

На рис.3 дається графічна залежність висоти  $y_c$  зависання частинки у струмині при виході на стаціонарний режим від кута  $\alpha$  (див. рис. 1). Крива 1 побудована при початковій швидкості газу  $u_0 = 30 \text{ м/с}$ , а крива 2 – при  $u_0 = 100 \text{ м/с}$ . З наведених графіків видно, що із збільшенням кута  $\alpha$  висота зависання частинки спадає, крім того, із збільшенням швидкості газу  $u_0$  вона зростає.

Графічна залежність висоти  $y_c$  зависання частинки у струмині від початкової швидкості  $u_0$  дається на рис. 4 при  $\alpha = 10^\circ$ .

На рис.5 наведені графічні залежності відносного вмісту розчинника на частинках по висоті струмини при різних значеннях початкової швидкості газу  $u_0$ . Аналіз цього рисунка показує, що із збільшенням  $u_0$  відносний вміст розчинника по висоті струмини падає.

1. Патент України № 10902/Демчук І. А. та інші. 2. В.Ф. Фролов. Моделирование сушки дисперсных материалов. Л.: 1987. 3. Сурис А.Л.. Плазмохимические процессы и аппараты. М.: 1989. 4. Демчук І. А., Опанасович В. К., Слободян М. С. Швидкість газу в процесі мікро капсулювання у двофазній струмині // 3-я Міжнародна науково-практична конференція "Проблеми економії електроенергії" Львів. 2001. 5. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. М.: 1971.

УДК 658.012.011.56

А. Прищепо, А. Питиримов, В. Коток,  
О. Сендеров, О. Тевяшева

ДК "Укртрансгаз", Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт автоматизированных систем управления транспортом газа (НИПИАСУтрансгаз)

## ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ И ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА РЕЖИМНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ КОМПРЕССОРНОГО ЦЕХА

© Прищепо А., Питиримов А., Коток В., Сендеров О., Тевяшева О., 2002

Вирішується задача погодженого оцінювання параметрів технологічного процесу на прикладі компримування газу в компресорному цеху станції магістрального газопроводу. Оцінюються значення непрямих вимірів за набором результатів прямих вимірів відповідно до математичної моделі процесу. Наводиться формальне формулювання задачі, запропонований метод її розв'язання, умови застосовності та дослідження якості одержуваних оцінок.

The task of concordant estimation of process parameters is set out and being solved on a base of gas compression process in a shop of compressor plant. Values of indirect measurement are being estimated according to results of direct measurement and mathematical model of process. The formal problem statement is adduced; solution method is suggest; use conditions and a quality of estimated value are investigated.

Современные SCADA-системы обеспечивают сбор и обработку сотен аналоговых параметров, характеризующих технологические процессы (ТП), однако наличие погрешностей измерений может быть причиной того, что собранные данные и полученные на их основе результаты косвенных измерений оказываются непригодными для многих видов анализа, включая расчет производительности и эффективности производства, а также оптимизацию технологических процессов. Такая проблема возникает, например, при разработке АСУ ТП компрессорного цеха (КЦ), когда в качестве технологических объектов рассматриваются силовые установки (газолерекачивающие агрегаты), вспомогательное оборудование КЦ и пр.

Косвенные измерения, т.е. определение значений некоторой известной функции от результатов прямых измерений совокупности физических величин, являются важной задачей АСУ ТП. Обычно соответствующие расчеты выполняются на базе некоторой модели технологического процесса с использованием ряда результатов прямых измерений. Проблема состоит в том, что, во-первых, практически всегда существует некоторое несоответствие модели реальному объекту, вызванное условностью модели (неточными представлениями о характере процесса, исключением из рассмотрения отдельных его частей), а также износом и неисправностями технологических объектов. Во-вторых, случайные отказы датчиков и погрешности измерений оказывают существенное влияние на точность косвенных измерений. Кроме того, существует проблема информационной избыточности модели, когда одни и те же измеряемые и расчетные параметры могут быть связаны в рамках математической модели несколькими функциональными соотношениями. В таком случае неизбежно возникает вопрос, какому из расчетных значений одного и того же параметра следует больше доверять.

В статье ставится задача получения таких оценок значений неизмеряемых параметров ТП на основе имеющихся результатов прямых измерений и некоторой модели процесса, чтобы получаемые оценки и соответствующие им расчетные значения измеряемых параметров были в рамках модели взаимно непротиворечивыми, причем расчетные значения должны расходиться со значениями результатов соответствующих прямых измерений в пределах априорно известных погрешностей этих измерений.

Для решения задачи следует использовать процедуры статистического оценивания, которые обладают такими свойствами:

- процедура оценивания должна обеспечивать получение несмещенных, состоятельных и эффективных оценок;
- процедура должна быть робастной, т.е. малые отклонения от предположений о законе распределения ошибок измерений должны ухудшать качество получаемых оценок лишь в малой степени, т.е. должны быть близки к оптимальным значениям, соответствующим принятой модели.

