

На правах рукописи

Воронин Иван Викторович

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СОСТАВЛЕНИЯ
РАСПИСАНИЙ С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКОЙ
ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Специальность: 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (технические системы).

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2008

Работа выполнена в Балтийском государственном техническом университете «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург.

Научный руководитель –
кандидат технических наук, доцент Емельянов В.Ю.

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор Копыльцов А.В.
кандидат технических наук, доцент Смирнова Н.Н.

Ведущая организация – Военно-Морская академия им. Н.Г. Кузнецова (г. Санкт-Петербург)

Защита диссертации состоится «___» _____ 2008г. в ___ часов на заседании диссертационного совета Д 212.238.07 Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) по адресу: 197376, Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан «___» _____ 2008г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

/ Цехановский В.В. /

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Одной из наиболее сложных и важных с практической точки зрения задач системного анализа является планирование совместной работы элементов сложной системы с учетом их взаимосвязи и обусловленных ею разнообразных ограничений. Задачи временного планирования совместной работы множества элементов сложной системы встречаются во многих областях: управлении движением транспортных потоков, планировании производства на промышленном предприятии или выполнения заказов в проектно-конструкторской организации, организации работы учреждений социально-экономической сферы, образования и многих других.

Названные задачи характеризуются наличием определенной совокупности работ, которые требуется выполнить в условиях ограниченных временных, материальных, производственных, кадровых ресурсов. Выполняемые работы взаимосвязаны, что выражается в различных формах: логических последовательностей выполнения, требований одновременного или согласованного выполнения или, напротив, несовместимости во времени и т.д. Располагаемые ресурсы, помимо чисто количественных, могут характеризоваться разнообразными дополнительными ограничениями, связанными с их специализацией, регламентом работы и обслуживания, действующими законами и нормативами, субъективным человеческим фактором и др. Разнообразие и степень жесткости ограничений в задачах планирования в настоящее время имеют ярко выраженную тенденцию к росту в силу возрастающей интеграции России в мировые производственную, транспортную, торговую, банковскую и образовательную системы. Последнее обстоятельство определяет повышение требований к конкурентной способности российских предприятий и организаций, их продукции и услуг, и соответственно повышение значимости оптимального планирования.

С учетом сказанного выше очевидно, что современный уровень сложности создаваемых технических систем и организационных мероприятий и требований к ним не позволяет решать задачи планирования, управления и оптимизации на основе опыта, интуиции. Необходимы математические модели, гибко и адекватно учитывающие специфику критериев оптимальности и ограничений, а также эффективные математические методы принятия решений. Сложность решения таких задач возрастает вместе с их размерностью, особенно при наличии ограничений. Поэтому обеспечить своевременное и гибкое планирование в состоянии лишь автоматизированная система, осуществляющая централизованную работу со всеми данными, выполняющая огромное количество трудоемких рутинных операций и предоставляющая пользователю лишь сервисы высшего уровня абстракции.

Анализ спектра задач рассматриваемого класса показывает, что с точки зрения размерности, а также разнообразия и жесткости ограничений, к числу наиболее сложных и не имеющих к настоящему времени достаточно общего решения следует отнести задачу составления расписаний для высших учебных заведений, которая и выбрана в качестве иллюстрации основных положений диссертации.

С математической точки зрения задача составления расписания является задачей упорядочения и характеризуется очень высокой размерностью. Математические методы решения таких задач рассматриваются в рамках теории расписаний (TP).

Анализ известных математических методов, традиционно применяемых к решению задачи составления расписаний, показал, что они не позволяют с приемлемой трудоемкостью получить решение для задачи высокой размерности с учетом совокупности рассматриваемых на практике ограничений. Решение требует поиска нового подхода, что и определяет цель и задачи диссертационного исследования.

Цель и задачи диссертационного исследования. Целью диссертационного исследования является разработка методики и алгоритмов решения задачи автоматизированного составления расписаний высокой размерности с учетом совокупности разнотипных ограничений, и их практическая реализация.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- построение на основе системного анализа модели для задачи составления расписания с учетом характерных для нее ограничений,
- разработка системы критериев оценки качества решения задачи,
- поиск метода решения,
- разработка алгоритмов, реализующих данный метод,
- разработка и внедрение автоматизированной системы составления расписания, включая необходимые инструментальные средства ее реализации и обобщение результатов практического применения.

Результаты диссертационного исследования:

1. Предложена модель задачи составления расписания с учетом системы рассматриваемых на практике ограничений.

2. Предложены метод и алгоритм составления расписания на основе упорядочения его элементов с использованием гибких приоритетов. Разработаны модель, расчетная схема и алгоритм для определения приоритетов элементов расписания.

3. Разработаны метод и алгоритм настройки приоритетов в процессе составления расписания на основе нейросетевого подхода.

4. Разработана, реализована и внедрена в эксплуатацию автоматизированная система составления расписания занятий. Разработана методика составления расписания с помощью автоматизированной системы.

5. Разработана система критериев оценки качества расписания и алгоритмы их оценки.

Научная новизна результатов диссертации состоит в следующем:

1. Предложенная модель обеспечивает учет необходимости выполнения операции несколькими машинами различных классов (специализированные и универсальные), возможности выбора универсальной машины по заданной совокупности признаков, индивидуальных режимов работы машин.

2. Предложенный метод составления расписания основан на упорядочивании его элементов с использованием гибких приоритетов и применении аппарата нечеткой логики для выбора времени и аудитории для проведения занятий, что позволяет отказаться от традиционно используемого для подобных задач перебора вариантов.

3. Настройка приоритетов в процессе составления расписания осуществляется на основе нейросетевого подхода с учетом получаемых оценок качества расписания.

