



УДК 613.167:004

Н.В. Аринова, А.Т. КадыролдинаВосточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,
г. Усть-Каменогорск**А.Б. Аринова**

Томский политехнический университет, г. Томск

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ЧАСТОТНО-ВЛАЖНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ**

Недостатком большинства математических моделей сыпучих веществ является то, что они не дают возможность получить частотно-влажностные характеристики сыпучих материалов с варьирующимся гранулометрическим составом [1].

В общем виде задача моделирования электрофизических свойств сыпучего вещества сводится к определению интегрального значения полной электропроводности порции сыпучего материала. Для получения математического описания всей порции сыпучего материала из нее выделяется структура, состоящая из двух частиц с разными геометрическими размерами. Эту структуру называем базовой или элементарной структурой сыпучего материала. Будем считать, что из таких элементарных частиц состоит весь объем сыпучего материала. Таким образом, исследуя параметры отдельно взятой частицы, можем судить о параметрах всего объема сыпучего материала. Так как эти параметры применяются для одной отдельно взятой частицы, их условно называют дифференциальными параметрами. Исследуемыми параметрами могут быть удельное сопротивление, удельная проводимость, диэлектрическая проницаемость, микротвердость, плотность, теплоемкость и др. Исследуемыми параметрами сыпучего материала в электрическом поле емкостного датчика являются диэлектрическая проницаемость ϵ или тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$. Их значения зависят от свойств материала – гранулометрического состава материала, природы частиц сыпучего вещества, содержания влаги в сыпучем материале и других [2].

При построении математической модели поведения сыпучего материала в спектре частот электрического поля реальная хаотическая структура заменяется упорядоченной ей адекватной структурой. Для такой упрощенной структуры получают аналитические выражения и используют их для построения частотно-влажностных характеристик исследуемых материалов в требуемом диапазоне частот [3].

Будем считать, что исследуемый сыпучий материал состоит из двух частиц кубической формы со способом укладки, как показано на рис. 1.

Рассмотрим идеализированную структуру сыпучего материала с таким способом укладки в одной из ортогональных плоскостей (рис. 2).

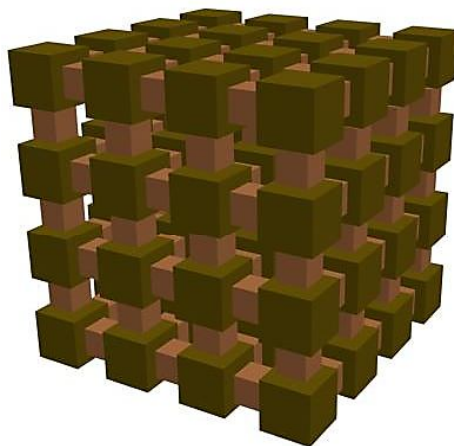


Рисунок 1 – Идеализация формы и укладки частиц сыпучего материала с разными размерами из двух разных материалов

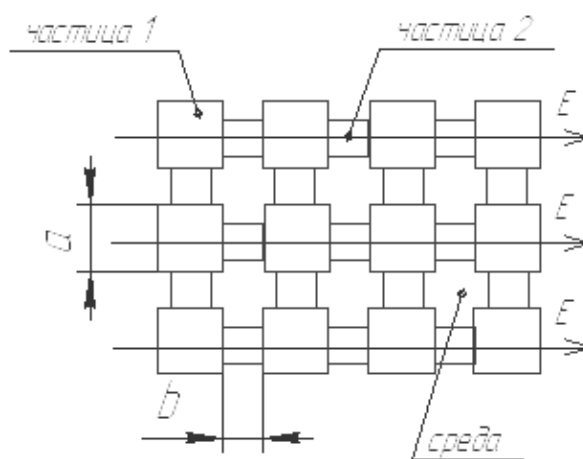


Рисунок 2 - Идеализированная структура сыпучего материала

Для разработки математической модели сыпучего материала принимаем следующие допущения:

- сыпучий материал является гетерогенным двухкомпонентным;
- частицы 1 и 2 соответственно первого и второго компонентов кубической формы и обладают разными размерами;
- распределение влаги по частице равномерное;
- расположение частиц относительно друг друга и вектора напряженности электрического поля E показано на рис. 2;
- между частицами существует некое пространство, наполненное средой со своими электрофизическими свойствами, причем пористость структуры сыпучего материала определяется соотношением геометрических размеров частиц;
- поверхности частиц в направлении вектора напряженности электрического поля эквипотенциальны;

- линии тока в частицах параллельны в направлении вектора E и распределяются в частицах равномерно.

