

## 11.2. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСХОДА ТОПЛИВА КОТЕЛЬНЫМИ УСТАНОВКАМИ НА СУГ

Кумаритов А.М., д.т.н., профессор,  
зав. кафедрой информационных систем в экономике;  
Агаев В.С., ведущий инженер  
кафедры информационных систем в экономике

*Северо-Кавказский горно-металлургический  
институт (государственный технологический  
университет), РСО-Алания, г. Владикавказ*

В данной статье рассмотрены вопросы современной энергетики Российской Федерации, находящейся в сложном состоянии, о чем говорит износ фондов и т.д. Также на сегодняшний день актуальны вопросы, связанные с улучшением экономического и экологического состояния энергетики. Одним из инновационных проектов является проект котельных установок, использующих в качестве топлива сжиженный углеводородный газ (СУГ). Для оптимизации работы системы котельных на СУГ, снижения затрат на эксплуатацию необходимо осуществлять своевременное планирование и поставку СУГ той или иной котельной установкой. При использовании большого количества котельных для теплоснабжения удаленных от городской местности объектов данный вопрос становится более актуальным. Определять время полного расхода топлива на котельной установке предлагается расчетным способом, используя методы прогнозирования. При этом адекватные прогнозные значения составляют основную информацию для осуществления эффективной процедуры планирования и принятия решения при определении оптимального времени поставки СУГ.

Разработка проектов применения сжиженных углеводородных газов (СУГ), а именно, пропан-бутановой смеси как стартового, резервного или основного вида топлива для промышленных котельных малой и средней мощности, была начата в 2004 г. Система эксплуатации котельных установок на СУГ является более перспективной в экономическом плане по сравнению с использованием ряда типов котельных на стандартных видах топлива. Отличительной чертой данных котельных установок является отсутствие подходящего газопровода и использование резервуаров для хранения СУГ. Для оптимизации работы системы котельных на СУГ, снижения затрат на эксплуатацию необходимо осуществлять своевременное планирование и поставку СУГ той или иной котельной установкой. При использовании большого количества котельных для теплоснабжения удаленных от городской местности объектов данный вопрос становится более актуальным. Определять время полного расхода топлива на котельной установке предлагается расчетным способом, используя

методы прогнозирования. При этом адекватные прогнозные значения составляют основную информацию для осуществления эффективной процедуры планирования и принятия решения при определении оптимального времени поставки СУГ. Прогнозные значения могут быть получены на основе временных рядов данных. Поскольку в зависимости от типа котельной установки ее мощности, присоединенной мощности, количества резервуаров, время расхода топлива отличается, расчеты занимают длительное время, и возникает необходимость периодического перерасчета для каждого объекта.

Для определения адекватности прогнозных значений необходимо иметь фактические значения по расходу топлива на теплоснабжение. Одним из способов определения расхода топлива за определенный промежуток времени является определение тепловых нагрузок потребителей. Тепловые нагрузки принимают по проектным данным, если в результате обследования установлено соответствие проектам систем отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха и горячего водоснабжения. При отсутствии проектов или их несоответствии фактическим данным, тепловые нагрузки для промышленных зданий определяются расчетным методом с учетом выявления при обследовании характеристик отопительных приборов, а для жилых зданий по удельным характеристикам [1].

За суточную тепловую нагрузку для жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) установлена сумма расхода теплоты на отопление и горячее водоснабжение (ГВС):

$$Q = \sum_{i=1}^n (Q_{om} + Q_{г.в.с.}), \quad (1)$$

где  $n$  – количество зданий, отапливаемых котельной установкой.

На отопление жилых, общественных и административных зданий расчет расхода теплоты  $Q_{om}$  (Гкал/час) определяют по формуле:

$$Q_{om} = \alpha q V (\Delta t) 10^{-6}, \quad (2)$$

где  $\alpha$  – поправочный коэффициент, учитывающий климатические условия района (на примере Северной Осетии, он равен 1,22);

$q$  – удельная отопительная характеристика здания

В качестве примера расхода СУГ для расчета прогнозных значений расхода топлива котельными установками, приняты расчетные значения за период с 1 января 2009 г. по 19 января 2009 г., представленные в табл. 1.

Таблица 1

ПОСУТОЧНЫЙ РАСХОД СУГ  
ЗА ПЕРИОД С 1 ЯНВАРЯ 2009 г. ПО 19 ЯНВАРЯ 2009 г., м<sup>3</sup>

Порядковый номер элемента ряда	Дата	Значение расхода СУГ, м <sup>3</sup>	Порядковый номер элемента ряда	Дата	Значение расхода СУГ, м <sup>3</sup>
1	1.01.2009	0,57	11	11.01.2009	0,53
2	2.01.2009	0,47	12	12.01.2009	0,40
3	3.01.2009	0,5	13	13.01.2009	0,35
4	4.01.2009	0,57	14	14.01.2009	0,35
5	5.01.2009	0,5	15	15.01.2009	0,32
6	6.01.2009	0,56	16	16.01.2009	0,28
7	7.01.2009	0,67	17	17.01.2009	0,31
8	8.01.2009	0,53	18	18.01.2009	0,48
9	9.01.2009	0,67	19	19.01.2009	0,5
10	10.01.2009	0,56	-	-	-

В ходе прогнозирования важно выделить модель временного ряда. Так как в ряде динамики присутствуют возрастающие или убывающие вариации данных, они выражаются в виде амплитуды колебаний, будет использоваться мультипликативная модель:

$$Y_t = T_t \cdot S_t + e_t, \tag{3}$$

где

$t$  – период детализации;

$Y$  – прогнозируемое значение;

$T$  – тренд;

$S$  – временные изменения;

$e$  – шум.

