

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГБОУ ВПО
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
(РГГМУ)

На правах рукописи

Тимофеева Анна Гарниковна

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОГНОЗОВ ТЕМПЕРАТУРЫ
ВОЗДУХА ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО
ЭНЕРГО-РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ МОСКВЫ

25.00.30 - Метеорология, климатология, агрометеорология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Санкт-Петербург 2011

Диссертация выполнена в ФГБОУ ВПО «Российский Государственный
Гидрометеорологический Университет»

Научный руководитель: доктор физ.-мат. наук, профессор
А. С. Солонин

Официальные оппоненты: доктор физ.-мат. наук, профессор
А. В. Белоцерковский
кандидат географических наук, профессор
О.Г. Богаткин

Ведущая организация: Научно-Исследовательский Центр
Российской Федерации
ГУ «Гидрометцентр России»

Защита состоится 17 ноября 2011 г. в 15 часов 30 минут на заседании
диссертационного совета Д.212.197.01 при Российском Государственном
Гидрометеорологическом университете по адресу: 195196, Санкт-Петербург,
Малоохтинский пр., 98.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского
Государственного Гидрометеорологического университета.

Автореферат разослан ____ октября 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



доктор географических наук
проф. А.И. Угрюмов

Актуальность работы

В числе приоритетов энергетической стратегии России рассматривается снижение удельных затрат на производство и иных расходов энергоресурсов за счет рационализации их потребления; применения научных энергосберегающих технологий и современного оборудования; сокращения потерь при добыче, переработке, транспортировке и реализации продукции топливно-энергетического комплекса (ТЭК). Особое значение в реализации этой стратегии придается метеорологическому обеспечению ТЭК, в том числе, и теплоэнергетики, поскольку функционирование отрасли осуществляется в условиях возрастающей зависимости от погодных и климатических условий. Влияние метеорологических факторов на энергетику выражается в изменении условий производства энергии, колебаниях спроса на нее со стороны потребителей, а также в последствиях эксплуатации и содержания энергетических систем при различных условиях погоды. Проблема повышения энерго- и ресурсосбережения за счет оптимального использования информационных метеорологических ресурсов становится особенно актуальной для теплоэнергетики, как отрасли, характеризующейся самой большой долей потребления органического топлива.

Цель исследования

Основной целью диссертационного исследования является разработка метеоролого-экономической модели комплексного учета прогнозов температуры воздуха, адаптированной к условиям Москвы, в целях повышения энерго- и ресурсосбережения в теплоэнергетике региона.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- сбор метеорологической, экономической и теплотехнической информации, позволяющей установить погодо-хозяйственную зависимость теплоэнергетики Москвы;
- анализ метеорологических условий и характерных синоптических процессов в регионе, определяющих прогностическую информацию и

оказывающих влияние на принятие погодо-хозяйственных решений потребителем (теплоисточником);

- оценка успешности краткосрочных прогнозов температуры воздуха применительно к специфике работы теплоэнергетики Москвы;
- разработка алгоритма расчета функций тепловых и стоимостных потерь применительно к мощным теплоисточникам Москвы;
- построение и анализ матриц потерь и матриц систематических потерь за отопительные периоды с 2003 по 2008 г. в Москве;
- разработка погодо-хозяйственного регламента выбора оптимальных решений при задании режима работы теплоисточника;
- численная оценка экономической полезности прогнозов температуры воздуха для теплоэнергетики Москвы;
- разработка методики оценки необходимого на отопительный сезон количества тепловой энергии.

Методы исследования

Основным методом исследования выступает метеоролого-экономическое моделирование оптимального учета прогнозов температуры воздуха и получаемых результатов в практике работы теплоисточников Москвы.

Научная новизна

- Разработано методическое обоснование, информационное и программное обеспечение расчета метеорологических потерь в теплоэнергетике Москвы с использованием метеорологических и технико-экономических характеристик на основе байесовского подхода.

- Исследована успешность многофазовых прогнозов температуры воздуха для Москвы и подтверждена их информационно-ресурсная ценность.

- Исследована и предложена для практических решений метеоролого-экономическая модель эффективного учета методических прогнозов и принятия оптимальных решений задания режима работы теплоисточника.

- Предложена более полная метеоролого-экономическая модель оценки ресурсосбережения в теплоэнергетике Москвы, основанная на учете как прогностической, так и климатической информации.

Научная и практическая ценность

Результаты диссертационной работы представляют практический интерес и могут быть использованы в теплоэнергетике Москвы. Разработанная метеоролого-экономическая модель комплексного учета прогнозов температуры воздуха позволяет выполнять численную оценку экономической эффективности прогнозов температуры воздуха в мегаполисах и крупных городах страны. Теоретические положения диссертации и ее фактологическая база могут быть использованы в учебном процессе по курсу «Экономическая метеорология».

Обоснованность и достоверность полученных в диссертационной работе результатов обусловлена аргументированностью исходных положений, логической непротиворечивостью рассуждений, корректным использованием математического аппарата и подтверждается согласованностью полученных результатов с фундаментальными теоретическими положениями и с результатами других авторов.

Апробация результатов

В диссертационной работе изложены результаты, полученные автором в рамках исследования по «Оценке успешности и экономической полезности прогнозов температуры воздуха для теплоэнергетики Москвы» ВНИИГМИ-МЦД, 2008 г. Основные результаты работы докладывались на Итоговой сессии Ученого Совета РГГМУ (2009 г., 2010 г.).

На защиту выносятся

1. Комплексная модель - матричный подход к оценке успешности прогнозов среднесуточной температуры воздуха для теплоэнергетики Москвы, учитывающий прогностические риски.

2. Адаптированный метод экономически выгодного использования прогнозов температуры воздуха для теплоисточников Москвы на основе регламента выбора оптимальных решений при задании режима работы теплоисточника.
3. Анализ результатов численной оценки экономической полезности, энерго- и ресурсосбережения при использовании прогнозов температуры воздуха в теплоэнергетике Москвы.
4. Модель оценки необходимого ресурсопотребления теплоисточника с учетом климатических особенностей температурного режима Москвы.

Основные результаты диссертации опубликованы в 2 печатных работах, в том числе 1 - в издании, рекомендованном ВАК.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения. Общий объем работы составляет 198 страниц. Текст содержит 17 рисунков и 47 таблиц. Список использованных источников содержит 103 наименования.

Содержание диссертационной работы

Во введении обосновывается актуальность темы, излагаются цели и задачи диссертационной работы.

В первой главе описываются физико-географические условия региона исследования, анализируются синоптические процессы и метеорологические условия, определяющие температурный режим мегаполиса, раскрываются структурные особенности теплоэнергетики Москвы, а также формулируются основные факторы погодозависимости энергетики.

