

ИНФОРМАЦИОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

DATA PROCESSING FACILITIES AND SYSTEMS



Имильбаев Р.Р.

Imilbaev R.R.

аспирант ФГБОУ ВО «Уфимский государственный университет экономики и сервиса»
инженер ООО «УфаСистемаГаз»
Россия, г. Уфа

УДК 51-74:681.5.08

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

В статье рассматривается вопрос о возможности использования подхода, базирующегося на алгоритмах прогнозирования, для поддержки принятия решений по предупреждению нештатных ситуаций в газораспределительных сетях (ГС). Собранные с помощью системы телеметрии данные могут передаваться диспетчеру в соответствии с технологией GPRS по каналу связи, работающему на базе стандарта GSM. Стоимость передачи сообщения по каналу GPRS в сетях GSM сравнительно не велика. Тем не менее, частота отправки пакетов, собранных данных по каналу связи на пульт диспетчера должна выбираться исходя из практической целесообразности (и экономической эффективности – в том числе). Важно, чтобы эта частота позволяла своевременно распознавать возникающие угрозы аварийных ситуаций различной степени тяжести. В качестве контролируемых переменных, по отношению к которым осуществляется прогноз, выступают значения давления газа на входе и выходе газорегуляторных пунктов. Делается вывод о том, что поведение указанных величин во времени может описываться моделями в виде временных рядов. Выполняется анализ эффективности различных алгоритмов прогнозирования применительно к временным рядам, отмечаются их достоинства и недостатки. Обосновывается целесообразность при контроле состояния ГС выполнять прогнозирование изменения контролируемых параметров с помощью алгоритмов Хольта или Хольта-Уинтерса (в частности, в «интервальной» модификации). На основе этой проанализированной информации диспетчер может принять обоснованные решения о наличии опасных тенденций в изменении параметров для предупреждения возможных аварийных ситуаций. Между тем, в существующих вариантах построения автоматизированных комплексов для ГС правильность подобных решений в основном зависит от интуиции диспетчера.

Ключевые слова: газораспределительная сеть, алгоритм прогнозирования, экспоненциальное сглаживание.

ANALYSIS OF EFFECTIVENESS OF FORECASTING ALGORITHMS APPLICATION TO STATE CONTROL OF GAS DISTRIBUTION NETWORK

The paper considers the problem of possibility to apply an approach based on the forecasting algorithms to supporting decisions for prevention of abnormal situations related to gas distribution networks (GDN). The

data accumulated in such a way can be transmitted to control manager in accordance with GPRS technology via communication bus working on the basis of GSM. Message cost transfer by GPRS channel on GSM is low. Nevertheless, period between data transfer should be set reasonable and prevent possible accidents. The values of inlet and outlet pressures for gas regulating stations act as the monitored variables. The conclusion is that the behavior of these variables over time can be described by models in the form of time series. There is given an analysis of the effectiveness of different forecasting algorithms applied to the time series, and their advantages and disadvantages are marked. There is justified an expediency of forecasting the changes in the monitored parameters within the process of GDN state control using Holt's and Holt-Winters' algorithms (in particular, in the "interval" modification). Due to this analyzed information, the control manager has to make justified decisions to prevent possible accidents. However the correctness of the above decisions made within the existing versions of automation facilities for GDN mostly depend on the control manager's intuition.

Keywords: gas distribution network, forecasting algorithm, exponential smoothing.

Введение

Газовая отрасль Российской Федерации, как известно, имеет стратегическую значимость с точки зрения развития экономики страны. Кроме того, что в бюджет перечисляется значительная часть выручки от экспорта газа, данная отрасль обеспечивает снабжение газом населения и промышленных предприятий внутри России. В свою очередь, объем природного газа, поставляемый на внутренний рынок, более чем в два раза превышает объем экспорта. Вследствие реализации программы газификации регионов РФ с 2005 по 2014 годы средний уровень газификации вырос с 53.3% до 65.4% [1]. Наряду с увеличением объемов внутреннего потребления газа в стране существенное развитие получила газотранспортная система и, в частности, газораспределительные сети – важная часть энергетической инфраструктуры Российской Федерации.

Газораспределительная сеть (ГС) — совокупность наружных газопроводов, предназначенная для безопасной, надежной и непрерывной транспортировки газа непосредственно его потребителям; она также включает сооружения и технические устройства на этих газопроводах [2]. Для соблюдения требований по безопасности транспортировки газа, очистки его от механических примесей, обеспечения заданных значений давления газа на всех участках от магистральных линий до оборудования конечных пользователей в состав ГС вводят системы газорегуляторных пунктов (ГРП). Каждый ГРП представляет собой комплекс технологического оборудования и устройств, предназначенный для понижения входного давления газа до требуемого уровня. Колебания давления газа на выходе из ГРП допускаются в пределах до 10% от рабочего давления. При выборе параметров настройки регуляторов в составе ГРП городов и

населенных пунктов для бытовых потребителей следует исходить из максимального давления на выходе до 0,003 МПа [3].

Надежность, эффективность и безопасность эксплуатации ГС во многом определяется тем, насколько рационально организованы процессы сбора и обработки информации об их состоянии. В частности, для ГРП требуется постоянное наблюдение за основными параметрами: показаниями давления газа на входе и выходе каждой из линий понижения давления, состояниями противозапорных клапанов. Кроме этого, необходимо располагать информацией о состоянии систем контроля доступа в помещение ГРП для предотвращения несанкционированных действий посторонних лиц.

В настоящее время обязанности по контролю состояния ГС на определенном участке возложены на аварийно-диспетчерскую службу. В целях непосредственного наблюдения за объектами ГС (в частности, ГРП) применяются периодические обходы соответствующих участков. Таким образом, необходимость непрерывного оперативного контроля параметров работы оборудования в режиме реального времени и, как следствие, стремление свести к минимуму частоту возникновения нештатных и аварийных ситуаций привели к повсеместному внедрению систем телеметрического контроля (СТК) состояния ГРП [4].