Достоверность результатов, полученных в работе, определяется:

- корректным использованием математического аппарата системного анализа, теории множеств, нечеткой логики и нейронных сетей;

- результатами практического применения автоматизированной системы для составления расписания занятий в БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф.Устинова в течение двух лет.

Практическая ценность результатов диссертации состоит в следующем:

1. На основе полученных в диссертации результатов построена и внедрена в эксплуатацию автоматизированная система составления расписания занятий в высшем учебном заведении.

2. Эксплуатация автоматизированной системы в БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова в течение двух лет подтверждает ее эффективность при составлении расписания на основе учета широкого набора ограничений на режим работы преподавателей, аудиторий и учебных групп.

3. Распределенная структура автоматизированной системы и разработанная методика составления расписания обеспечивают параллельную работу большого коллектива пользователей без специальной подготовки.

4. Автоматизированная система обеспечивает поддержание расписания занятий в электронной форме и оперативное внесение текущих изменений в расписание с интерактивным контролем их допустимости.

Внедрение результатов. Результаты диссертационного исследования внедрены в процесс планирования и подготовки учебного процесса в БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, а также в учебном процессе при проведении лекционных, практических и лабораторных занятий.

Апробация работы. Основные результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на X международной конференции «Региональная информатика – 2006» и на семинарах кафедры «Систем обработки информации и управления» БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 13 научных работ, из них – 6 статей (1 статья из перечня изданий, рекомендованных ВАК), 2 работы – в материалах международных научно-технических конференций, 5 свидетельств об официальной регистрации программ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения и списка литературы, включающего 123 наименования. Основная часть работы изложена на 152 страницах машинописного текста. Работа содержит 57 рисунков и 31 таблицу.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи исследования. Приведены основные результаты и положения диссертационной работы, характеристика их научной новизны и практической ценности.

В первом разделе на основе системного анализа современного состояния области диссертационного исследования дается постановка задачи диссертации. Для выбранной прикладной задачи диссертации производится анализ существующих на рынке программного обеспечения автоматизированных систем, а также известных методов математической теории расписаний.

Анализ рассматриваемой задачи позволил выделить ее особенности:

- 1) Длительность выполнения каждой операции ω_i задается количеством фиксированных дискретных промежутков времени $t = 1..T$, разделенных на несколько периодов (дней планирования).

- 2) Машины можно разделить на 2 класса: специализированные (жестко закрепленные) для конкретных операций и универсальные.
- 3) Для выполнения операции могут одновременно требоваться несколько машин различных классов.
- 4) Для каждой операции требуется выбрать время выполнения и назначить по заданным признакам требуемое количество универсальных машин.
- 5) Каждая машина (как специализированная, так и универсальная) может иметь индивидуальный режим работы.

Сформулирована постановка прикладной задачи: автоматизированная система составления расписания занятий должна в приемлемое время без участия оператора (автоматически) или с минимальным его участием (в автоматизированном режиме) расставлять все занятия в сетке расписания и назначать для них аудитории из ограниченных списков согласно требованиям, соответствующим перечисленным выше особенностям задачи.

Допустимый объем решаемой задачи должен быть достаточен для применения автоматизированной системы в крупных учебных заведениях высшего образования.

На сегодняшний день известен ряд программных продуктов, позволяющих составлять расписание, учитывая некоторый набор требований. В работе рассмотрено 15 программ и систем, разделенных по набору функциональных возможностей на три группы. Подавляющее большинство из них не позволяет решить задачу составления расписания для крупного учебного заведения при необходимости учета большого количества разнообразных ограничений. Анализ доступных данных позволяет сделать вывод об использовании в наиболее функциональных программных системах комбинаторного подхода и, следовательно, о нелинейной зависимости времени решения от объема задачи. Отсутствие на рынке автоматизированных систем, способных решить задачу в полной постановке заставляет разрабатывать новую схему решения задачи и систему, способную составить расписание занятий с учетом полной системы ограничений.

Анализ известных математических методов, традиционно применяемых к задачам составления расписаний, показал следующее.

При использовании методов математического программирования рассматриваемые ограничения приводят к нелинейной задаче, избежать чего удастся введением дополнительных переменных и ограничений, что существенно увеличивает размерность. В результате, в рассматриваемой прикладной задаче число переменных и ограничений достигает сотен тысяч. На практике с такой высокой размерностью не в состоянии справиться ни один из известных методов. Кроме того, рассматриваемая прикладная задача является многокритериальной.

В рамках комбинаторного подхода задача составления учебного расписания относится к классу NP-полных задач, которые не поддаются эффективному алгоритмическому решению. Для алгоритма, корректно решающего NP-полную задачу, потребуется в худшем случае экспоненциально возрастающее в зависимости от объема задачи количество времени и, следовательно, его практическое применение возможно лишь для задач малого объема.

Наиболее перспективным представляется эвристический подход, основанный на различных разумных соображениях без строгих математических обоснований и позволяющий получить приемлемое решение при сравнительно небольших затратах времени за счет отказа от поиска оптимального решения. Его очевидную субъективность предлагается компенсировать применением методов искусственного интеллекта.

Расписание, операции в котором сильно связаны между собой посредством требуемых специализированных и в меньшей степени универсальных машин существенно зависит от порядка выполнения операций. Если по некоторому эвристическому методу удастся определить оптимальную последовательность размещения операций, то количество вариантов перебора сократится в $n!$ раз, где n – количество операций.

Второй раздел посвящен формализации задачи составления расписания. В терминах линейного целочисленного программирования разработана формальная модель составления расписаний с дискретным временем выполнения операций машинами, которые делятся на 2 класса: специализированные (жестко закрепленные) для конкретных операций и универсальные. Модель предусматривает обработку операции несколькими машинами различных классов.

