

На правах рукописи

ТИХОМИРОВА ТАМАРА ПЕТРОВНА

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И
ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БОЛОТНЫХ РЕСУРСОВ
РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ**

Специальность 05.13.18 – Математическое моделирование, численные
методы и комплексы программ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Петрозаводск – 2003

Работа выполнена в Институте прикладных математических исследований Карельского научного центра РАН

Научный руководитель: кандидат технических наук,
с.н.с. Борисов Г.А.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Савин Игорь Константинович;
кандидат технических наук,
Дружинин Павел Васильевич.

Ведущая организация: Тамбовский государственный
университет

Защита диссертации состоится " _____ " _____ 2003 г.
в _____ часов на заседании диссертационного совета Д 212.190.03
в Петрозаводском государственном университете по адресу:
185035, г. Петрозаводск, пр. Ленина, д. 33.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке
Петрозаводского государственного университета.

Автореферат разослан " _____ " _____ 2003 г.

155473K

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук,
доцент В. В. Поляков

В. В. Поляков



Общая характеристика работы

Актуальность темы. Площадь лесомелиоративного фонда Республики Карелия, состоящего из открытых болот и заболоченных лесов, равна 54 тыс. км² или около 31 % всей территории республики с прогнозируемым запасом торфа около 56.8 млрд. м³. Площадь только болот равна 36 тыс. км² или 21 % территории, а запас торфа в границах разведанных промышленных залежей равен 13 млрд. 734 млн. кубических метров или 2014.2 тыс. тонн энергетического торфа 40% влажности.

При таких площадях и запасах торфа использование болотных ресурсов в хозяйственных целях в настоящее время незначительно и не приносит ощутимого эффекта. Площади используемых для сельскохозяйственного растениеводства болот не превышают 1% их общей площади, а для нужд лесного хозяйства в 60-80-е годы прошлого века осушено около 13 % всей площади болот. Кроме того, в сельском хозяйстве республики торф используется в качестве подстилки в животноводстве и удобрения в растениеводстве. Объем заготовки удобрительного торфа доходил в 80-е годы до 500 тыс. м³ в год. В последние годы из-за кризисных явлений в экономике наблюдается изъятие из хозяйственного использования ранее осушенных сельскохозяйственных и лесохозяйственных земель.

Другим направлением использования болотных ресурсов, имеющем многолетний опыт крупномасштабного использования в отечественной энергетике, является формирование в первой половине XX века отечественной тепло- и электроэнергетики на базе местных источников энергии. Торф тогда играл значительную роль в топливно-энергетическом балансе Европейской части страны. Он использовался как промышленное топливо в котельных и на крупных электростанциях. По плану ГОЭЛРО и позже были построены в Шатуре, Невской Дубровке, во Владимире и других местах крупные по тем временам электростанции, работающие на торфе. Для этого были разработаны технологии гидравлической и фрезерной заготовки торфа, а также его сжигания в слоевых и факельных топках. В конце 60-х годов объем заготовки торфа в стране приближался к 70 млн.т. В начале 60-х годов проектировалась Петрозаводская ТЭЦ в Карелии на базе

торфяных месторождений Соддерской группы болот. С освоением северных нефтегазовых месторождений мазут и природный газ заместили в топливном балансе страны торф.

Изменения последних лет в политической, экономической и социальной политике страны привели к кардинальным изменениям условий, влияющих на использование ресурсов болот. Одно из существенных изменений в энергетической стратегии России – усиление роли региональных аспектов энергетической политики, проявившееся в стремлении регионов к самообеспечению конечными видами энергоносителей, ослаблении энергетических связей между энергоизбыточными и энергодефицитными регионами. Энергетическая стратегия России предусматривает использование местных видов топлива, в том числе торфа на малых ТЭЦ и малых котельных. В последнее время происходит непрерывный рост цен на привозное ископаемое топливо и увеличение дефицита мазута. Добыча торфа дает прирост валового регионального продукта, а привозные покупаемые виды топлива – нет, что влечет снижение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов. Спад в Карелии лесозаготовок, сельского хозяйства привел к снижению занятости населения, особенно в сельской местности. Поэтому создание торфозаготовительных предприятий будет способствовать решению проблемы занятости. Все эти появившиеся новые условия создают предпосылки и влияют на развитие масштабов использования торфа в качестве топлива. С другой стороны, положения Киотского протокола об учете выбросов углекислого газа в атмосферу привели к проблеме оценки баланса выбросов углекислого газа энергетическим комплексом и поглощения его лесными и болотными биоценозами, что особенно важно для Карелии, на территории которой больше доля осушенных болот, чем во многих других регионах России.