Цель мониторинга ГС с помощью СТК – получение информации, достаточной для принятия обоснованных управленческих решений по обеспечению надежности и безопасности процесса газораспределения. При этом важно учитывать экономическую целесообразность получения этой информации, так как обслуживание ГС должно удовлетворять критериям минимума материальных и капитальных вложений, а также минимума эксплуатационных расходов. Так, на сегодняшний

день для сбора данных с территориально распределенных объектов повсеместно используются сети стандарта GSM. Стоимость передачи сообщения в GSM сетях сравнительно не велика. Тем не менее, частота отправки пакетов, собранных данных по каналу связи на пульт диспетчера должна выбираться исходя из практической целесообразности (и экономической эффективности – в том числе). Важно, чтобы эта частота позволяла своевременно распознавать возникающие угрозы аварийных ситуаций различной степени тяжести. Вместе с тем, должны приниматься во внимание и соображения минимизации беспроводного трафика [5].

Контролируемые в процессе мониторинга параметры ГРП можно условно разделить на два класса [5]:

параметры, зависимость которых от времени представляет собой непрерывную функцию (примеры: давления, температуры) – параметры 1-го класса;

параметры, значения которых соответствуют двузначной логике 'true' или 'false' (пример: сигнал датчика положения двери – «открыто» или «закрыто») – параметры 2-го класса.

Собранные с удаленного объекта данные отправляются на пульт диспетчера по таймеру или спорадически, если какой-либо критически важный параметр выходит за границы допустимого интервала. Таким образом, диспетчер, как правило, получает сигналы об аварийных ситуациях постфактум (когда тот или иной параметр уже вышел за допустимые пределы). Между тем, на практике необходимо не только реагировать на возникновение нештатных ситуаций, но и обеспечивать их предупреждение.

Из сказанного вытекает вывод о целесообразности введения в СТК модулей, реализующих

функции прогнозирования изменения показаний контролируемых параметров ГС на базе информации о предыдущих измерениях. Применение вышеуказанных модулей позволит диспетчеру принимать обоснованные управленческие решения о необходимости превентивных мер реагирования на угрозу возникновения аварийных ситуаций, основываясь на автоматически сформированных трендах. К тому же достоверный прогноз поможет диспетчеру понять, каким резервом времени до возникновения аварийной ситуации на объекте он располагает. Тем самым появляется возможность максимально эффективного использования персонала для обхода объектов с наиболее нестабильным состоянием.

Как отмечено в работе [6], надежность распределительной системы газоснабжения характеризуется ее способностью поставлять газ потребителям в необходимом количестве с соблюдением заданных рабочих параметров в течение требуемого периода времени, то есть сохранять свои технико-экономические показатели и качество функционирования. Применительно к такому пониманию надежности ГС можно заключить, что основным показателем, характеризующим состояние ГРП, является давление газа на выходе системы, которое изменяется в функции времени (рис.1). Кроме того, диспетчеру не менее важно заранее знать, как поведет себя давление газа на входе системы. Эти данные позволят ему зарезервировать время для принятия превентивных мер реагирования. Исходя из этого, построение моделей прогнозирования будем рассматривать, ориентируясь на использование информации о «входной» и «выходной» характеристиках системы: значениях давления газа на входе и выходе ГРП.

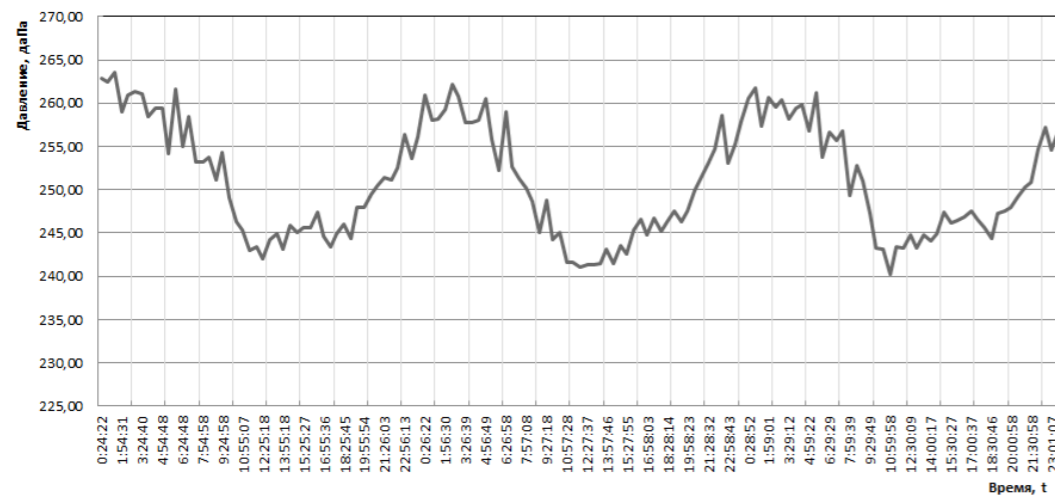


Рис 1. Пример изменения давления газа на выходе ГРП с течением времени

Совокупность показаний давлений газа, полученных с помощью СТК для разных моментов времени, фактически представляет собой временной ряд. При этом в наиболее общей постановке задачи здесь следует говорить о неполных (или неравноотстоящих) временных рядах [7], так как данные отправляются диспетчеру не всегда через равные промежутки времени. Цель прогнозирования – по имеющемуся набору накопленных данных предсказать будущие значения измеряемых характеристик объекта (сделать прогноз развития ситуации на некоторый предстоящий отрезок времени [7, 8]).

Проанализируем далее существующие подходы к прогнозированию на основе моделей в виде временных рядов.

Прогнозирование для временных рядов

При анализе временных рядов принято оперировать четырьмя их компонентами [9], которые могут быть выделены из исследуемых данных:

тренд (Т) – тенденция временного ряда увеличиваться, уменьшаться или оставаться на прежнем уровне на протяжении продолжительного промежутка времени, за счет чего описывается влияние долговременных факторов;

цикличность (С) – закономерное периодическое отклонение от основной тенденции (тренда), описывает плавные среднесрочные изменения временного ряда, вызванные обстоятельствами, которые повторяются в цикле;

сезонность (S) – вид цикличности, обусловленный временем;

случайная компонента (e) – непредсказуемые изменения, которые не являются регулярными, а также не повторяются по определенному закону; остаются после того, как из временного ряда полностью удаляются вышеприведенные «закономерные» компоненты.