Используя MathCAD, представим фактические данные:

$$ORIGIN := 1;$$

$$Y := (0.57; 0.47; 0.5; 0.57; 0.5; 0.56; 0.67; 0.53;$$

$$0.40; 0.35; 0.35; 0.32; 0.28; 0.31; 0.47; 0.5);$$

$$Y := Y^T;$$

$$n := 19;$$

$$i := 1..n,$$

где

$n$  := 19 – количество дней.

Один из способов нахождения тренда – сглаживание ряда методом скользящего среднего [4, 8, 11, 6]. Сглаживание почти полностью устраняет временные колебания и шум. В ходе исследования выявлено, что наиболее эффективно использовать сглаживания для построения тренда и расчет прогнозных значений по 12 точкам (по 12 дням). Скользящее среднее с периодом сглаживания 12 дней имеет вид:

$$M_t := \frac{1}{12} (Y_t + Y_{t-1} + \dots + Y_{t-11}), \tag{4}$$

где

$M_t$  – значение скользящего среднего в точке  $t$ ,

$Y_t$  – значение временного ряда в точке  $t$ . И вычисляется следующим образом:

для  $M_{12}$ :

$$M_{12} := \frac{1}{12} * (Y_{12} + Y_{11} + Y_{10} + Y_9 + Y_8 + Y_7 + Y_6 + Y_5 + Y_4 + Y_3 + Y_2 + Y_1),$$

для  $M_{13}$ :

$$M_{12} := \frac{1}{12} * (Y_{13} + Y_{12} + Y_{11} + Y_{10} + Y_9 + Y_8 + Y_7 + Y_6 + Y_5 + Y_4 + Y_3 + Y_2).$$

Таким же способом рассчитываются значения до  $M_{19}$

После чего получим вектор данных:

$$M_t = \begin{pmatrix} 0.544 \\ 0.526 \\ 0.516 \\ 0.501 \\ 0.477 \\ 0.461 \\ 0.453 \\ 0.439 \end{pmatrix}.$$

Прологарифмируем уравнение мультипликативной модели, и если шум  $e_t$  не очень большой, то получим аддитивную модель:

$$\ln(Y_t) := \ln(T_t) + \ln(S_t) + \varepsilon_{t,t}, \tag{5}$$

Для  $n := 19$  где  $n$  – величина временного ряда, а  $t := 12..n$  получим следующие данные:

$$\ln(Y) = \begin{pmatrix} -0.562 \\ -0.755 \\ -0.693 \\ -0.562 \\ -0.693 \\ -0.58 \\ -0.4 \\ -0.635 \\ -0.4 \\ -0.58 \\ -0.635 \\ -0.919 \\ -1.05 \\ -1.05 \\ -1.139 \\ -1.273 \\ -1.171 \\ -0.755 \\ -0.693 \end{pmatrix}; \ln(M_t) = \begin{pmatrix} -0.608 \\ -0.643 \\ -0.662 \\ -0.691 \\ -0.741 \\ -0.775 \\ -0.791 \\ -0.823 \end{pmatrix}.$$

Графическое изображение прологарифмированного тренда  $M_t$  и величины  $Y$  отобразим на рис. 1:

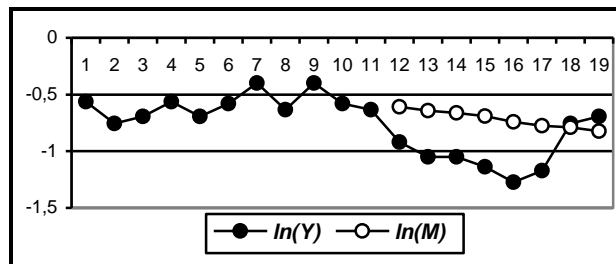


Рис. 1. График прологарифмированных показателей  $Y_i$  и  $M_t$

Следующим этапом прогнозирования является прогнозирование тренда. Используя выше перечисленные модели прогнозирования и формулы расчета их коэффициентов, было выявлено, что наиболее точно описывают тренд две модели – абсолютный прирост и полином второго порядка.

$$\ln(L) = \begin{pmatrix} -0.609 \\ -0.642 \\ -0.662 \\ -0.691 \\ -0.74 \\ -0.774 \\ -0.792 \\ -0.823 \\ -0.858 \\ -0.894 \\ -0.931 \\ -0.97 \\ -1.011 \\ -1.053 \\ -1.097 \\ -1.143 \\ -1.191 \\ -1.241 \\ -1.295 \\ -1.351 \end{pmatrix}; \ln(P) = \begin{pmatrix} -0.609 \\ -0.642 \\ -0.662 \\ -0.691 \\ -0.74 \\ -0.774 \\ -0.792 \\ -0.823 \\ -0.821 \\ -0.851 \\ -0.846 \\ -0.86 \\ -0.856 \\ -0.856 \\ -0.853 \\ -0.839 \\ -0.837 \\ -0.812 \\ -0.81 \\ -0.777 \end{pmatrix}.$$

где  $\ln(L)$  – прологарифмированные значения спрогнозированного тренда, используя средний абсолютный прирост (прямая);

$\ln(P)$  – прологарифмированные значения спрогнозированного тренда, используя полином второго порядка (парабола).

После нахождения прогнозных значений тренда, было выявлено, что коэффициенты детерминации  $R^2$  у прямой и параболы практически одинаковые. У прямой коэффициент детерминации составил  $R^2 = 0,990$ , у параболы  $R^2 = 0,991$ .

