

Кисленко Николай Анатольевич

канд. техн. наук, ФГБОУ ВО
«Государственный университет
управления», г. Москва

e-mail: N.Kislenko@econom.gazprom.ru

Копылова Юлия Сергеевна

студент магистратуры, ФГБОУ ВО
«Государственный университет
управления», г. Москва

e-mail: Yukos-95kopylova@mail.ru

Kislenko Nikolai

Candidate of Technical Sciences, State
University of Management, Moscow

e-mail: N.Kislenko@econom.gazprom.ru

Kopylova Yulia

Graduate student, State University
of Management, Moscow

e-mail: Yukos-95kopylova@mail.ru

УЧЕТ КЛИМАТИЧЕСКОГО ФАКТОРА ПРИ ОЦЕНКЕ ПОТЕНЦИАЛА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ НА УРОВНЕ ОТДЕЛЬНЫХ СТРАН И РЕГИОНОВ

Аннотация. Рассмотрен подход к выделению совокупности климатических факторов, влияющих на газопотребление, с учетом их взаимозависимости, нелинейности и инерции влияния. В дополнение к классическому подходу линейного учета зависимости от градусо-дней отопления и кондиционирования предложен дополнительный учет факторов освещенности и уровня осадков. Нелинейность зависимостей смоделирована через степенные функции, а инерция влияния путем усреднения данных за несколько предыдущих месяцев. Предложенный механизм позволяет исключить из фактических данных газопотребления климатические факторы и, как следствие, выделить влияние макроэкономических факторов и фактора энергосбережения.

Ключевые слова: климатические факторы, энергопотребление, газопотребление, прогнозирование, энергосбережение.

CLIMATE FACTOR CONSIDERATION DURING ENERGY SAVING POTENTIAL ESTIMATION AT THE LEVEL OF INDIVIDUAL COUNTRIES AND REGIONS

Abstract. The approach to the allocation of climate factors, that influence on gas consumption with consideration of their interdependence, nonlinearity and inertia of factors has been reviewed. In addition to the classical approach of linear consideration of the dependence on the degree-days of heating and air conditioning, an additional consideration of the factors of lighting and precipitation level has been offered. The nonlinearity of dependences has been modelled by power functions, and the inertia effect by averaging data for the previous few months. The proposed mechanism makes it possible to exclude climatic factors from the actual data of gas consumption and, as a consequence, to allocate the influence of macroeconomic factors and the energy saving factor.

Keywords: climate factors, energy consumption, gas consumption, forecasting, energy saving.

При оценке фактического и перспективного уровня энергопотребления отдельных стран, регионов или крупных компаний необходимо корректно определить влияние каждого из факторов, оказывающих влияние на потребление энергии [2]. В противном случае возможна ложная интерпретация анализируемых трендов и, как следствие, сформирована ошибочная прогнозная динамика перспективного энергопотребления.

Климатическая группа факторов оказывает существенное влияние на энергопотребление, причем на краткосрочном горизонте планирования это влияние является определяющим. Обычно в мировой практике учет климатических факторов сводится к расчету потребности в отоплении, выраженной линейной функцией от градусо-дней отопления (англ. heating degree day; далее – HDD) [5]. В последнее время все чаще дополнительно учитывают потребность в энергии на кондиционирование в жаркий климатический период, аналогично определяемую через градусо-дни охлаждения (англ. cooling degree day; далее – CDD) [1]. Однако на практике не всегда оценка только на базе этих двух величин дает хорошую статистическую сходимость. В реальности энергопотребляющие приборы имеют свои номинальные максимальные характеристики, отапливаемые помещения имеют инерцию удержания тепла, уровень энергосбережения может вручную регулироваться потребителями, причем рациональность или иррациональность такого регулирования может существенно различаться в разных культурах. В итоге зависимость имеет нелинейный характер, выраженный кривой

© Кисленко Н.А., Копылова Ю.С., 2019. Статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0. всемирная (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The Author(s), 2019. This is an open access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



с насыщением. Следует также отметить, что при одном и том же уровне температур в начале зимы и в конце зимы энергопотребление может существенно различаться. И здесь помимо фактора инерции следует учитывать фактор дневной освещенности, так как часть энергии расходуется на освещение, причем уровень освещенности не симметричен зимним температурным нагрузкам.

Трехфакторный анализ по HDD, CDD и освещенности требует существенно большей статистики. Обычно, при анализе уровня энергопотребления используется годовой период. Имеющаяся статистика часто ограничена месячным шагом, таким образом по каждому анализируемому объекту имеется всего 12 точек для составления трехфакторной зависимости, что приводит к существенной статистической неопределенности. В то же время увеличение ретроспективной выборки на несколько лет приведет к косвенному учету иных факторов, оказывающих влияние на энергопотребление и невозможности корректно выделить только климатический фактор для конкретного одного года.