В конечном итоге временной ряд $Y(t)$ в зависимости от влияния вышеописанных четырех компонентов на результирующую величину может быть представлен двумя различными типами моделей: аддитивной $Y(t)=T(t)+S(t)+C(t)+e(t)$ или мультипликативной $Y(t)=T(t) \times S(t) \times C(t) \times e(t)$.

Анализ временного ряда выполняется с целью подбора описывающей его статистической модели и выполнения прогнозирования (в дальнейшем) на основе этой модели. Для решения такого рода задач особое значение приобретает выбор метода получения прогнозов и организации собственно процесса прогнозирования [10]. Ведь правильно подобранная модель поведения параметров, включенных во временной ряд, позволяет достаточно

точно прогнозировать будущие показания. Согласно классификациям, приведенным в [11, 12], на сегодняшний день существует порядка 150-200 методов прогнозирования. Однако автор работы [13] опровергает данные утверждения и обосновывает заключение о том, что основных (применяемых на практике) методов существенно меньше: порядка 15-20. Для определения последовательности необходимых действий с целью получения модели прогнозирования на базе конкретного временного ряда можно использовать подход, описанный в [14, 15]. Он состоит из следующих этапов.

Этап 1. Исходя из того, с какой целью выполняется процедура прогнозирования, и на основании предыдущего опыта идентифицируется разновидность проблемы и подбирается общий класс моделей для прогнозирования на основе временного ряда.

Этап 2. На этом этапе выделяется некоторый подкласс из общего обширного класса моделей на основе располагаемых данных и результатов анализа системы в целом. Оцениваются параметры и / или структура модели (если модель относится к категории структурных моделей). Как правило, для оценки поведения временного ряда при различных параметрах модели применяют итеративные методы.

Этап 3. Это этап диагностических проверок. Он предназначен для проверки модели прогнозирования, полученной на предыдущем этапе. С указанной целью выбирают значения на нескольких контрольных участках временного ряда для последующей оценки точности прогноза.

Этап 4. В ходе данного последнего этапа на основе анализа прогнозных значений, полученных с помощью выбранного метода, оценивается точность диагностического прогнозирования. Модель считается готовой к дальнейшему применению, если достигнута удовлетворительная точность прогноза. Если же точность оказалась недостаточной, то вышеописанные этапы повторяются, начиная с первого.

Для определения подходящего метода, согласно изложенному подходу, необходимо выбрать общий класс моделей, к которому в конечном итоге будет отнесен временной ряд. Выбор осложняется тем фактом, что отсутствует общепринятая классификация методов и моделей прогнозирования. Как правило, в большинстве работ отечественных и зарубежных авторов вопрос классификации не поднимается: ограничиваются перечислением возможных методов и моделей прогнозирования [16]. Тем не менее, многие работы, в частности [11 – 13, 16, 17], отмечают схожую базовую классификацию. В соответствии с ней выделяются две большие группы методов: интуитивные и формализованные.

Как отмечается в [14], формализованные методы используются тогда, когда прогнозируемый процесс удовлетворяет двум критериям:

1) наличие числовой информации о прошлых событиях;

2) разумное предположение о том, что некоторые периоды прошедших событий имеют тенденцию повториться в будущем.

Существует большое разнообразие формализованных методов, зачастую разработанных для узкоспециализированных областей. Каждый метод имеет свои свойства, точность и цену, которую приходится платить, когда делается выбор в пользу того или иного метода. В рамках формализованных методов создаются соответствующие модели в виде таких математических зависимостей, которые позволяют сделать прогноз относительно «будущих» характеристик временного ряда.

Интуитивные методы имеют дело с суждениями и оценками экспертов. Применяются они в том случае, когда для наблюдаемого процесса не выполняются один или сразу оба вышеперечисленных критерия выбора формализованного метода. Данный вид методов широко используется для прогноза экономических, политических и социологических процессов, где наблюдаемый процесс трудно поддается математическому описанию.

В дальнейшем здесь будут рассматриваться именно формализованные методы, так как для решения задач прогнозирования состояния ГС оба отмеченных критерия выполняются. Эти методы можно разделить на две группы: модели конкретной предметной области и модели временных рядов [16]. Для построения математических моделей предметной области применяют законы этой конкретной предметной области. Модели временных рядов для прогнозирования будущего состояния используют зависимости параметров «внутри» самого процесса. Таким образом, благодаря универсальности одни и те же модели временных рядов можно использовать в различных предметных областях.

В свою очередь, группу моделей временных рядов можно разделить еще на две большие подгруппы [18]: статистические и структурные модели. В структурных моделях, как следует из названия подгруппы, зависимость прогнозных значений от прошлых наблюдений задается в виде структуры и правил перехода по ней. К данной подгруппе относятся:

$$y = f(x, \beta) + \varepsilon, \quad (1)$$

где β – вектор параметров, а ε – случайная ошибка модели.

- нейросетевые модели;
- модели на базе цепей Маркова;
- модели на базе деревьев (в частности, классификационно-регрессионных);
- модели на базе генетических алгоритмов.

В статистических моделях зависимость будущих значений исследуемого показателя от прошлых значений ищется в виде математического выражения. Для процессов, рассмотренных в данной работе, наиболее подходящими оказываются статистические модели временных рядов. Данную подгруппу моделей прогнозирования условно можно разделить на несколько совокупностей:

- простейшие модели прогнозирования (метод наименьших квадратов, метод скользящего среднего, а также так называемый «наивный подход»);
- регрессионные модели прогнозирования (линейная, множественная и нелинейная регрессии);
- авторегрессионные модели прогнозирования (AR, ARMA, ARIMA, ARIMAX, GARCH);
- модели экспоненциального сглаживания (модель Брауна с адаптацией к приростам, модель Хольта, модель Хольта-Уинтерса), и другие.

Простейшие модели прогнозирования

Простейшие модели прогнозирования достаточно редко используются сами по себе. Как правило, они реализуются в качестве вспомогательных процедур при применении других методов и включаются в их состав [19]. Например, они могут использоваться для сглаживания временных рядов, как в случае метода скользящего среднего, который усредняет последние n значений временного ряда. Тем не менее, автор указанной публикации решил вынести их в отдельную совокупность, так как они применимы для прогнозирования очень коротких или очень неравномерных временных рядов, где такие свойства как сезонность и тренд не могут явно быть определены или где среднее значение меняется очень медленно. Прогноз на базе простейших моделей понятен, прост в подготовке, быстр в реализации. Основным недостатком данных методов является вероятная низкая точность прогноза.

