

В.Н. Воробьев, Л.А. Хандожко

**МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКТОР
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ
В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА**

V.N. Vorobyev, L.A. Khandozhko

**THE METEOROLOGICAL FACTOR
OF RESOURCE PROTECTION
IN HEAT POWER ENGINEERING OF ST. PETERSBURG**

В статье дается обоснование использования метеорологической информации в теплоэнергетике. Раскрываются метеорологические основы оптимизации расхода тепловой энергии на основе оперативных прогнозов среднесуточной температуры воздуха. Приводятся функции тепловых и стоимостных потерь. Выполнены расчеты по некоторым ТЭЦ Санкт-Петербурга и дана оценка экономической полезности оптимального использования прогнозов.

The article presents substantiation of meteorological information application in heat power engineering. The meteorological basis is revealed for optimization of thermal energy use according to operational forecasts of mean diurnal temperature of air. The functions of thermal and financial losses are considered. Calculations for certain thermal electrical plants in St. Petersburg are performed and estimation of economic value of optimal use of forecasts is presented.

Природные ресурсы, окружающие человека, используются как естественная потребность обеспечения жизнедеятельности. Среди многообразия видов ресурсной среды выделяются два, обладающие уникальным свойством в созидательном процессе человека.

Первый из них – углеводородное топливо – как вещественный ресурс [1] по природе своей исчерпаем. Этот вид ресурсов – ведущий в энергетическом балансе страны, необходимо постоянное бережное его использование. Это исторически сложившееся требование к техногенному процессу, поскольку именно данный вид ресурсов является базовым, определяющим функционирование, развитие и существование производственной системы.

Второй вид природных ресурсов, обладающий уникальным свойством иного характера, – это метеорологическая среда, а точнее информация о ее текущем и ожидаемом состоянии. Этот вид ресурсов вечный, постоянно возобновляемый. Практически все отрасли экономики в той или иной степени зависят от погодных и климатических условий [2] и регулярно используют метеорологическую информацию.

Теплоэнергетика в топливно-энергетическом комплексе страны все более выделяется в самостоятельную отрасль национальной экономики [3], где расход в основном углеводородного топлива рассматривается с позиции жизнеобеспе-

чения социально-экономической инфраструктуры общества. В современном виде все теплоэнергетические источники функционируют в режиме постоянного потребления метеорологической информации, в особенности, прогнозов погодных условий.

В энергетическом балансе все большее значение придается тепловой энергии. В настоящее время доля технологического потребления тепла (теплоноситель – пар) составляет примерно 35%, отопления и вентиляции – 50%, а горячего водоснабжения – 15%.

Расходы топливных ресурсов в теплоэнергетике крупных городов связаны не только с концентрацией промышленных объектов и городского жилого фонда, но и с климатическими условиями, в которых работают теплоисточники (ТЭЦ, ГРЭС и др.). Чем более суровые климатические условия и более низкие температуры в отопительный сезон, тем эффективнее использование теплоисточников повышенной тепловой мощности. Из этого следует, что отмечается географическая локализация экономичности теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) при соответствующем значении расчетной нагрузки [4]. Так, на Европейской части страны это достигается при отпуске тепла более 400 Гкал/ч, для Урала 600 Гкал/ч, а для Сибири 890 Гкал/ч.

С учетом развивающейся экономики и растущих демографических процессов следует ожидать дальнейшего увеличения расхода топливных ресурсов, особенно природного газа.

Интеграция России в мировую рыночную экономику определяет необходимость соблюдения международных экономических принципов и законов, одним из которых является рациональное (оптимальное) использование топливно-энергетических ресурсов.

В декабре 1994 г. Правительство РФ одобрило Энергетическую стратегию России. Указом Президента РФ от 07.05.95 г. № 472 были утверждены «Основные направления энергетической политики РФ на период до 2010 г.». В качестве главного направления предусматривается повышение энергоэффективности – энергосбережения. В апреле 1996 г. был принят Федеральный Закон «Об энергосбережении».