В новых условиях использование болотных ресурсов получает новые предпосылки, стимулы и ограничения, которые неизбежно должны привести к изменению концепции использования болотных ресурсов. Эта концепция определяет возможные пути вовлечения их в хозяйственное использование (традиционно сельское хозяйство, лесное хозяйство и новое для Карелии на-

правление - энергетика). При этом надо решить ряд содержательных, в том числе и информационных проблем. Информационные проблемы могут быть решены с созданием гипертекстовой информационной системы, которая включает конкурентные источники топлива и энергии, ресурсы торфа, транспорт и использование различных энергоносителей, т.е. информационной системой по тепловому хозяйству Карелии. Можно выделить следующие основные этапы анализа проблемы:

- обоснование концепции многоотраслевого использования заболоченных земель в промышленных масштабах с учетом новых экономических условий и более жестких экологических требований;
- проектирование осушения – как первоочередная задача хозяйственного использования болотных ресурсов;
- разработка информационной системы с использованием современных технологий для выработки научно обоснованных решений целесообразности использования торфа в качестве топлива на основе оценки баланса выбросов CO_2 и управления производственными процессами заготовки, транспортировки и использования торфа.

Цель работы – разработать математическое и информационное обеспечение для решения задач хозяйственного использования болотных ресурсов Республики Карелия.

Для достижения поставленной цели в ходе исследований были решены следующие первоочередные задачи:

- проведен комплексный анализ хозяйственного использования болотных биогеоценозов;
- построена математическая модель и разработан метод оптимального назначения отметок дна открытого осушительного канала;
- разработаны технология компьютерного проектирования открытых осушительных каналов в продольном профиле, алгоритмы и соответствующее программное обеспечение;
- на основе проведенной оценки по выбросам углекислого газа даны рекомендации по использованию торфа в ка-

честве топлива с учетом новых экологических требований;

- разработано информационное обеспечение для исследования задач управления тепловым хозяйством;
- построена математическая модель заготовки, транспортировки и использования торфа, позволившая определить параметры освоения торфокарьеров Северного Приладожья.

Полученные результаты и их научная новизна

- Проведены оценки нового многоотраслевого направления использования болотных ресурсов в Карелии.
- Предложена математическая модель по проектированию открытых осушительных каналов в продольном профиле и метод оптимального назначения отметок дна канала.
- Разработана технология компьютерного проектирования лесосушительных каналов.
- Создана гипертекстовая информационная система по топливно-энергетическому хозяйству Республики Карелия.
- Уточнена методика расчета баланса выбросов и стоков углекислого газа в атмосферу с учетом роли болотных биогеоценозов и использования торфа в Республике Карелия.
- Предложена математическая модель оптимальной заготовки и транспортировки торфа, в которой отражены экологические требования по неистощительному использованию топливного торфа.

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались:

- на Всесоюзной научной конференции «Автоматизация проектирования гидрозенергетических и водохозяйственных объектов» (Ленинград, 1983);

- на научно-практической конференции «Применение вычислительной техники в научных исследованиях и проектировании» (Петрозаводск, 1986);
- на юбилейной научной конференции КарНЦ РАН (к 250-летию РАН) (Петрозаводск, 1999 г.);
- на Четвертом международном семинаре по биоэнергетике «GREEN ENERGETICS: from modern technology to the new philosophy» (Йоэнсуу, Финляндия, 2000);
- на научно-практической конференции «Устойчивое развитие региона: лесопромышленный комплекс» (Петрозаводск, 2000);
- на Пятом международном семинаре «Российские технологии для индустрии. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии». (С.Петербург, Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе, 2001);
- на международной конференции «Перспективы использования механизмов Киотского протокола к Рамочной конвенции ООН по изменению климата для реализации проектов в сфере энергетики и энергосбережения» (Петрозаводск, 2001);
- на Всероссийской научной школе «Математические методы в экологии» (Петрозаводск, 2001);
- на научной конференции «Карелия и РФФИ» (Петрозаводск, 2002 г.);
- на семинаре по биоэнергетике «Bioenergy Network Meeting» (Йоэнсуу, Финляндия, 2003).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 16 научных работ, список которых приведен в конце реферата.