Регрессионные модели прогнозирования

При использовании регрессионных моделей, как известно, зависимость результирующей величины y от рассматриваемой переменной (фактора) x описывается уравнением [20]:

$$y = f(x, \beta) + \varepsilon, \quad (1)$$

где β – вектор параметров, а ε – случайная ошибка модели.

Чаще всего используется линейная регрессия, для которой функция $f(x, \hat{\mathbf{a}})$ имеет вид:

$$f(x, \beta) = \beta_0 + \beta_1 x \quad (2)$$

где параметры β_0 и β_1 определяют положение прямой линии в соответствующих координатах.

При наличии нескольких факторов может

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (3)$$

где β_i – параметры (коэффициенты) регрессии, а x_i – регрессоры (факторы модели), k – количество указанных факторов.

Основные преимущества регрессионных моделей и методов: простота, гибкость и интерпретируемость [21]. При правильном использовании регрессионных моделей можно рассчитывать на получение результата быстрее, чем при использовании других моделей. Недостатки таких моделей: многие процессы реального мира не соответствуют предположениям линейности, что делает нецелесообразным применение линейных моделей, а построение нелинейных моделей (в особенности, для

множественной регрессии) зачастую ресурсоемко и трудновыполнимо.

Авторегрессионные модели прогнозирования

Авторегрессионные модели основаны на предположении о том, что величина итогового показателя, по отношению к которому рассматривается временной ряд (например, y_i в i -ый момент времени) зависит от значений этого же показателя в предыдущие моменты времени. Как правило, эта зависимость учитывается с помощью линейных соотношений.

Авторегрессионные модели (обозначаются $AR(p)$, где p – порядок модели) обычно задаются равенством:

$$y_i = \alpha_0 + \sum_{j=1}^p \alpha_j \cdot y_{i-j} + \varepsilon_i. \quad (4)$$

Здесь $\alpha_0, \alpha_j, j=1, 2, \dots, p$ – постоянные коэффициенты, y_{i-j} – значение показателя в предыдущий ($i-j$) – ый момент времени, ε_i – ошибка модели (белый шум).

Другая разновидность модели авторегрессии – модель скользящего среднего (MA) порядка q :

$$y_i = \frac{1}{q} \sum_{j=0}^q y_{i-j} + \varepsilon_i, \quad (5)$$

где $q \leq (i-1)$.

Более гибкая обобщенная модель, объединяющая в себе преимущества обеих вышеприве-

денных моделей, получила обозначение $ARMA(p, q)$ [15]:

$$y_i = \alpha_0 + \sum_{j=1}^p \varphi_j \cdot y_{i-j} - \theta_1 \varepsilon_{i-1} - \dots - \theta_q \varepsilon_{i-q}, \quad (6)$$

где $\varphi_j, j=1, 2, \dots, p; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$ – коэффициенты, которые надо определить по временному ряду.

Если расширить модель ARMA и в качестве входных данных использовать разности значений временного ряда d -го порядка, то получится модель авторегрессии проинтегрированного скользящего среднего, или модель Бокса-Дженкинса [15], обозначаемая $ARIMA(p, d, q)$. Данная модель фактически образуется путем приведения нестационарного

процесса к стационарному путем получения так называемых «интегрированных» значений временного ряда (за счет взятия разностей) и применения модели $ARMA(p, q)$.

К достоинствам данного вида моделей относятся простота, прозрачность, четкое математико-статистическое обоснование. Это сделало их одними из самых популярных моделей [22], используемых для решения задач прогнози-

вания временных рядов в различных предметных областях. Следствием распространенности стало появление множества методик подбора моделей, наиболее подходящих для каждого конкретного случая. К недостаткам, в свою очередь, следует необходимость решения отдельной трудоемкой задачи определения коэффициентов регрессии, а также требование наличия большого числа измерений за предыдущие периоды [23]. Кроме того, низкая адаптивность данного класса моделей затрудняет их использование для прогнозирования нелинейных процессов.

Модели экспоненциального сглаживания

Модели экспоненциального сглаживания построены на идее о формировании прогноза

путем вычисления средневзвешенного значения результатов предыдущих наблюдений с экспоненциальным уменьшением веса предыдущих наблюдений по мере поступления новых данных. Таким образом, последние показания будут иметь большее влияние на прогноз, нежели ранее полученные [20]. Данный тип моделей представляет собой фильтр, на вход которого постепенно поступают показания, а на выходе формируется прогнозное значение на основе экспоненциальной средней. Модели данного класса способны создавать быстрые достоверные прогнозы для широкого класса временных рядов. Наряду с авторегрессионными модели экспоненциального сглаживания являются наиболее часто используемыми для прогнозирования тенденций изменения временных рядов [22].

Простое экспоненциальное сглаживание (модель Брауна) применимо для краткосрочных прогнозов временного ряда и осуществляется по рекуррентной формуле:

$$y_i = \alpha x_i + (1 - \alpha)y_{i-1} = \alpha \sum_{n=0}^{i-1} (1 - \alpha)^n x_{i-n} + (1 - \alpha)^i y_0 \quad (7)$$

где параметр $\alpha \in (0,1)$, и чем он меньше, тем в большей степени фильтруются колебания исходного временного ряда; y_0 – начальное значение (арифметическая средняя всех имеющихся данных или какой-то их части).

Недостатком данной модели является то, что она не учитывает тренд (то есть долгосрочную

тенденцию динамики показателя) и сезонные изменения. С целью устранения недостатка, связанного с отсутствием учета линейного тренда, была разработана модель Хольта [24]. Она включает в себя уравнение прогноза и два «сглаживающих» уравнения (одно – для уровня и одно – для тренда):

$$\begin{aligned} y_{i+h} &= a_i + hb_i, \\ a_i &= \alpha_1 y_i + (1 - \alpha_1)(a_{i-1} - b_{i-1}), \\ b_i &= \alpha_2 (a_i - a_{i-1}) + (1 - \alpha_2)b_{i-1}. \end{aligned} \quad (7)$$

Здесь h – интервал времени для прогнозирования; a_i – прогноз, «очищенный» от тренда (уровень); b_i – параметр линейного тренда; $\alpha_1, \alpha_2 \in (0,1)$ – коэффициенты, определяющие чувствительность модели.