Климат Москвы обусловлен географическим положением в умеренных широтах и характеризуется как умеренно-континентальный, с умеренно-суровой и снежной зимой. Климатические особенности Москвы формируются под влиянием как макроциркуляционных процессов, и так мезометеорологических условий, учитывая

обширную территорию города и влияние антропогенного фактора. Кроме того, неравномерность рельефа, контрастность плотности и высотности застройки, дополнительно создает различную микроклиматическую среду на территории мегаполиса. Циркуляционные процессы обуславливают адвекцию температуры воздуха и ее трансформационные изменения, что проявляется в режиме устойчивых и быстрых колебаний температуры воздуха и вносит заметные изменения в режим работы теплоэнергетики. Установлено, что определяющим фактором тепловых и ресурсных издержек в теплоэнергетике Москвы в отопительный период являются суточные значения температуры воздуха.

Расходы топливных ресурсов в отопительных системах Москвы определяются масштабом городской застройки и климатическими условиями региона, при этом должно выполняться стратегическое требование к теплоэнергетике - обеспечить оптимальное использование топливно-энергетических ресурсов.

На рынке генерации и передачи тепла Московского региона осуществляют деятельность две крупнейшие компании - ОАО «МОЭК» и ОАО «Мосэнерго». Учитывая технологическую зависимость теплоэнергетики региона от климатических и метеорологических условий, ОАО «Мосэнерго» и ОАО «МОЭК» должны постоянно использовать в производственном процессе специализированную гидрометеорологическую информацию.

Необходимость разработки метеоролого-экономической модели оптимального использования гидрометеорологической информации в энергетике определяется *экономическим фактором* и обусловлена необходимостью решения проблем энергосбережения и повышения энергоэффективности производства. В то же время, на всех этапах функционирования теплоэнергетики прослеживается влияние *метеорологических факторов*. Метеорологические условия оказывают влияние на задание режима работы теплоисточника, на колебания спроса на тепловую энергию, а также на условия эксплуатации и содержания тепловых сетей. При построении метеоролого-экономической модели должна учитываться и *специфика работы теплоисточника*, поскольку ТЭЦ технологически

ориентированы на приоритет электроснабжения, а попутно производимое тепло востребовано только в холодный период года. Большая протяженность тепловых сетей приводит к значительной тепловой инертности ТЭЦ, поэтому режим выработки тепла на ТЭЦ устанавливается с некоторым упреждением, ориентируясь на средние условия погоды.

В настоящей работе оценка показателей экономической полезности использования прогнозов температуры воздуха на объектах теплоэнергетики Москвы рассматривается на примере ТЭЦ-21, принадлежащей ОАО «Мосэнерго» и являющейся крупнейшим в Европе производителем тепловой энергии.

Во второй главе раскрывается значение метеорологических прогнозов как природных информационных ресурсов в теплоэнергетике.

Знание состояния атмосферы, ее проявлений и изменений выступает обязательным производственным условием в механизме принятия решений для погодозависимых отраслей экономики.

В зависимости от специфики производственной деятельности потребитель (теплоэнергетика) выстраивает свои требования к прогностической информации. Это позволяет правильно оценивать необходимый объем прогностической информации, ее производственную направленность, успешность, пороговую дискретность (в целях принятия решений), частоту передачи, форму представления и другие параметры.

Использование многофазовых прогнозов температуры воздуха является необходимым условием функционирования теплоисточника, при этом одним из основных требований, предъявляемых к прогнозам, является их высокая успешность.

В качестве базового условия оценки качества метеорологических прогнозов в рамках матричной системы оценки успешности выступает представление прогностической и фактической информации о метеорологических условиях в виде матриц сопряженности. Количество и ширина градаций может быть задана на основании статистической оценки прогностической информации с учетом требований потребителя. Решение задачи количественной оценки числа и

ширины градаций (разрядов) позволяет построить матрицу сопряженности прогнозов среднесуточной температуры воздуха и дать дальнейшую численную оценку их успешности.

На основании прогностических и фактических данных о температуре воздуха за отопительные периоды по Москве за период с 2003 по 2008 годы были составлены матрицы сопряженности методических и инерционных прогнозов среднесуточной температуры воздуха для теплоисточников Москвы и выполнена численная оценка их успешности на основании следующих критериев: информационное отношение ν , показатель сопряженности K (по А. Чупрову), меры Гутмана λ , меры Гутмана – Крускала t .

На рисунке 1 приведено распределение значений критериев успешности ν, K, I, t за отопительные периоды с 2003 по 2008 гг.

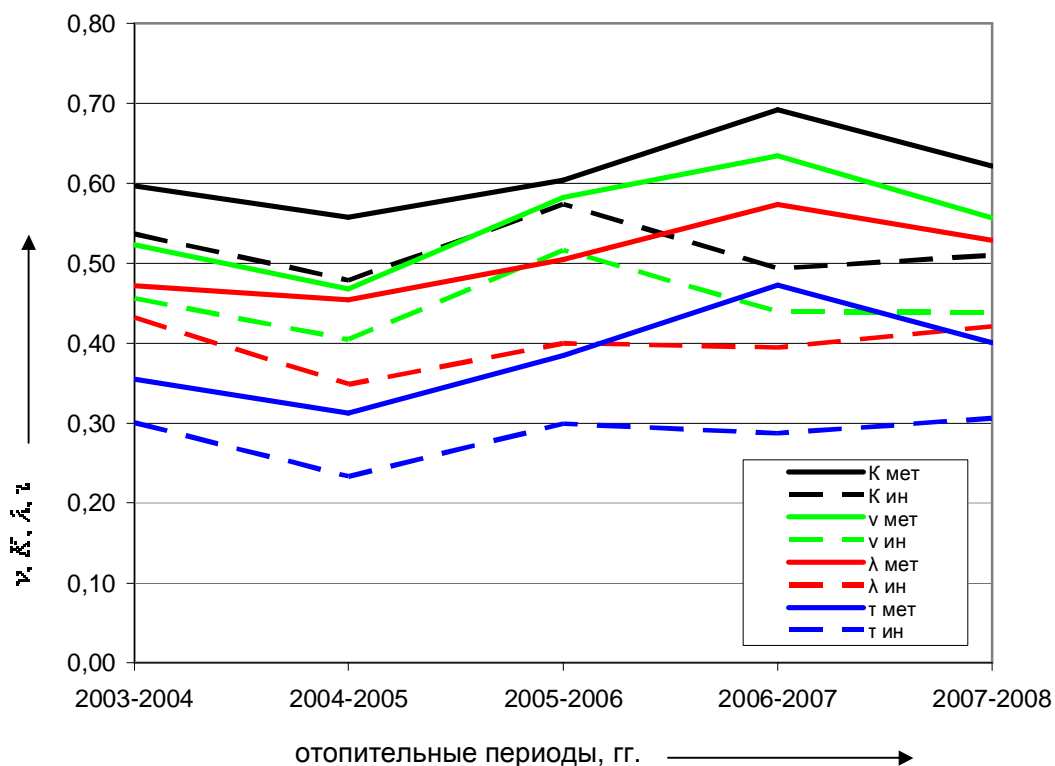


Рисунок 1 – Значения критериев успешности ν, K, I, t для методических и инерционных прогнозов за отопительные периоды с 2003 по 2008 гг.