Одним из решений является анализ посуточной динамики энергопотребления, однако такая информация обычно отсутствует в общедоступных базах данных. В качестве примера для анализа были выбраны отдельные европейские страны, по которым имеется общедоступная статистика и которые характеризуются высоким уровнем энергоэффективности [6].

Проведенный анализ на ретроспективном периоде с января 2012 г. по декабрь 2018 г. показал, что для большинства европейских стран основным фактором, определяющим динамику газопотребления являются градусо-дни отопления. В среднем корреляция между фактическим газопотреблением и линейным приближением на базе HDD варьируется в интервале от 0,81 до 0,99. Однако, есть страны, для которых фактор HDD не имеет столь существенного значения. Это Греция, Португалия и Норвегия. Низкие показатели для Норвегии объясняются существенной долей в потреблении газа собственных нужд промыслов, оседание которого зависит только от объемов добычи углеводородов. В таблице 1 представлены ранжированные по влиянию фактора HDD корреляции помесячного спроса на газ за 7 лет. В столбце «+CDD» представлена корреляция при совместном учете как фактора HDD, так и CDD. В столбце «+Освещ.» аналогично представлены корреляции для трехфакторного анализа по HDD, CDD и освещенности. Под освещенностью понимается количество светлых часов в сутках.

Таблица 1

Коэффициенты корреляции спроса на газ для одно, двух и трехфакторных моделей

Страна	HDD	+CDD	+Освещ.
Чехия	0,989	0,992	0,992
Венгрия	0,986	0,988	0,988
Франция	0,985	0,988	0,992
Словения	0,973	0,976	0,976
Швейцария	0,969	0,970	0,972
Италия	0,967	0,972	0,977
Великобритания	0,963	0,970	0,976
Австрия	0,960	0,963	0,965
Германия	0,952	0,957	0,957
Болгария	0,949	0,949	0,949
Босния и Герцеговина	0,948	0,953	0,954
Хорватия	0,941	0,941	0,944
Латвия	0,940	0,954	0,957
Польша	0,936	0,938	0,939
Турция	0,911	0,914	0,924
Румыния	0,909	0,910	0,910
Испания	0,897	0,898	0,904

Страна	HDD	+CDD	+Освещ.
Люксембург	0,880	0,880	0,880
Швеция	0,877	0,882	0,885
Словакия	0,869	0,874	0,875
Финляндия	0,863	0,866	0,866
Литва	0,838	0,839	0,841
Дания	0,837	0,838	0,838
Сербия и Черногория	0,829	0,837	0,849
Бельгия	0,819	0,819	0,826
Македония	0,812	0,820	0,842
Греция	0,579	0,644	0,669
Португалия	0,112	0,266	0,361
Норвегия	0,101	0,289	0,292

Источник: [6]

Как видно из таблицы, фактор CDD имеет большее значение для стран, расположенных на юге Европы: Греции и Португалии. Несмотря на то, что для Португалии значимость фактора CDD соответствует приросту корреляции на 15,4 п.п., в среднем по всем странам данный фактор повышает качество прогнозирования на 1,7 п.п.

Фактор освещенности имеет еще меньшее влияние и в среднем по странам соответствует приросту корреляции на 0,8 п.п., причем максимальное влияние также наблюдается в Португалии (на 9,4 п.п.).

Анализ нелинейности влияния климатических факторов проведен в допущении степенной зависимости для каждого фактора. Так, для показателя HDD в среднем качество корреляционной зависимости улучшается при значении степени 1,5. Разброс значений степени для разных стран составляет от 1,2 до 1,8. Однако общее увеличение качества прогнозирования составляет всего 0,5 п.п.

Аналогично для показателей CDD и освещенности значения степени равны 0,5 и 0,1 соответственно.

Таким образом, общий вид корреляционной зависимости газопотребления от климатических параметров может выглядеть следующим образом:

$$Q = \text{HDD}^{1.5} + \text{CDD}^{0.5} + L^{0.1} + B, \quad (1)$$

где L – освещенность, а B – свободная константа.

Проведенный анализ базировался на семилетней ежемесячной статистике. Таким образом, фактическое потребление газа странами Европы (за исключением стран Балтии) может быть представлено в сопоставлении с расчетным вероятностным диапазоном, для построения которого использовались статистические показатели температур с 1995 г. Следует отметить, что увеличение глубины ретроспекции для получения среднестатистических температур только ухудшает качество прогноза, так как начинает влиять фактор глобального потепления [4]. Так, среднестатистическая зимняя температура в Европе (с ноября по март) по статистике с 1948 г. равна 4,9°C, по статистике с 1975 г. равна 5,1°C, а по используемой статистике с 1995 г. равна 5,3°C.