Это стратегическое требование обязывает исполнительную власть субъектов Федерации определить программы энерго- и ресурсосбережения и обеспечить их выполнение. Значительная доля энергосбережения приходится на мегаполисы России (Москва, Санкт-Петербург, Новосибирск) и другие крупные города. Российские предприятия затрачивают энергоносителей в 3–5 раз больше, чем в западных странах, что снижает конкурентоспособность отечественной продукции и рентабельность городского хозяйства. Это в равной мере относится к теплоэнергетике Санкт-Петербурга.

Все это говорит о необходимости научно обоснованного учета метеорологического фактора в постоянном оперативном регулировании режимов работы теплоисточников. Это, главным образом, относится к использованию прогнозов температуры воздуха при задании температуры теплоносителя.

Таким образом, проблема ресурсосбережения, как одна из фундаментальных составляющих экономики, находит свое отражение в теплоэнергетике. Особая производственная специфика теплоэнергетики, требующая постоянного учета ожидаемой наружной температуры воздуха и скорости ветра, дает основание для научной разработки экономико-метеорологических моделей экономически оптимального использования прогностических ресурсов. Именно на этой базе и рассматривается ресурсосбережение в теплоэнергетике Санкт-Петербурга. В сложных условиях становления новых экономических отношений ресурсосбережение в теплоэнергетике будет значительным вкладом в экономическое оздоровление страны.

Влияние метеорологических факторов на производство тепловой энергии прослеживается на всех этапах функционирования ТЭЦ и сказывается непосредственно на задании режима работы теплоисточника, на колебаниях спроса на тепловую энергию, а также на эксплуатации и содержании тепловых сетей.

В характере проявления климатических и погодных условий отмечается большое разнообразие. Климат и погода на территории России выражены в резких контрастах. Это достаточно отчетливо прослеживается при широтном и меридиональном изменении климатических и конкретных метеорологических условий. Так, на Европейской территории России (ЕТР) погодные условия в отопительный период обладают большой изменчивостью. Постоянно наблюдаются значительные колебания температуры, что связано с повышенной частотой прохождения циклонов, сменой атмосферных фронтов и воздушных масс. Очевидные в этом отношении природные контрасты отмечаются на территории Сибири, где в холодную часть года преобладает антициклоническая погода с характерными длительными и сильными морозами.

Поскольку теплоснабжение жилых помещений зависит не только от температуры наружного воздуха, но и от скорости ветра, что сказывается на инфильтрационных процессах в ограждающих конструкциях, то совершенно очевидна более заметная роль ветрового фактора на ЕТР и на территориях Крвйнего Севера России.

Значительная неоднородность климатических и погодных условий проявляется в выборе известного в теплоэнергетике показателя расчетной температуры (t_p) наружного воздуха. Его значение используется при определении максимальной нагрузки теплоисточника (Q_p^T), в расчетах теплопередачи ограждающих конструкций и при решении ряда других задач.

Расчетная температура воздуха определяется по формуле Чаплина [5]:

$$t_p = 0,4 t_{cx} + 0,6 t_{ам}, \quad (1)$$

где t_{cx} – средняя температура воздуха за самый холодный месяц; $t_{ам}$ – абсолютный минимум температуры воздуха.

Для убедительности оценки проявления существенных различий климатических условий приведем значения t_p по некоторым городам России:

Город	$t_p, ^\circ\text{C}$	Город	$t_p, ^\circ\text{C}$	Город	$t_p, ^\circ\text{C}$
Калининград	-18	Санкт-Петербург	-26	Екатеринбург	-35
Псков	-26	Москва	-26	Новосибирск	-39
				Иркутск	-37

В Северных регионах России климатические и погодные условия еще более сложны:

Город	$t_p, ^\circ\text{C}$	Город	$t_p, ^\circ\text{C}$	Город	$t_p, ^\circ\text{C}$
Мурманск	-27	Дудинка	-46	Верхоянск	-59
Салехард	-42	Игарка	-48	Тикси	-14

Вместе с тем, проявляются различия и в средней температуре отопительного периода ($\bar{t}_{от}$) и в его продолжительности. Так, в Калининграде она составляет 195 суток при $\bar{t}_{от} = 0,6 ^\circ\text{C}$, в Санкт-Петербурге – 219 ($\bar{t}_{от} = -2,2 ^\circ\text{C}$), в Екатеринбурге – 228 ($\bar{t}_{от} = 6,4 ^\circ\text{C}$), в Иркутске – 241 ($\bar{t}_{от} = -8,9 ^\circ\text{C}$). В северных районах продолжительность отопительного сезона заметно возрастает: в Мурманске – 281 ($\bar{t}_{от} = -3,3 ^\circ\text{C}$), в Салехарде – 285 ($\bar{t}_{от} = -11,0 ^\circ\text{C}$), в Верхоянске – 272 ($\bar{t}_{от} = -25,2 ^\circ\text{C}$).