В структуре сыпучего материала на рис. 2 имеются две частицы кубической формы с размерами ребер a и b , причем $a \geq b$ и $a = k \cdot b$. В пространстве между частицами сыпучего вещества находится некая среда. Сыпучий материал в процессе измерения представляет собой капиллярнопористое тело.

Для получения дифференциальных параметров сыпучего материала выбираем участок в его объеме, состоящий из двух частиц и зон их контакта (рис. 3). Частица 2 входит в эту систему целиком в виде куба с ребром b . Частица 1 разделена на две одинаковые половины со сторонами $a/2$ в направлении вектора напряженности электрического поля E . Такое представление системы двух частиц позволяет учитывать при рассмотрении данной системы проводимость частиц и контактных площадок между частицами. Изменение размеров a и b соответствует изменению гранулометрического состава сыпучего материала.

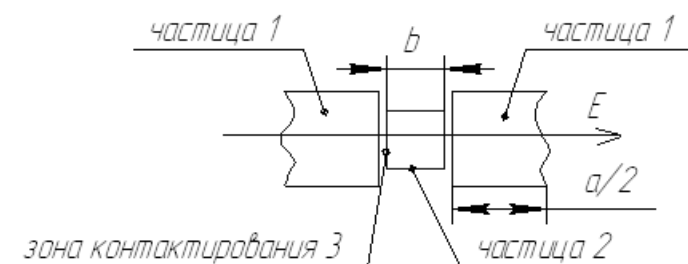


Рисунок 3 – К расчету полной проводимости системы из двух частиц

Разбиваем систему двух частиц на отдельные зоны, для которых активную и реактивную составляющие проводимости находим простыми методами. Назовем зоны 1 и 2 на рис. 3 зонами проводимости частиц 1 и 2, а зону 3 – зоной контакта. При этом две половины зоны 1 считаем целой зоной 1.

Представляем систему двух частиц как последовательное соединение в направлении вектора E . Для учета различных видов поляризации сыпучего материала каждый участок соединения представляем в виде активного сопротивления R и емкости C на нулевой и бесконечной частоте. Для быстро- и медленнопротекающих процессов поляризации принимаем соответственно параллельную и последовательную схемы замещения [4]. Эквивалентная схема замещения системы двух частиц представлена на рис. 4.

Для схемы замещения на рис. 4 приняты следующие обозначения:

R_{11} , R_{21} , R_{31} и R_{41} – соответственно активное сопротивление зон 1, 2, зоны контакта 3 и среды постоянному току;

C_{11} , C_{21} , C_{31} и C'_{11} – соответственно дополнительные емкости между собственными поверхностями зоны 1, зоны 2, площадки контакта 3 и между поверхностями разных частиц 1 за вычетом емкости площадок контакта 3 при постоянном токе в направлении вектора E ;

R_{12} , R_{22} , R_{32} и R_{42} – соответственно добавочные активные сопротивления зон 1 и 2, площадки контакта и среды на бесконечной частоте;

$C_{12}, C_{22}, C_{12}', C_{32}$ – соответственно емкости между поверхностями в направлении вектора E частицы 1, частицы 2, зон разных частиц 1 за вычетом площадки контакта 3 и площадки контакта 3 бесконечно большой частоте переменного тока.