На протяжении всего рассматриваемого периода критерии успешности указывают на постоянное преимущество методических прогнозов для теплоэнергетики Москвы. Это подтверждает, что использование в оперативной практике методов прогнозирования температуры отражает научную обоснованность учета физических процессов, формирующихся над Европейской территорией страны. Наибольшее различие значений критериев успешности методических и инерционных прогнозов отмечается в отопительный сезон 2006 – 2007 гг., наименьшее в отопительный сезон 2003 – 2004 гг. Численная оценка успешности метеорологических прогнозов отражает сложность синоптических процессов, характеризующих погоду в данном регионе. При этом успешность методических прогнозов зависит от метода прогноза, его способности определять резкие изменения погодных условий, в то время как успешность инерционных прогнозов всегда определяется только частотой возникновения антициклонических условий погоды.

В таблице 1 приведена обобщенная оценка успешности прогнозов среднесуточной температуры воздуха в Москве за период с 2003 по 2008 гг.

Таблица 1 – Успешность методических и инерционных прогнозов среднесуточной температуры воздуха для ТЭЦ г. Москвы за отопительный период с 2003 по 2008 гг.

Критерии успешности	Методические прогнозы	Инерционные прогнозы
Информационное отношение v	0.519	0.424
Коэффициент сопряженности по Чупрову K	0.583	0.528
Мера Гутмана λ	0.493	0.379
Мера Гутмана и Крускала τ	0.351	0.261

Данные таблицы 1 также указывают на преимущество методических прогнозов над инерционными, что подтверждает необходимость учета оперативных прогнозов температуры воздуха при задании режима работы теплоисточника. Несмотря на то, что каждый потребитель (теплоисточник) вправе выбрать тот природный информационный ресурс, который, как ему представляется, может быть практически полезным, стратегия ориентации потребителя на исходную фактическую погоду (инерционные прогнозы) сопряжена со значительными метеорологическими рисками и может быть причиной как избыточного, так и недостаточного теплоснабжения со всеми вытекающими социальными и экономическими последствиями.

В третьей главе раскрываются теоретические основы оптимального энерго- и ресурсосбережения в теплоэнергетике и выстраивается метеоролого-экономическая модель оптимального использования прогнозов температуры воздуха в теплоэнергетике Москвы.

Расход тепла Q_p в отопительной системе определяется в зависимости от температуры наружного воздуха $t = \bar{t}_\phi$:

$$Q_p = Q_p^r \frac{t_n - t}{t_n - t_p}, \quad (1)$$

где Q_p^r – тепловая мощность теплоисточника (тепловая нагрузка, отвечающая расчетной температуре воздуха t_p), Гкал/ч; t_p – расчетная температура наружного воздуха, °С; t_n - температура воздуха, необходимая в отапливаемых зданиях °С.

В процессе функционирования теплоисточника диспетчер постоянно ориентируется на прогнозируемую среднесуточную температуру воздуха. При этом возможны отклонения прогнозируемых и фактических значений

среднесуточной температуры воздуха, что, в свою очередь, приводит к избыточному или к недостаточному теплоснабжению.

Поскольку величина перерасхода тепла $Q_{\text{п}}$ и недодачи тепла $Q_{\text{н}}$ определяется ошибкой прогноза $\Delta t_{\text{пр}}$ и носит случайный характер, рассматриваются функции тепловых потерь вида:

$$Q_{\text{п}}(\Delta t_{\text{пр}}) = \frac{\sigma_{\Delta Q}}{\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\Delta Q_0 + \frac{Q_{\text{п}}^{\text{т}}}{t_{\text{п}} - t_{\text{п}}} \Delta t_{\text{пр}}}{\sigma_{\Delta Q}} \right)^2 \right] - \frac{Q_{\text{п}}^{\text{т}}}{t_{\text{п}} - t_{\text{п}}} \Delta t_{\text{пр}} \left[\frac{1}{2} - \Phi \left(\frac{\Delta Q_0 + \frac{Q_{\text{п}}^{\text{т}}}{t_{\text{п}} - t_{\text{п}}} \Delta t_{\text{пр}}}{\sigma_{\Delta Q}} \right) \right] \quad (2)$$

$$Q_{\text{н}}(\Delta t_{\text{пр}}) = \frac{\sigma_{\Delta Q}}{\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\Delta Q_0 - \frac{Q_{\text{п}}^{\text{т}}}{t_{\text{п}} - t_{\text{п}}} \Delta t_{\text{пр}}}{\sigma_{\Delta Q}} \right)^2 \right] + \frac{Q_{\text{п}}^{\text{т}}}{t_{\text{п}} - t_{\text{п}}} \Delta t_{\text{пр}} \left[\frac{1}{2} - \Phi \left(\frac{\Delta Q_0 - \frac{Q_{\text{п}}^{\text{т}}}{t_{\text{п}} - t_{\text{п}}} \Delta t_{\text{пр}}}{\sigma_{\Delta Q}} \right) \right] \quad (3)$$

Перерасход тепловой энергии на ТЭЦ при избыточной выработке тепла рассматривается как прямой расход топливных ресурсов и может иметь денежное выражение с учетом себестоимости выработки 1 Гкал тепла ($c_{\text{п}}$). При недостаточной выработке тепловой энергии, когда не обеспечивается нормальное теплоснабжение потребителей, потери принимаются равными величине $c_{\text{н}}$, и также имеют стоимостное выражение.

Функция стоимостных потерь $s(\Delta t_{\text{пр}})$ является денежным эквивалентом функций тепловых потерь и представляет метеорологические потери потребителя:

$$s(\Delta t_{\text{пр}}) = t(c_{\text{п}} \cdot Q_{\text{п}} + c_{\text{н}} \cdot Q_{\text{н}}), \quad (4)$$

Где τ – период действия прогноза, ч; c_n – себестоимость выработки тепловой энергии на теплоисточнике, $\frac{\text{руб.}}{\text{Гкал}}$; c_n – стоимость потерь в городском хозяйстве Москвы при недостаточном теплоснабжении в расчете на единицу недоотпущенного тепла $\frac{\text{руб.}}{\text{Гкал}}$; Q_n – избыточное теплоснабжение, Гкал/ч; Q_n – недостаточное теплоснабжение, Гкал/ч.

Дискретное выражение функции стоимостных потерь (4) позволяет представить ее дискретном виде – установить *матрицу потерь* потребителя (теплоисточника) $\|s_{ij}\|$, которая рассматривается как консервативная экономическая характеристика ТЭЦ и может использоваться на протяжении достаточно долгого периода времени.

Построение матрицы потерь потребителя позволяет перейти к задаче выбора оптимального решения и оценке показателей экономической полезности использования прогнозов среднесуточной температуры воздуха, энерго- и ресурсосбережения. При известных вероятностных характеристиках прогноза целесообразно использовать байесовский подход к выбору оптимальных решений и стратегий.