Практическая значимость и внедрение результатов. Система программ по автоматизации проектирования лесомелиорации КАНАЛ, представленная в диссертации, прошла приемочные испытания и была рекомендована Госкомиссией для промышленной эксплуатации в масштабах страны. Система

принята в Государственный Фонд алгоритмов и программ с подтверждением новизны разработки. Снижение затрат труда и стоимости 1 км лесомелиоративного канала составило соответственно 52,6% и 42,8%. Система была внедрена в Карельском, Архангельском, Орловском, Ленинградском, Белорусском филиалах института «Союзгипролесхоз», экспонировалась на ВДНХ. Автор за разработку системы и ее внедрение награжден медалью ВДНХ.

Разработанная гипертекстовая информационная система по топливно-энергетическому комплексу Карелии использовалась при проведении ряда исследований по проблемам энергетики, в том числе и в следующих работах:

- в Концепции социально-экономического развития Республики Карелия на период 2002-2006-2010 гг.;
- в VIPIR-programme. The Bio-fuel potential from forest and wood industry in the regions in the North West Russia, 1999;
- в разделе «Технико-экономическое и экологическое обоснование использования местных видов топлива в Карелии» в ТАСИС-проекте ERUS 9504 «Развитие местных источников энергии в республике Карелия», 1998;
- в разделе «Республика Карелия» в Российско-Скандинавском проекте по разработке сценариев устойчивого развития топливно-энергетического комплекса Северного экономического района РФ, 2001;
- в ТАСИС-проекте ERUS-9701 «Устойчивое теплоснабжение приграничных районов Республики Карелия», «Анализ и оценка выбросов в атмосферу углекислого газа при сжигании топлива в Республике Карелия», 2000;

Разработанная информационная система использовалась при написании некоторых разделов монографий «Энергетика Карелии» (Г.А. Борисов, Г.И. Сидоренко, СПб, «Наука», 1999), «Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России» (П.П. Безруких, Ю.Д. Арбузов, Г.А. Борисов, В.И. Виссарионов, Г.И. Сидоренко и др., СПб, «Наука», 2002), содержащих систематическое изложение проблем энергетики.

Положения, выносимые на защиту

1. Математическая модель автоматизации проектирования осушительной мелиорации и метод назначения оптимальных отметок точек перелома проектного дна открытого канала.
2. Положения технологии и основные элементы автоматизации проектирования объектов осушения в продольном профиле.
3. Гипертекстовая информационная система по топливно-энергетическому хозяйству Карелии.
4. Уточнение методики расчета баланса выбросов углекислого газа промышленностью, лесными и болотными биогеоценозами с учетом роли болотных биогеоценозов и использования торфа в Республике Карелия.
5. Оптимизационная модель заготовки и транспортировки торфа с учетом современных экологических требований для теплоснабжающих предприятий малой и средней мощности в северных регионах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и 3 приложений, имеет общий объем 187 страниц текста, включая 40 листов приложений и список литературы, содержащий 93 наименования.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приводится обоснование актуальности темы диссертации, сформулирована цель работы, описана структура диссертации и изложены положения, выносимые на защиту, формулируются основные результаты, показаны их практическая значимость и степень внедрения в организациях соответствующего профиля.

В первой главе диссертации приводятся общие характеристики болотных биогеоценозов Карелии, рассматриваются формирование, классификация болотных биогеоценозов, структура залежей торфа, оценивается степень их изученности. Дается описание хозяйственного использования болотных биогеоценозов. Подробно рассматривается вопрос о применении торфа в качест-

ве топлива, обусловленное его составом: большим содержанием углерода, малым содержанием серы и других вредных негорючих остатков и примесей.

