

Как узнаешь, когда встречаешь? О предсказании зимы по дате ее начала*

В.И. ЗОРКАЛЬЦЕВ, доктор технических наук,
Иркутский научный центр СО РАН. E-mail: zork@isem.irk.ru
И.И. ХАЖЕЕВ, Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН,
Иркутск. E-mail: ivan-khazheev@yandex.ru

Бытует мнение, что рано наступившая зима обычно бывает и более холодной, а более поздняя – более теплой. В данной статье количественно оцениваются справедливость этой гипотезы, а также возможность прогнозирования отклонений расходов теплоэнергии и топлива на отопление за весь отопительный период на основе дат начала этого периода.

Ключевые слова: расход теплоэнергии и топлива на отопление, расчетная дата начала отопительного периода, линейная регрессия, корреляция, коэффициент детерминации, прогнозирование

Из-за суровых климатических условий в нашей стране одной из приоритетных задач является обеспечение надежного энергоснабжения населения и предприятий в зимний период. Наряду с сезонными запасами, предназначенными для покрытия средних ожидаемых объемов расхода топлива в зимний период, необходимы страховые резервы и запасы для покрытия разного рода возмущений (в том числе из-за колебаний метеоусловий) в потреблении, производстве и транспортировке топлива. Как показывают исследования многолетних рядов наблюдений температур по экономическим районам СССР, в зависимости от того, насколько теплая или холодная будет зима (по наблюдавшимся в прошлом ситуациям), расход теплоэнергии и топлива на отопление может изменяться в диапазонах от 25% (холодные регионы России) до 50% (относительно теплые) от расхода при средних метеорологических условиях [1].

В советское время существовали нормативы по резервам и запасам в топливоснабжении [2–5]. Ежегодно весной разрабатывалась целая система специальных постановлений правительства страны и других органов власти о мероприятиях по подготовке к зиме следующего года.

После кризиса 1990-х годов в российской экономической науке исследования по проблеме надежности топливоснабжения

повсеместно были свернуты. И то, что пока удалось избежать крупных неприятностей с энергообеспечением, объясняется наступившим в 1990-х годах потеплением климата во всех регионах СССР, а также образовавшимся относительным избытком мощностей в производстве энергоресурсов в результате резкого сокращения производственной деятельности. Но всё имеет свои пределы.

В исследованиях по определению рационального состава средств резервирования топлива на случай холодных зим обычно основываются на оценках возможных отклонений расхода топлива по данным метеорологических наблюдений прошлых лет. Вероятности различных отклонений оцениваются по многолетним рядам показателя «интегральной разности температур» внутри и вне здания за отопительный период. Этот показатель определяется как произведение продолжительности отопительного периода на среднюю за отопительный период разность температур вне здания (на основе метеонаблюдения) и внутри него (может использоваться нормативное значение – например, 18°C).

Расчетная дата начала отопительного периода определялась по следующему формализованному правилу: при среднесуточной температуре в течение пяти суток ниже 8°C – начало отопительного периода, выше 8°C в течение пяти суток – его завершение.

На основе многолетних рядов показателей интегральной разности температур можно оценивать законы вероятностей различных отклонений потребности в топливе на отопление. Используя оценки вероятности, можно решать задачи оптимизации состава средств резервирования топлива, при которых достигается наименьшее сочетание математического ожидания затрат по резервированию и ущербов от возможной нехватки топлива [6].

Большие экономические потери могут возникать не только из-за ситуаций нехватки топлива в холодные зимы, но и по причине избытка топлива и мощностей по его производству в теплые зимы. Эффективность системы обеспечения надежности топливоснабжения могла бы быть повышена, если бы имелись надежные методы заблаговременного прогнозирования метеоусловий предстоящей зимы. К сожалению, таких методов пока нет.

Можно ли прогнозировать показатель интегральной разности температур за весь отопительный период на основе данных метеонаблюдений на начало и первую половину отопительного периода? Существует ли статистическая зависимость между

* Исследования выполнены при поддержке РФФИ грант № 15–07–07412а.

датами начала отопительного периода и отклонениями объемов тепло- и топливопотребления за отопительный период? Насколько сильна такая зависимость, если она есть? Поиск ответа на эти вопросы – цель исследований, представленных в данной статье. Они проводились на основе данных о среднесуточных температурах по отдельным пунктам наблюдений [7].

Влияние даты начала отопительного периода на расход топлива

Расчетная дата отопительного периода варьируется от одного до двух месяцев в разных регионах России (табл. 1).