При математической постановке задачи предлагается использовать классический метод максимального правдоподобия (ММП) [1], который является наиболее эффективным методом оценивания, обеспечивающим асимптотическую несмещенность, асимптотическую эффективность и асимптотическую нормальность получаемых оценок. В рамках этого метода оптимальными оценками являются те числовые значения, при которых функция максимального правдоподобия достигает максимума.

Для решения поставленной задачи на основе подхода ММП строится целевая функция, достижение минимума которой по значениям косвенно измеряемых параметров обеспечивает получение расчетных значений параметров, по которым имеются результаты прямых измерений, минимально расходящиеся с результатами этих измерений, причем

степень расхождения минимизируется с учетом нормировки на априорно известную дисперсию ошибок измерений по каждому параметру. Предполагается, что ошибки измерений различных параметров статистически независимы друг от друга.

При построении целевой функции для выбора ее вида и задания дисперсий ошибок измерений, рассчитываемых по известной точности первичных датчиков, особенно важна предварительная информация о функции плотности распределения вероятностей погрешностей прямых измерений параметров технологического процесса. Строго говоря, на практике эта функция априорно неизвестна. В каждом конкретном измерении существует свой механизм формирования результирующей погрешности, включающий инструментальные, внешние, методические составляющие и пр. Поэтому закон распределения результирующей погрешности в каждом случае индивидуален. Однако во многих случаях, когда погрешности каждого типа невелики, удается еще до выполнения измерений высказать ряд соображений в пользу того или иного закона распределения, параметры которого нужно определить по результатам измерений. К таким соображениям относятся классические предельные теоремы теории вероятностей [2] и ряд теорем теории информации. Среди большого количества предельных теорем наибольшее значение для теории ошибок имеет центральная предельная теорема (теорема Ляпунова), утверждающая, что сумма независимых случайных величин, таких, что удельный вес каждого отдельного слагаемого стремится к нулю, при неограниченном увеличении количества слагаемых в пределе распределена по нормальному закону. Учитывая, что в процессе измерений происходит суммирование большого количества погрешностей разных типов, то есть основание полагать, что суммарная погрешность будет распределена по нормальному закону. В теории измерений используется и другое обоснование нормальности закона распределения суммарной ошибки, связанное с нахождением максимума энтропии [3].

Анализ реальных трендов измеряемых параметров показывает, что такое предположение о нормальности распределения результирующей ошибки измерений оправдано в той мере, в которой это необходимо для рассматриваемой задачи.

Решение задач в АСУ ТП в режиме реального времени обычно связано с учетом таких факторов, как требуемое высокое быстродействие при ограниченности системных ресурсов, работа в условиях неполной и частично недостоверной информации (отказы и погрешности датчиков), необходимость согласованной работы с другими комплексами задач АСУ ТП (разделение общих информационных ресурсов, временные привязки и т.п.) В соответствии с этими требованиями выбирают как методы решения задач, так и подходящие модели технологических процессов.

Задача согласования расчетных и измеренных параметров ТП относится к классу задач условной минимизации, решаемых методами математического программирования. Для реализации на практике был выбран метод второго порядка – дифференциальный алгоритм с ограничениями [4,5], позволяющий находить минимум функции за наименьшее количество итераций. В таком случае область ограничений на значения параметров определяется математической моделью процесса.

Поскольку математические модели процессов в АСУ ТП обычно основаны на предположении о стационарности процессов, то их использование при решении оперативных задач имеет смысл только в установившемся квазистационарном режиме. В связи с этим все расчеты необходимо предварять применением специальных методов оценивания степени стационарности режима работы и обнаружения моментов резкого изменения свойств входных сигналов.

Для проверки несмещенности и эффективности результатов оценивания, полученных по разработанной методике, был выполнен ряд статистических испытаний. Для этого был

выбран некоторый базовый набор параметров, удовлетворяющих соотношениям модели, и в ходе нескольких сотен испытаний значения измеряемых параметров варьировались случайным образом по нормальному закону относительно базовых значений, а значения остальных параметров оценивались. Анализ полученных результатов показал, что при заданной дисперсии прямых измерений, соответствующей точности первичных датчиков 0.1%, дисперсии оценок косвенных измерений и расчетных значений измеряемых параметров в среднем соответствуют той же точности (0.15–0.05%). Оценка математического ожидания ошибки расхождения базовых и расчетных значений параметров близка к нулю (0.0005%). Другими словами, использование предлагаемого алгоритма расчета не вносит существенных дополнительных погрешностей в процедуру косвенного оценивания, но улучшает обычную методику, формируя на выходе набор непротиворечивых данных. Все это позволяет считать разработанный алгоритм согласования данных допустимым к применению в системах АСУ ТП реального времени.