Введем следующие группы булевых переменных:

$$x_{zt} = \begin{cases} 1, & \text{если операция } z \text{ назначена на время } t; \\ 0 & \text{- в противном случае;} \end{cases}$$

$$y_{za} = \begin{cases} 1, & \text{если для операции } z \text{ назначена универсальная машина } a; \\ 0 & \text{- в противном случае;} \end{cases}$$

$$K_{zgt} = \begin{cases} 1, & \text{если специализированная машина } g \text{ во время } t \text{ выполняет операцию } z; \\ 0 & \text{- в противном случае;} \end{cases}$$

$$N_{zat} = \begin{cases} 1, & \text{если универсальная машина } a \text{ во время } t \text{ занята операцией } z; \\ 0 & \text{- в противном случае;} \end{cases}$$

$$\alpha_{gt} = \begin{cases} 1, & \text{если специализированная машина } g \text{ во время } t \text{ выполняет операцию;} \\ 0 & \text{- в противном случае;} \end{cases}$$

$$\chi_{at} = \begin{cases} 1, & \text{если универсальная машина } a \text{ во время } t \text{ выполняет операцию;} \\ 0 & \text{- в противном случае;} \end{cases}$$

$$f_{g\delta}^G = \begin{cases} 1, & \text{если у машины } g \text{ отсутствуют операции в день } \delta; \\ 0 & \text{- в противном случае;} \end{cases}$$

Введем следующую группу булевых констант.

$$\eta_{zg} = \begin{cases} 1, & \text{если операция } z \text{ выполняется специализированной машиной } g; \\ 0 & \text{- в противном случае;} \end{cases}$$

Определим условие выполнения всех операций. $\sum_t x_{zt} = \omega_z, \forall z$. Каждая машина в любое время может выполнять только одну операцию.

$$\sum_z K_{zgt} \leq 1, \forall g, t \quad \sum_z N_{zat} \leq 1, \forall a, t$$

Введем соотношения, определяющие выбор универсальных машин для выполнения операции.

$\sum_a y_{za} = k_z^a, \forall z$, где k_z^a – количество универсальных машин, необходимых для выполнения операции z .

Принимается, что при анализе допустимости выбора универсальных машин требуется учет некоторой количественной характеристики машины и ее типа (качественной характеристики). Условия допустимости применения универсальных машин для выполнения z -ой операции получены в форме:

$0 \leq y_{za} \cdot v_a - k_z^m \leq \Delta_{\max}^a, \forall z$, где: v_a – количественная характеристика машины a ;
 k_z^m – требуемая для выполнения операции z количественная характеристика машины;
 Δ_{\max}^a – максимально допустимый запас по количественной характеристике.

$$y_{za} \cdot \tau_a = \tau_z, \forall z, \text{ где: } \tau_a - \text{тип машины } a;$$

$$\tau_z - \text{требуемый для выполнения операции } z \text{ тип машины.}$$

Определим количество операций в период (день) δ для машины g , и зададим на него ограничения.

$$\Omega_{g\delta}^G = \sum_{t=MIN_{\delta}^T}^{MAX_{\delta}^T} a_{gt} \forall g, \delta, \text{ где: } MIN_{\delta}^T - \text{индекс времени начала дня } \delta;$$

$$MAX_{\delta}^T - \text{индекс времени окончания дня } \delta.$$

$$MIN_g^{ZG} \leq \Omega_{g\delta}^G \leq MAX_g^{ZG}, \forall g, \delta, \text{ где:}$$

MIN_g^{ZG} - минимальное количество операций в день для машины g ;

MAX_g^{ZG} - максимальное количество операций в день для машины g ;

Введем ограничения на количество занятых дней для машин.

$$MIN_g^{DG} \leq \sum_{\delta} (1 - f_{g\delta}^G) \leq MAX_g^{DG}, \forall g, \text{ где:}$$

MIN_g^{DG} - минимальное количество занятых дней для машины g ;

MAX_g^{DG} - максимальное количество занятых дней для машины g .

Введем следующие группы булевых переменных:

$$\varphi_{g\delta t}^G = \begin{cases} 1, & \text{если в день } \delta \text{ машина } g \text{ начинает выполнение операций со времени } t; \\ 0 & \text{- в противном случае;} \end{cases}$$

$$\gamma_{g\delta t}^G = \begin{cases} 1, & \text{если в день } \delta \text{ машина } g \text{ заканчивает выполнение операций временем } t; \\ 0 & \text{- в противном случае;} \end{cases}$$

Недопустимость простоя машины g в день δ задается условием:

$$\sum_{t=MIN_{\delta}^T}^{MAX_{\delta}^T} t(\gamma_{g\delta t}^G - \varphi_{g\delta t}^G) - \Omega_{g\delta}^G + 1 = 0.$$

Высокая размерность реальных задач не позволяет применить известные точные математические методы, что заставляет искать эвристический метод решения на примере выбранной прикладной задачи – составления расписания учебных занятий. Для дальнейшего использования при разработке расчетных схем и алгоритмов общая модель уточняется в терминах прикладной задачи. Для учета всей совокупности рассматриваемых на практике ограничений модель дополняется аппаратом теории множеств. Предложены расчетные схемы составления расписания в многомерном пространстве и разбиения учебных занятий на блоки, которые удобны для построения и развития алгоритмов решения задачи. Предложены принципы анализа исходных данных и расчета коэффициентов сложности занятий, которые позволяют отказаться от применения традиционных методов составления расписания путем перебора вариантов или случайного поиска.

В качестве первого этапа решения задачи составления расписания предлагается проведение анализа исходных данных. Анализ направлен на достижение двух основных целей:

1. Выявление ошибок и противоречий в исходных данных;
2. Локализация «узких» мест и определение оптимальной или близкой к оптимальной последовательности выполнения операций.