В качестве критерия оптимальности рассматриваются средние систематические потери потребителя \bar{R}_{kj} (средние потери при условии, что потребитель, получив данный текст прогноза P_j , может выбрать ориентацию d_k на любую иную температуру воздуха):

$$\bar{R}_{kj} = \sum_{k=1}^{n=m} s_{ki} \cdot q_{ij}, \quad (5)$$

где q_{ij} – условная вероятность осуществления текста прогноза, s_{ki} – элементы матрицы потерь потребителя $\|s_{ij}\|$, отвечающие k - му решению (действию потребителя) в ожидании температуры воздуха Φ_i .

На основании (5) рассчитывается матрица систематических потерь потребителя $\|\bar{R}_{kj}\|$, отражающая потери теплоисточника по всему множеству действий диспетчера при ориентации на данный прогноз Π_j .

Оптимальное решение отвечает условию минимизации потерь:

$$\bar{R}(d_k, \Pi_j)_{opt} = \min_{\langle d_k \rangle} \bar{R}_{kj}, \quad (6)$$

Матрица систематических потерь выступает в качестве *регламента выбора оптимальных оперативных решений* при задании температуры теплоносителю.

Используя теплотехническую, метеорологическую и экономическую информацию для ТЭЦ-21 ОАО «Мосэнерго» была получена матрица систематических потерь при использовании оперативных прогнозов среднесуточной температуры воздуха (см. таблицу 2) и разработан регламент выбора оптимальных погодо-хозяйственных решений, обеспечивающий потребителю (теплоисточнику) минимум потерь по метеорологическим причинам. Таким образом, учитывая метеорологические риски, связанные с возможными ошибками прогнозирования, на каждую градацию прогноза температуры воздуха представляется возможным установить необходимый режим работы теплоисточника.

Оценка показателей экономической полезности (экономического эффекта Э и экономической эффективности Р) использования прогнозов среднесуточной температуры воздуха выполнялась в соответствии с формулами:

$$\mathcal{E} = b \cdot N \left[(\bar{R}_{ин} - \bar{R}_{м}) - \mathcal{Z}_{ин} \right], \quad (7)$$

Где $b = 0.7$ – коэффициент долевого участия прогностического подразделения в получении экономического эффекта использования прогнозов; $\mathcal{Z}_{ин}$ – стоимость единицы прогностической информации в данном УГМС;

Таблица 2 – Матрица систематических средних потерь при использовании методических прогнозов, для ТЭЦ-21 ОАО «Мосэнерго», с 2003 по 2008 гг.

В тысячах рублей за сутки

Производственное решение потребителя, d _k	Прогноз, П _j													
	от -30 до -28	от -27 до -25	от -24 до -22	от -21 до -19	от -18 до -16	от -15 до -13	от -12 до -10	от -9 до -7	от -6 до -4	от -3 до -1	от 0 до +2	от +3 до +5	от +6 до +8	более +9
d ₁ от -30 до -28	0.0	1235.6	2056.2	2834.2	2934.8	2881.1	445.4	127.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
d ₂ от -27 до -25	0.0	1475.0	2212.4	2020.5	3028.8	3418.7	1794.8	674.7	99.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
d ₃ от -24 до -22	0.0	3026.5	2983.4	1505.9	2312.4	3035.6	3447.2	2444.5	607.0	51.6	0.0	0.0	0.0	0.0
d ₄ от -21 до -19	0.0	5485.5	4451.6	1740.0	1928.3	2196.6	3263.7	3262.5	2560.1	661.1	25.0	0.0	0.0	0.0
d ₅ от -18 до -16	0.0	8140.8	6646.2	3055.8	2131.6	1560.2	2424.9	3002.7	3572.2	3083.6	419.5	30.7	0.0	0.0
d ₆ от -15 до -13	0.0	10846.3	9245.5	5255.9	3145.1	1599.2	1768.8	2271.6	2937.4	3653.9	3405.8	578.0	83.7	82.2
d ₇ от -12 до -10	0.0	13557.9	5425.6	7857.0	4997.6	2701.2	1614.2	1710.0	2202.4	2861.2	3506.9	3597.1	903.9	147.9
d ₈ от -9 до -7	0.0	0.0	7050.1	10547.1	7412.9	4743.7	2383.8	1777.8	1626.0	2046.7	2887.3	3623.4	3356.2	1101.3
d ₉ от -6 до -4	0.0	0.0	5423.2	9641.2	8147.5	7251.2	4166.2	2805.5	1698.1	1489.3	2060.6	2773.8	3610.5	4241.6
d ₁₀ от -3 до -1	0.0	0.0	0.0	4519.3	8614.3	9921.6	6594.5	4734.0	2798.3	1676.4	1455.7	1958.1	2730.1	3345.8
d ₁₁ от 0 до +2	0.0	0.0	0.0	0.0	5901.7	11101.1	9010.2	7180.9	4831.7	2974.8	1612.4	1397.9	1936.5	2490.1
d ₁₂ от +3 до +5	0.0	0.0	0.0	0.0	2392.6	4406.3	10257.7	9370.1	7343.2	5181.8	2908.8	1654.3	1451.8	1758.0
d ₁₃ от +6 до +8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1271.1	7506.0	9931.3	9648.4	7773.0	5115.7	3086.3	1785.6	1397.6
d ₁₄ более 9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1768.4	5346.9	10392.3	10275.7	7686.2	5401.6	3246.2	2007.6

N – общее число прогнозов за отопительный период; $(\bar{R}_{ин} - \bar{R}_м)$ – снижение средних потерь потребителя за счет использования методических прогнозов.

$$P = \frac{\mathcal{E}}{N \cdot \mathcal{Z}_{ин}}, \quad (8)$$

Оценка экономического эффекта и экономической эффективности устанавливается при условии доверия прогнозам, а также при условии оптимального использования прогностической информации.

Ресурсосбережение в теплоэнергетике представляет собой *сбережение первичного энергоресурса* – снижение расхода топлива на ТЭЦ за счет сокращения ситуаций избыточного теплоснабжения в условиях использования оперативных методических прогнозов температуры воздуха.

Сбережение топлива ΔM_n в ситуациях возможного избыточного теплоснабжения рассчитывается по формуле:

$$\Delta M_n = \Delta E_n \cdot g, \quad (9)$$

где g – показатель удельного расхода топлива, $g = 140 \frac{\text{кг у.т.}}{\text{Гкал}}$, ΔE_n – количество сбереженной тепловой энергии, Гкал;

$$\Delta E_n = \frac{\Delta L_n}{c_n}, \quad (10)$$

где ΔL_n – величина снижения потерь при избыточном теплоснабжении за счет оптимального использования прогнозов температуры воздуха.

В таблице 3 представлены результаты численной оценки показателей экономической полезности, энерго- и ресурсосбережения за отопительные периоды с 2003 по 2008 гг. ТЭЦ-21 ОАО «Мосэнерго» при использовании прогнозов среднесуточной температуры воздуха. Расчеты выполнялись при фиксированной на весь период времени стоимости выработки единицы тепловой энергии $c_{\pi} = 120$ руб.

Таблица 3 - Оценка экономического эффекта \mathcal{E} , экономической эффективности P , показателей энерго- ΔE_{π} и ресурсосбережения ΔM_{π} для ТЭЦ-21 ОАО «Мосэнерго» за отопительные периоды с 2003 по 2008 гг.