Определяющая роль эффективного теплоснабжения в крупных городах состоит в создании комфортных условий проживания и работы, обеспечения нормального функционирования производственных процессов при минимизации ресурсных затрат на выработку тепловой энергии. Достижение этих условий возможно при постоянном оптимальном учете совместного влияния температуры воздуха и скорости ветра на тепловые потери зданий, а значит, и на расход тепла в отопительной сети конкретного теплоисточника (ТЭЦ).

Постоянно проявляется нестационарный характер температурного режима в течение отопительного периода. Нередко в практике работы теплоэлектроцентралей ожидаемая температура воздуха в течение отопительного периода учитывается недостаточно, что может сильно отразиться на итоговом результате расхода тепловой энергии. Это может привести как к избыточному, так и к недостаточному теплоснабжению. Избыток (перерасход) или недодача тепла потребителю (жилищно-коммунальному хозяйству, промышленным предприятиям и др.) наблюдается в той или иной мере как постоянный процесс подстройки теплоисточника под прогнозируемые условия погоды.

Рассмотрим оперативное теплоснабжение как функцию постоянных вариаций, прежде всего, прогнозируемой температуры воздуха (t_{np}).

Тепловая нагрузка в системе отопления имеет систематические отклонения от значений, получаемых по отопительно-температурному графику ТЭЦ. Для задания соответствующей нагрузки теплоисточнику устанавливаются необходи-

мые, согласно прогнозу температуры наружного воздуха, значения температуры теплоносителя. Наблюдаемые отклонения от температурного графика вызваны такими факторами, как неточность контроля расхода тепла в теплосистеме, а также возможными ошибками в прогностической информации, поступающей на ТЭЦ. Ориентируясь на ожидаемую среднесуточную температуру воздуха, устанавливают такой режим выдачи прямой воды, при котором потребители должны быть обеспечены необходимым теплом. В действительности идеальная подстройка теплоисточника невозможна в связи с тем, что имеется значительная тепловая инерционность температуры (t') теплоносителя, присущая самой системе передачи (транспортировки) тепла.

Для транспортировки исходного теплового состояния теплоносителя требуются многие часы работы теплоисточника (и тепловой сети), чтобы донести тепло до «крайних» потребителей. Тепловая сеть любой ТЭЦ, обеспечивающая теплом крупный район города, может иметь протяженность десятки километров. Известно [6], что общая протяженность тепловой сети в Санкт-Петербурге (данные 1999 г.) составляла 660 км, а в Москве в тот же период – 2346 км. Под землей крупного города работает сложная система потоков горячей воды, температура которой устанавливается в зависимости от ожидаемых условий погоды.

Итак, приходим к выводу, что использование оперативных прогнозов температуры воздуха является обязательным условием функционирования такой "производственной" организации, как теплоисточник (ТЭЦ, ГРЭС и др.). Правильный прогноз резких изменений температуры воздуха позволяет избежать крупных потерь – перерасхода или недодачи тепла.

Оптимальный режим работы ТЭЦ и центральных (районных) котельных возможен в том случае, если определена зависимость тепловых потерь от метеорологических условий (температуры воздуха). Каждый раз выбирается такое ее значение, при котором и ТЭЦ, и потребители тепла (коммунальное хозяйство и промышленные предприятия) несут наименьшие потери. Конечно, эти значения температуры воздуха, на которые должен ориентироваться диспетчер ТЭЦ, не всегда будут совпадать с прогностическими.

Расход тепла Q_t в отопительной сети зависит от температуры наружного воздуха следующим образом:

$$Q_t = Q_p^t \frac{t_n - t}{t_n - t_p}, \quad (2)$$

где Q_p^t – общие тепловые затраты на отопление зданий при расчетной температуре наружного воздуха t_p и температуре внутри помещений t_n или мощность теплоисточника (тепловая мощность Гкал/ч).