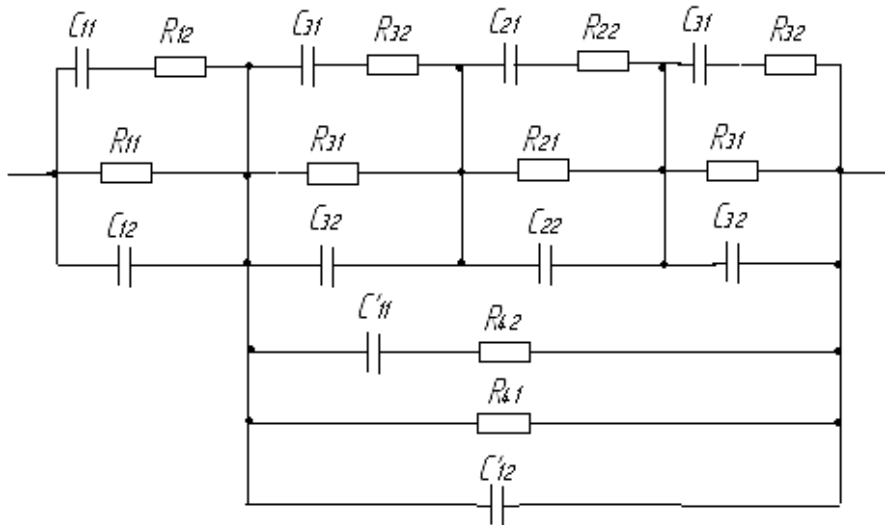


Рисунок 4 – Эквивалентная схема замещения системы двух частиц

Схема на рис. 4 упрощается с использованием формул пересчета активных и реактивных сопротивлений последовательного соединения R и C в параллельное и наоборот [4]. Преобразования выполняются последовательно для каждого участка схемы замещения (рис. 5, 6, 7).

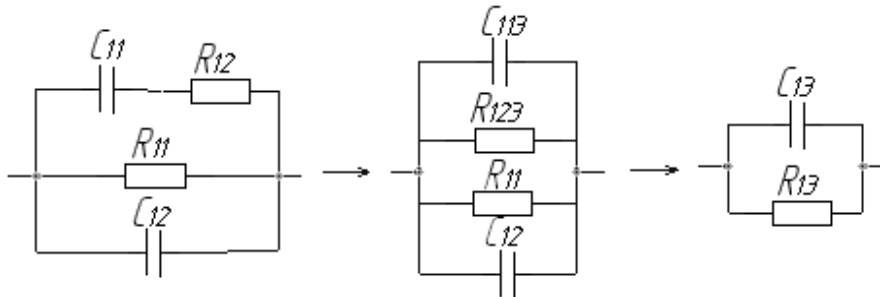


Рисунок 5 - Последовательность преобразования схемы замещения частицы 1

$$R_{12\varnothing} = R_{12} \left[1 + \frac{1}{(\omega C_{11} R_{12})^2} \right], \quad C_{11\varnothing} = \frac{C_{11}}{1 + (\omega C_{11} R_{12})^2},$$

$$R_{1\varnothing} = \frac{R_{12\varnothing} R_{11}}{R_{12\varnothing} + R_{11}} = \frac{R_{11} R_{12} \left[1 + \frac{1}{(\omega C_{11} R_{12})^2} \right]}{R_{11} R_{12} \left[1 + \frac{1}{(\omega C_{11} R_{12})^2} \right]}, \quad C_{1\varnothing} = C_{11\varnothing} + C_{12} = \frac{C_{11}}{1 + (\omega C_{11} R_{12})^2} + C_{12}.$$

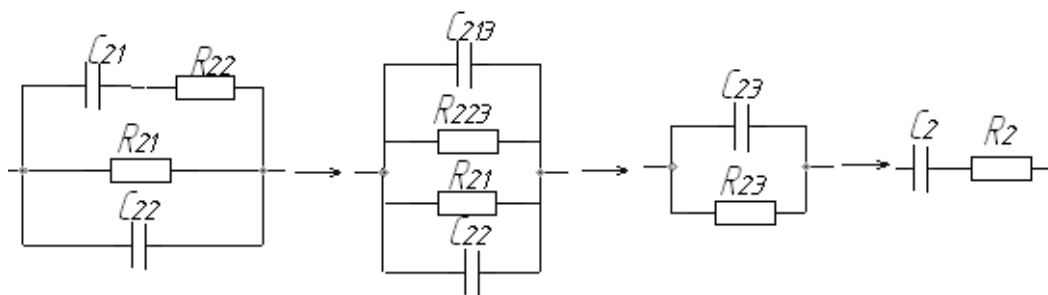


Рисунок 6 - Последовательность преобразования схемы замещения частицы 2
и схемы замещения зоны контакта 3