Обнаруженные ошибки и противоречия устраняются путем корректировки исходных данных. Поиск последовательности выполнения операций производится из следующих соображений.

В процессе составления расписания убывает мера допустимой области выполнения оставшихся операций. С другой стороны, чем сложнее выполнить операцию, тем выше должна быть мера допустимой области. Если возьмем операцию, с которой связано большое количество ограничений (на допустимое время работы специализированных машин, максимальное количество занятых периодов (дней) и пр.), и будем пытаться выполнить ее последней, когда требуемые машины заняты выполнением других операций, то велика вероятность невозможности выполнения данной операции. Предполагается, что именно это обстоятельство приведет к «отсеиванию» большинства вариантов при произвольных последовательностях выполнения операций в рамках традиционных поисковых методов. Введем понятие коэффициента сложности как характеристики количества и жесткости ограничений, препятствующих выполнению операции. Предлагается упорядочить размещение операций по убыванию коэффициента сложности, что обеспечит требуемую зависимость допустимой меры от сложности выполнения.

Для расчета коэффициентов сложности (КС) операций в рамках анализа исходных данных предлагается следующая расчетная схема:

$$K_z^S = w_z^g \cdot K_z^g + w_z^a \cdot K_z^a,$$

где $K_z^g = \sum_{g=1}^{M_z^g} \frac{\omega_z}{n} \sum_{t=1}^n H_{zgt}^G$ - коэффициент сложности назначения специализированной

машины g для выполнения операции z ; n - количество интервалов времени в пределах допустимого времени выполнения операции; ω_z - длительность выполнения

операции; $H_{zgt}^G = \pi_{ig}^G \sum_{l=1}^m \frac{\omega_z}{S_{lg}^\pi}$ - коэффициент сложности выполнения операции

специализированной машиной g в интервал времени t ; π_{ig}^G - приоритет интервала времени, заданный для данной машины в исходных данных; m - количество

операций, для выполнения которых задействована данная машина; $S_{lg}^\pi = \sum_{i=1}^n \pi_{ig}^\pi$ - сумма

приоритетов допустимых промежутков времени выполнения операций машиной g ;

$K_z^a = \omega_z \sum_{s=1}^{S^A} A_s^L$ - коэффициент сложности выбора универсальной машины a для занятия

z ; S^A - количество списков универсальных машин; $A_s^L = 1/n \sum_{a=1}^n A_a$ - средняя доля

универсальных машин в списке s ; n - количество универсальных машин в списке;

$A_a = 1/n \sum_{t=1}^n H_{zat}^A$ - средний коэффициент сложности универсальной машины a ; n -

количество интервалов в пределах допустимого времени выполнения операции;

$H_{zat}^A = \pi_{ia}^A \sum_{l=1}^m \frac{\omega_z}{S_{la}^\pi}$ - коэффициент сложности назначения универсальной машины на i -й

интервал времени; π_{ia}^A - приоритет интервала времени, заданный для данной универсальной машины в исходных данных; m - количество операций, для

выполнения которых требуется машина a ; $S_{la}^{\pi} = \sum_{t=1}^n \pi_{ta}^A$ - сумма приоритетов допустимых промежутков времени выполнения операций машиной a ; w_z^g , w_z^a - эмпирические весовые коэффициенты.

Предложенная схема расчета коэффициента сложности основана на учете загруженности требуемых машин в допустимое время выполнения операций и взаимного влияния операций посредством использования общего оборудования.

Полученные коэффициенты сложности являются основой для формирования последовательности расстановки занятий.

Предложенные математические схемы составления расписания в многомерном пространстве являются удобной основой для построения и развития алгоритмов решения задачи, причем предложенные принципы анализа исходных данных и расчета коэффициентов сложности обеспечивают возможность избежать применения традиционных методов составления расписаний путем перебора вариантов или случайного поиска

Третий раздел посвящен разработке метода решения задачи. Предлагается последовательно размещать занятия в пространстве расписания по мере убывания их коэффициентов сложности, решая для каждого частную задачу подбора наиболее подходящего времени и наилучшей аудитории с применением аппарата нечеткой логики. Для устранения субъективности алгоритма расчета коэффициентов сложности, предлагается нейросетевой принцип его настройки.

Для решения задачи составления расписания занятий предлагается подход, состоящий из двух основных этапов: анализ исходных данных и собственно составление расписания. Принципы анализа исходных данных описаны во втором разделе. Предлагаемый метод составления расписания занятий предусматривает поочередную расстановку в расписании занятий по мере убывания предварительно рассчитанных коэффициентов сложности. Каждое очередное занятие назначается на наиболее подходящее место. После назначения каждого занятия производится пересчет приоритетов ячеек расписания. Кроме того, через некоторое количество назначенных занятий осуществляем пересчет коэффициентов сложности занятий, оставшихся в очереди.

Назначая занятия, мы заполняем пространство расписания. Данный процесс удобно интерпретировать как построение дерева, узлом которого будет являться ячейка расписания. Каждый узел имеет список возможных направлений раскрытия. Этот список соответствует списку всех возможных интервалов времени (отрезки на оси времени). Количество уровней в дереве равняется общему количеству занятий для расстановки. Пройдя из корня этого дерева до любого листа, мы получим вариант расписания. Каждый маршрут от корня дерева к листу даст новый вариант расписания. В настоящей работе применен принцип построения раскрывающегося дерева. Это означает, что дерево строится не все целиком, а вершины раскрываются по мере построения.