Исходя из этого в экспериментальных целях, было принято решение, в качестве прогноза тренда взять среднее арифметическое между прямой и параболой:

$$x := \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \\ 9 \\ 10 \\ 11 \\ 12 \\ 13 \\ 14 \\ 15 \\ 16 \\ 17 \\ 18 \\ 19 \\ 20 \end{pmatrix}; F := \frac{(L + P)}{2} = \begin{pmatrix} 0.544 \\ 0.526 \\ 0.516 \\ 0.501 \\ 0.477 \\ 0.461 \\ 0.453 \\ 0.439 \\ 0.432 \\ 0.418 \\ 0.412 \\ 0.401 \\ 0.394 \\ 0.387 \\ 0.38 \\ 0.375 \\ 0.369 \\ 0.367 \\ 0.36 \\ 0.36 \end{pmatrix}; \ln(F) = \begin{pmatrix} -0.609 \\ -0.642 \\ -0.662 \\ -0.691 \\ -0.74 \\ -0.774 \\ -0.792 \\ -0.823 \\ -0.839 \\ -0.872 \\ -0.888 \\ -0.914 \\ -0.93 \\ -0.949 \\ -0.968 \\ -0.979 \\ -0.998 \\ -1.004 \\ -1.023 \\ -1.023 \end{pmatrix},$$

где  $F$  – среднее арифметическое между прямой и параболой;

$\ln(F)$  – логарифм среднего арифметического  $F$ ,  
 $X$  – значения ряда динамики.

На рис. 2 графически отобразим данную операцию.

Рассчитав прогноз тренда, можно рассчитать прогноз самого показателя. Формула расчета выглядит следующим образом:

$$\ln(Y_{t+1}) := 12 * M_{t+1} - \ln(Y_t) - \ln(Y_{t-1}) - \dots - \ln(Y_{t-10}); \tag{6}$$

$$Y_{t+1} := \exp(\ln(Y_{t+1})). \tag{7}$$

До периода  $t$  есть фактические значения расхода сжиженного углеводородного газа ( $t:=19$ ). Для прогнозируемого интервала времени ( $t:=20..31$ ) используется спрогнозированный прологарифмированный тренд ( $\ln(F)$ ). Значения показателя необходимо рассчитывать пошагово, сперва, для  $t = 20$ , затем, используя спрогнозированный показатель, для  $t = 21$  и так далее.

Расчет показателя в MathCAD выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} PR_1 &:= 12 * MP_9 - \ln(Y_{19}) - \ln(Y_{18}) - \ln(Y_{17}) - \ln(Y_{16}) - \\ &- \ln(Y_{15}) - \ln(Y_{14}) - \ln(Y_{13}) - \ln(Y_{12}) - \ln(Y_{11}) - \ln(Y_{10}) - \ln(Y_9); \\ PR_2 &:= 12 * MP_{10} - PR_1 - \ln(Y_{19}) - \ln(Y_{18}) - \ln(Y_{17}) - \\ &- \ln(Y_{16}) - \ln(Y_{15}) - \ln(Y_{14}) - \ln(Y_{13}) - \ln(Y_{12}) - \ln(Y_{11}) - \ln(Y_{10}); \\ PR_3 &:= 12 * MP_{11} - PR_2 - PR_1 - \ln(Y_{19}) - \ln(Y_{18}) - \\ &- \ln(Y_{17}) - \ln(Y_{16}) - \ln(Y_{15}) - \ln(Y_{14}) - \ln(Y_{13}) - \ln(Y_{12}) - \ln(Y_{11}); \\ PR_4 &:= 12 * MP_{12} - PR_3 - PR_2 - PR_1 - \ln(Y_{19}) - \\ &- \ln(Y_{18}) - \ln(Y_{17}) - \ln(Y_{16}) - \ln(Y_{15}) - \ln(Y_{14}) - \ln(Y_{13}) - \ln(Y_{12}); \\ PR_5 &:= 12 * MP_{13} - PR_4 - PR_3 - PR_2 - PR_1 - \\ &- \ln(Y_{19}) - \ln(Y_{18}) - \ln(Y_{17}) - \ln(Y_{16}) - \ln(Y_{15}) - \ln(Y_{14}) - \ln(Y_{13}); \\ PR_6 &:= 12 * MP_{14} - PR_5 - PR_4 - PR_3 - PR_2 - \\ &- PR_1 - \ln(Y_{19}) - \ln(Y_{18}) - \ln(Y_{17}) - \ln(Y_{16}) - \ln(Y_{15}) - \ln(Y_{14}); \\ PR_7 &:= 12 * MP_{15} - PR_6 - PR_5 - PR_4 - PR_3 - \\ &- PR_2 - PR_1 - \ln(Y_{19}) - \ln(Y_{18}) - \ln(Y_{17}) - \ln(Y_{16}) - \ln(Y_{15}); \\ PR_8 &:= 12 * MP_{16} - PR_7 - PR_6 - PR_5 - PR_4 - \\ &- PR_3 - PR_2 - PR_1 - \ln(Y_{19}) - \ln(Y_{18}) - \ln(Y_{17}) - \ln(Y_{16}); \\ PR_9 &:= 12 * MP_{17} - PR_8 - PR_7 - PR_6 - PR_5 - \\ &- PR_4 - PR_3 - PR_2 - PR_1 - \ln(Y_{19}) - \ln(Y_{18}) - \ln(Y_{17}); \\ PR_{10} &:= 12 * MP_{18} - PR_9 - PR_8 - PR_7 - PR_6 - \\ &- PR_5 - PR_4 - PR_3 - PR_2 - PR_1 - \ln(Y_{19}) - \ln(Y_{18}); \\ PR_{11} &:= 12 * MP_{19} - PR_{10} - PR_9 - PR_8 - PR_7 - \\ &- PR_6 - PR_5 - PR_4 - PR_3 - PR_2 - PR_1 - \ln(Y_{19}); \\ PR_{12} &:= 12 * MP_{20} - PR_{11} - PR_{10} - PR_9 - PR_8 - \\ &- PR_7 - PR_6 - PR_5 - PR_4 - PR_3 - PR_2 - PR_1, \end{aligned}$$

где  $PR$  – логарифмированные расчетные значения прогноза;

$MP$  – значения спрогнозированного тренда;

$Y$  – фактические значения с 1-го по 19-й день.