$$R_{22\varnothing} = R_{22} \left[1 + \frac{1}{(\omega C_{21} R_{22})^2} \right]; C_{21\varnothing} = \frac{C_{21}}{1 + (\omega C_{21} R_{22})^2};$$

$$R_{2\varnothing} = \frac{R_{22\varnothing} R_{21}}{R_{22\varnothing} + R_{21}} = \frac{R_{21} R_{22} \left[1 + \frac{1}{(\omega C_{21} R_{22})^2} \right]}{R_{21} R_{22} \left[1 + \frac{1}{(\omega C_{21} R_{22})^2} \right]}; \quad C_{2\varnothing} = C_{21\varnothing} + C_{22} = \frac{C_{21}}{1 + (\omega C_{21} R_{22})^2} + C_{22};$$

$$R_2 = R_{2\varnothing} \frac{1}{1 + (\omega C_{2\varnothing} R_{2\varnothing})^2} = \frac{R_{21} R_{22} \left[1 + \frac{1}{(\omega C_{21} R_{22})^2} \right]}{R_{21} R_{22} \left[1 + \frac{1}{(\omega C_{21} R_{22})^2} \right]} \cdot \frac{1}{1 + \left[\omega \left(\frac{C_{21}}{1 + (\omega C_{21} R_{22})^2} + C_{22} \right) \frac{R_{21} R_{22} \left[1 + \frac{1}{(\omega C_{21} R_{22})^2} \right]}{R_{21} R_{22} \left[1 + \frac{1}{(\omega C_{21} R_{22})^2} \right]} \right]^2};$$

Для зоны контакта:

$$R_{32\varnothing} = R_{32} \left[1 + \frac{1}{(\omega C_{31} R_{32})^2} \right]; C_{31\varnothing} = \frac{C_{31}}{1 + (\omega C_{31} R_{32})^2};$$

$$R_{3\varnothing} = \frac{R_{32\varnothing} R_{31}}{R_{32\varnothing} + R_{31}} = \frac{R_{31} R_{32} \left[1 + \frac{1}{(\omega C_{31} R_{32})^2} \right]}{R_{31} R_{32} \left[1 + \frac{1}{(\omega C_{31} R_{32})^2} \right]}; \quad C_{3\varnothing} = C_{31\varnothing} + C_{32} = \frac{C_{31}}{1 + (\omega C_{31} R_{32})^2} + C_{32};$$

$$R_3 = R_{3\varnothing} \frac{1}{1 + (\omega C_{3\varnothing} R_{3\varnothing})^2} = \frac{R_{31} R_{32} \left[1 + \frac{1}{(\omega C_{31} R_{32})^2} \right]}{R_{31} R_{32} \left[1 + \frac{1}{(\omega C_{31} R_{32})^2} \right]} \cdot \frac{1}{1 + \left[\omega \left(\frac{C_{31}}{1 + (\omega C_{31} R_{32})^2} + C_{32} \right) \frac{R_{31} R_{32} \left[1 + \frac{1}{(\omega C_{31} R_{32})^2} \right]}{R_{31} R_{32} \left[1 + \frac{1}{(\omega C_{31} R_{32})^2} \right]} \right]^2};$$