Развитием изложенного подхода стала модель с мультипликативным экспоненциальным трендом и учетом сезонности, получившая название модели

Хольта-Уинтерса. Она включает в себя уравнение прогноза и три уравнения, относящихся к сглаживанию: одно – для уровня a_i , одно – для тренда b_i и одно – для сезонной составляющей, которая обозначена s_i , со «сглаживающими» параметрами α, β и γ [20]:

$$\begin{aligned} y_{i+h} &= a_i + hb_i + s_{i-m+h_m^+}, \\ a_i &= \alpha (y_i - s_{i-m}) + (1 - \alpha)(a_{i-1} + b_{i-1}), \\ b_i &= \beta^* (a_i - a_{i-1}) + (1 - \beta)b_{i-1}, \\ s_i &= \gamma (y_i - a_{i-1} - b_{i-1}) + (1 - \gamma)s_{i-m}, \end{aligned} \quad (8)$$

где $h_m^+ = [(h - 1) \bmod m] + 1$; m – период сезонности.

Параметры α, β и γ предлагается находить экспериментальным путем.

К достоинствам моделей экспоненциального сглаживания следует отнести их пригодность для долгосрочного прогнозирования, а также простоту

их анализа и модифицирования. Недостатком данного класса моделей, согласно [25], является их ограниченная гибкость.

Необходимо указать, что модели Хольта и Хольта-Уинтерса приобретают особое значение с точки зрения их применимости для прогнозирования состояния ГС ввиду того, что допускают модификацию, ориентированную на работу с интервальными данными [26]. Такая особенность крайне важна, так как все результаты измерений контролируемых параметров ГС в силу наличия погрешностей могут рассматриваться как величины, заданные с точностью до интервалов своего изменения. В качестве предложений для дальнейших исследований можно сформулировать путь, который кажется автору данной статьи достаточно перспективным: развить и усовершенствовать интервальную модификацию алгоритмов прогнозирования таким образом, чтобы выполнение окончательного прогноза осуществлять с заданной вероятностью ошибки (то есть фиксированным показателем достоверности). Благоприятные предпосылки к этому существуют вследствие наличия методик получения интервальнозначных оценок вероятностей [27] – [29], которые позволяют делать достоверные заключения о тех или иных характеристиках анализируемого процесса в условиях высокого уровня исходной неопределенности.

Заключение

Несмотря на то, что в распоряжении исследователей и практиков находится чрезвычайно большое количество методов прогнозирования для моделей в форме временных рядов, на сегодняшний день нет универсального подхода, позволяющего априорно указать на наилучший метод применительно к объектам в пределах конкретной предметной области. Как правило, необходимо осуществлять проверку эффективности того или иного алгоритма на базе распадаемого массива исходных данных.

Так, модели авторегрессии и скользящего сред-

него хорошо подходят для прогнозирования тех временных рядов, значения итоговой переменной в которых разбросаны в окрестности ее математического ожидания. В то же время, адаптивные модели прогнозирования (например, модель Брауна и др.) предоставляют лучшие возможности для быстрого обновления прогноза на основе вновь поступивших данных, так как основной вклад в результат дает лишь небольшая часть самых последних значений временного ряда. Скорость адаптивных методов позволяет применять их для быстрого прогнозирования при наличии больших объемов данных.

Длительное время считалось, что такие модели, как ARIMA, дают самые точные результаты прогнозирования временных рядов. Тем не менее, ряд исследований [30, 31] показал, что авторегрессионные модели не имеют явных преимуществ перед моделями экспоненциального сглаживания. Кроме того, при получении новых данных параметры модели авторегрессии необходимо переоценивать. Данный класс моделей основывается на предположении, что прогнозируемый временной ряд соответствует законам изменения какой-либо функции, параметры которой и следует определить. Таким образом, рассматриваемый процесс при этом считается стабильным, а новые данные, не соответствующие заданным параметрам, не учитываются. В свою очередь, в моделях экспоненциального сглаживания основное внимание уделяется описанию «внешней» динамики изменения процесса, а не вскрытию внутренних функциональных зависимостей.

Модели ARIMA, обладая отмеченными недостатками, остаются, тем не менее, достаточно точным и удобным инструментом прогнозирования.

В целом же для каждого конкретного случая следует использовать свою наиболее подходящую прогнозную модель. В работе [32] предложен алгоритм выбора модели прогнозирования в зависимости от характеристик временного ряда (рис.2).

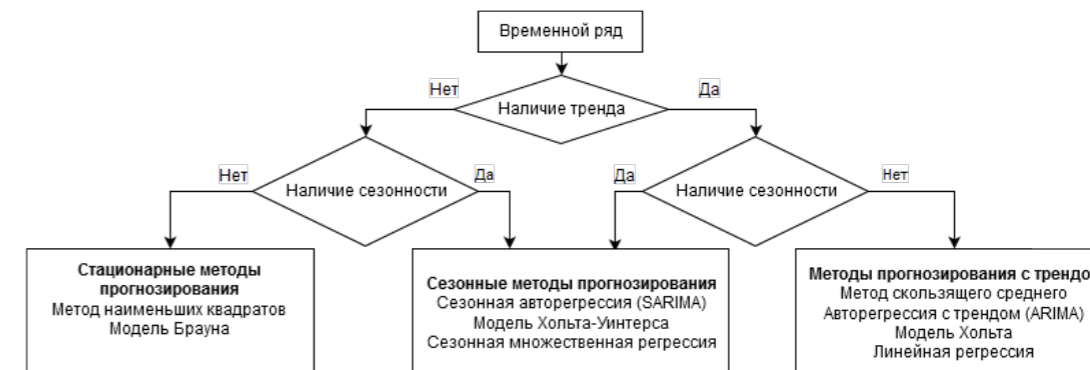


Рис 2. Алгоритм выбора модели прогнозирования временного ряда

Проанализировав особенности характеристик временных рядов для контролируемых параметров ГС (давлений на входе и выходе ГПП), можно заключить, что исследуемые процессы имеют безусловные признаки «сезонности», вызванные суточными колебаниями потребления газа, что сочетается с отсутствием явно выраженного тренда. Таким образом, в соответствии с приведенными выше соображениями (рис.2), для прогнозирования исследуемых процессов наиболее подходящими оказываются методы и модели, учитывающие «сезонность». Кроме того, необходимость делать быстрые прогнозы без пересмотра значений параметров выбранной модели делает логичным выбор в пользу адаптивных моделей. В итоге – наиболее целесообразной для прогнозирования поведения контролируемых параметров ГС и, соответственно, возможности развития нештатных ситуаций оказывается модель Хольта-Уинтерса. В свою очередь, применение интервального аналога модели Хольта-Уинтерса [26] позволяет строить прогноз с учетом погрешностей измерения указанных параметров.