Фактический расход тепла Q_{ϕ} согласно прогноза $t_{\text{пр}}$ отличается от необходимого Q_t , отвечающего фактической температуре воздуха (t_{ϕ}), наступившей в ожидаемые сутки. Это вызвано погрешностями регулирования отпуска тепла при нестационарных режимах в системе теплоснабжения и погрешностями прогнозирования. Отсюда следует, что величину Q_{ϕ} следует рассматривать как случайные колебания в системе теплоснабжения, зависимость от прогнозируемой среднесуточной температуры воздуха $\bar{t}_{\text{пр}}$.

Отклонения $\Delta Q_{\phi} = Q_{\phi} - Q_t$ характеризуют реальное функционирование теплоцентрали. Очевидно, что если в тепловой системе устанавливается расход тепла, то $\Delta Q_{\text{п}} = Q_{\text{п}} = Q_{\phi} - Q_t > 0$.

Наблюдается перерасход тепловой энергии (Q_{ϕ}) относительно необходимого (Q_t) – избыточное теплоснабжение, что связано с ошибками прогноза вида: $t_{\text{пр}} < t_{\phi}$ или $t_{\text{пр}} = t_{\text{пр}} - t_{\phi} < 0$. В тех случаях, когда $\Delta Q_{\text{н}} = Q_{\text{н}} = Q_{\phi} - Q_t < 0$, наблюдается недодача тепловой энергии потребителю – недостаточное теплоснабжение. В этом случае $t_{\text{пр}} > t_{\phi}$ или $t_{\text{пр}} = t_{\text{пр}} - t_{\phi} > 0$.

Среднее значение (математическое ожидание) расхода тепла – перерасхода $Q_{\text{п}}$ или недодачи $Q_{\text{н}}$ определяется по формулам:

$$Q_{\text{п}} = \int_{\Delta Q_0}^{\Delta Q_{\text{макс}}^{\text{п}}} \Delta Q_{\text{п}} \varphi(\Delta Q_{\text{п}}) d(\Delta Q_{\text{п}}), \quad (3)$$

$$Q_{\text{н}} = \int_{\Delta Q_0}^{\Delta Q_{\text{макс}}^{\text{н}}} \Delta Q_{\text{н}} \varphi(\Delta Q_{\text{н}}) d(\Delta Q_{\text{н}}), \quad (4)$$

где Q_0 – погрешность контроля тепла, расходуемого в отопительной сети $\varphi(\Delta Q)$ – плотность вероятности случайных отклонений расхода тепла ($Q_{\text{п}}$, $Q_{\text{н}}$).

Как показано в работах [7, 8], интегрирование уравнений (5) и (6) с учетом плотности вероятности $\varphi(\Delta Q)$ позволяет получить рабочие формулы для расчета средних значений расходов тепла ($Q_{\text{п}}$, $Q_{\text{н}}$) в зависимости от ошибки прогноза – ориентации ТЭЦ на ожидаемую среднесуточную температуру возду-

ха. Это будут функции тепловых потерь, отражающие зависимость расходов тепловой энергии от метеорологических условий.

В упрощенном варианте функции тепловых потерь записываются следующим образом:

$$Q_{\text{н}}(\Delta t_{\text{пр}}) = \frac{\delta \Delta Q}{\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(\Delta Q_0 + \frac{Q_p^T}{t_n - t_p} \Delta t_{\text{пр}})^2}{2\delta_{\Delta Q}^2} \right] - \frac{\Delta Q_p^T}{t_n - t_p} \Delta t_{\text{пр}} \left[\frac{1}{2} - \phi \left(\frac{\Delta Q_0 + \frac{Q_p^T}{t_n - t_p} \Delta t_{\text{пр}}}{\delta_{\Delta Q}} \right) \right], \quad (5)$$

$$Q_{\text{н}}(\Delta t_{\text{пр}}) = \frac{\delta \Delta Q}{\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(\Delta Q_0 - \frac{Q_p^T}{t_n - t_p} \Delta t_{\text{пр}})^2}{2\delta_{\Delta Q}^2} \right] + \frac{\Delta Q_p^T}{t_n - t_p} \Delta t_{\text{пр}} \left[\frac{1}{2} - \phi \left(\frac{\Delta Q_0 - \frac{Q_p^T}{t_n - t_p} \Delta t_{\text{пр}}}{\delta_{\Delta Q}} \right) \right], \quad (6)$$

где $\phi(x)$ – табулированная функция интеграла вероятности.