Далее проводится экологический анализ опыта хозяйственного использования болотных биогеоценозов в стране и за рубежом, в соответствии с которым узкоотраслевой подход к использованию болотных биогеоценозов не оправдал себя. Необходим комплексный характер их освоения, учитывающий естественный ход заболачивания и различные направления использования. Поэтому в первую очередь нужно оценить перспективы хозяйственного использования болот и заболоченных земель в новых условиях, учитывая ряд неудач в предшествующие десятилетия при лесомелиорации, использовании торфяного топлива, и способствовать более эффективному хозяйственному использованию болотных биогеоценозов, применяя информационные технологии. Для этого, прежде всего, сформулированы возможные направления *новой стратегии использования болот, которые заключаются в комплексном использовании возможностей различных слоев одного болота для нужд сельского хозяйства, энергетики и лесного хозяйства. Верхний слой торфа целесообразно использовать для сельского хозяйства, следующий – как топливо, а на нижнем, более минерализованном слое, осуществлять посадку леса.*

Вторая глава содержит исследования и разработку методов и технологии автоматизированного проектирования открытых осушительных каналов с решением следующих задач:

- разработка математической модели осушительных и проводящих каналов в соответствии с существующими методами, нормами и правилами проектирования;
- обоснование и разработка алгоритмов автоматизированного проектирования, отличающихся от традиционных и известных алгоритмов следующими положениями:
 - оптимизацией проектных отметок дна канала;
 - полной формализацией выбора расчетных методов, нормативов.

Математическая постановка задачи выбора наиболее выгодного продольного профиля канала состоит в следующем. На от-

резке $[x_0, x_n]$ дискретно задана поверхность земли точками (x_i, y_i) , где x_i – значения, определяемые при геодезических изысканиях, $i = 0, \dots, n$. Требуется найти такую ломаную линию (проектную линию дна канала), проходящую через точки с координатами (\bar{x}_j, Z_j) , где $\bar{x}_j \in [x_0, x_n]$, $Z_j \leq y_j$, $j = 0, \dots, p$, которая минимизировала бы значение выбранного критерия эффективности и удовлетворяла бы определенным техническим требованиям проектирования. Варьируемыми параметрами являются (\bar{x}_j, Z_j) .

В качестве критерия эффективности F выбирается минимум затрат на строительство канала:

$$F = \sum_{j=1}^n (C_j \cdot V_j + C_j^k + C_j^q), \quad (1)$$

где C_j – стоимость разработки 1 м³ грунта на j -м участке;

V_j – объем земляных работ на j -м участке;

C_j^k – стоимость крепления откосов канала на j -м участке;

C_j^q – стоимость крепления дна канала на j -м участке.

Задачу минимизации функционала F необходимо решить при выполнении следующих технических требований:

- 1) по уклонам: $u_{\min} \leq u_j, j = 1, \dots, p,$ (2)

где u_j – уклон проектного дна канала на j -м участке;

u_{\min} – минимально допустимый уклон дна канала, при котором не происходит заиливание дна, т.е. не происходит отложения нерастворимых частиц, взвешенных в воде;

- 2) по глубине канала: $H_j^{\min} \leq H_j,$ (3)

где H_j^{\min} выбирается из условия обеспечения осушения в соответствии с нормативами;

- 3) по наибольшей скорости движения воды в канале:

$$V_j \leq V_j^{\max}, \quad (4)$$

где V_j – средняя скорость движения воды в канале на j -м участке;

V_j^{\max} – максимально допустимая неразмывающая средняя скорость движения воды в канале на j -м участке.

В работе предложен алгоритм решения нелинейной задачи нахождения оптимального положения линии дна канала. Изложим лишь принципиальную схему, избегая подробных выкладок.