Если построить дерево не удалось, необходимо проанализировать исходные данные, снять ограничения, мешающие назначению оставшихся нерасставленными занятий и попытаться снова составить расписание. Для минимизации возможности возникновения таких ситуаций в рамках описанной процедуры при назначении очередного занятия целесообразно решать следующие задачи:

- подбор наилучшего времени проведения занятия,
- подбор наилучшей аудитории для проведения занятия в конкретное время,

- пересчет приоритетов ячеек расписания.

Для решения задачи подбора наилучшего времени проведения занятия и наилучшей аудитории предлагается использовать аппарат нечеткой логики. Введены лингвистические переменные: резерв аудитории, приоритет преподавателя, количество новых переходов и уверенность отбора. Их функции принадлежности показаны на рисунке 1.

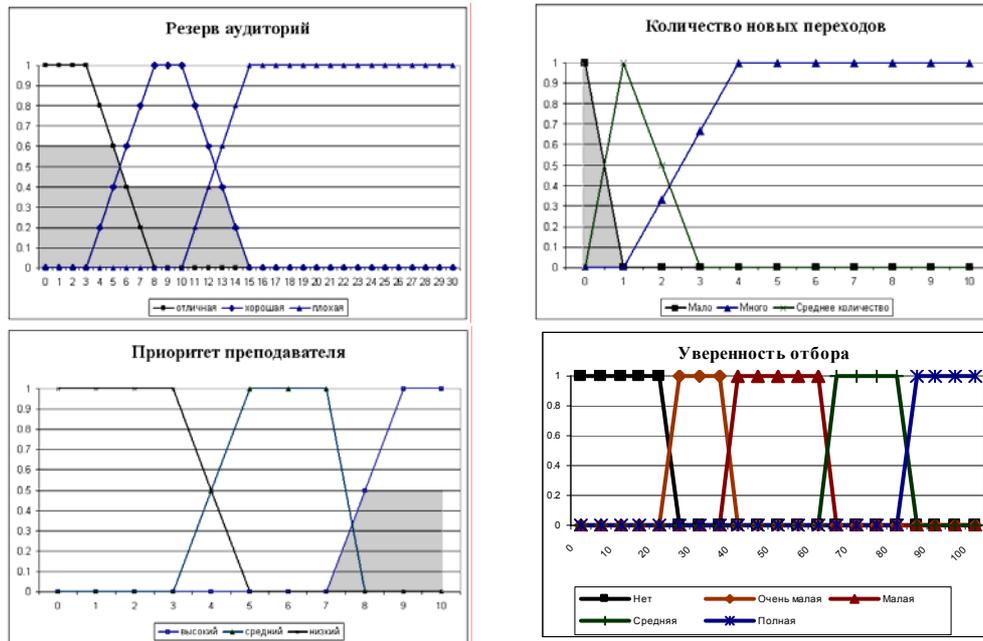


Рисунок 1 – Функции принадлежности лингвистических переменных

Разработана база правил нечеткого вывода, например:

Если (резерв)=(отличная 0,6) и (переходы преподавателей)=(мало 1) и (переходы групп)=(мало 1), то (уверенность отбора) = (полная 0,6);

Если (резерв)=(хорошая 0,4) и (переходы преподавателей)=(мало 1) и (переходы групп)=(мало 1), то (уверенность отбора) = (средняя 0,4).

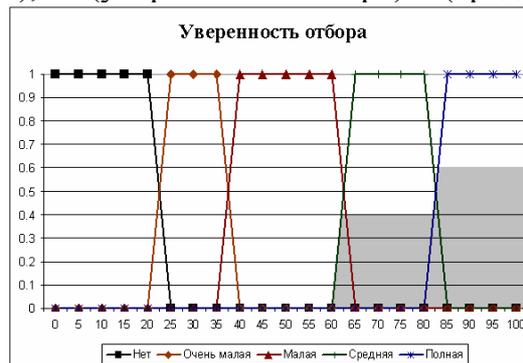


Рисунок 2 – Результирующая уверенность отбора

Результатом является четкое значение уверенности отбора конкретной аудитории и конкретного времени, полученное в результате дефазификации результатов нечеткого вывода (рисунок 2).

$$\text{Центр} = \frac{0.5 * \sum (X_{il} + X_{ip}) \mu[X_i]}{\sum \mu[X_i]} = \frac{0.5 * (83 + 100) * 0.6 + 0.5 * (62 + 83) * 0.4}{0.6 + 0.4} = \frac{55 + 29}{1} = 84$$

Практическая реализация рассматриваемых расчетных схем и алгоритмов подтвердила их работоспособность, а также прогнозируемую близость к линейной

зависимости времени решения задачи от ее объема. Однако при этом сохраняется возможность не обнаружения удовлетворительных вариантов расстановки некоторых занятий.

По мнению автора, это может быть вызвано двумя причинами:

- несовместимость ограничений, касающихся данного занятия, не обнаруженная на этапе анализа исходных данных;
- несовершенство и субъективность правил формирования последовательности расстановки занятий.

Для устранения второй из них и косвенно первой целесообразно корректировать порядок следования отдельных занятий в процессе составления расписания. Действительно, в процессе расстановки занятий изменяется их допустимое время проведения, следовательно, необходимо время от времени пересчитывать коэффициенты сложности отдельных занятий и корректировать их расположение в очереди.

Расчет КС и их пересчет в процессе составления расписания целесообразно осуществлять с использованием технологии нейронных сетей (НС). Применение НС в данном случае дает возможность ухода от субъективности расчета КС, формирования последовательностей занятий, обеспечивающих традиции преподавания определенных дисциплин, характеризуемых высокой методической эффективностью. Появляется возможность гибкого, неформального учета пожеланий преподавателей, настройки на удачные фрагменты расписания, выделение и обобщение типичных ситуаций на основе накопленного сетью опыта. В качестве архитектуры НС целесообразно использовать многослойный персептрон с количеством скрытых слоев равным 2. В качестве входов сети будем использовать приоритеты групп, преподавателей и аудиторий на время проведения занятий. Для обеспечения обучения сети на каждый нейрон первого слоя необходимо подавать номер специальности, номер дисциплины, номер типа занятия и номер преподавателя. Нейроны в слое будут соответствовать занятию.