В целях расчета избыточного $Q_{\text{п}}$ и недостаточного $Q_{\text{н}}$ теплоснабжения необходимо было установить, при каких ошибках $\Delta t_{\text{пр}}$ «работает» экспоненциальная часть $Q_{\text{п}}$ и $Q_{\text{н}}$ расхода топлива. Анализ показывает, что таким условием выступает некоторое пороговое значение ошибок ($\Delta t_{\text{пр}}^*$). При ошибках $\Delta t_{\text{пр}} > \Delta t_{\text{пр}}^*$ используются линейные составляющие в уравнениях (5) и (6). При ошибках $\Delta t_{\text{пр}} < \Delta t_{\text{пр}}^*$ учитываются экспоненциальные составляющие, которые определяются на основании ряда упрощающих функций, тем самым выстраивается алгоритмическая конструкция, позволяющая определить функции тепловых потерь ($Q_{\text{п}}$, $Q_{\text{н}}$ в Гкал/ч).

Наряду с этим рассмотрим построение функции стоимостных потерь $s(\Delta t_{\text{пр}})$ и дадим их совместный анализ. Функция, выражающая стоимостное измерение тепловых расходов, – функция потерь – записывается в виде

$$s(\Delta t_{\text{пр}}) = \tau (c_{\text{п}} Q_{\text{п}} + c_{\text{н}} Q_{\text{н}}), \quad (7)$$

где τ – период прогнозирования (12 или 24 ч), $c_{\text{п}}$ – себестоимость выработки 1 Гкал тепловой энергии на ТЭЦ; $c_{\text{н}}$ – масштаб потерь в производственной и со-

циальной сферах при недодаче 1 Гкал тепла. Используется в основном соотношение $c_n = 3 \div 5 c_{п}$ [9].

Сопоставительный анализ затрат (стоимости) на производство единицы тепловой энергии в разные годы показывает кардинальные стоимостные изменения, связанные с особенностями экономических реформ. Так, в 1980–1985 гг. в Санкт-Петербурге стоимость 1 Гкал составляла 4,5 – 4,7 руб. В последующие годы (1985–1990) она возросла до 6 – 7 руб./Гкал. Затем начался галопирующий рост цен на энергоносители, и стоимость выработки тепловой энергии в 2000 г. в Санкт-Петербурге была установлена в размере 129 руб./Гкал.ч согласно «Нормативным документам» [10]. Таким образом, учет значений прежней стоимости $c_{п} \sim 6$ руб./Гкал позволяет записать соотношение перевода: $c_{п} (2000 \text{ г.}) = 2 \cdot 10 \cdot c_{п} (80\text{-х г.})$.

Регулирование отпуска тепла производится два раза в сутки при разнице наружных температур дня и ночи, равной 8 °С и более, и один раз в сутки при колебаниях температуры менее 8 °С.

Изложенные выше теоретические положения позволяют выстроить общую схему, отражающую структурную и функциональную взаимосвязь производства тепловой энергии и такого информационного ресурса, как оперативные прогнозы среднесуточной температуры воздуха [8]. Более того, такая структурная схема «погода – прогноз – ТЭЦ» содержит оценку экономической полезности прогнозов и выход на методическую основу ресурсосбережения.

Основная закономерность функции стоимостных потерь проявляется в том, что минимальное ее значение приходится на ошибки прогноза $\Delta t_{п} < 0$. Это так называемые перестраховочные ситуации, когда тепла на сеть поступает несколько больше, чем это отвечало бы фактической температуре. Минимум $s(\Delta t_{п})$ при этом соответствует значению $\Delta t_{п} \cong -3$ °С. Видно, что это один из возможных путей минимизации потерь. Он состоит в учете условия $Q_{п} \Rightarrow \text{мин } Q$ при $\tilde{t}_{п} = \bar{t}_{п} + 3$ °С. Диспетчер задает температуру теплоносителю исходя из полученного значения $\tilde{t}_{п}$. Тем самым, в течение отопительного сезона оптимум режима теплообеспечения состоит в некотором перерасходе тепла во избежание его недодачи.