Дополнительно в качестве климатического фактора был проведен анализ влияния фактических месячных осадков на спрос на газ. Указанный фактор имеет двойственное влияние: количество осадков (облачность) снижает выработку энергии за счет солнечной генерации, но в то же время может увеличивать выработку энергии за счет ветровой генерации. Дефицит или избыток энергии чаще всего покрывается за счет газовой генерации, и следовательно, данный показатель может оказывать влияние на общее газопотребление. Кроме того, накопленный за определенный промежуток времени объем выпавших осадков определяет потенциал использования гидроэнергетики и, как следствие, также косвенно может повлиять на уровень использования газа.

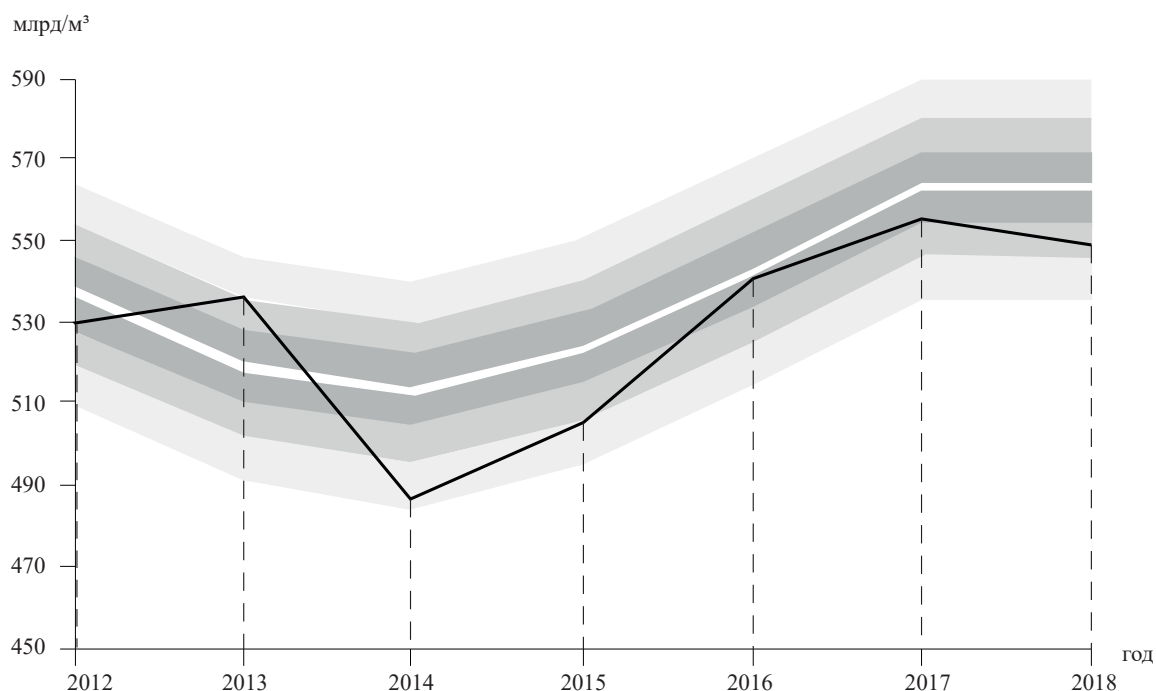
Аналогично ранее рассмотренным подходам было оценено влияние фактора осадков на уровень газопотребления. Дополнительное увеличение коэффициента корреляции в среднем по европейским странам составило 0,2 %. Наибольшее влияние наблюдается для стран, обладающих существенными мощностями гидроэлектроэнергетики, таких как Норвегия и Нидерланды. Следует отметить, что переход от учета уровня осадков в тот же месяц, для которого анализируется газопотребление, к среднему уровню осадков за последние три месяца повышает уровень корреляции для той же Норвегии на 0,5 %. Это связано с инерцией влияния осадков на уровень выработки электроэнергии на электростанциях и, как следствие, снижение потребления газа на тепловых электростанциях.

Выделив и оценив климатические факторы появляется возможность провести расчет ожидаемого газопотребления при условии среднестатистических климатических нагрузок. Важно, что для поиска зависимостей при помесечном шаге расчета нельзя использовать среднесуточные климатические нормы, так как усреднение температур на ретроспективных данных снижает вероятность температурных флуктуаций, которые в межсезонный период могут пересекать уровень температурного комфорта и, следовательно, менять суммарные значения HDD и CDD. По тем же причинам нельзя использовать среднемесячные температуры. Таким образом, авторами была использована статистика по фактическим HDD и прочим параметрам с месячным шагом.

Выше было сказано, что увеличение глубины ретроспекции снижает качество корреляции в силу наблюдающегося глобального потепления. В текущем расчете авторами была использована помесечная статистика с 1994 г.