Представим значения обоих рядов данных:

$$PFR := \begin{pmatrix} 0.6 \\ 0.451 \\ 0.462 \\ 0.388 \\ 0.33 \\ 0.279 \\ 0.279 \\ 0.28 \\ 0.223 \\ 0.288 \\ 0.374 \\ 0.5 \end{pmatrix}; F := \begin{pmatrix} 0.52 \\ 0.5 \\ 0.45 \\ 0.53 \\ 0.13 \\ 0.26 \\ 0.45 \\ 0.30 \\ 0.32 \\ 0.46 \\ 0.36 \\ 0.43 \end{pmatrix}; x := \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \\ 9 \\ 10 \\ 11 \\ 12 \end{pmatrix},$$

где  $PFR$  – прогнозные значения на 12 дней вперед;  
 $F$  – фактические значения прогнозируемого временного ряда.

Приведем далее табл. 2 с данными прогноза.

Таблица 2

ДАННЫЕ ПРОГНОЗА НА 12 ДНЕЙ

Номер периода	Дата	$\ln(F)$	$PR$	$PFR$
1	20.01.2009	-0.839	-0.551	0.6
2	21.01.2009	-0.872	-0.796	0.451
3	22.01.2009	-0.888	-0.772	0.462
4	23.01.2009	-0.914	-0.947	0.388
5	24.01.2009	-0.93	-1.108	0.33
6	25.01.2009	-0.949	-1.278	0.279

Номер периода	Дата	ln(F)	PR	PFR
7	26.01.2009	-0.968	-1.278	0.279
8	27.01.2009	-0.979	-1.271	0.28
9	28.01.2009	-0.998	-1.501	0.223
10	29.01.2009	-1.004	-1.243	0.288
11	30.01.2009	-1.023	-0.983	0.374
12	31.01.2009	-1.023	-0.693	0.5

где  
 ln(F) – логарифм значений прогноза тренда;  
 PR – логарифм значений прогноза;  
 PFR – значения прогноза.

Сравнивая прогнозные и фактические значения, стоит учитывать, что система отопления является инертной системой. Следовательно, посуточное изменение температуры и изменение расхода СУГ на отопление не будет сказываться на температуре внутри отапливаемого помещения. Исходя из этого, на графике фактических значений можно сгладить «аномальные» колебания путем усреднения значение в «аномальной» точке относительно соседних данных. Так, например, 23 января 2009 г. средняя температура воздуха была равна -3,5°, 24 января 2009 г. равна 12,5°, а 25 января 2009 г. равна 7,5°. Исходя из вышесказанного, на графике можно сгладить точку расхода СУГ (м³) за 24 января 2009 г., значение которой станет равно – 0,395. Далее построим табл. 3, отображающую фактические и спрогнозированные значения, графическое отображение представим на рис. 2.

Таблица 3

ТАБЛИЦА СРАВНЕНИЯ ФАКТИЧЕСКИХ И ПРОГНОЗНЫХ ЗНАЧЕНИЙ РАСХОДА СУГ С 20 ЯНВАРЯ 2009 г. ДО 31 ЯНВАРЯ 2009 г., м³

Номер периода	Дата	Фактические значения расхода СУГ, м³	Прогнозные значения расхода СУГ, м³	Абсолютная ошибка	Относительная ошибка, %
1	20.01.2009	0,52	0,6	0,08	15
2	21.01.2009	0,5	0,451	0,049	9
3	22.01.2009	0,45	0,462	0,012	2
4	23.01.2009	0,53	0,388	0,142	26
5	24.01.2009	0,395	0,33	0,065	16
6	25.01.2009	0,26	0,279	0,019	7
7	26.01.2009	0,45	0,279	0,171	38
8	27.01.2009	0,30	0,28	0,02	6
9	28.01.2009	0,32	0,223	0,097	30
10	29.01.2009	0,46	0,288	0,172	37
11	30.01.2009	0,36	0,374	0,014	3
12	31.01.2009	0,43	0,5	0,07	16
Итого				0,911	217
Среднее				0,07	17

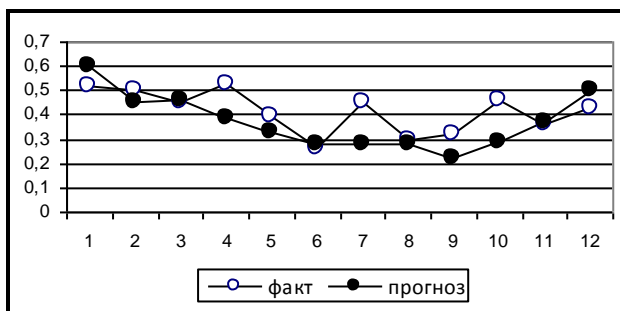


Рис. 2. График фактических и прогнозных значений расхода СУГ, м³

Для обоснования выбора среднего арифметического между параболой и прямой и использования полученных результатов в качестве значения прогнозного тренда, сравним фактические значения прогноза, полученные данным методом и значения прогноза, полученные с помощью полинома второго порядка.