В табл. 1 приведена оценка тепловых и стоимостных потерь для ТЭЦ-2 С.-Петербурга. Функция стоимости потерь ($s(\Delta t_{п})$) для последующих процедур расчета преобразуется в дискретную форму – матрицу потерь $\| \| s_{ij} \| \|$.

Располагая необходимой метеоролого-экономической информацией в виде матрицы сопряженности и матрицы потерь, представляется возможным рассчитать так называемые средние систематические потери при ориентации потреби-

теля (ТЭЦ) на определенный текст прогноза. Систематические потери записываются в виде

$$\bar{R}_{kj} = \sum_{k=1}^{m=n} s_{ki} q_{ij}, \quad (8)$$

где s_{ki} – элементы матрицы потерь; q_{ij} – условные вероятности осуществления текстов прогнозов.

В итоге рассчитывается матрица систематических потерь $\|\bar{R}_{kj}\|$ как для методических (\bar{R}_m), так и для инерционных прогнозов. Средние потери при стратегии доверия методическим прогнозам определяются по формуле:

$$\bar{R}_m = \sum_{j=1}^m p_{oj} \bar{R}_{i=j}(\Pi_j). \quad (9)$$

При оптимальных условиях, когда потребитель (руководитель, диспетчер) ориентируется на минимальные потери (\bar{R}_{mo}), отраженные в матрице $\|\bar{R}_{kj}\|$, возможные при данном тексте Π_j . Средние потери устанавливаются по формуле вида

$$\bar{R}_{mo} = \sum_{j=1}^m p_{oj} \bar{R}_{\min}(\Pi_j). \quad (10)$$

В формулах $p_{oj} = n_{oj} / N$ – вероятность текстов прогнозов (Π_j), выдаваемых из Гидрометцентра.

При стратегии доверия прогнозам экономический эффект [8] в первый период (1981 – 1986 гг.) за один отопительный сезон составил 3,7 млн. руб, а в случае оптимального использования прогнозов 5,03 млн. руб.

За второй период исследования (1996 – 1999 гг.) средние потери, как видим, заметно возрастают, что связано с ростом тарифов на топливные ресурсы (газ, мазут). Экономический эффект в этот период за один отопительный сезон составил 8,6 млн. руб. при стратегии доверия прогнозам, а в случае оптимальной стратегии – соответственно 10,5 млн. руб. Прирост экономического эффекта за счет оптимизации достигал уже 1,9 млн. руб.

Таблица 1

Расходы избыточного \tilde{Q}_n и недостаточного Q_n отопления (Гкал) и метеорологические потери S_{np}, S_n (тыс. руб./прогноз)

Здесь $s(\Delta t_{np})$ – функция стоимостных потерь ГЭЦ–2

Параметр расчета	Ошибки прогноза температуры воздуха, t_{np} , °С														
	Ошибки избыточного отопления							Ошибки недостаточного отопления							
	-14	-12	-10	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	10	12	14
Θ_{np}				-2,85	-2,13	-1,42	-0,68	0	0,68	1,42					
Q_n				2,85	2,10	1,38	0,70	0,30	0,09	0					
\tilde{Q}_n	396,17	339,57	282,98	238,83	175,98	115,64	58,66	25,14	7,54	0					
S_n	44,96	38,54	32,12	27,23	20,06	13,18	6,69	6,17	0,86	0					
Θ_{np}								0	0,68	1,42	2,13	2,85			
\tilde{Q}_n						0	0,09	0,30	0,70	1,38	2,10	2,85			
Q_n						0	7,54	25,14	58,66	115,64	175,98	238,83	282,98	339,57	396,17
$S_{,,}$						0	4,28	14,28	33,32	65,68	99,96	135,66	160,60	192,70	224,80
$s(\Delta t_{np})$	44,96	38,54	32,12	27,23	20,06	13,18	10,97	20,45	34,18	65,68	99,96	135,66	160,60	192,70	224,80