Отопительные периоды, гг.	\mathcal{E}_m , тыс.руб.	\mathcal{E}_{mo} , тыс.руб.	P_m	P_{mo}	ΔE_{π} , тыс. Гкал	ΔM_{π} , тонн у.т.
2003-2004	44269.4	76757.3	208.8	362.1	583.44	81682.11
2004-2005	34970.2	75343.7	165.0	355.4	513.35	71868.46
2005-2006	36744.4	59914.6	173.3	282.6	397.18	55605.48
2006-2007	75615.2	95494.9	356.7	450.4	768.70	107617.56
2007-2008	9715.5	73075.4	45.6	343.1	656.63	91928.51
2003-2008	201713.3	361700.2	189.8	340.3	2719.65	380751.53

Принимая во внимание изменения стоимости выработки тепла c_{π} связанное с ростом цен на энергоносители, была выполнена оценка показателей экономической полезности прогнозов при различных значениях c_{π} , и установлено, что увеличение стоимости выработки тепла ведет к росту потерь потребителя. В этих условиях особое значение приобретает оптимальное использование оперативных прогнозов температуры воздуха, позволяющее существенно снизить потери теплоисточника.

В четвертой главе рассматриваются климатические особенности теплоэнергетического режима Москвы.

Поскольку расход тепловой энергии в инфраструктуре города есть следствие влияния температуры наружного воздуха, его величина в среднем должна следовать повторяемости значений температуры воздуха, которые могут быть представлены в виде кривой распределения. Полагается, что кривая распределения значений температуры воздуха выражает *потенциальный теплоэнергетический ресурс* не только отдельных теплоисточников, но и всего города в целом.

Для построения кривой распределения необходимо располагать статистическим рядом распределения частот данных, выбранных в определенном интервале. В настоящей работе использовались данные о среднесуточных значениях температуры воздуха по Москве за отопительные периоды с 2000 по 2008 гг.

В качестве кривых распределения значений температуры выбраны кривые распределения Пирсона как наиболее универсальные и покрывающие все возможные распределения случайных величин.

Тип кривой Пирсона определяется на основании критерия κ :

$$\kappa = -\frac{r_3^2 (s+2)^2}{16 (s+1)}, \quad (11)$$

где r_3 – третий основной момент, s – комплексный параметр основных моментов.

Наиболее информативным является исследование кривых распределения среднесуточной температуры воздуха по климатическим сезонам (в пределах отопительного периода), а также в целом за отопительные периоды с 2000 по 2008 гг.

Расчеты статистик распределения рядов данных температуры позволили установить типы кривых, а также получить уравнение выравнивающих частот, соответствующее каждому типу кривой распределения.

Рассматривая распределение среднесуточной температуры воздуха в отопительные периоды в целом за 2000 - 2008 гг., установлено, что для Москвы характерно распределение повторяемости среднесуточной температуры воздуха, описываемое кривой Пирсона I типа ($\kappa < 0$), и получено уравнение выравнивающей частоты \tilde{n}_j вида:

$$\tilde{n}_j = 281,398 \cdot \left(1 + \frac{x}{82,253}\right)^{104,569} \cdot \left(1 - \frac{x}{8,118}\right)^{10,321} \quad (12)$$

На рисунке 2 представлено графическое отображение фактических и выровненных кривых распределения среднесуточных значений температуры воздуха в отопительный период для Москвы.

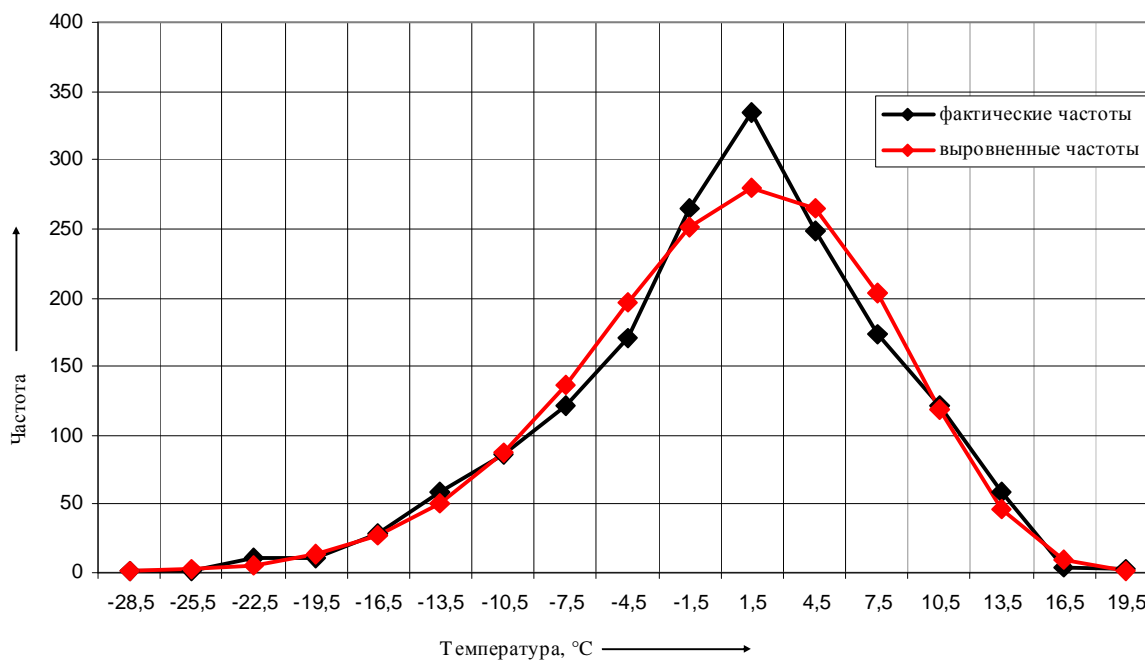


Рисунок 2 – Кривая распределения температуры воздуха за отопительные сезоны периода с 2000 по 2008 гг.

Анализ графика показывает, что распределение среднесуточной температуры воздуха в пределах отопительного сезона за период с 2000 по

2008 гг. для Москвы имеет незначительный асимметричный характер. Максимальную повторяемость имеют небольшие положительные температуры воздуха, близкие к 0 °С. Расхождение в графиках фактических и выровненных значений повторяемости температуры возможно является следствием нескольких причин, таких как климатические изменения или эффекта «острова тепла», характерного для крупного мегаполиса.

При исследовании повторяемости значений температуры в зависимости от климатического сезона (в пределах отопительного периода) кривая распределения значений среднесуточной температуры испытывает значительную перестройку – для осеннего сезона используется кривая Пирсона IV типа ($0 < \kappa < 1$), для весеннего и зимнего сезона – кривая Пирсона I типа ($\kappa < 0$).

