

УДК 621.396.6+621.646

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕБИТА ЖИДКОСТИ, НЕФТИ И ГАЗА

© 2011 К. Ю. Плесовских

Арзамасский политехнический институт (филиал) Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева

Статья посвящена исследованию факторов, влияющих на точность определения дебита жидкости, нефти и газа в нефтегазовой смеси. Описаны факторы, влияющие на получение устойчивого регрессионного описания изменения расхода компонентов газожидкостного потока. Показано, что учёт данных факторов способен существенно повысить точность определения дебита нефти, воды и газа.

Многокомпонентная смесь, газожидкостный поток, дебит жидкости, устойчивое регрессионное описание, число обусловленности, режим течения потока, системы учёта нефти, аномальные данные.

Измерение расхода двухфазных веществ имеет свои особенности и трудности, связанные с неомогенностью состава смеси, различием скоростей отдельных фаз, а также их концентрацией и структурой потока.

Как показывают исследования, концентрация отдельных фаз меняется по длине трубопровода, и поэтому измерение мгновенного расхода имеет небольшое практическое значение. В этом случае лишь среднее значение расхода за некоторый интервал времени может правильно характеризовать двухфазный поток. При этом минимальный интервал осреднения зависит от структуры потока.

В свою очередь, структура двухфазного потока зависит от следующих факторов:

- скорости потока;
- диаметра трубопровода;
- расположения трубопровода в пространстве;
- свойств нефти, воды и газа;
- процентного содержания той или другой фазы;
- влажности нефти [1].

Если концентрация одной из фаз мала, образуется дисперсная или пузырьковая структура, при которой капли жидкости (или пузырьки пара) равномерно распределены в паре (или жидкости).

С увеличением доли жидкости начинается расслоение фаз и появляется раздельное течение. При вертикальной трубе жидкость

всё в большей степени располагается в виде кольцевого слоя вдоль стенок, а в средней части ещё сохраняется дисперсионно-капельная структура. Такую переходную структуру называют дисперсионно-кольцевой. При дальнейшем увеличении доли жидкости в смеси наступает полностью расслоенное течение, которое в вертикальной трубе имеет кольцевую структуру, центральная часть заполнена одним паром или газом.

В горизонтальной трубе при расслоенном течении нет кольцевого слоя жидкости. Последняя под действием сил тяжести всё в большей мере опускается вниз и движется по нижней части трубы, а в верхней её части перемещаются пар или газ вместе с ещё не осевшими каплями жидкости. С увеличением скорости потока и одновременным возрастанием доли жидкости на поверхности раздела фаз начинают возникать волновые гребни. Они растут с увеличением скорости и начинают рассеивать на отдельные части поток пара или газа, движущийся в центре вертикальной трубы или в верхней части горизонтальной трубы. Так возникает пробковая или снарядная структура потока.

При дальнейшем росте доли жидкости газовые пробки уменьшаются в размере, переходя частично в мелкие газовые пузырьки. Возникает пузырьково-снарядная структура, которая затем переходит в пузырьковую. В вертикальной трубе пузырьки распределены

равномерно по сечению, а в горизонтальной они движутся в верхней части [1].

В промышленных трубопроводах наиболее распространена пробковая структура потока.

В настоящее время для определения режима потока используются устройства, включающие в себя концентрически ориентированный набор конденсаторных пластин (патент № 2183012). Такие устройства могут быть использованы лишь на отдельных экспериментальных скважинах, а для более широкого использования не пригодны ввиду большой сложности таких устройств.

Замена физических устройств программной реализацией метода автоматического распознавания режимов позволит существенно удешевить измерительную систему и повысить степень её надёжности. Если имеется возможность определить режим течения потока, для него можно построить модель изменения расхода отдельных компонентов на основе уравнения регрессии.