Для первоначального обучения НС предполагается использовать алгоритмы обучения с учителем. В качестве обучающей выборки можно использовать наборы реальных исходных данных, накопленные за период эксплуатации первого варианта системы, и коэффициенты сложности, рассчитанные для них по приведенным выше формулам. Дальнейшее обучение (корректировка весовых коэффициентов, используемых при расчете коэффициентов сложности) предполагается производить, исходя из корректировок, вносимых диспетчером на основе личного опыта, оценки расписания кафедрами и традиций учебного заведения. Подстройка сети позволяет скомпенсировать субъективность эвристического подхода и учесть не формализованные пожелания преподавателей.

Четвертый раздел посвящен разработке автоматизированной системы составления расписания занятий, включающей аппаратную, программную и методическую подсистемы.

Аппаратная подсистема (рисунок 3) обеспечивает функционирование автоматизированной системы на уровне оборудования, предоставляя коммуникационные и вычислительные возможности, а также средства хранения данных.

Отдел расписаний выделен в отдельную сеть, не имеющую доступа во внешнюю сеть, с возможностью обращаться только к серверу и к другим

компьютерам отдела. Это обеспечивает дополнительную безопасность от вирусов и внешних атак и в конечном итоге стабильность подготовки расписания. Например, в БГТУ сеть отдела расписаний состоит из 3-х компьютеров. С сервером взаимодействуют 43 кафедры. Прямой доступ к серверу имеет администратор.

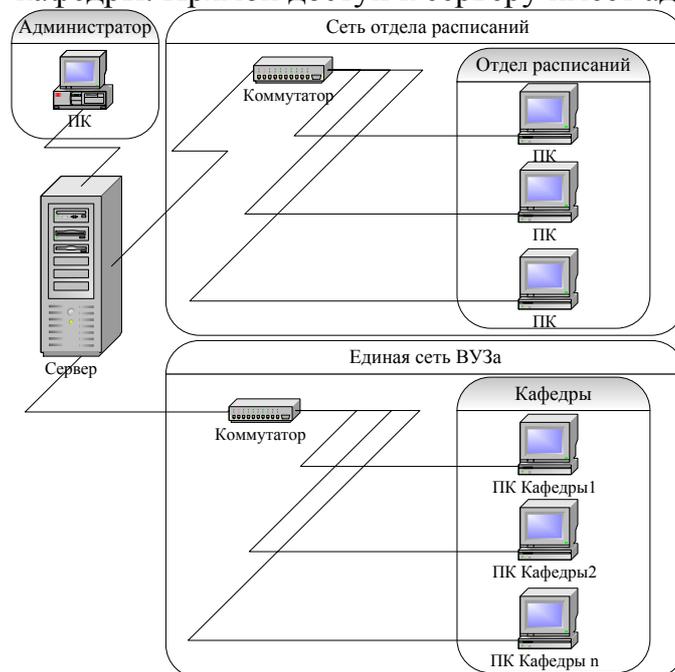


Рисунок 3 – Аппаратная подсистема

Программная подсистема (рисунок 4) представляет собой набор программных модулей, работающих во взаимодействии друг с другом и реализующих функциональные возможности системы.

Архитектура программной подсистемы предусматривает многопользовательский удаленный доступ и обеспечивает требуемый уровень безопасности. Ввод данных, необходимых для составления расписания производится непосредственно с кафедр через клиентское приложение. Кафедры заполняют распределения учебных поручений, указывая все требования учебного процесса, а также подают индивидуальные пожелания преподавателей.

Методическая подсистема включает в себя комплекс документов: обобщенный сценарий использования и руководства пользователей, которые обеспечивают методическую поддержку пользователей и регламентируют процесс использования автоматизированной системы.

На основе технологии «клиент-сервер» разработана база данных, позволяющая вводить, хранить и редактировать исходные данные. Логическая структура базы данных разработана с учетом всех необходимых требований, предъявляемых к системе, и позволяет наращивать функциональные возможности.

Реализован алгоритм, позволяющий решить поставленную задачу. Для получения исходных данных применена тактика начальной загрузки, позволяющая существенно уменьшить общее время работы системы. На этапе составления расписания все проверки, связанные с поиском ячеек намеренно разнесены на два метода (поиска свободных ячеек и проверки всех ограничений, которые не выполняются при подборе ячеек), что позволяет существенно сократить общее количество проверок.



Рисунок 4 - Общая структура программной подсистемы

Реализован модуль корректировки расписания занятий, обеспечивающий расстановку в автоматизированном режиме нерасставленных занятий и устойчивость расписания (сопровождение, текущая корректировка).

Новизна разработанного метода, основных алгоритмов и программных модулей защищена свидетельствами об официальной регистрации Роспатента.

Пятый раздел посвящен внедрению автоматизированной системы в эксплуатацию. Разработаны критерии (показатели) оценки качества расписания, формируемого автоматизированной системой. Приводятся значения оценок показателей для расписания занятий в осеннем семестре 2006-2007 учебного года в БГТУ. Проведены исследования влияния объема аудиторного фонда на качество расписания. Представлены результаты реализации нейросетевого подхода к расчету КС.