1. Для выполнения нормы осушения в зависимости от грунтов выбираем глубины канала H_i в каждой точке x_i , $i=0, \dots, n$. Имеем $\{x_i\}$ – последовательность пикетажных значений; $\{y_i\}$ – последовательность отметок поверхности земли. Получаем $\{Z_i\}$ – последовательность отметок линии ограниченной дна канала, $Z_i = y_i - H_i$. Точки (x_i, Z_i) считаем первым вариантом точек перелома линии дна канала.
2. На каждом участке $[x_i, x_{i+1}]$ проверяем условие $u_{\min} \leq u_i$. Уклоны u_i рассчитываются по типовому алгоритму, изложенному в диссертации. Если это условие выполнено, то переходим к проверке неравенства (4), т.е. к пункту 3 данного алгоритма. Пусть на участке $[x_i, x_{i+1}]$ $u_i \leq u_{\min}$. Тогда решая соответствующие системы уравнений, находим точку пересечения луча (с минимально допустимым уклоном по убыванию x из x_{i+1}) с построенным на предыдущем шаге вариантом проектной линии дна канала. Пусть для найденного решения (x^*, Z^*) $x^* \in [x_{i-k}, x_{i-k+1}]$. Тогда последовательность пикетажных точек переломов проектной линии следующая: $x_0, \dots, x_{i-k}, x^*, x_{i+1}, \dots$ и соответствующая ей последовательность отметок проектной линии дна канала $Z_0, \dots, Z_{i-k}, Z^*, Z_{i+1}, \dots$.
3. Проверяем условие $V_j \leq V_j^{\max}$.

При выполнении этого условия на рассматриваемом участке переходим к следующему участку $[x_{i+1}, x_{i+2}]$. Допустим, что это условие нарушается на участке $[x_r, x_{r+1}]$. Тогда вычисляется уклон канала u^{\max} при максимально допустимой скорости движения воды и, решая соответствующие системы

уравнений, находим точку пересечения луча (с рассчитанным максимально допустимым уклоном по возрастанию x из x_r) с построенным на предыдущем шаге вариантом проектной линии дна канала. Пусть для найденного решения (x', Z') $x' \in [x_{r+2}, x_{r+3}]$. Тогда на данном этапе последовательность пикетажных точек перелома линии дна канала следующая (считаем $i < r$): $x_0, \dots, x_{i-k}, x^*, x_{i+1}, \dots, x_r, x', x_{r+3}, \dots$, и соответствующая ей последовательность отметок проектной линии дна канала: $Z_0, \dots, Z_{i-k}, Z^*, Z_{i+1}, \dots, Z_n, Z', Z_{r+3}, \dots$.

Получаем последовательность точек, удовлетворяющую условиям (2)-(4), так как уменьшение объема земляных работ за счет уменьшения глубины канала приводит к нарушению технических условий. Диссертация содержит подробное изложение приведенной общей идеи алгоритма, достаточное для программной реализации.

Разработанный алгоритм назначения отметок перелома дна канала отличается от известных алгоритмов (по минимальным уклонам, метод последовательного анализа вариантов, метод динамического программирования) следующими особенностями:

- не требуется сопоставления многих вариантов проектной линии;
- дает наилучшее положение точек перелома проектной линии не только по вертикали, но и по горизонтали.

Этот метод положен в основу систем КАНАЛ и АГРОКАНАЛ. Далее в тексте диссертации рассмотрены эти системы, подробно описана технология представления исходной информации в удобном виде с целью снижения затрат на их заполнение и набор данных, снижения физического объема информации, обеспечения максимально возможного логического контроля ошибок. Приведены основные расчетные алгоритмы, использованные в системах, и выходные документы.

В третьей главе изложены результаты исследований по решению новых задач, связанных с использованием торфа для энергетических целей:

- информационная база по энергетическому хозяйству Карелии;

- оценка экологических ограничений на использование торфа по балансу CO₂ на территории республики;
- оптимизация выбора торфяных баз для его потребителей с учетом заготовки, транспортировки и потребностей в энергии.

Созданная гипертекстовая информационная система существенно облегчает поиск эффективного решения задач управления ТЭКом различного уровня (поселкового, районного, республиканского). Эта система по топливно-энергетическому хозяйству Карелии имеет многоуровневую (территориальную-отраслевую-временную) иерархическую структуру. Она содержит *Каталог первичных документов*, в который входят географические, климатологические и социально-экономические характеристики районов и непосредственно технико-экономические данные по объектам энергетического хозяйства Карелии, которые состоят из 11 разделов:

- *Общая характеристика энергетики Карелии;*
- *Основные положения энергетической политики Карелии;*
- *Топливо-энергетические балансы;*
- *Местные энергетические ресурсы;*
- *Производство энергоносителей;*
- *Транспорт (передача) энергоносителей;*
- *Потребление энергоносителей;*
- *Энергосбережение;*
- *Технико-экономические показатели;*
- *Экологические проблемы энергетики;*
- *Комплексные вопросы общей энергетики.*

Обращение пользователя к системе предельно упрощено путем использования стандартных программ пакета MS Office. Поиск облегчается за счет использования предложенной классификации данных, распределенным по 7 уровням:

- для отыскания темы документа используются уровни различного порядка;
- просмотр самих документов осуществляется с помощью гиперссылок.

