхнее основание этой поверхности представлено в виде кривой, определяющей соотношение живого сечения (ω_G) к его расходу (Q_G) газообразной фазы двухфазной смеси. Кривая нижнего основания этой поверхности характеризует соотношение между живым сечением (ω_B) и расходом (Q_B) жидкой фазы двухфазной смеси.

Зависимость между расходами (Q_G) и (Q_B) представлена в виде кривой, каждая точка которой характеризует соотношение точечных расходов обеих фаз.

В таблице 1 представлены значения живых сечений фаз двухфазного потока в трубе с постоянным внутренним сечением или постоянным живым сечением обеих фаз при варьировании значений точечных расходных характеристик двухфазного потока.

Результаты получены опытным путём без влияния вибрации. Гладкие поверхности верхней стенки трубы и жидкости были руслом движения воздушной фазы, а жидкая фаза контактировала с нижней стенкой трубы и нижним слоем воздушной фазы. Контакт с боковыми стенками испытывали обе фазы. Как пневматические, так и гидравлические сопротивления в работе не учитывались.

Живое сечение, занятое двумя фазами потока, можно представить как

$$= h*b, \tag{2}$$

где h – высота трубы, мм;

b – ширина трубы, мм.

В таблице 1 приведены расходы воды и газа (Q_B и Q_G), на которые воздействуют живые сечения двухфазного потока. С увеличением расхода Q_G воздушной фазы увеличивается живое сечение ω_G , приводящее к уменьшению живого сечения воды (ω_B) и увеличению скорости её течения при условии неразрывности:

$$\Gamma = \frac{Q_\Gamma}{\Gamma}, \quad \nu = \frac{Q_\nu}{\nu} \quad (3)$$

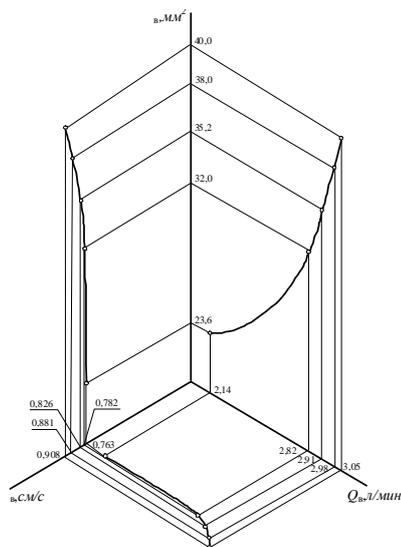


Рис. 2. Зависимость изменения скорости жидкой фазы от расхода и живого сечения

На рис. 2 представлен процесс изменения скорости жидкой фазы. Плоскость $Q_\nu \omega_\nu$ задана геометрическим элементом, верхние три точки которого представляют линейную зависимость. Постепенное снижение величины живого сечения до критической отметки 32 мм^2 и расхода воды до $2,82 \text{ л/мин}$ приводит к смене структуры двухфазного потока: стратифицированный поток трансформируется в плёночный. На рис. 2 смена структуры отражается в виде изменения геометрического элемента (рис.2): прямая плавно переходит в кривую. Характерной особенностью этого процесса является движение жидкости только по нижней стенке трубы, так как геометрический рисунок сечения трубы не позволяет плёнке перемещаться по всему периметру трубы. На рис. 2 можно увидеть аномальные значения кривых на фронтальной $\nu \omega_\nu$ и горизонтальной νQ_ν плоскостях в указанных критических точках.

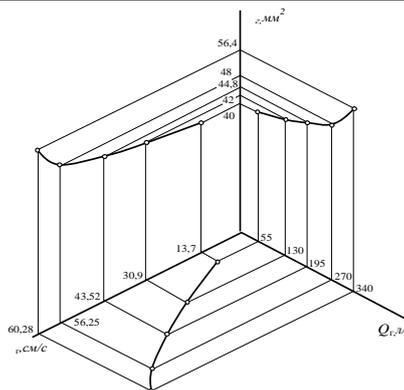


Рис. 3. Зависимость изменения скорости газовой фазы от её расхода и живого сечения

Аналогичный процесс происходит при изменении скорости газовой фазы (рис. 3). Плоскость $Q_\omega \omega_\omega$ имеет изображение геометрического элемента, который также состоит из прямой и кривой, а при критическом значении $\omega_\Gamma = 48 \text{ мм}^2$ происходит смена структуры: стратифицированный потока трансформируется в плёночный. На рис. 3 смена структуры отражается переходом прямой в кривую. Отмеченный переход явно наблюдаются во время лабораторного эксперимента.

Для целостного пространственного восприятия процесса неустановившегося движения газожидкостной смеси на стыке трёх структур на рис. 4 представлены сводные данные. На плоскости $\nu \Gamma$ отражена скоростная характеристика двухфазного потока, каждой точке которой соответствует характеристика живых сечений, как для жидкой, так и для газообразной фазы (по аналогии с рис. 1 и рис. 2).