Для оценки качества расписания предложены характеристики, соответствующие наиболее существенным практическим требованиям к расписанию:

- 1) Количество нерасставленных занятий.
- 2) Количество невыполненных пожеланий преподавателей к нежелательному времени проведения занятий.
- 3) Количество невыполненных пожеланий преподавателей к максимальному количеству занятий в день.
- 4) Количество невыполненных пожеланий к максимальному количеству занятых дней.
- 5) Количество «окон» в расписании преподавателей.
- 6) Количество «окон» в расписании групп.
- 7) Количество переходов из корпуса в корпус для преподавателей.
- 8) Количество переходов из корпуса в корпус для групп.

Разработанная автоматизированная система более двух лет используется для обеспечения планирования учебного процесса. В осеннем семестре 2006-2007 учебного года в учебном процессе БГТУ задействовано 775 преподавателей и 443 группы. Пожелания на время проведения занятий подали 509 преподавателей, прочие пожелания поступили от 421 преподавателя. Учебный план ВУЗа включал в себя 7183 учебные дисциплины, общим объемом аудиторных часов в неделю 13362. При составлении расписания в автоматическом режиме были учтены все требования учебного процесса и пожелания преподавателей. Список нерасставленных занятий составил менее двух процентов, кроме того в расписании групп и преподавателей присутствовали окна и переходы. При доводке расписания в автоматизированном режиме были скорректированы некоторые пожелания преподавателей. Приведем итоговые значения показателей качества.

БГТУ Осень 2007г.

Подано 14016 пожеланий преподавателей к нежелательному времени проведения занятий. Не удовлетворено 345, что составляет 2,46%. У 53 (6,84%) преподавателей превышено максимальное количество занятых дней.

Следующая таблица отражает количество переходов из корпуса в корпус.

Перех.	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Всего
Препоод.	34 / 31	31 / 23	29 / 25	29 / 26	37 / 37	21 / 26	181 / 168
Групп	236/237	218/223	208/196	208/203	224/222	166/163	1260/1244

Таким образом, в среднем из пяти преподавателей один вынужден раз в неделю переходить из корпуса в корпус. Каждая группа в неделю совершает в среднем два перехода из корпуса в корпус.

Следующая таблица отражает количество окон в расписании.

Окна	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Всего
Препоод.	30 / 40	25 / 34	22 / 27	36 / 36	27 / 30	13 / 10	157 / 177
Групп	2 / 1	1 / 4	6 / 3	9 / 6	5 / 4	3 / 1	26 / 19

В среднем из пяти преподавателей у одного и из 33 групп у одной в расписании в течение недели присутствует окно.

Приведем сведения о загруженности аудиторного фонда. В среднем, наиболее загруженными оказались вузовские аудитории общего назначения (78%) и наименее загруженными кафедральные аудитории специального назначения (19%). Однако некоторые аудитории из последней группы загружены на 100%.

Получим зависимости показателей качества от объема наиболее дефицитных вузовских аудиторий общего назначения. Для этого будем постепенно добавлять аудитории и получать значения показателей качества. Часть полученных результатов представлена на рисунке 5.

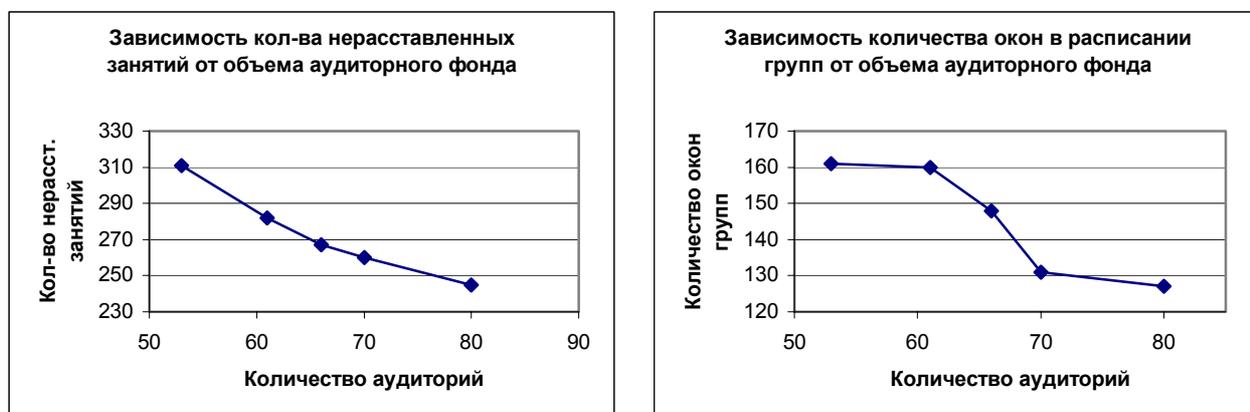


Рисунок 5 – Зависимость показателей от количества аудиторий общего назначения

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что дефицит аудиторий не является единственной причиной нерасставленных занятий. Не менее вескими причинами является большой объем и жесткость требований к расписанию и эмпирический характер используемых расчетных схем алгоритмов.

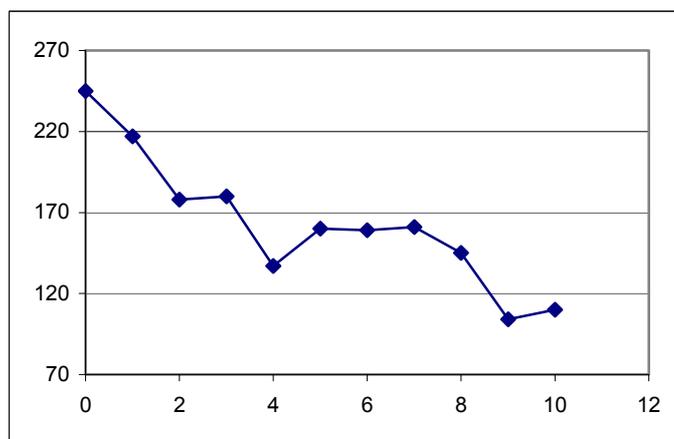


Рисунок 6 – Динамика изменения количества нерасставленных занятий.