Таблица 4

ТАБЛИЦА СРАВНЕНИЯ ФАКТИЧЕСКИХ И ПРОГНОЗНЫХ ЗНАЧЕНИЙ РАСХОДА СУГ (СРЕДНЕЕ АРИФМЕТИЧЕСКОЕ И ПОЛИНОМ ВТОРОГО ПОРЯДКА), м³

Номер периода	Факт	Парабола	Абс. ошибка (парабола)	Среднее арифметическое	Абс. ошибка (ср. арифметического)
1	0,52	0,828	0,308	0,6	0,08
2	0,5	0,467	0,033	0,451	0,049
3	0,45	0,595	0,145	0,462	0,012
4	0,53	0,448	0,082	0,388	0,142
5	0,395	0,42	0,025	0,33	0,065
6	0,26	0,35	0,09	0,279	0,019
7	0,45	0,363	0,087	0,279	0,171
8	0,3	0,379	0,079	0,28	0,02
9	0,32	0,287	0,033	0,223	0,097
10	0,46	0,418	0,042	0,288	0,172
11	0,36	0,481	0,121	0,374	0,014
12	0,43	0,743	0,313	0,5	0,07
Сумма	-	-	1,358	-	0,911

Как видно из табл. 4, значения абсолютной ошибки прогнозных значений, полученных, используя среднее арифметическое двух трендов, меньше, чем значения прогноза, полученные, используя параболу, следовательно, первый способ позволяет получать более точные значения и будет использоваться в дальнейшем исследовании.

Далее необходимо провести оценку значимости прогноза. Данную процедуру осуществим посредством проведения сравнительного анализа двух рядов данных.

Для сравнения величины выборочных дисперсий двух рядов (фактический и прогнозный) используем расчет F – критерия Фишера [5, с. 5-9; 7; 3; 10, с. 88-89]. Для произведения расчета необходимо найти отношение двух выборок так, что в числителе находилась бы большая дисперсия, а меньшая в знаменателе. При расчете будем использовать следующую формулу:

$$F_{\phi} = \frac{S_1^2}{S_2^2}; \tag{8}$$

где

$$S_1 = \left( \frac{1}{n_1} \right) * \sum (x - \bar{x})^2; \tag{9}$$

$$S_2 = \left( \frac{1}{n_2} \right) * \sum (y - \bar{y})^2. \tag{10}$$

Так же для расчета необходимо учесть значимость отличия средних величин двух сравниваемых рядов, данное сравнение можно осуществить, используя t – критерий Стьюдента:

$$t = \frac{|M_1 - M_2|}{\sqrt{\frac{G_1^2}{N_1} + \frac{G_2^2}{N_2}}}, \tag{11}$$

где

$M_1$  и  $M_2$  – среднее арифметическое;

$G_1$  и  $G_2$  – стационарное отклонение;

$N_1$  и  $N_2$  – размер выборки.

В табл. 5 представим сравниваемые ряды:

Таблица 5

РЯДЫ ДАННЫХ РАСХОДА ТОПЛИВА

Пок-ль	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Факт	0,52	0,5	0,45	0,53	0,395	0,26	0,45	0,30	0,32	0,46	0,36	0,43
Прогноз	0,6	0,451	0,462	0,388	0,33	0,279	0,279	0,28	0,223	0,288	0,374	0,5

Исходя из табл. 5, получим:

$$G_1 = ((S_1 * C_{ар1})/12)^{1/2} = (4,975 * (0.41458)/12)^{1/2} = 0.41458;$$

$$G_2 = ((S_2 * C_{ар2})/12)^{1/2} = (4,521 * (0.37675)/12)^{1/2} = 0.37675,$$

где

$G_1$  – стационарное отклонение фактических значений;

$G_2$  – стационарное отклонение прогнозных значений;

$S_1$  и  $S_2$  – сумма значений ряда;

$C_{ар1}$  и  $C_{ар2}$  – среднее арифметическое рядов.

Так как  $G_1$  и  $G_2$  равны среднему арифметическому, тогда:

$$t := \frac{0.41458 - 0.37675}{\sqrt{\left(\frac{0.41458^2}{12}\right) + \left(\frac{0.37675^2}{12}\right)}} = 0.234.$$

Так как величины средних обоих рядов практически совпадают друг с другом, величина  $t$ -критерия Стьюдента равная 0,234 для количества степеней свободы  $df = N_1 + N_2 - 2 = 22$  является незначимой, рассчитаем дисперсии  $X$  и  $Y$ :

$$S_1 = 0.007156; S_2 = 0.011645;$$

т.к.  $S_1 > S_2$  получим:

$$F_{\phi} = \frac{S_2^2}{S_1^2} = 2,64.$$

Число степеней свободы для обеих выборок будет равно, так как  $n_1 = n_2$  и равны  $df = n - 1 = 11$ , исходя из этого, получим:

$$F_{кр.ф.} = \begin{cases} P \leq 0.05 (2.82); \\ P \leq 0.01 (4.46). \end{cases}$$

Относительно  $F$ -критерия построим ось значимости и отобразим ее на рис. 3.