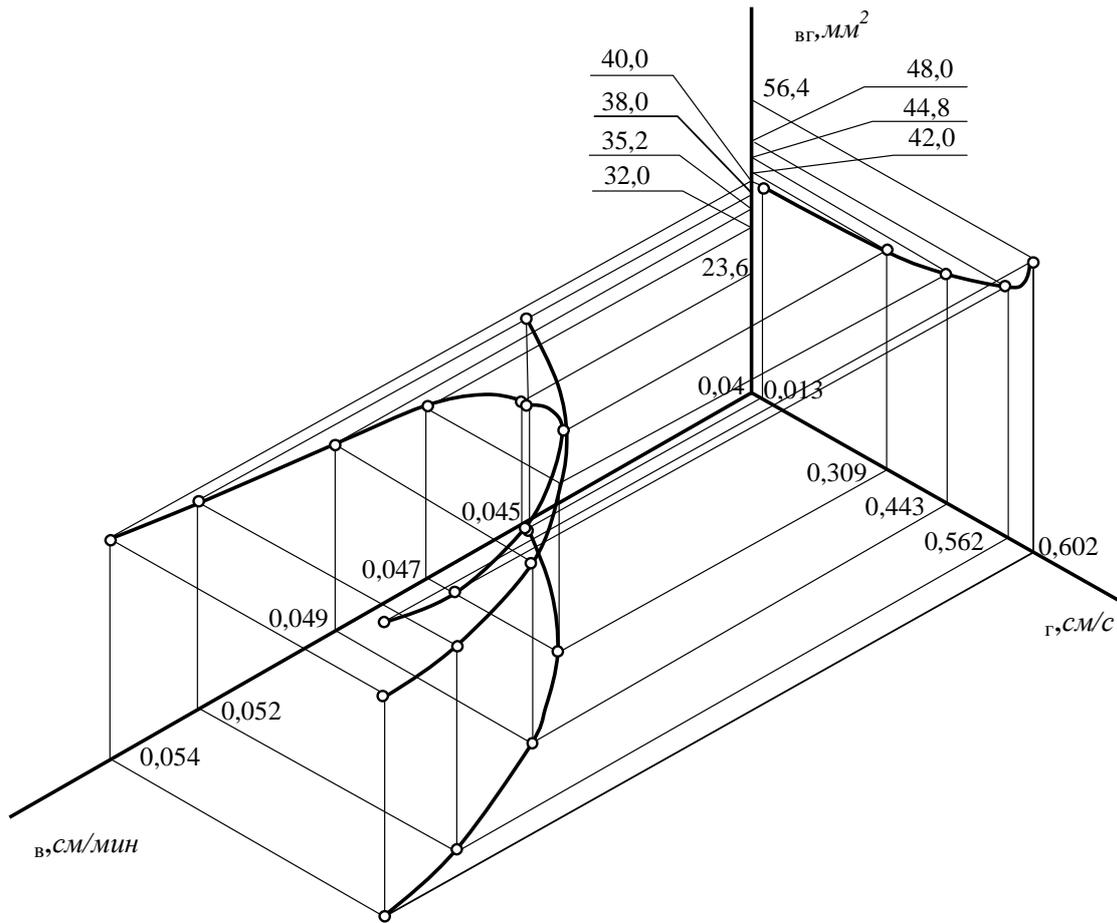


Рис. 4. Зависимость изменения живого сечения от скоростных характеристик двухфазного потока

Таким образом, по расходным и скоростным характеристикам двухфазного потока, скрытого под оболочкой трубы, можно определить живые сечения как жидкой, так и газообразной фаз этого потока.

Библиографический список

1. Богомолов, А. И. Гидравлика [Текст] / А. И. Богомолов, К. А. Михайлов. – М.: Стройиздат, 1971. – 648 с.

References

1. Bogomolov, A. I. Hydraulics / A. I. Bogomolov, K. A. Mihaylov. – M.: Stroyizdat, 1971.

VARIATIONS IN FREE CROSS-SECTIONAL AREAS OF THE PHASES OF DOUBLE-PHASE FLOWS UNDER CHANGES OF GASEOUS PHASE RATE OF FLOW

© 2010 Yu. S. Levkin

Togliatti State University

The paper deals with variations in free cross-sectional areas of phases of double-phase flows under changes of their rate of flow. Two nomograms are presented which help to find free cross-sectional areas of both phases according to both rate-of-flow and velocity characteristics of double-phase flows.

Double phase flow, free cross-sectional areas, gaseous phase, liquid phase, gas rate, liquid flow rate.

Информация об авторах

Левкин Юрий Степанович, заведующий лабораториями кафедры «Промышленная электроника». Тольяттинский государственный университет. Область научных интересов: двухфазные потоки в поле поперечной вибрации. E-mail: pe@tltsu.ru.

Levkin Yury Stepanovich, head of laboratories of the Industrial Electronics Department. Togliatti State University. Area of research: two-phase flows in the transverse vibration field. E-mail: catry@tltsu.ru.