В соответствии с предложениями, сформулированными в разделе 3, автоматизированная система была дополнена нейросетевым алгоритмом корректировки коэффициентов сложности. Настройка сети осуществлялась на основе

списка нерасставленных занятий, после чего, с учетом новых КС, повторялся процесс расстановки. Динамика изменения количества нерасставленных занятий показана на рисунке 6. Полученные результаты подтверждают эффективность нейросетевого подхода к рассматриваемой задаче и перспективу значительного повышения качества расписания на основе совершенствования принципов обучения сети.

В заключении представлены основные выводы по диссертационной работе:

1. В теории расписаний отсутствует универсальный метод решения рассматриваемой задачи. Высокая размерность реальных задач составления расписаний не позволяет применять на практике существующие методы. Целесообразно искать новый эмпирический метод, предусматривающий частичное применение комбинаторного подхода с отказом от полного перебора вариантов за счет упорядочения списка операций.
2. В качестве конкретной прикладной задачи для иллюстрации основных положений диссертации выбрана задача составления расписания занятий для высшего учебного заведения, для которой на настоящее время не получено решение с учетом совокупности ограничений, характерных для современного ВУЗа. Актуальна разработка методики составления расписания занятий и реализующей ее автоматизированной системы.
3. Построена формальная модель, которая предусматривает необходимость выполнения операции несколькими машинами различных классов (специализированные и универсальные), осуществление выбора универсальной машины по заданной совокупности признаков и учет индивидуальных режимов работы машин. В силу высокой размерности модели для ее практического использования требуется поиск эффективного с точки зрения трудоемкости эвристического метода.
4. Предложены метод и алгоритм составления расписания на основе упорядочения его элементов с использованием гибких приоритетов. Разработаны модель, расчетная схема и алгоритм для определения приоритетов элементов расписания.
5. Разработаны метод и алгоритм настройки приоритетов в процессе составления расписания на основе нейросетевого подхода.
6. Разработана система критериев оценки качества расписания занятий и алгоритмы их оценки.
7. На основе полученных результатов построена и внедрена в эксплуатацию автоматизированная система составления расписания занятий в высшем учебном заведении. Ее эксплуатация в БГТУ «Военмех» им. Устинова Д.Ф. в течение двух лет подтверждает ее эффективность при составлении расписания на основе учета широкого набора ограничений на режим работы преподавателей, аудиторий и учебных групп. Разработана методика составления расписания с помощью автоматизированной системы.

ОПУБЛИКОВАННЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В рецензируемом журнале из списка ВАК

1. Автоматизация как основа оптимального планирования учебного процесса университета / И.В. Воронин [и др.] // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2007. – №5. – С. 45-48.

В других изданиях.

2. Воронин И.В. Автоматизация составления расписания занятий на основе системы управляемых приоритетов // Современные проблемы социально-экономических и правовых наук: сб. ст. студентов и молодых ученых. – Томск: ТГУ, 2004. – С. 83-88.
3. Воронин И.В. Построение информационной системы отдела расписаний БГТУ // Актуальные вопросы управления в организационно-технических системах: сб. тр. студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых БГТУ / Балт. гос. техн. ун-т. – СПб, 2005. – С. 18-21.
4. Воронин И.В. Подсистема корректировки расписания занятий // Актуальные вопросы ракетно-космической техники и технологий: сб. тр. студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых БГТУ / Балт. гос. техн. ун-т. – СПб, 2006. – С. 185-188.
5. Воронин И.В. Показатели качества расписания занятий // Актуальные вопросы ракетно-космической техники и технологий: сб. тр. студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых БГТУ / Балт. гос. техн. ун-т. – СПб, 2007. – С. 149-152.
6. Воронин И.В. Интеллектуальная автоматизированная подсистема составления расписания занятий / И.В. Воронин, В.Ю. Емельянов // Региональная информатика – 2006 (РИ – 2006): материалы X междунар. конф. – СПб: СПОИСУ, 2006. – С. 196-197.
7. Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2007612151. Клиентское приложение для удаленного ввода данных для составления расписания занятий (АРМ Кафедра) / И.В. Воронин, В.Ю. Емельянов, А.С. Зайцев. – 2007
8. Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2007612152. Подсистема анализа исходных данных для составления расписания занятий высшего учебного заведения / И.В. Воронин. – 2007.
9. Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2007612153. Подсистема составления расписания занятий высшего учебного заведения (ПСРЗ) / И.В. Воронин, В.Ю. Емельянов, А.С. Зайцев. – 2007
10. Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2007612154. Подсистема корректировки расписания занятий высшего учебного заведения / И.В. Воронин, В.Ю. Емельянов, М.С. Журавлева. – 2007.
11. Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2007620212. База данных информационной системы учебно-методического управления высшего учебного заведения / И.В. Воронин, А.А. Жердер, С.Н. Мальцев – 2007.
12. Воронин И.В. Автоматизированная система составления расписания занятий // Актуальные вопросы управления в технике и экономике: сб. тр. студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых БГТУ / Балт. гос. техн. ун-т. – СПб, 2003. – С. 19-22.
13. Воронин И.В. Информационная система учебно-методического управления университета / И.В. Воронин [и др.] // Региональная информатика – 2006 (РИ – 2006): материалы X междунар. конф. – СПб: СПОИСУ, 2006. – С. 201-202.

Подписано в печать Формат бумаги 60x84 1/16. Бумага документная
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ №163
Балтийский государственный технический университет
Типография БГТУ
190005, Санкт-Петербург, 1-я Красноармейская ул. д.1