Список литературы

1. *Виноградова О.* Газификация всей России? [Текст] / О. Виноградова // Нефтегазовая вертикаль. – 2012. – № 6 (340). – С. 64-67
2. СНиП 42-01-2002. Газораспределительные системы. [Текст]. – М.: Госстрой России. – 2003. – 35 с.
3. Правила безопасности систем газораспределения и газопотребления (ПБ 12-529-03). – М.: ГУП «НТЦ по безопасности в промышленности Ростехнадзора России». – 2006. – 85 с.
4. *Крымский В.Г.* Автоматизация управления технологическими процессами в газораспределительных сетях: проблемы, тенденции и перспективы [Текст] / В.Г. Крымский, И.М. Жалбеков, Р.Р. Имильбаев, А.Р. Юнусов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2013. – Т.9.-№2. – С.70-79.
5. *Крымский В.Г.* Выбор периодичности обновления информации о состоянии газораспределительной сети при использовании системы телеметрии [Текст] / В.Г. Крымский, Ф.М. Ахмеджанов, Р.Р. Имильбаев, А.Р. Юнусов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2014. – Т.10.-№1. – С.78-85.
6. *Фастов Л.М.* Надежность систем газоснабжения: монография [Текст] / Л.М. Фастов, О.Н. Медведева, Е.Б. Соловьева. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т.- 2012. – 142 с.
7. *Афанасьев В.Н.* Анализ временных рядов и прогнозирование: учебник [Текст] / В.Н. Афанасьев, М.М. Юзбашев. – М.: Финансы и статистика. – 2001. – 228 с.
8. *Лоскутов А.Ю.* Основы теории сложных систем [Текст] / А.Ю. Лоскутов, А.С. Михайлов. – М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований. – 2007. – 620 с.
9. *Adhikari R.* An Introductory Study on Time Series Modeling and Forecasting [Text] / R. Adhikari, R. K. Agrawal. – LAP Lambert Academic Publishing. – 2013. – 67 p.
10. *Васильева Л.Н.* Методы управления в инновационной деятельности: учеб. пособие [Текст] / Л.Н. Васильева, Е.А. Муравьева. – М.: Кнорус. – 2005. – 58 с.
11. *Тихонов Э.Е.* Прогнозирование в условиях рынка: учеб. пособие [Текст] / Э.Е. Тихонов – Невинномысск. – 2006. – 221 с.
12. *Громова Н.М.* Основы экономического прогнозирования: учеб. пособие [Текст] / Н.М. Громова, Н.И. Громова. – М.: Академия Естествознания. – 2007. – 112 с.
13. *Чучуева И.А.* Классификация методов прогнозирования по Э. Тихонову [Электронный ресурс] / И.А. Чучуева // Математическое бюро. – URL: <http://www.mbureau.ru/blog/klassifikaciya-metodov-prognozirovaniya-po-e-tihonovu> (дата обращения: 15.02.2016).
14. *Makridakis S.G.* Forecasting: methods and applications (3rd edition) [Text] / S.G. Maridakis, S.C. Wheelwright, R.J. Hyndman. – New York: John Wiley & Sons. – 1998. – 642 p.
15. *Бокс Дж.* Анализ временных рядов, прогноз и управление [Текст] / Дж. Бокс, Г.М. Дженкинс. – М.: Мир, – 1974. – 406 с.
16. *Чучуева И.А.* Классификация методов и моделей прогнозирования [Электронный ресурс] / И.А. Чучуева. – URL: <https://habrahabr.ru/post/177633/> (дата обращения: 15.02.2016).
17. *Gentry L.* The forecasting classification grid: a typology for method selection [Text] / L. Gentry, R.J. Calantone, S.A. Chui // Journal of Global Business Management. – 2006. – Vol.2.-No.1.-P.48-60.
18. *Jingfei Yang.* Power System Short-term Load Forecasting: Thesis for Ph.d degree [Text] / Yang Jingfei.- Darmstadt: Elektrotechnik und Informationstechnik der Technischen Universitat. – 2006. – 139 p.
19. Time series forecasting [Electronic resource] / A.Taanila. – URL: <http://myy.haaga-helia.fi/~taaak/q/forec.pdf> (дата обращения: 17.02.2016).
20. *Hyndman R.J.* Forecasting: principles and practice [Text] / R.J. Hyndman, G. Athanasopoulos.- OTexts, 2013. – 291 p.
21. *Chambers M.* Advanced Analytics Methodologies: Driving Business Value with Analytics [Text] / M.Chambers, T.W. Dinsmore. – Pearson FT Press, 2014. – 336 p.
22. *Gheyas I.A.* A Neural Network Approach to Time Series Forecasting [Text] / I. A. Gheyas, L. S. Smith // Proceedings of the World Congress on Engineering. – London: International Association of Engineers. – 2009. – Vol 2. – P. 1292–1296.
23. *Hanke J.E.* Business Forecasting (7th edition) [Text] / J. E. Hanke, D. W. Wichern, A. G. Reitsch. – Prentice Hall, 2001. – 498 p.
24. *Holt C.C.* Forecasting seasonal and trends by exponentially weighted averages [Text] // ONR Memorandum No.52. – Pittsburgh, USA: Carnegie Institute of Technology. – 1957. Reprinted in: Holt C.C. Forecasting seasonal and trends by exponentially weighted averages [Text] // International Journal of Forecasting. – 2004. – V. 20. – No.1. – P. 5-10.
25. *Alfares H.K.* Electric load forecasting: literature survey and classification of methods [Text] / H.K. Alfares, M. Nazeeruddin // International Journal of Systems Science. – 2002. – Vol 33. – P. 23–34.
26. *Крымский В.Г.* Прогнозирование состояния газораспределительной сети на основе данных телеметрии для предупреждения аварийных ситуаций [Текст] / В.Г. Крымский, Ф.М. Ахмеджанов, Р.Р. Имильбаев, А.Р. Юнусов // Электротехнические и информационные комплексы и системы.- 2015. – Т.11.- №2. – С.37-42.
27. *Kozine I.* Enhancement of Natural Extension [Text] / I. Kozine, V. Krymsky // ISIPTA 2007 – Proceedings of the 5th International Symposium on Imprecise Probability: Theories and Applications.-Prague: Action M. Agency.-2007.-P.253-262.
28. *Kozine I.O.* Computing interval-valued statistical characteristics: where is the stumbling block for reliability applications? [Text] / I.O. Kozine, V.G. Krymsky // International Journal of General Systems.- 2009.-Vol.38.-No.5.-P.547-565.
29. *Kozine I.O.* An interval-valued reliability model with bounded failure rates [Text] / I.O. Kozine, V.G. Krymsky // International Journal of General Systems.- 2012.-Vol.41.-No.8.-P.760-773.
30. *Makridakis S.* The accuracy of extrapolation (time series) methods: Results of a forecasting competition [Text] / S. Makridakis, A. Andersen., R. Carbone, R. Fildes, M. Hibon et al // Journal of Forecasting. – 1982. -Vol. 1. -Issue 2. -P. 111-153.
31. *Smith M.* A Comparison of Time Series Model Forecasting Methods on Patent Groups [Text] / M. Smith, R. Agrawal // Modern AI and Cognitive Science Conference. – 2015. - Vol. 1353. -P. 167-173.
32. *Awokuse T.* Using Statistical Data to Make Decisions [Electronic resource] / T. Awokuse, T. Ilvento. – URL: <http://www.udel.edu/FREC/ilvento/BUAD820/MOD604.pdf> (дата обращения: 17.02.2016).