Уравнение выравнивающей частоты \tilde{n}_j приобретает вид:

а) для осеннего сезона:

$$\tilde{n}_j = 0,0000176 \left(1 + \frac{x^2}{9,563} \right)^{26,126} \cdot e^{-42,376 \sqrt{\frac{x}{9,563}}} \quad (13)$$

б) для зимнего сезона :

$$\tilde{n}_j = 137,123 \cdot \left(1 + \frac{x}{12,748} \right)^{4,217} \cdot \left(1 - \frac{x}{2,207} \right)^{0,851} \quad (14)$$

в) для весеннего сезона:

$$\tilde{n}_j = 92,612 \cdot \left(1 - \frac{x}{8,928} \right)^{3,323} \cdot \left(1 - \frac{x}{5,019} \right)^{3,121} \quad (15)$$

Характерные параметры кривых распределения значений среднесуточной температуры есть отображение реального режима ресурсопотребления

теплоисточников Москвы и, соответственно, выработки тепловой энергии, необходимой потребителям.

Практическая реализация кривых распределения значений температуры воздуха позволяет дать оценку необходимого количества тепловой энергии в различные сезоны отопительного периода при централизованной системе отопления Москвы. Оценка тепловых затрат мегаполиса выполнялась при установленной тепловой мощности $Q_p^r = 34950$ Гкал/час .

Предварительно были определены необходимые тепловые затраты \bar{Q}_n на основании данных о фактической среднесуточной температуре воздуха \bar{t} согласно формуле:

$$\bar{Q}_n = Q_p^r \frac{24 \cdot (t_n - \bar{t}) \cdot n}{(t_n - t_p)}, \quad (16)$$

где n - расчетный период, для которого определяется величина \bar{Q}_n , в сутках; \bar{t} - осредненная температура за расчетный период, °С.

Величина \bar{Q}_n рассчитывается по декадам в пределах климатического сезона отопительного периода (\bar{Q}_{n10}), что позволяет осуществлять *оперативное планирование* и *перспективные оценки* теплообеспечения.

На рисунке 3 представлены значения \bar{Q}_{n10} при осреднении значений среднесуточной температуры воздуха за 2000-2008 гг по декадам осеннего, зимнего и весеннего сезона в пределах отопительного периода.

С началом отопительного периода осредненный расход тепла в мегаполисе постепенно повышается. Максимальный расход тепла отмечается в начале февраля с последующим снижением в весенние месяцы. Выделяется характерная особенность – повышение температуры воздуха в середине января и соответствующий спад расхода тепла.

$\bar{Q}_{н10}$
млн. Гкал/декада

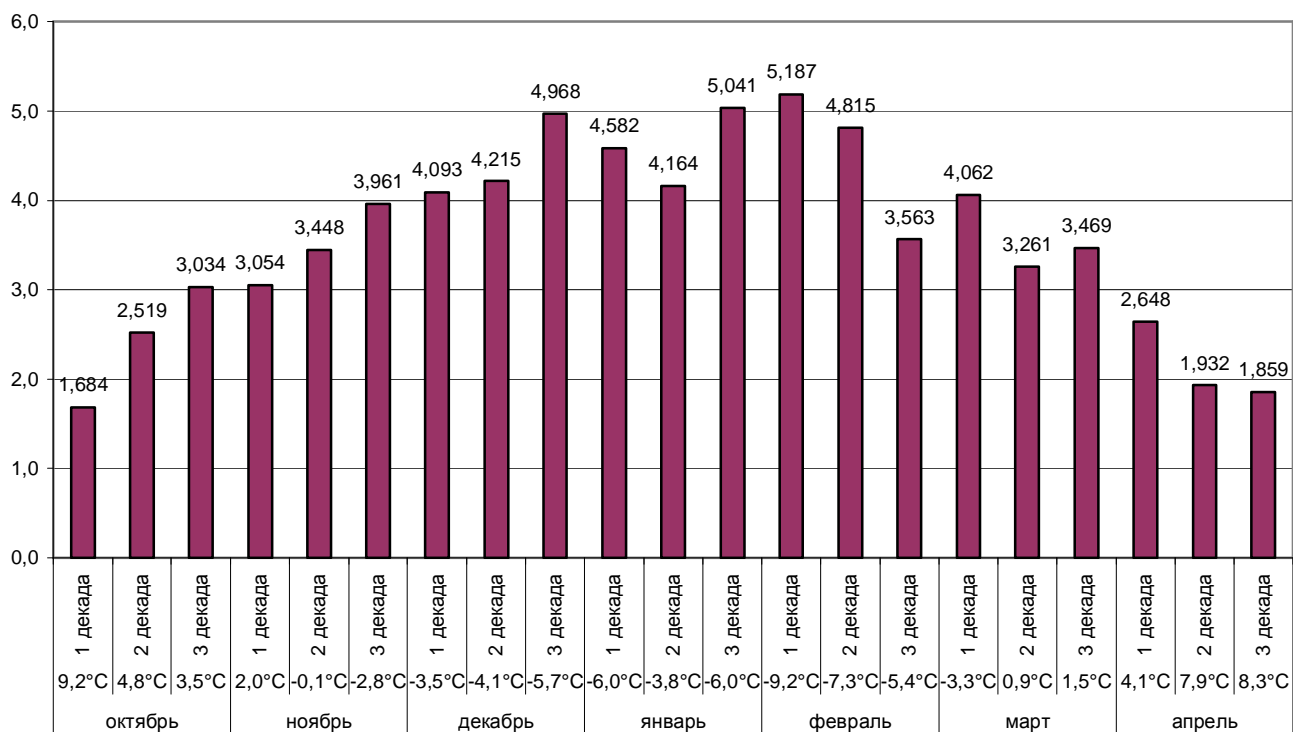


Рисунок 3 –Необходимый расход тепла $\bar{Q}_{н10}$ за различные сезоны отопительного периода, при осредненной среднесуточной температуре воздуха

Выполненная оценка возможного теплоснабжения по осредненным среднесуточным температурам в подекадном интервале $\bar{Q}_{н10}$ позволяет дать ориентировочные значения тепловых издержек по сезонам отопительного периода.

Уточнение реального режима расхода тепла осуществляется на основании данных о повторяемости отдельных значений температуры воздуха. Определяются необходимые расчетные значения расхода тепла согласно фактическому распределению n_j среднесуточной температуры воздуха $\bar{Q}_{нрф}$ за период исследования, а также выполняется оценка необходимого расчетного выровненного количества тепла $\bar{Q}_{нрв}$, на основании выровненных частот распределения температуры \tilde{n}_j согласно формулам:

$$\tilde{Q}_{\text{нр}} = Q_p^T \cdot 24 \cdot \frac{(t_n - \bar{t})}{(t_n - t_p)}, \quad (17)$$

$$\bar{Q}_{\text{нр}} = \tilde{Q}_{\text{нр}} \cdot n_j, \quad (18)$$

$$\bar{Q}_{\text{нрв}} = \tilde{Q}_{\text{нр}} \cdot \tilde{n}_j, \quad (19)$$

На рисунке 4, 5, 6 представлено распределение значений $\bar{Q}_{\text{нрф}}$ и $\bar{Q}_{\text{нрв}}$ для осеннего, зимнего и весеннего сезонов отопительного периода.