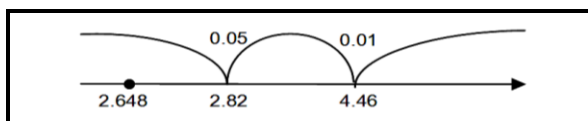


Рис. 3. Ось значимости  $F$ -критерия Фишера

Расчетное значение  $F$  Фишера попало в зону незначимости, в этом случае принимается гипотеза  $H_0$  (при попадании  $F_{кр.ф.}$  в зону незначимости, принимается гипотеза  $H_0$  об отсутствии различий). Так же, коэффициент корреляции, составивший 0,642, попал в доверительный интервал и является адекватным. Следовательно, полученные прогнозные значения являются адекватными и могут быть использованы в качестве фактических значений для дальнейшего прогнозирования и расчета оптимального времени поставки сжиженного углеводородного газа.

Теперь, имея 19 фактических значений и 12 прогнозных, построив график расхода на 31 день (один месяц), можно произвести прогнозирование еще на 12 дней вперед и проанализировать прогнозные значения (рассчитать прогноз с 1 февраля 2009 г. по 12 февраля 2009 г.). Для этого нам нужно сдвинуть временной ряд, на основе которого мы будем производить прогнозирование. Мы получим ряд, состоящий из семь фактических значений (за предыдущий промежуток времени) и 12 спрогнозированных:

$ORIGIN := 1$

$$Y := (0.35; 0.35; 0.32; 0.28; 0.31; 0.47; 0.5; 0.667; 0.451;$$

$$0.462; 0.388; 0.33; 0.279; 0.279; 0.28; 0.223; 0.288; 0.374; 0.5);$$

$$Y := Y^T;$$

$$n := 19;$$

$$i := 1..n,$$

где с  $Y_1$  по  $Y_7$  – фактические значения, а с  $Y_8$  по  $Y_{19}$  – прогнозные значения.

График фактических и прогнозных значения расхода СУГ ( $m^3$ ) на период с 1 февраля 2009 г. по 12 февраля 2009 г. представлен на рис. 4 и выглядит следующим образом:

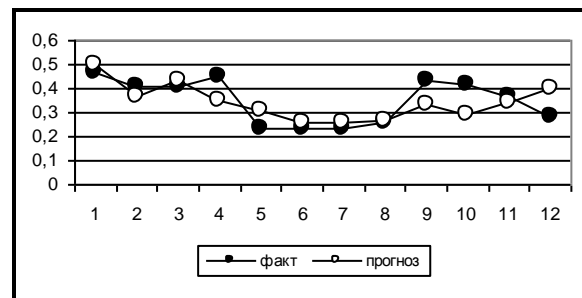


Рис. 4. Фактические и прогнозные значения расхода СУГ за период с 1 февраля 2009 г. по 12 февраля 2009 г.,  $m^3$

Построим табл. 6, отображающую фактические и спрогнозированные значения.

Таблица 6

ТАБЛИЦА СРАВНЕНИЯ ФАКТИЧЕСКИХ И ПРОГНОЗНЫХ ЗНАЧЕНИЙ РАСХОДА СУГ С 1 ФЕВРАЛЯ 2009 г. ПО 12 ФЕВРАЛЯ 2009 г.  $m^3$

Номер периода	Дата	Фактические значения расхода СУГ, $m^3$	Прогнозные значения расхода СУГ, $m^3$	Абсолютная ошибка	Ошибка, %
1	20.01.2009	0,47	0,5	0,03	6
2	21.01.2009	0,41	0,368	0,042	10
3	22.01.2009	0,41	0,43	0,02	4
4	23.01.2009	0,45	0,352	0,098	21
5	24.01.2009	0,23	0,311	0,081	35
6	25.01.2009	0,23	0,26	0,03	13
7	26.01.2009	0,23	0,257	0,027	11
8	27.01.2009	0,26	0,27	0,01	3
9	28.01.2009	0,43	0,33	0,1	23
10	29.01.2009	0,42	0,288	0,132	31
11	30.01.2009	0,37	0,344	0,026	7
12	31.01.2009	0,28	0,4	0,12	42
Итого				0,716	211
Среднее				0,05	17

При оценке значимости прогнозных значений было получено расчетное значение  $F$ -критерия Фишера,

равное 2,7 и попавшее в зону незначимости. Исходя из гипотезы  $H_0$ , можно сказать, что значения расхода топлива, полученные в ходе прогнозирования на вторые 12 дней, являются адекватными. Коэффициент корреляции равен 0,625 и также входит в доверительный интервал. Следовательно, прогнозные значения, точность которых составляет 83%, могут быть использованы для последующего расчета и дальнейшего определения времени расхода и поставки СУГ.

Отобразим разработанный алгоритм, по которому система производит прогнозирование расхода топлива котельных установок на СУГ на 12 дней вперед [9]. При расчете прогнозных значений система должна выполнять следующие пункты:

- рассчитать скользящее среднее, рассчитать прогноз;
- выбрать наиболее оптимальные значения спрогнозированного тренда;

- рассчитать прогнозные значения;
- рассчитать оценку значимости прогноза, используя  $t$ -критерий Стьюдента и  $F$ -критерий Фишера.

Учитывая расчеты, построим блок-схему алгоритма представленную на рис. 5.

Так как данный вид котельных установок использует резервуары для хранения топлива и рассматривается для теплоснабжения удаленных от городской местности объектов, то расстояние и, следовательно, расчет времени поставки СУГ от предприятия, вырабатывающего или поставляющего сжиженный углеводородный газ до той или иной котельной установки, производит диспетчер, изначально заполняя параметры объектов в автоматизированной системе. Алгоритм работы данной ежедневной процедуры расчета представлен на рис. 6.