Таблица 1. Среднеголетняя интегральная разность температур внутри и вне здания и диапазоны дат начала отопительного периода в городах России

Город, пункт наблюдения	Рассматриваемые периоды наблюдений, годы	Среднеголетняя интегральная разность температур	Диапазон дат начала отопительного периода
Якутск	1890–2013	9990,5	15.08–31.09
Анадырь	1898–2012	8922,2	09.08–28.09
Иркутск	1835–2013	6512,6	05.09–29.09
Новосибирск	1935–2013	6124,8	01.09–30.10
Екатеринбург	1881–2013	5883,3	01.09–24.10
Архангельск	1882–2013	5871,8	01.09–17.10
Владивосток	1917–2013	4905,4	04.10–15.11
Москва	1942–2013	4763,4	03.09–30.10
Калининград	1947–2013	3788,4	25.09–13.11
Краснодар	1938–2013	2881,9	02.10–27.11

Пункты метеонаблюдений, представленные в таблице 1 (и далее), ранжированы в порядке убывания средней арифметической за весь период наблюдения интегральной разности температур. Выявляется важная закономерность – при переходе от самых холодных к более теплым районам диапазон наблюдавшихся в прошлом дат расчетного начала отопительного периода увеличивается, растет неопределенность даты, когда в очередном году наступит отопительный сезон. Строгая количественная оценка этой закономерности по представленным данным затруднена, поскольку в рассматриваемых пунктах были разные периоды наблюдений.

Данные таблицы свидетельствуют, что чем меньше среднеголетняя интегральная разность температур за отопительный период, тем позднее в среднем наступает расчетная дата начала отопительного периода.

Естественно предположить: в одном и том же районе при более раннем наступлении расчетной даты начала отопительного периода возрастает вероятность того, что показатель интегральной разности температур за этот период будет больше, чем его среднесреднее значение. При более позднем наступлении отопительного периода увеличивается вероятность более теплой зимы (по показателю интегральной разности температур).

Чтобы проверить эту гипотезу, воспользуемся двумя методами. Первый основан на подсчете и оценке частот распределения наблюдений по квадрантам координатной плоскости.

Для каждого пункта наблюдений множества рассматриваемых отопительных периодов разбиваются на два по двум признакам: в зависимости от того, раньше или позже начинается отопительный период относительно среднеарифметической даты за много лет; в зависимости от того, больше или меньше интегральная разность температур данного отопительного периода относительно среднесреднего значения. В итоге получаем разбиение всего множества наблюдавшихся в прошлом отопительных периодов на четыре подмножества (рис. 1). Горизонтальная ось делит множество отопительных периодов на подмножества со значениями интегральной разности температур выше (верхняя часть) и ниже (нижняя часть) среднесреднего значения этого показателя. Вертикальная ось соответствует среднесреднему значению расчетной даты начала отопительного периода. Правее этой оси – отопительные периоды с более поздним наступлением отопительного периода, левее – с более ранним, чем среднесреднее значение.

Обозначим количество отопительных периодов в каждом квадранте как:
 I квадрант – ситуация позднего наступления холодной зимы, II – раннего ее наступления, III – раннего наступления теплой зимы и IV квадрант – позднего ее наступления.

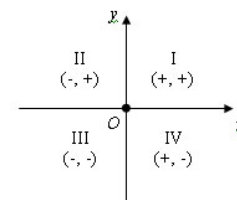


Рис. 1. Квадранты отопительных периодов

«Теплой зимой» в данном случае будем считать зиму с интегральной разностью температур меньше среднего арифметического значения интегральной разности за весь период наблюдения, а «холодной» – когда интегральная разность температур будет больше среднеегоголетней интегральной разности, «ранней (поздней)» – зиму с датой начала отопительного периода меньше (больше) его среднеегоголетнего значения.

Произведем подсчет частот распределения отопительных периодов по квадрантам координатной плоскости, поделив количество отопительных периодов в каждом квадранте на общее количество наблюдений (рассматриваемых отопительных периодов) (табл. 2).

Таблица 2. Распределение наблюдений по дате начала отопительного периода и интегральной разности температур (по квадрантам координатной плоскости)

Город, пункт наблюдения	Начало отопительного периода	
	раннее	позднее
Якутск	0,269	0,261
	0,227	0,244
Анадырь	0,211	0,404
	0,070	0,316
Иркутск	0,260	0,221
	0,212	0,308
Новосибирск	0,260	0,247
	0,233	0,260
Екатеринбург	0,295	0,189
	0,273	0,242
Архангельск	0,298	0,206
	0,206	0,290
Владивосток	0,281	0,219
	0,208	0,292
Москва	0,352	0,185
	0,130	0,333
Калининград	0,227	0,227
	0,212	0,333
Краснодар	0,306	0,139
	0,278	0,278

Данные таблицы 2 необходимо интерпретировать в соответствии с рисунком 1: так, левый и правый столбцы данных характеризуют частоту раннего и позднего начала отопительного

периода, верхняя и нижняя строки по рассматриваемым городам – частоту наступления холодной и теплой зим. Наибольшие значения принимают частоты, соответствующие II и IV квадрантам координатной плоскости. А это значит, что большая часть отопительных периодов распределена по этим квадрантам.