References

1. *Vinogradova O.* Gazifikacija vsej Rossii? [Tekst] / O. Vinogradova // Neftegazovaja vertikal'. – 2012. – № 6 (340). – P. 64-67
2. SNiP 42-01-2002. Gazoraspredelitel'nye sistemy. [Tekst]. – M.: Gosstroj Rossii. – 2003. – 35 p.
3. Pravila bezopasnosti sistem gazoraspredelenija i gazopotreblenija (PB 12-529-03). – M.: GUP «NTC po bezopasnosti v promyshlennosti Rostehnadzora Rossii». – 2006. – 85 p.
4. *Krymskij V.G.* Avtomatizacija upravljenja tehnologicheskimi processami v gazoraspredelitel'nyh setjah: problemy, tendencii i perspektivy [Tekst] / V.G. Krymskij, I.M. Zhalbekov, R.R. Imil'baev, A.R. Junusov // Jelektrotehnicheskie i informacionnye komplekсы i sistemy. – 2013. – Т.9.-№2. – С.70-79.
5. *Krymskij V.G.* Vybor periodichnosti obnovlenija informacii o sostojanii gazoraspredelitel'noj seti pri ispol'zovanii sistemy telemektrii [Tekst] / V.G. Krymskij, F.M. Ahmedzhanov, R.R. Imil'baev, A.R. Junusov // Jelektrotehnicheskie i informacionnye komplekсы i sistemy. – 2014. – Т.10.-№1. – С.78-85.
6. *Fastov L.M.* Nadezhnost' sistem gazosnabzhenija: monografija [Tekst] / L.M. Fastov, O.N. Medvedeva, E.B. Solov'eva. – Saratov: Sarat. gos. tehn. un-t.- 2012. – 142 p.
7. *Afanas'ev V.N.* Analiz vremennyh rjadov i prognozirovanie: uchebnik [Tekst] / V.N. Afanas'ev, M.M. Juzbashev. – М.: Finansy i statistika. – 2001. – 228 p.
8. *Loskutov A.Ju.* Osnovy teorii slozhnyh sistem [Tekst] / A.Ju. Loskutov, A.S. Mihajlov. – М.-Izhevsk: Institut komp'juternyh issledovanij. – 2007. – 620 p.
9. *Adhikari R.* An Introductory Study on Time Series Modeling and Forecasting [Text] / R. Adhikari, R. K. Agrawal. – LAP Lambert Academic Publishing. – 2013. – 67 p.
10. *Vasil'eva L.N.* Metody upravljenja v innovacionnoj dejatel'nosti: ucheb. posobie [Tekst] / L.N. Vasil'eva, E.A. Murav'eva. – М.: Knorus. – 2005. – 58 p.
11. *Tihonov Je.E.* Prognozirovanie v uslovijah rynka: ucheb. posobie [Tekst] / Je.E. Tihonov – Nevinnomyssk. – 2006. – 221 p.
12. *Gromova N.M.* Osnovy jekonomicheskogo prognozirovanija: ucheb. posobie [Tekst] / N.M. Gromova, N.I. Gromova. – М.: Akademija Estestvoznaniya. – 2007. – 112 p.

13. *Chuchueva I.A.* Klassifikacija metodov prognozirovaniya po Je. Tihonovu [Jelektronnyj resurs] / I.A. Chuchueva // Matematicheskoe bjuro. – URL: <http://www.mbureau.ru/blog/klassifikaciya-metodov-prognozirovaniya-po-e-tihonovu> (data obrashhenija: 15.02.2016).

14. *Makridakis S.G.* Forecasting: methods and applications (3rd edition) [Text] / S.G. Makridakis, S.C. Wheelwright, R.J. Hyndman. – New York: John Wiley & Sons. – 1998. – 642 p.

15. *Boks Dzh.* Analiz vremennyh rjadov, prognoz i upravlenie [Tekst] / Dzh. Boks, G.M. Dzhenkins. – M.: Mir, – 1974. – 406 p.

16. *Chuchueva I.A.* Klassifikacija metodov i modelej prognozirovaniya [Jelektronnyj resurs] / I.A. Chuchueva. – URL: <https://habrahabr.ru/post/177633/> (data obrashhenija: 15.02.2016).