Оценки, выполненные за 1981–1986 гг. по ГЭЦ–2 и ГЭЦ–7 и за 1996–1999 гг. по ГЭЦ–5 Санкт-Петербурга, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Средние потери и сбереженные финансовые ресурсы (тыс. руб./прогноз)					
ТЭЦ	Средние потери			Сбереженные финансовые ресурсы	
	\bar{R}_M	$\bar{R}_{ин}$	$\bar{R}_{мо}$	$\bar{R}_{ин} - \bar{R}_M$	$\bar{R}_{ин} - \bar{R}_{мо}$
1981 – 1986 гг.					
ТЭЦ-2 ($Q_p = 300$ Гкал/ч)	90	152	68	62	84
ТЭЦ-7 ($Q_p = 344$ Гкал/ч)	105	143	$\frac{73}{73/105} = 0,695$	38	70
1981 – 1986 гг.					
ТЭЦ-5 ($Q_p = 292$ Гкал/ч)	316	511	$\frac{276}{276/316} = 0,873$	195	235

Далее рассмотрим ресурсный выигрыш ТЭЦ, который обеспечивается более высокой успешностью оперативных методических прогнозов относительно инерционных. При этом выделяется два вида тепловых расходов: избыточное $Q_{н}$ и недостаточное $Q_{н}$ теплоснабжение. Этим условиям отвечает соотношение частот n_{ij} в матрице сопряженности прогнозов в виде: $n_{н} / n_{н} + n_{н}$, $n_{н} / n_{н} + n_{н}$ и $n_{н}^* / n_{i=j}$. В соответствии с этим устанавливается снижение потерь при избыточном теплоснабжении $\Delta L_{н}$ и соответственно количество сбереженной тепловой энергии $\Delta E_{н}$. Сбереженное топливо при известном удельном его расходе (принято $\gamma = 140$ кг у.т./Гкал) определяется следующим образом:

$$\Delta M_{н} = \Delta E_{н} \gamma . \tag{11}$$

Установлено, что использование прогнозов на ТЭЦ-2 позволило сберечь топливные ресурсы на величину около 18,6 тыс. т у.т. за один отопительный сезон.

Недостаточное теплоснабжение, как уже отмечалось, вызывает потери иного характера как в сфере коммунального хозяйства, так и в области промышленного производства. В этой ситуации рассматривается задача уменьшить недостаточность в теплоснабжении за счет методических прогнозов. Тем самым, представляется возможным снизить штрафные расходы за счет оптимального задания режима работы теплоисточника. Для этой цели предлагается формула вида:

$$\Delta L_{н} = \kappa_2 \Delta \bar{R}_{ин}^{онт} n_{н} , \tag{12}$$

где $\kappa_2 = \frac{n_{н}}{n_{н} + n_{н}}$.

За один отопительный сезон первого периода исследования величина ΔL_n составила 6,08 млн. руб. Рост средних потерь ($\Delta \bar{R}_m$) по ТЭЦ-5 за второй период (1996–1999 гг.) исследования определялся только ценовым фактором – ростом тарифов на топливо. Однако информационный ресурс (τ) в этот период был более более высокого качества. Действительно, как это следует из табл. 2,

$$\tau (1981-1986 \text{ гг.}) = 73/105 = 0,695$$

и

$$\tau (1996-1999 \text{ гг.}) = 276/316 = 0,873.$$

Видно, что оптимизация прогнозов на единицу потерь во втором периоде была более предпочтительной.

Оценка ресурсосбережения также показала их заметные различия в приведенные периоды лет. Результаты расчетов представлены в табл. 3.

Таблица 3

Оценка ресурсосбережения топлива (тыс. т у.т.) и финансовых средств (млн. руб.)

ТЭЦ (Q_p^t , Гкал/ч)	Ресурсы	
	$\Delta \tilde{M}_n$	ΔL_n
ТЭЦ-2 ($Q_p^t = 300$)	1981 – 1986 гг.	
	18,6	6,08
ТЭЦ-7 ($Q_p^t = 352$)	1981 – 1986 гг.	
	14,6	6,72
ТЭЦ-5 ($Q_p^t = 292$)	1996–1999 гг.	
	41/8	6,9

Видно, что в последний период исследования ресурсосбережение заметно возросло. Это связано не только с ростом цен на топливо, но и с повышением качества многофазовых прогнозов среднесуточной температуры воздуха по Санкт-Петербургу.