Кривые расчета тепла адекватны распределению частот среднесуточной температуры воздуха n_j, \tilde{n}_j за восьмилетний период и отражают характерные сезонные особенности потребления тепловой энергии в Москве в зависимости от температуры наружного воздуха. В целом, расчеты необходимого количества тепла $\bar{Q}_{\text{нрф}}$ и $\bar{Q}_{\text{нрв}}$ за период исследования показывает их заметное различие по сезонам отопительного периода.

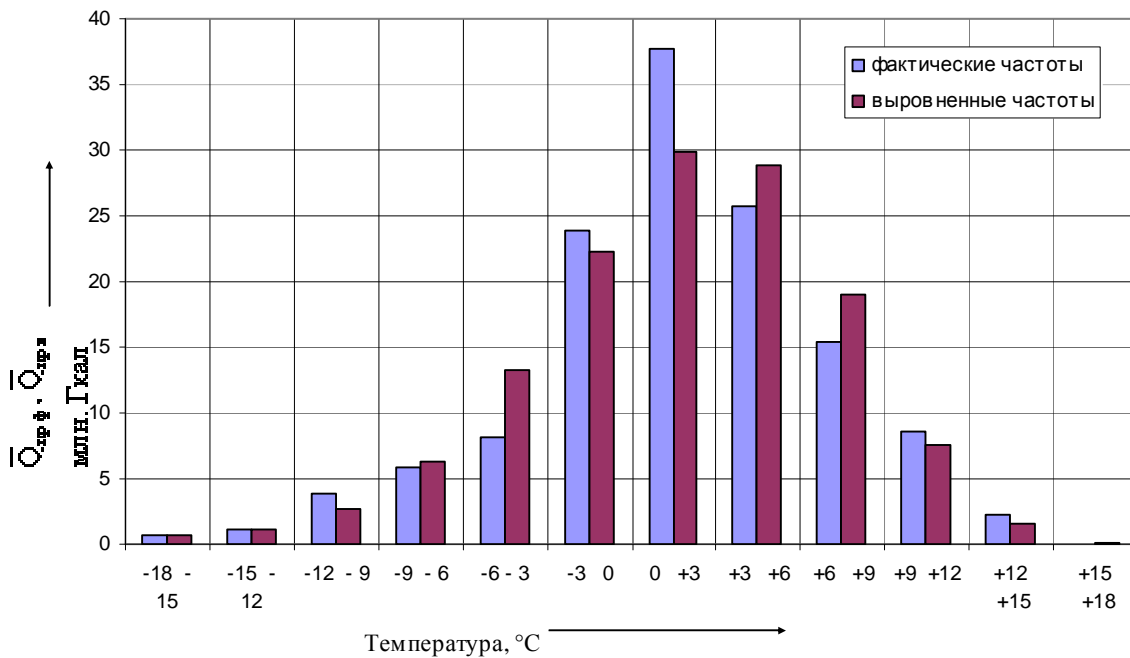


Рисунок 4 – Необходимый расчетный фактический $\bar{Q}_{\text{нрф}}$ и выровненный $\bar{Q}_{\text{нрв}}$ расход тепла за осенний сезон отопительного периода

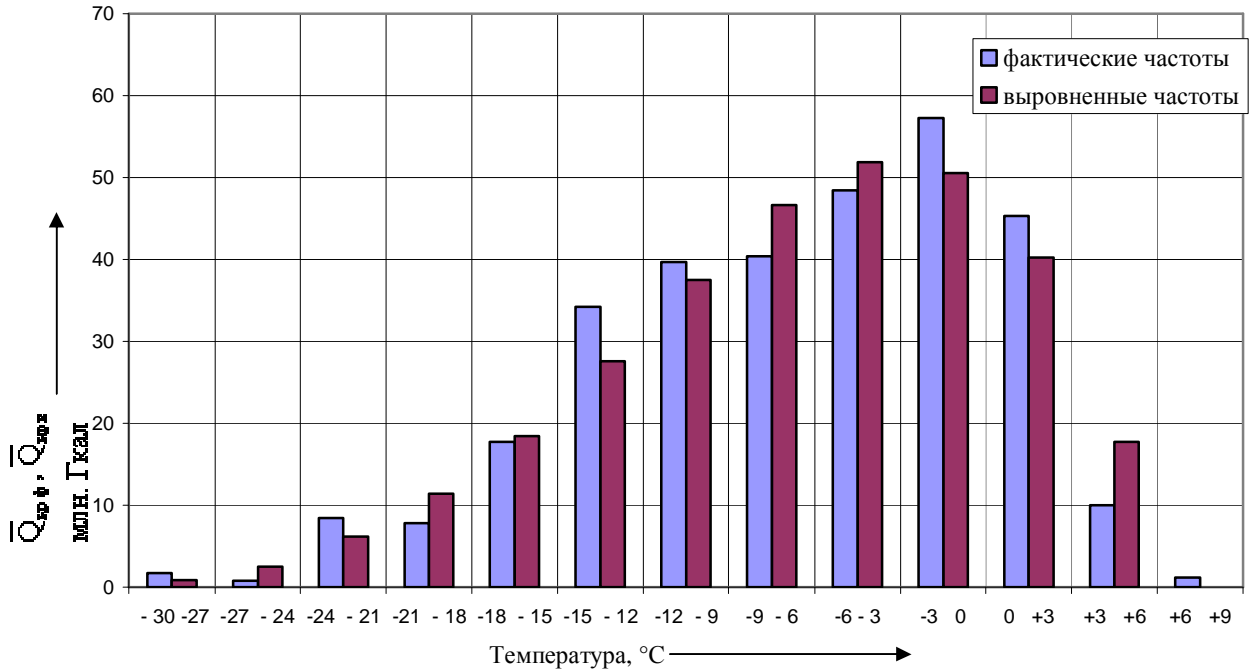


Рисунок 5 – Необходимый расчетный фактический $\bar{Q}_{нр\phi}$ и выровненный $\bar{Q}_{нр\psi}$ расход тепла за зимний сезон отопительного периода