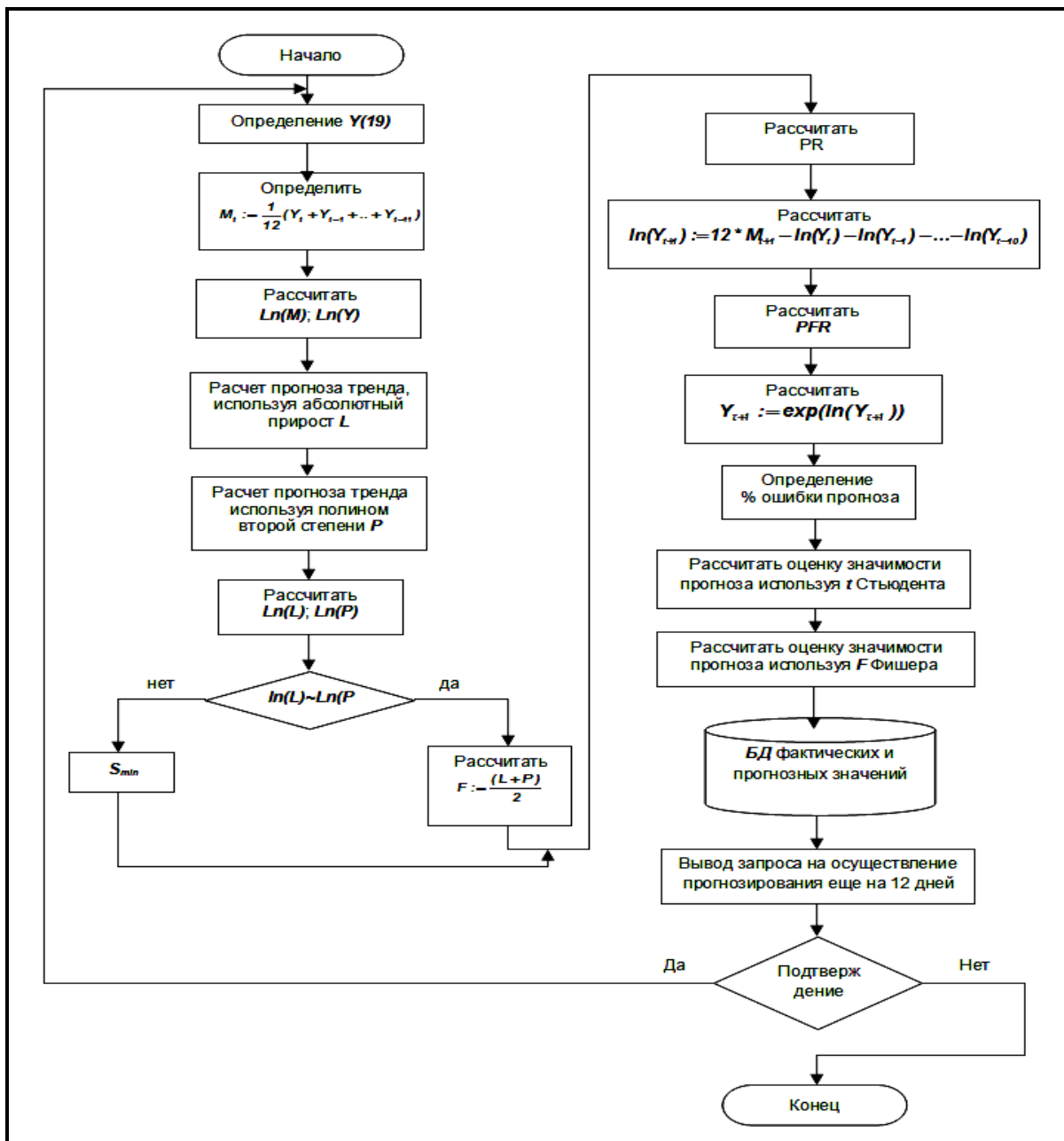


Рис. 5. Алгоритм расчета прогнозных значений расхода топлива с шагом на 12 дней вперед

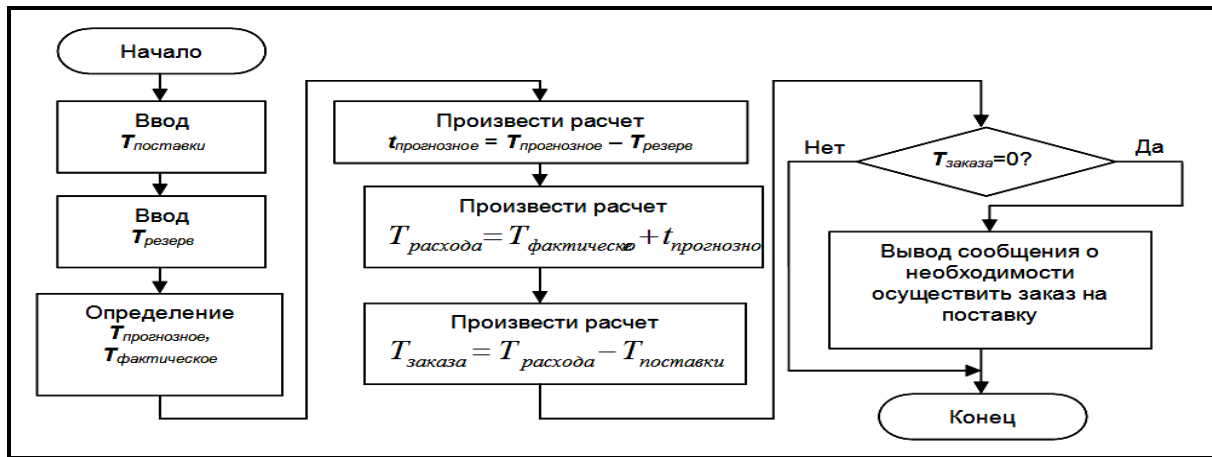


Рис. 6. Алгоритм расчета количества суток до выдачи системой уведомления диспетчеру о необходимости подачи заявки на поставку СУГ