Разработанная теоретическая модель ресурсосбережения в теплоэнергетике достаточно эффективна. В Постановлении Правительства Санкт-Петербурга от 14.01.99 № 1/1 [10] отмечалось, что сэкономленные ресурсы за год по всем энергетическим объектам города составили 510 тыс. т у.т. Приняв среднее значение ΔM_n (табл. 3), равное 25,0 тыс.т у.т. единичной ТЭЦ, и увеличив его только на порядок (хотя в Санкт-Петербурге основных 17 ТЭЦ), получаем ресурсосбережение за счет прогностической информации до 50% по городу. Достаточно очевидна необходимость практической реализации приведенной энергосберегающей технологии в теплоэнергетике Санкт-Петербурга.

Как отмечалось в работе [11], в соответствии с законом РФ «Об энергосбережении» Администрацией Санкт-Петербурга разработана стратегия энергосбережения в городе на ближайшие годы путем широкого применения высокоэффективных технологий, включая внедрение «оптимизации режимов выработки, распределения и потребления тепловой энергии».

В Санкт-Петербурге наряду с теплоисточниками типа ТЭЦ-2, ТЭЦ-7 есть более мощные, такие, как ТЭЦ-21 ($Q_p^i = 840$ Гкал/ч) и Северо-Западная ТЭЦ ($Q_p^i = 1460$ Гкал/ч) [6], требующие самостоятельного исследования.

Представляет научный и практический интерес выполнить исследование по всему комплексу ТЭЦ АО «Ленэнерго», присоединенная тепловая нагрузка которых составляет около 11 тыс. Гкал/ч. При этом отапливается более 13 000 зданий Санкт-Петербурга.

Наряду с этим значительное место в теплоэнергетике города занимают теплоисточники ГУП «ТЭК СПб». Эта энергетическая система требует особого исследования с точки зрения использования метеорологической информации.

Вместе с тем, теплоэнергетика мегаполисов (Москва, Санкт-Петербург, Новосибирск) – лишь доля масштабной теплоэнергетической системы России. Ресурсосбережение в теплоэнергетике России уже частично получило оценку по ряду городов (преимущественно на Европейской территории России), что может быть обобщено в отдельном научном исследовании.

Литература

1. *Алаев Э.Б.* Социально-экономическая география. – М.: Мысль, 1983. – 350 с.
2. *Хандошко Л.А.* Метеорологическое обеспечение народного хозяйства. – Л.: Гидрометеоздат, 1981. – 231 с.
3. *Некрасов А.С.* Теплоснабжение России: необходима новая стратегия. – Информ. бюлл. № 2 «Теплоэнергоэффективные технологии», 1999, с. 20–23.
4. Водяные тепловые сети. Справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 375 с.
5. *Заварина М.В.* Строительная климатология. – Л.: Гидрометеоздат, 1976. – 312 с.
6. *Белоусов В.А., Чистяков Л.А.* 75 лет теплофикации Санкт-Петербурга. – Информ. бюлл. № 2 «Теплоэнергоэффективные технологии», 1999, с. 29–32.
7. *Хандошко Л.А., Вдовин В.Б.* Функции метеорологических потерь теплоэлектроцентралей. – Труды ГГО, 1989, вып. 528, с. 49–57.
8. *Хандошко Л.А.* Практикум по экономике гидрометеорологического обеспечения народного хозяйства. – СПб.: Гидрометеоздат, 1993. – 311 с.
9. Правила пользования электрической и тепловой энергией. – М.: Энергоиздат, 1982. – 112 с.
10. Нормативные документы по энергоснабжению. Вып. 1. – СПб.: изд. РУГЭН СЗ России, 2000. – 94 с.
11. *Делюкин А.С.* Энергоресурсосбережение в городском хозяйстве Санкт-Петербурга. Результаты и проблемы. – Информ. бюлл. № 2 «Теплоэнергоэффективные технологии», 2000, с. 9–12.
12. *Хандошко Л.А.* Оптимальные погодохозяйственные решения. – СПб.: изд. РГГМУ, 1999, – 162 с.