Если измеряются какие-либо параметры, одновременно характеризующие работу нескольких объектов технологического процесса (например, суммарный расход целевого продукта, суммарные затраты энергии, топлива и т.п.), то в рамках предлагаемой методики результаты этих измерений можно использовать для уточнения оценок соответствующих параметров по каждому из объектов путем сохранения балансовых соотношений.

Предлагаемая методика выгодно отличается от обычного метода косвенных измерений, обычно применяемого в АСУ ТП. Она дает возможность не только оценить значения неизмеряемых параметров процесса, но и обеспечивает согласованность измеряемых и расчетных значений, а также позволяет выявить момент и возможную причину рассогласования исходных данных.

Если расхождение между измеренными и расчетными значениями некоторого параметра превышает априорно известное допустимое значение, определяемое точностью измерения, ставится вопрос о грубой ошибке измерения, а при систематическом расхождении – о возможном дефекте датчика или элемента самого технологического объекта, либо о неадекватности используемой модели. В общем виде задачу выбора одной из этих гипотез следует решать с привлечением методов технической диагностики технологических объектов и метрологической аттестации измерительной аппаратуры. В таком случае результаты согласования параметров служат для комплексного контроля за соответствием результатов всех измерений и принятой модели процесса.

Разработанную методику можно также применить и для идентификации фактических параметров математической модели технологического процесса. Тогда при решении задачи минимизации целевой функции свободными переменными выбираются параметры модели, а фиксируются результаты измерений параметров технологического процесса. Для повышения точности необходимо использовать специальным образом подготовленные результаты измерений: усредненные на некотором интервале времени, когда характер процесса определен как квазистационарный. Кроме того, более адекватные оценки будут получены, если использовать данные по нескольким, наиболее различным режимам работы технологического оборудования, описываемого этой моделью.

В качестве основы для отработки алгоритма решения задачи согласования параметров технологического процесса был выбран процесс компримирования газа на компрессорной станции, включающей несколько параллельно включенных газоперекачивающих агрегатов (ГПА), работающих на общий выходной коллектор цеха. Для описания процесса выбрана классическая модель компримирования газа ГПА [6,7], некоторые теоретические зависимости которой были заменены полиномиальными функциями, что позволило, с одной

стороны, не ухудшая точности расчетов, значительно их упростить, а с другой стороны – идентифицировать некоторые параметры модели по экспериментальным данным, что в случае использования аналитических соотношений базовой модели было бы затруднительно.

Разработанная методика может применяться при создании АСУ ТП многих технологических производств, но особенно важно использование принципа согласования измеряемых параметров и модели процесса при эксплуатации, контроле и управлении объектами нефтегазового комплекса, где незначительные ошибки оценивания параметров могут стать источником существенных финансовых потерь за счет неоптимального управления, либо привести к расхождению баланса целевого продукта.

1. Ванник В.Н. Восстановление зависимостей по эмпирическим данным. - М. 1979.
2. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. - М. 1969.
3. Уилкс С Математическая статистика. - М. 1969.
4. Евдокимов А.Г. Минимизация функций и ее приложения к задачам автоматизированного управления инженерными сетями - Харьков. 1985.
5. Васильев Ф. Численные методы решения экстремальных задач - М. 1988.
6. Розгонюк В.В., Хачикян Л.А. Експлуатаційникові газонафтового комплексу. Довідник. - К. 1998.
7. Волков М.М., Михеев А.Л., Конев К.А. Справочник работника газовой промышленности - М. 1989.

УДК 658.012.011.56

А. Прищепо, В. Колодяжный, В. Коток, О. Сендеров, О. Тевяшева  
 ДК "Укртрансгаз", Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт  
 автоматизированных систем управления транспортом газа (НИПИАСУтрансгаз)

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВНОГО ГАЗА ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИМИ АГРЕГАТАМИ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ ИХ РАБОТЫ

© Прищепо А., Колодяжный В., Коток В., Сендеров О., Тевяшева О., 2002

Пропонується метод підвищення ефективності режиму роботи компресорного цеху, оснований на оптимальному перерозподілі навантаження між газоперекачувальними агрегатами цеху. Як критерій оптимізації приймається мінімум витрати паливного газу при забезпеченні заданого режиму роботи цеху та усталеної роботи його технологічного устаткування.

The method of increasing the efficiency of compressor shop operating mode is pro-posed. The method is based on optimal redistribution of working load among gas compressors that are part of shop. Minimum of fuel flow rate serves as a criterion for optimization provided that compressor shop operating mode and stable work of its power facilities are saved.

В связи с нехваткой топливно-энергетических ресурсов в Украине проблема экономии природного газа в настоящее время выдвинулась на первый план. Газовая промышленность Украины, обеспечивая добычу и транспорт природного газа, в то же время является крупным