Объем гипертекстовой информационной системы составляет свыше 50 Мбайт и увеличивается ежегодно примерно на 10 Мбайт.

Разработан локальный вариант Web-сайта по энергетике Карелии, представляющий собой структурированный набор html-страниц. Многоуровневая структура системы реализована с помощью иерархического упорядочивания ссылок. На самом верхнем уровне иерархии отражаются только самые главные концепции, а по мере приближения к нижним уровням иерархии информация постепенно детализируется.

Эта информационная система послужила и основой для исследования экологических проблем по использованию торфа, возникших после принятия Киотского протокола по ограничению выбросов CO₂.

Для проведения оценки последствий принятия Киотского протокола по ограничениям выбросов углекислого газа, т.е. для выяснения роли торфа в выбросах CO₂ и принципиальной возможности его использования предложена методика расчета баланса выбросов углекислого газа и впервые рассчитан баланс для базового года (для Карелии). В результате этих расчетов получено, что выбросы углерода от лесного комплекса Карелии соизмеримы с выбросами от сжигания ископаемого топлива. Учет выбросов и поглощения углерода при функционировании лесного комплекса необходим также для организации переуступки квот на выбросы внутри страны с целью персонификации ответственности деятельности физических и юридических лиц.

В соответствии с имеющимися в России оценками сжигание ископаемого топлива соответствует 98% антропогенных выбросов CO₂. В масштабе региона такие показатели завышены и недооценивают роль лесного комплекса в формировании, регулировании баланса углерода, а также возможностей продажи квот на выбросы и получения доходов от регулирования стоков лесными и болотными биогеоценозами. Это позволит стимулировать в будущем использование месторождений торфа в качестве топлива, особенно полученного с ранее осушенных болот. При сжигании осушенной торфяной залежи выбросы углерода в атмосферу уже учтены при рассмотрении баланса углерода в бо-

лотных биогеоценозах. Кроме того, нужно подчеркнуть, что положительная часть баланса CO_2 получается и от фиксации углерода накапливающимся торфом.

Таким образом, исходя из вышеизложенного, на территории Карелии возможно в будущем использование торфа в качестве топлива пропорционально величине углерода, идущей на ежегодный рост запасов торфа, и выделяемой осушенными болотными биогеоценозами, без нарушения экологических требований, устанавливаемых Киотским протоколом и, следовательно, без оплаты этих выбросов в углеродный фонд.

Далее в диссертации рассматриваются вопросы заготовки и транспортировки торфа, дается характеристика теплового хозяйства Карелии и использования в нем торфа. Из проведенного анализа фактического положения дел следует, что нет ни одного достаточно успешного реализованного проекта котельной, работающей на торфе. Для выяснения причин этого и для проведения оценки перспективности конкретных торфяных месторождений предложена математическая модель оптимальной заготовки и транспортировки торфа, в которой отражены экологические требования по неистощительному использованию торфа.

Математическая формулировка этой задачи следующая. Известны запасы торфа на торфокарьерах и известны годовые потребности котельных в топливе. Нужно определить наивыгоднейшие годовые объемы перевозки торфа из определенного торфокарьера в нужную котельную.

Пусть Q_i – годовые объемы возможной заготовки торфа на i торфокарьере, $i = 1, 2, \dots, m$;

b_j – годовые потребности котельных в топливе в j -ых населенных пунктах, $j = 1, 2, \dots, n$;

c_{ij} – стоимость заготовки и перевозки 1 м^3 торфа из i -го торфокарьера в j -й населенный пункт;

x_{ij} – количество торфа (м^3) для перевозки из i -го торфокарьера в j -й населенный пункт.

Матрица $\|x_{ij}\|$ является планом перевозок, а матрица $\|c_{ij}\|$ – матрицей издержек на заготовку и транспортировку.