Для каждого года были рассчитаны ожидаемые уровни газопотребления при условии климатической нормы, а также плотность вероятности отклонения от указанной нормы, которая определяется как статистическими характеристиками месячных HDD, так и статистическими характеристиками найденной корреляционной зависимости.

На рисунке 1 приведено соответствующее сопоставление фактического потребления и ожидаемого при условии среднестатистической температуры.



Источник: [6]

Рис. 1. Фактическое и ожидаемое с учетом исключения климатического фактора потребление газа европейскими странами, млрд м³/год

Различной интенсивностью серого цвета обозначены уровни вероятности P75, P90 и P98. Ожидаемый уровень P50 обозначен жирной белой линией. Фактический уровень обозначен жирной черной линией.

Как видно, 2013 г. был последним холодным месяцем в рассматриваемом диапазоне, 2014 г. характеризовался аномально теплой погодой, а 2016 г. можно использовать как наиболее близкий к средним ожидаемым температурам.

Таким образом, предлагаемый метод позволяет выделить при ретроспективном анализе из рассматриваемых трендов климатический фактор для более корректного учета факторов энергопотребления [3] и оценки перспективного потенциала энергосбережения на уровне отдельных стран и регионов.

Проведенный анализ позволил сформировать динамику ожидаемого газопотребления, очищенную от влияния климатических факторов. Указанная динамика определяется макроэкономическими факторами, факторами межтопливной конкуренции (частично эти факторы учтены при рассмотрении фактора осадков) и фактором уровня реализации потенциала энергосбережения.

Библиографический список

1. Анохина, О. С. Влияние температурных факторов на энергопотребление стран мира / О. С. Анохина, А. С. Химич // Газовая промышленность. – 2012. – № 8 (679). – С. 29-30.
2. Кисленко, Н. А. Проблемы моделирования управленческих решений развития газовой промышленности // Вестник Университета. – 2012. – № 20. – С. 102-106.
3. Кисленко, Н. А. и др. Критерии подобия при анализе макроэкономических систем / Н. А. Кисленко, О. С. Анохина, А. С. Химич // Юбилейная книга. ООО «НИИГазэкономика» 50 лет. – М.: ООО «НИИГазэкономика», 2017. – С. 175.
4. Клименко В. В. и др. Мировая энергетика, энергетические ресурсы планеты и глобальные изменения климата в XXI веке и за его пределами / В. В. Клименко, А. Г. Терешин, Е. В. Федотова // Энергетическая политика. – 2017. – № 4. – С. 26-36.
5. Хлебникова, Е. И. Климатические факторы энергопотребления в России: тенденции, вариабельность, неопределенность оценок / Е. И. Хлебникова, И. А. Салль // Труды Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова. – 2013. – № 569. – С. 7-19.
6. Информационный ресурс Евростат [Электронный ресурс]. – Режим доступа свободный: <https://ec.europa.eu/eurostat> (дата обращения: 10.03.2019).

References

1. Anokhina O. S., Khimich A. S. Vliyaniye temperaturnykh faktorov na energopotrebleniye stran mira [*The influence of temperature factors on the energy consumption of the world*]. *Gazovaya promyshlennost'* [*Gas industry*], 2012, I. 8 (679), pp. 29-30.
2. Kislenko N. A. Problemy modelirovaniya upravlencheskikh reshenii razvitiya gazovoi promyshlennosti [*Problems of modeling management decisions of the gas industry development*]. *Vestnik Universiteta*, 2012, I. 20, pp. 102-106.
3. Kislenko N. A., Anokhina O. S., Khimich A. S. Kriterii podobiya pri analize makroekonomicheskikh sistem [*Similarity criteria in the analysis of macroeconomic systems*]. *Yubileinaya kniga. ООО «НИИГазэкономика» 50 let*. М.: ООО «НИИГазэкономика», 2017. 175 p.
4. Klimenko V. V., Tereshin A. G., Fedotova Ye. V. Mirovaya energetika, energeticheskie resursy planety i global'nyye izmeneniya klimata v XXI veke i za ego predelami [*World energy, energy resources of the planet and global climate change in the XXI century and beyond*]. *Energeticheskaya politika* [*Energy policy*], 2017, I. 4, pp. 26-36.
5. Khlebnikova E. I., Sall I. A. Klimaticheskie faktory energopotrebleniya v Rossii: tendentsii, variabel'nost', neopredelennost' otsenok [*Climatic factors of energy consumption in Russia: trends, variability, uncertainty of estimates*]. *Trudy Glavnoi geofizicheskoi observatorii im. A. I. Voeikova* [*Proceedings of the Main Geophysical Observatory named after A.I. Voeikov*], 2013, I. 569, pp. 7-19.
6. Eurostat [*Eurostat*]. Available at: <https://ec.europa.eu/eurostat> (accessed 10.03.2019).