Основная проблема, возникающая при восстановлении регрессии на основе экспериментальных данных, - проблема мультиколлинеарности. Мультиколлинеарность проявляется в сильной корреляции между двумя или более признаками, что затрудняет оценивание параметров модели. Мультиколлинеарность факторов является основной причиной того, что модель имеет значительные погрешности, а в некоторых случаях решаемая задача становится некорректно поставленной и требует специальных методов её решения.

Существует множество методик, позволяющих проверить устойчивость модели, но ни одна из них не является универсальной. Например, для проверки гипотезы об устойчивости результатов может быть использован критерий Уилкоксона, который служит для проверки того, относятся ли две выборки к одной и той же генеральной совокупности, т. е. обладают ли они одним и тем же статистическим признаком [2].

Другим, менее известным, способом является оценка числа обусловленности cond матрицы плана эксперимента [3].

Число обусловленности является мерой чувствительности системы линейных уравнений

к погрешностям задания вектора правых частей уравнений: $Ax = b$, где A – определяемая матрица данных; b – вектор правых частей уравнений; x – результат решения системы.

В работе [1] показано, что устойчивая модель имеет число обусловленности cond порядка 1. При cond от 1 до 10 модель имеет хорошую устойчивость, а от 10 до 100 – удовлетворительную устойчивость. При cond больше 100 модель имеет неудовлетворительную устойчивость. Следовательно, для повышения точности модели изменения расхода компонентов потока, необходимо разработать метод, приводящий к единице число обусловленности матрицы исходных данных.

Третьим не менее важным фактором, влияющим на точность определения дебита жидкости, нефти и газа, являются данные, вносящие искажения при построении модели. Это могут быть аномальные данные, данные, полученные с большой погрешностью или принадлежащие другим режимам движения потока, но ошибочно отнесённые к режиму, для которого производится построение модели.

Наиболее простым и наглядным способом определения таких значений может являться графический метод. Но, так как изменение расхода компонентов зависит от многих факторов, построение модели будет осуществляться в многомерном пространстве. Для наглядного представления данных необходимо, чтобы графический метод был основан на сжатии размерности признакового пространства. Такое сжатие возможно, так как признаки взаимосвязаны. Для этого может быть использован метод главных компонент.

Пусть дана матрица входных данных X (X_1, X_2, \dots, X_p), где X_i – признак, влияющий на расход компонента газожидкостного потока, и каждому признаку X_i в матрице X соответствует столбец показаний $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}$ датчика информационно-измерительной системы (n – количество измерений, произведённых информационно-измерительной системой при различных значениях расхода компонента $y(x_1, x_2, \dots, x_p)$). Из матрицы X выбираются данные, в которых половина факторов имеет одинаковые значения, а данные другой поло-

вины факторов упорядоченно отсортированы.

Вначале проводится нормировка каждого столбца исходных данных, по формуле $\bar{X}_i = (X_i - X_{is}) / \sigma_i$, где \bar{X}_i - нормированное значение элемента столбца; X_{is} - среднее значение столбца; X_i - абсолютное значение элемента столбца; σ_i - среднеквадратическое значение столбца.

Затем вычисляется матрица ковариации S , состоящая из попарных ковариаций элементов столбцов матрицы \bar{X} , по формуле $S = \text{cov}(\bar{X}) = M(\bar{X})M(\bar{X})'$, где \bar{X}' - транспонированная матрица \bar{X} , $M(\bar{X})$, $M(\bar{X})'$ - математические ожидания соответствующих матриц.

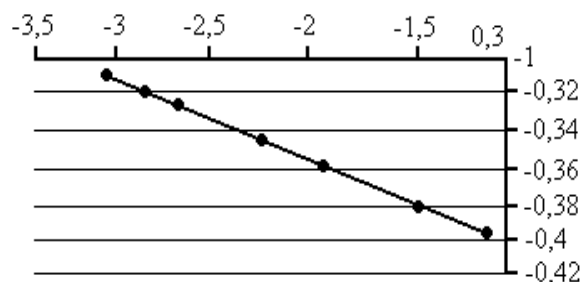
Далее находятся собственные вектора и собственные числа матрицы ковариаций S , которые позволяют оценить размеры дисперсии и форму её распределения в данных. На два наибольших собственных числа, которым соответствуют два крайних правых собственных вектора матрицы V , как правило, приходится не менее 80% дисперсии. Поэтому процесс можно описать с помощью первых двух главных компонент, которые рассчитываются по формулам $Z_1 = \bar{X} \cdot V_n$, $Z_2 = \bar{X} \cdot V_{n-1}$.