Существенная асимметрия в распределениях отопительных периодов наблюдается только по данным г. Анадырь. Большая часть отопительных периодов в этом случае расположена в I квадранте координатной плоскости («поздняя холодная зима»), за счет этого частота наступления «поздней зимы» больше частоты «ранней», а «холодной зимы» – больше, чем у «теплой». И совсем низкую частоту имеют ранние теплые зимы для этого пункта наблюдений.

Особое внимание следует уделить рассмотрению II и IV квадрантов рисунка 2, поскольку частоты распределения наблюдений в этих квадрантах характеризуют предполагаемую гипотезой зависимость между датой начала отопительного периода и интегральной разностью температур.

Для оценки тесноты связи между этими величинами введем показатель тесноты связи между датой начала отопительного периода и интегральной разностью температур:

$$\hat{k} = \frac{n_2 + n_4}{n_1 + n_3},$$

где n_i , $i = \overline{1,4}$ – частоты распределения отопительных периодов по квадрантам координатной плоскости. Расчеты, произведенные по формуле, представлены в таблице 3.

Для всех рассматриваемых пунктов коэффициент тесноты связи оказался больше единицы, что подтверждает наше предположение – можно говорить о существовании обратной статистической зависимости между датой начала отопительного периода и интегральной разностью температур.

Чтобы уточнить зависимость между датой начала отопительного периода и интегральной разностью температур для рассматриваемых районов, воспользуемся построением регрессионной зависимости между этими показателями. На рисунке 2 наглядно представлены значения дат начала отопительных периодов и интегральных разностей температур по отопительным периодам для Москвы, Новосибирска, Иркутска.

Таблица 3. Значения коэффициента тесноты связи между датой начала отопительного периода и интегральной разностью температур

Город, пункт наблюдения	Коэффициент тесноты связи
Якутск	1,051
Анадырь	1,112
Иркутск	1,312
Новосибирск	1,083
Екатеринбург	1,162
Архангельск	1,427
Владивосток	1,342
Москва	2,175
Калининград	1,276
Краснодар	1,400

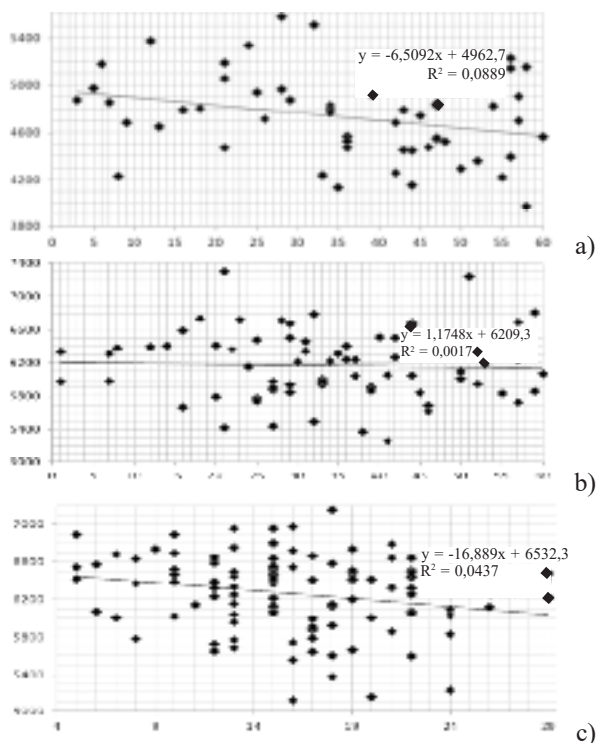


Рис. 2. Распределение отопительных периодов по дате начала отопительного года и интегральной разности температур: а) Москва; б) Новосибирск; в) Иркутск.

На рисунке 2 по оси абсцисс обозначена дата начала отопительного периода в календарных днях до 30 сентября и в октябре, дни которого здесь нумеруются с 31-го и т. д.