Сформулируем задачу следующим образом. Нужно найти оптимальный план перевозок, т.е. план, по которому общая стоимость перевозок z минимальна:

$$z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} \cdot x_{ij} \rightarrow \min.$$

При этом должны выполняться следующие условия (ограничения):

$$x_{ij} \geq 0 \quad (i=1, \dots, m, j=1, \dots, n),$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq Q_i, \quad \sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j,$$

$$\sum_{j=1}^n b_j \leq \sum_{i=1}^m Q_i,$$

$$\sum_{j=1}^n b_j \leq k \cdot h \cdot S,$$

где h – годовой прирост торфа (для Карелии принято 0,4 мм/год);

S – площадь болот рассматриваемых районов;

k – коэффициент пересчета кубометров торфа в тонны.

Отличие предложенной задачи от стандартной транспортной заключается в учете экологических особенностей торфяного топлива: последнее неравенство соответствует принципу неистощительного использования ресурсов торфа (т.е. для заготовки торфа используют только прирост его запасов).

С использованием модели проведен конкретный анализ перспективности торфокарьеров Северного Приладожья, обоснованы соответствующие рекомендации.

Возможности модели не исчерпываются полученными результатами моделирования. Методический и программный аппарат моделирования может быть легко адаптирован к количественной оценке решений по использованию на территории нескольких видов местного топлива – торфяного и древесного. В настоящее время ведется целенаправленный сбор данных по ресурсам древесных отходов, себестоимости производства обога-

щенного топлива – брикетов, гранул, а также традиционного для российского опыта использования железнодорожного и промышленного транспорта.

Приложения. Приложение 1 содержит интерфейсные входные формы и выходные документы по системам КАНАЛ и АГРОКАНАЛ, а также необходимые для расчетных алгоритмов таблицы. Приложение 2 содержит примеры расчета продольного профиля открытого канала. В Приложении 3 приведена структура гипертекстовой информационной системы по топливно-энергетическому хозяйству Республики Карелия.

Основные результаты и выводы

В Карелии площадь болотных биогеоценозов превышает 31% ее территории, их использование имело недостаточный и узкоотраслевой характер. Необходим по примеру Финляндии комплексный характер их освоения, учитывающий возросшие природоохранные требования. *Возможные направления новой стратегии использования болот заключаются в комплексном использовании запасов торфа болота для нужд сельского хозяйства, энергетики и лесного хозяйства. Верхний слой неразложившегося торфа целесообразно использовать для сельского хозяйства, следующий – как топливо для котельных, а на последнем, более минерализованном слое, осуществлять посадку леса.* При исследовании возможности применения такой стратегии были получены следующие результаты:

1. Построена и исследована математическая модель осушительных каналов, используемая для их автоматизированного проектирования. Предложен специальный метод назначения проектных отметок дна канала, отличающийся от известных тем, что не требует ни сопоставления многих вариантов проектной линии, ни расчета критерия их сопоставления. Он дает наилучшее положение точек перелома проектной линии не только по вертикали, но и по горизонтали.
2. На основе этого метода разработаны системы КАНАЛ и АГРОКАНАЛ для автоматизированного проектирования объектов осушительной мелиорации с полной алгоритми-

зацией однозначного выбора локальных алгоритмов и расчетных формул для различных подзадач проектирования, с алгоритмами поиска и обнаружения ошибок в собранных и подготовленных данных, с технологией проектирования с высокими показателями производительности, качества и эффективности.

3. Разработана гипертекстовая информационная система для теплового хозяйства Республики Карелия, которая облегчает поиск необходимых документов при решении задач различного уровня. Эта система используется во многих общеэнергетических исследованиях, отражена в разделе «Политика в области энергетики» «Программы социально-экономического развития Республики Карелия».
4. Приводится уточнение методики расчета баланса атмосферного углерода на территории Карелии с учетом выбросов углерода с осушенных болот, занимающих в Карелии до 15 % болотного фонда.
5. Построена и исследована математическая модель заготовки, транспортировки и использования топливного торфа. Проведенные численные исследования на модели для условий Северного Приладожья показали предпочтительность концентрированного освоения ограниченного числа торфяных месторождений перед осуществляемыми попытками освоения разрозненных месторождений небольшой мощности. Возможности модели не исчерпываются полученными результатами моделирования. Методический и программный аппарат моделирования может быть легко адаптирован к количественной оценке решений по использованию на территории нескольких видов местного топлива – торфяного и древесного.