Таким образом, расчет количества суток до выдачи системой уведомления диспетчеру о необходимости подачи заявки на поставку выглядит следующим образом:

$$T_{\text{заказа}} = T_{\text{расхода}} - T_{\text{поставки}}, \quad (12)$$

где

$T_{\text{поставки}}$  – период времени расхода СУГ, за который будет доставлено топливо на котельную установку (сутки);

$T_{\text{расхода}}$  – период времени полного расхода топлива котельной установкой (сутки), равный:

$$T_{\text{расхода}} = T_{\text{фактическое}} + t_{\text{прогнозное}}, \quad (13)$$

где

$T_{\text{фактическое}}$  – период времени фактического расхода топлива с последней поставки до момента прогнозирования (сутки);

$t_{\text{прогнозное}}$  – промежуток времени до полного расхода СУГ, полученный на основе прогнозных значений, который в формуле расчета точки заказа представляет собой следующее выражение:

$$t_{\text{прогнозное}} = T_{\text{прогнозное}} - T_{\text{резерв}}, \quad (14)$$

где

$T_{\text{прогнозное}}$  – спрогнозированный промежуток времени полного расхода топлива (сутки);

$T_{\text{резерв}}$  – время расхода резервного топлива.

Исходя из представленных выше формул, время, за которое должен осуществляться заказ на поставку СУГ (сутки), будет равно  $T_{\text{заказа}} = 0$ .

## Литература

1. Жилые здания [Электронный ресурс] : строительные нормы и правила 2.08.01-89 : утв. постановлением Госуд. комитета СССР по строительству от 16 мая 1989 г. №78. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
2. Агаев В.С. и др. К вопросу о перспективах использования инновационных проектов в теплоэнергетике и методах их автоматизации на примере Республики Северная Осетия Алания [Текст] / В.С. Агаев, А.М. Кумаритов, А.В. Леонтьев // Аудит и финансовый анализ. – 2011. – №2.
3. Анализ двух выборок [Электронный ресурс]. URL: [http://www.tsput.ru/res/math/mop/lections/lection\\_6.htm](http://www.tsput.ru/res/math/mop/lections/lection_6.htm)
4. Взвешенная скользящая средняя [Электронный ресурс]. URL: <http://www.finforce.ru/ru/trader/forex-courses/book/technical/wma/>
5. Критерий Фишера [Электронный ресурс]. URL: <http://cito-web.yspu.org/link1/metod/met125/node33.html>
6. Курс технического анализа акций: индикаторы [Электронный ресурс]. URL: [http://www.parusinvestora.ru/systems/book\\_meladze/book1\\_gl6\\_p1.shtml](http://www.parusinvestora.ru/systems/book_meladze/book1_gl6_p1.shtml)
7. Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов [Текст] / Ю.П. Лукашин. – М. : Статистика, 1997. – С. 5-9.
8. Простое скользящее среднее. Индикатор МА [Электронный ресурс]. URL: [http://vip-trading.ucoz.com/publ/tekh\\_analiz/prostoe\\_skolzhashhee\\_srednee\\_indikator\\_ma/3-1-0-72](http://vip-trading.ucoz.com/publ/tekh_analiz/prostoe_skolzhashhee_srednee_indikator_ma/3-1-0-72)
9. Протасов К.В. Статистический анализ экспериментальных данных [Текст] / К.В. Протасов. – М. : Мир, 2005. – С. 88-89.
10. Таблицы критических значений [Электронный ресурс]. URL: <http://cito-web.yspu.org/link1/metod/met125/node44.html>
11. Элдер А. Трейдинг с доктором Элдером [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sergioforex.com/aelder25.html>

## Ключевые слова

Теплоэнергетика; котельная установка; сжиженный углеводородный газ (СУГ); прогнозирование расхода топлива; аппроксимация данных; прогнозные значения; поставка топлива.

Кумаритов Алан Мелитонович

Агаев Владимир Святославович

## РЕЦЕНЗИЯ

Децентрализованная энергетика – это отрасль, которая в наше время является наиболее обсуждаемой в связи с мировым финансовым кризисом, глобальным потеплением, повышением энергоэффективности и другими вопросами, стоящими перед современным обществом. Использование сжиженного углеводородного газа (СУГ) в качестве топлива является одной из перспективных направлений в решение проблем децентрализации современной теплоэнергетики.

Авторами статьи рассмотрен актуальный вопрос по определению оптимального времени поставки топлива котельным установкам на СУГ. Предложено использование прогнозных значений для определения времени расхода топлива. Данный метод позволит уменьшить количество поставок топлива и тем самым снизить затраты на эксплуатацию энергетических объектов.

Представлен расчет прогнозных значений расхода топлива, проведена аппроксимация экспериментальных данных, результаты которой подтвердили адекватность прогнозных значений, и возможность их использования для определения оптимального времени поставки СУГ. Также авторы в работе представили блок-схемы разработанных алгоритмов расчетов прогнозных значений расхода топлива и оптимального времени поставки топлива, представляющие интерес для разработчиков программного обеспечения.

В целом представленная статья соответствует всем предъявленным требованиям и может быть принята к публикации в журнале «Аудит и финансовый анализ».

Хузмиев И.К., д.т.н., профессор, зав. кафедрой организации производства и экономики промышленности Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)»