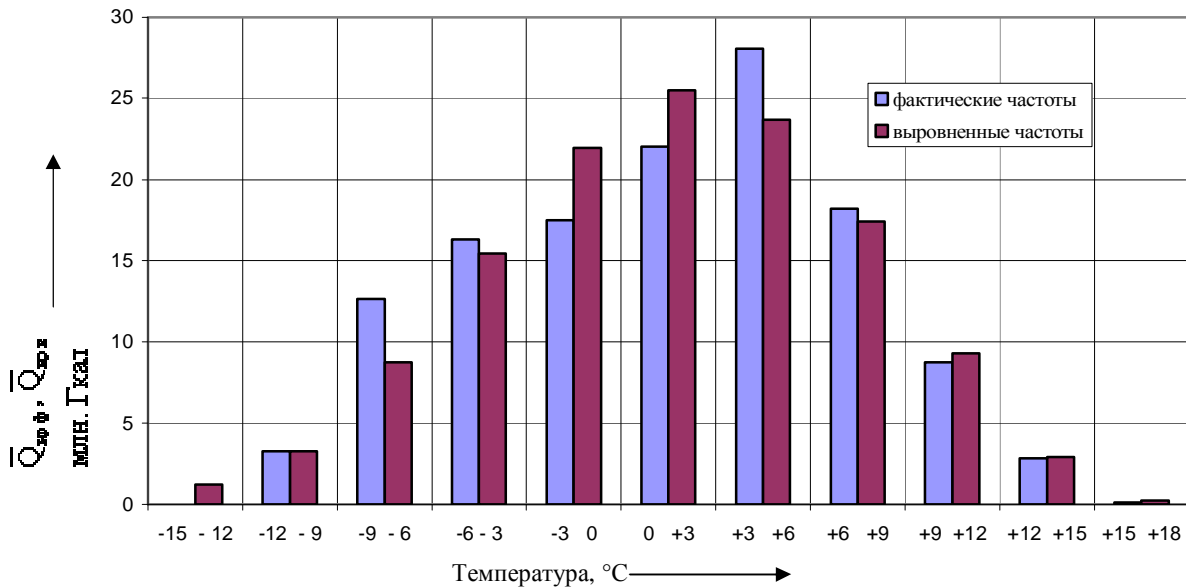


Рисунок 6 – Необходимый расчетный фактический $\bar{Q}_{нр\phi}$ и выровненный $\bar{Q}_{нр\psi}$ расход тепла за весенний сезон отопительного периода

В таблице 4 приведена сравнительная оценка необходимого потребления тепловой энергии при централизованном теплоснабжении Москвы.

Таблица 4 – Необходимое потребление тепла при централизованном теплоснабжении Москвы

Количество тепла	Осенний сезон		Зимний сезон		Весенний сезон		Всего за период с 2000 по 2008 гг.	за один отопительный период 2000-2008 гг.
	с 2000 по 2008 гг.	за один отопительный период	с 2000 по 2008 гг.	за один отопительный период	с 2000 по 2008 гг.	за один отопительный период		
\bar{Q}_n , млн. Гкал	141.60	17.70	325.03	40.63	137.85	17.23	604.49	75.56
$\bar{Q}_{нрф}$, млн. Гкал	133.14	16.64	313.21	39.15	129.62	16.20	575.97	72.00
$\bar{Q}_{нрв}$, млн. Гкал	133.43	16.68	311.66	38.96	167.45	20.93	612.54	76.57

Значения $\bar{Q}_{нрв}$ позволяют планировать объемы топливных ресурсов и соответственно расходы тепловой энергии для Москвы. При этом $\bar{Q}_{нрв}$ рассматривается как «норма» расхода, а кривая выровненных значений $\bar{Q}_{нрв}$ является нормативной кривой распределения тепла как для отдельного источника тепла (ТЭЦ, ГРЭС), так и в целом, для теплоэнергетики крупного города или региона.

В заключении формулируются основные результаты и выводы диссертационного исследования:

1. Исследованы физико-географические условия и климатические особенности Москвы. Установлены особенности синоптических процессов,

связанные с температурным режимом региона в холодную часть года.

Показано, что климатический режим Москвы формируется с учетом макро-, мезо-, и микроциркуляционных процессов в атмосфере.

2. Дано описание структурным особенностям теплоэнергетики региона, приведена характеристика компаний, осуществляющих свою деятельность в сфере теплоэнергетики Москвы, а также сформулированы основные предпосылки теоретического обоснования погодозависимости теплоэнергетики мегаполиса.
3. Разработаны матрицы сопряженности прогнозов среднесуточной температуры воздуха с учетом особенностей теплоэнергетики Москвы и дана численная оценка качества прогностической информации на основании системы критериев успешности. Установлено преимущество оперативных методических прогнозов, при этом показано, что результаты численной оценки успешности должны интерпретироваться с учетом сложности синоптических процессов, характеризующих погоду в регионе.
4. Рассмотрен метод построения функций тепловых и стоимостных потерь применительно к мощным теплоисточникам, и разработана матрица метеорологических потерь на примере ТЭЦ-21 ОАО «Мосэнерго». Установлена величина оптимизационной поправки к ожидаемой среднесуточной температуре воздуха, которая является технологическим условием минимизации тепловых и стоимостных потерь в теплоэнергетике Москвы.
5. Разработан регламент выбора оптимальных оперативных решений на примере ТЭЦ-21 ОАО «Мосэнерго», позволяющий минимизировать потери теплоисточника по метеорологическим причинам при задании температуры теплоносителю. Показано, что обязательным условием минимизации потерь является вероятностная оценка осуществления прогноза среднесуточной температуры воздуха, что позволяет определить средние систематические потери потребителя как критерия выбора оптимального решения.

6. Дана численная оценка показателей экономической эффективности прогнозов среднесуточной температуры воздуха при различных стратегиях использования прогностической информации. Установлено, что показатели экономической эффективности достигают максимальных значений в условиях оптимального использования прогнозов температуры при задании режима работы теплоисточника, поскольку при этом существенно снижаются потери как в ситуациях избыточного, так и недостаточного теплоснабжения.
7. Показано, что факторами ресурсосбережения (снижения расхода топлива) выступает высокое качество прогнозов температуры воздуха и реализация потребителем (теплоисточником) принципа выбора оптимального погодохозяйственного решения. Выполнена оценка показателей энерго- и ресурсосбережения при условии оптимального использования оперативных методических прогнозов среднесуточной температуры воздуха.
8. Моделирование экономических оценок в зависимости от стоимости выработки тепла на теплоисточнике показало рост значений показателей экономической эффективности, что также свидетельствует о необходимости оптимального использования прогнозов температуры воздуха в условиях роста цен на энергоносители.
9. В рамках оценки необходимого количества потребления тепловой энергии в регионе предложено использовать кривые распределения значений температуры воздуха, отображающих потенциальный теплоэнергетический ресурс данного региона. Получены уравнения выравнивающих частот для кривых распределения среднесуточной температуры воздуха в Москве для осеннего, зимнего и весеннего сезонов отопительного периода.
10. Рассмотрена практическая реализация кривых распределения температуры воздуха в теплоэнергетике Москвы при определении количества необходимых тепловых затрат на отопительный период. Выполнена сопоставительная оценка необходимого потребления тепла при централизованном теплоснабжении Москвы. Показано, что кривую

выровненных значений необходимого расчетного количества тепла $\bar{Q}_{\text{прв}}$ следует рассматривать как нормативную кривую распределения тепла как для отдельного источника тепла (ТЭЦ, ГРЭС), так и для теплоэнергетики региона в целом.

Основные публикации автора по теме диссертации

1. Тимофеева А. Г. Экономическая полезность использования метеорологических прогнозов в теплоэнергетике Москвы // Труды ГГО. – 2009. – Вып. 559. – С. 68 – 88 (соавтор: Хандожко Л.А.)

2. Тимофеева А. Г. Учет климатических факторов в теплоэнергетике региона / – (в печати) (соавторы: Хандожко Л.А., Фокичева А.А.)