17. *Gentry L.* The forecasting classification grid: a typology for method selection [Text] / L. Gentry, R.J. Calantone, S.A. Chui // Journal of Global Business Management. – 2006. – Vol.2.-No.1.-P.48-60.

18. *Jingfei Yang.* Power System Short-term Load Forecasting: Thesis for Ph.d degree [Text] / Yang Jingfei. – Darmstadt: Elektrotechnik und Informationstechnik der Technischen Universitat. – 2006. – 139 p.

19. Time series forecasting [Electronic resource] / A.Taanila. – URL: <http://myy.haaga-helia.fi/~taaak/q/forec.pdf> (data obrashhenija: 17.02.2016).

20. *Hyndman R.J.* Forecasting: principles and practice [Text] / R.J. Hyndman, G. Athanasopoulos. – OTexts, 2013. – 291 p.

21. *Chambers M.* Advanced Analytics Methodologies: Driving Business Value with Analytics [Text] / M.Chambers, T.W. Dinsmore. – Pearson FT Press, 2014. – 336 p.

22. *Gheyas I.A.* A Neural Network Approach to Time Series Forecasting [Text] / I.A. Gheyas, L. S. Smith // Proceedings of the World Congress on Engineering. – London: International Association of Engineers. – 2009. – Vol 2. – P. 1292–1296.

23. *Hanke J.E.* Business Forecasting (7th edition) [Text] / J. E. Hanke, D. W. Wichern, A. G. Reitsch. – Prentice Hall, 2001. – 498 p.

24. *Holt C.C.* Forecasting seasonal and trends

by exponentially weighted averages [Text] // ONR Memorandum No.52. – Pittsburgh, USA: Carnegie Institute of Technology. – 1957. Reprinted in: Holt C.C. Forecasting seasonal and trends by exponentially weighted averages [Text] // International Journal of Forecasting. – 2004. – V. 20. – No.1. – P. 5-10.

25. *Alfares H.K.* Electric load forecasting: literature survey and classification of methods [Text] / H.K. Alfares, M. Nazeeruddin // International Journal of Systems Science. – 2002. – Vol 33. – P. 23–34.

26. *Krymskij V.G.* Prognozirovanie sostojanija gazoraspredelitel'noj seti na osnove dannyh telemetrii dlja preduprezhdenija avarijnyh situacij [Tekst] / V.G. Krymskij, F.M. Ahmedzhanov, R.R. Imil'baev, A.R. Junusov // Jelektrotehnicheskie i informacionnye komplekсы i sistemy.- 2015. – T.11.- №2. –C.37-42.

27. *Kozine I.O.* Enhancement of Natural Extension [Text] / I. Kozine, V. Krymsky // ISIPTA 2007 – Proceedings of the 5th International Symposium on Imprecise Probability: Theories and Applications.- Prague: Action M. Agency.-2007.-P.253-262.

28. *Kozine I.O.* Computing interval-valued statistical characteristics: where is the stumbling block for reliability applications? [Text] / I.O. Kozine, V.G. Krymsky // International Journal of General Systems.- 2009.-Vol.38.-No.5.-P.547-565.

29. *Kozine I.O.* An interval-valued reliability model with bounded failure rates [Text] / I.O. Kozine, V.G. Krymsky // International Journal of General Systems.- 2012.-Vol.41.-No.8.-P.760-773.

30. *Makridakis S.* The accuracy of extrapolation (time series) methods: Results of a forecasting competition [Text] / S. Makridakis, A. Andersen., R. Carbone, R. Fildes, M. Hibon et al // Journal of Forecasting. – 1982. -Vol. 1. -Issue 2. -P. 111-153.

31. *Smith M.* A Comparison of Time Series Model Forecasting Methods on Patent Groups [Text] / M. Smith, R. Agrawal // Modern AI and Cognitive Science Conference. - 2015. - Vol. 1353. -P. 167-173.

32. *Awokuse T.* Using Statistical Data to Make Decisions [Electronic resource] / T. Awokuse, T. Ilvento. – URL: <http://www.udel.edu/FREC/ilvento/BUAD820/MOD604.pdf> (data obrashhenija: 17.02.2016).



Volovach V.I.
Воловач В.И.

*cand. sci. tech., assistant professor,
head of department «Informational and electronic
service department», FSBEI HE
«Volga region state university of service»
Russia, Togliatti*



Anfalov K.V.
Анфалов К. В.

*senior lector
«Informational and electronic service
department», FSBEI HE «Volga region
state university of service»
Russia, Togliatti*

УДК 681.3.06

EVALUATION EFFICIENCY SERIAL INPUT IN SYNCHRONISM CONSTITUENTS SEQUENCE AT SERVICE DATA TRANSMISSION

This article is about using of M-sequences to synchronize the data transmission system in a busy telecom channel. The concept of expression and proposed for the determination of the coefficient of acceleration input system matching. Transmission equipment uses a noise-signal for the united transfer single messages and the main voice signal, but in connection with the united transmission of two useful signals in one-frequency channel issues arise noise immunity.

In the simultaneous transmission of two signals in one frequency channel to consider their mutual influence, which in fact can be compensated by including applying error-correcting coding.

For a correct choice of the service data signal to be determined, primarily, their maximum level, and a number of other features.

Substantiated and solved the problem of synchronization of the service data transmission system based on the noise-like signal recognition, given as a combined M- sequences.

There're expressions for determining the time based on correlation sequences. In the example values were calculated acceleration ratios for combination of sequences of different lengths and with different numbers of constituent sequences.

The calculation of the comparative rate of acceleration input in synchronism. The values of the combination coefficients for acceleration sequences of different lengths and with different numbers of constituent sequences.

The article considers the problem of synchronization transmission system based on the noise-like signals detection. Combined M- sequences were chosen as a noise-like signal. The solution of this problem allows determining the most effective noise-like sequences and methods for their generation. The article estimates different sequences and compares the system performance of synchronization by comparing acquisition times. The dependence of efficiency the synchronization system, parameters of combination sequences. A comparison of the effectiveness different methods obtaining the combination sequences based on analyzing the correlation properties sequences and the calculated acceleration factor enter in synchronism.

There is a logical block diagram implementing the principle combining the components of the sequences with the appropriate logic function. A block diagram of the correlator implements a combined search sequences.