После нахождения главных компонент строится график зависимости первой главной компоненты от второй. Если кривая на графике не имеет ярко выраженных отклонений (рис.1,а), можно считать, что данные не содержат аномальных значений. Точка, содержащая аномальные значения, на графике будет существенно изменять вид кривой (рис. 1, б).

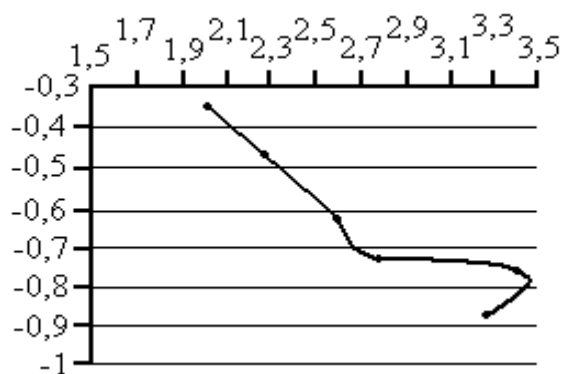
Таким образом, на получение устойчивого регрессионного описания изменения расхода компонентов газожидкостного потока оказывают существенное влияние три фактора:

1. Тип режима течения потока.
2. Число обусловленности матрицы исходных данных.
3. Наличие в экспериментальных данных значений, вносящих искажения при построении модели.

Учёт данных факторов способен существенно повысить точность определения дебита нефти, воды и газа.



а)



б)

Рис. 1

Библиографический список

1. Абрамов, Г. С. Практическая расходомерия в нефтяной промышленности [Текст] / Г. С. Абрамов, А. В. Барычев. - М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2002. - 460 с.
2. Вероятностные методы в инженерных задачах : справочник / А. Н. Лебедев, М. С. Куприянов, Д. Д. Недосекин, Е. А. Чернявский. - СПб. : Энергоатомиздат, 2000. - 333 с.
3. Дикусар, В. В. Некоторые численные методы решения линейных алгебраических уравнений [Текст] / В. В. Дикусар // Соросовский образовательный журнал. - 1998. - № 9. - С. 111 - 120.

INVESTIGATION OF FACTORS AFFECTING THE ACCURACY OF THE FLOW RATE OF LIQUID, OIL AND GAS

© 2011 K. Y. Plesovskikh

Arzamas Polytechnical Institute of Nizhny Novgorod State Technical University, R. E. Alekseeva

The article investigates the factors influencing the accuracy of the flow rate of liquid, oil and gas in oil-water mixture. It describes the factors that influence the receipt of sustained regression describe the change in consumption of components of gas-liquid flow. Shown that the inclusion of these factors can significantly improve the accuracy of oil production, water and gas.

Multicomponent mixture of gas-liquid flow, liquid flow rate, steady regression description, condition number, the stream flow regime, the accounting system of oil, the abnormal data.

Информация об авторах

Плесовских Ксения Юрьевна, аспирантка кафедры конструирования и технологии радиоэлектронных средств, Арзамасский политехнический институт (филиал) Нижегородского государственного технического университета Р. Е. Алексева. E-mail: kples@mail.ru. Область научных интересов: методы и алгоритмы обработки данных.

Plesovskikh Ksenia Yurevna, post-graduate student department of design and technology of electronic means, Arzamas polytechnic institute (branch) of the Nizhny Novgorod State Technical University R. E. Alekseyev. E-mail: kples@mail.ru. Scientific interests: methods and data processing algorithms.