Для каждого пункта наблюдений определена по критерию минимума суммы квадратов отклонений регрессионная линейная зависимость. Значения коэффициента при переменной части линейной регрессии для каждого рассматриваемого пункта наблюдений (в первом столбце табл. 4) отрицательные. При более поздней дате начала отопительного периода, согласно полученным регрессионным зависимостям, будет меньше интегральная разность температур за весь отопительный период и соответственно меньше расход теплоэнергии и топлива на отопление зданий.

Для оценки тесноты связи между датой начала отопительного периода и интегральной разностью температур можно использовать также парный коэффициент корреляции и коэффициент детерминации

Таблица 4. Значения парных коэффициентов корреляции и коэффициентов детерминации между датой начала отопительного периода и интегральной разностью температур

Город, пункт наблюдения	Парный коэффициент корреляции	Коэффициент детерминации
Якутск	-0,135	0,018
Анадырь	-0,379	0,143
Иркутск	-0,209	0,044
Новосибирск	-0,041	0,089
Екатеринбург	-0,250	0,063
Архангельск	-0,331	0,110
Владивосток	-0,221	0,049
Москва	-0,298	0,002
Калининград	-0,069	0,005
Краснодар	-0,267	0,072

По данным таблицы (значения коэффициентов корреляции) наблюдаем также отрицательную, хотя и довольно слабую корреляционную зависимость между датой начала отопительного периода и интегральной разностью температур. Малые значения

коэффициента детерминации так же, как и относительно небольшие абсолютные коэффициенты корреляции, говорят о том, что выявленная статистическая зависимость между датой начала отопительного периода и интегральной разностью температур внутри и вне здания за отопительный период не является сильной и далека от детерминированной.

Значение коэффициента линейной регрессии позволяет количественно выразить связь между датой начала отопительного периода и интегральной разностью температур. Так, например, для Иркутска коэффициент линейной регрессии составляет $-16,889$, т.е. увеличение даты начала отопительного периода на один день приводит к уменьшению интегральной разности температур на $-16,889$ градусо-дней. Это означает, что самая ранняя и самая поздняя из наблюдавшихся в прошлом даты наступления отопительного периода (различаются на 25 суток) влекут отклонения расхода теплоэнергии и топлива на отопление примерно на 8%. Этот факт полезно учитывать при регулировании запасов и поставок топлива.

Для Краснодара коэффициент линейной регрессии получился вдвое меньшим. Но для этого города характерны более низкий уровень интегральной разности температур и более широкий диапазон наблюдавшихся в прошлом расчетных дат начала отопительного периода (56 суток). Поэтому оценка изменений потребности в теплоэнергии и в топливе на отопление при варьировании начала отопительного периода во всем указанном в таблице 1 диапазоне составит уже 13%.

На основе многолетних данных температур в выбранных пунктах России установлено наличие устойчивой по всем рассмотренным пунктам метеонаблюдений обратной корреляционной зависимости между датой начала отопительного года и интегральной разностью температур за весь отопительный период. Это позволяет уверенно говорить о возможности использования расчетной даты текущего отопительного периода для прогнозирования интегральной разности температур за весь отопительный период.

Следует отметить, что выявленная зависимость, достаточно четко проявившаяся во всех рассмотренных пунктах наблюдений, является устойчивой, но не сильной. Весьма вероятно наступление ранних, но относительно теплых зим, и наоборот, поздних и холодных.

Вместе с тем дата наступления отопительного периода вполне может служить некоторой объективной основой для корректировки планов топливоснабжения. Нынешний 2016/17 гг. отопительный период повсеместно в России наступил несколько раньше среднемноголетней даты. Будет ли эта зима более холодной? Подождем, проверим.

Литература

1. Зоркальцев В. И. Многолетние колебания температур и проблема надежности топливоснабжения. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2015. – 84 с.
2. Хрилев Л. С. О влиянии климатического фактора на перспективную структуру топливно-энергетического баланса // Теплоэнергетика. – 1966. – № 2. – С. 16–26.
3. Мазур Ю. Я. Проблемы маневренности в развитии энергетики. – М.: Наука, 1986. – 94 с.
4. Некрасов А. С., Великанов М. А., Горюнов П. В. и др. Надежность топливоснабжения электростанций. Методы и модели исследований. – М.: Наука, 1990. – 198 с.
5. Великанов М. А., Некрасов А. С., Резниковский А. Ш. Оценка асинхронности многолетних колебаний расходов топлива под воздействием геофизических факторов // Известия АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1988. – № 2. – С. 181–187.
6. Зоркальцев В. И. Методы прогнозирования и анализа эффективности функционирования системы топливоснабжения. – М.: Наука, 1988. – 144 с.
7. Российский гидрометеорологический портал. URL: <http://meteo.ru/>