Публикации

1. Тихомирова Т.П. Автоматизированное проектирование dna канала в осушительной мелиорации // Сб. Системы автоматизированного проектирования лесотранспорта и мелиорации. Петрозаводск, 1984, с. 45-50.
2. Бричева З.П., Гвоздовский Ю.В., Старкова В.Г., Тихомирова Т.П., Шведова В.П. Автоматизация проектирования реконструкции лесосушения. // Сб. Системы автоматизированного проектирования лесотранспорта и мелиорации. Петрозаводск, 1984, с. 50-56.
3. Бричева З.П., Ганин А.П., Гвоздовский Ю.В., Старкова В.Г., Тихомирова Т.П., Шведова В.П. Использование ЭВМ при разработке проектов реконструкции лесомелиоративных каналов. Информационный листок. Петрозаводск, 1985, 4 с.
4. Борисов Г.А., Андреева С.П., Воинова Г.В., Леонтьева Т.Ф., Тихомирова Т.П. Комплексная автоматизация лесомелиоративного проектирования // Материалы Всесоюзного симпозиума по проектированию ЛЗП, 1986, с. 10-13.
5. Тихомирова Т.П. Проектирование объектов лесосушения. Информационный листок. Петрозаводск, 1986, 4с.
6. Бричева З.П., Сюкияйнен Р.А., Тихомирова Т.П. Методические материалы "Проектирование лесосушения с применением системы "КАНАЛ". Петрозаводск, 1986, 46 с.
7. Бричева З.П., Сюкияйнен Р.А., Тихомирова Т.П. Инструктивные материалы "Проектирование лесосушения с применением системы "КАНАЛ" Петрозаводск, 1986, 70 с.
8. Тихомирова Т.П. Система автоматизированного проектирования объектов лесосушения "КАНАЛ"// Сб. Применение вычислительной техники в научных исследованиях и проектировании. Петрозаводск, 1986, с.79-80.
9. Бричева З.П., Ганин А.П., Тихомирова Т.П. Применение системы РОСА-2 для проектирования реконструкции лесомелиоративных каналов// Лесоводство, лесоразведение, лесные пользования, экспресс-информация. Вып.2, ЦБНТИ, Москва, 1986, 4 с.

10. Система автоматизированного проектирования объектов лесосушения (КАНАЛ) // Программные средства, инф. Бюллетень. Вып.2, ВЦ АН СССР, Москва, 1989. (Фонд алгоритмов и программ АН СССР), с.42.
11. Борисов Г.А., Андреева С.П., Земляченко В.Н., Кукин В.Д., Леонтьева Т.Ф., Сюкияйнен Р.А., Тихомирова Т.П. Автоматизация проектирования транспортного и лесомелиоративного освоения лесных массивов // Фундаментальные науки - народному хозяйству. Москва, "Наука", 1990, с.703-704.
12. Борисов Г.А., Сидоренко Г.И., Тихомирова Т.П. Методика оценки валового и технического энергетических потенциалов лесной биомассы в Карелии // Труды института прикладных математических исследований. Методы математического моделирования и информационные технологии. Вып.1. Петрозаводск, 1999, с. 139-152.
13. Borisov G., Bykov E., Andreeva S, Tikhomirova T. Wood Fuel: resourcies and ulization in Karelia // GREEN ENERGETICS: from the modern technologies to the new philosophy, University of Jjoesun, 2000, p.75-88.
14. Борисов Г.А., Тихомирова Т.П. Анализ методов моделирования топливно-энергетического хозяйства региона // Труды института прикладных математических исследований. Методы математического моделирования и информационные технологии. Вып.2. Петрозаводск, 2000. С. 104-115.
15. Борисов Г.А., Сидоренко Г.И., Тихомирова Т.П. О концепции развития нетрадиционной энергетики в Республики Карелия // Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. – СПб., Изд. СПбГТУ, 2001.- С.18-19.
16. Борисов Г.А., Тихомирова Т.П. Оценка антропогенных выбросов CO_2 в Карелии // Методы математического моделирования и информационные технологии. (Труды ИПМИ, вып. 3.) – Петрозаводск, 2002.– С. 229-236.