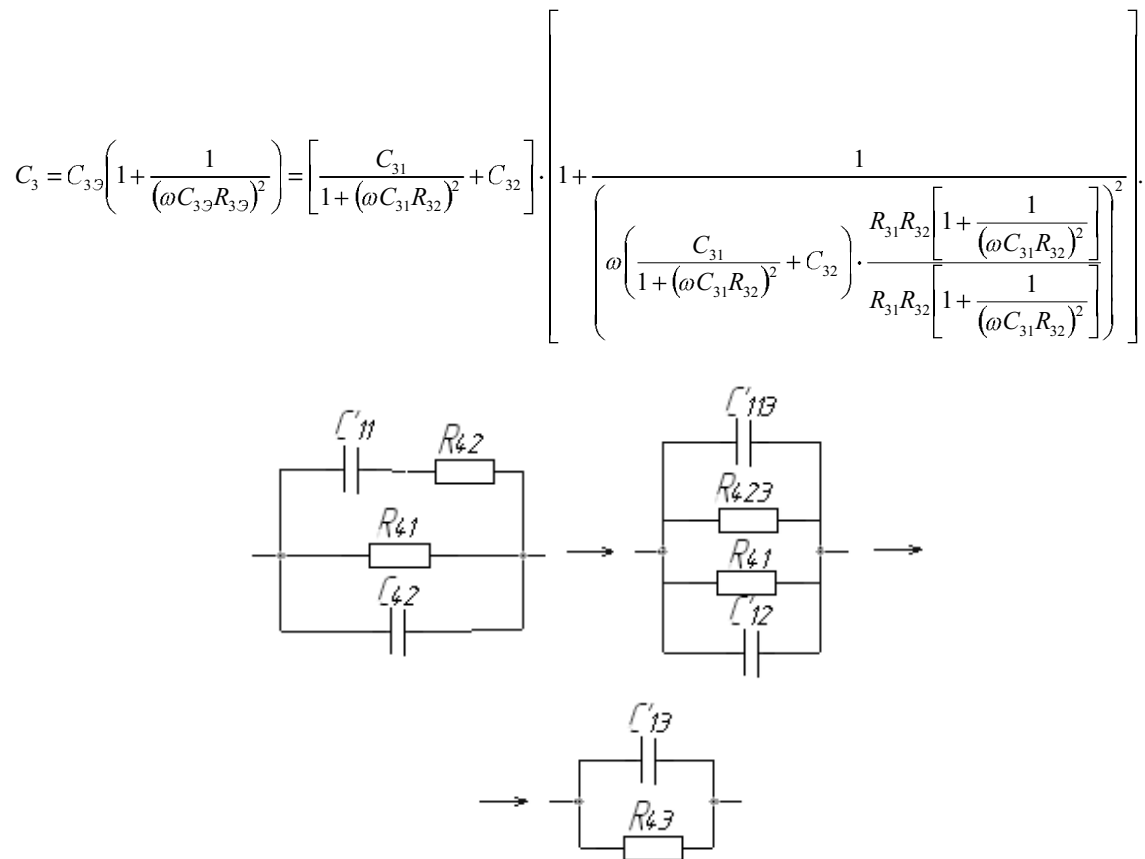


Рисунок 7 – Последовательность преобразования схемы замещения среды

С учетом преобразований схема на рис. 4 приобретает вид, как показано на рис. 8.

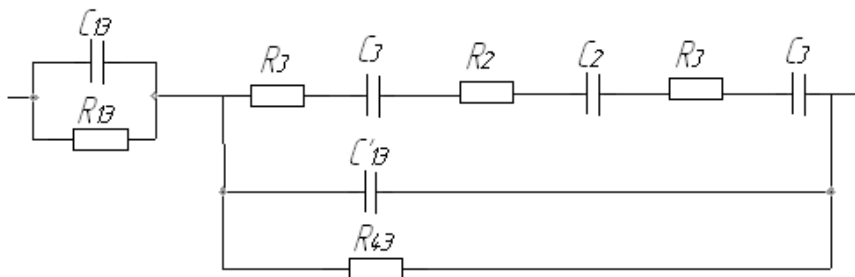


Рисунок 8 – Схема замещения системы двух частиц с учетом промежуточных преобразований

Дальнейшее преобразование схемы представлено на рис. 9. Параметры схемы вычисляются по формулам:

$$R'_3 = 2R_3 + R_2;$$

$$C'_3 = \frac{2C_2 \cdot C_3}{2C_2 + C_3};$$

$$R_{\vartheta}'' = R_{\vartheta}' \left[1 + \frac{1}{(\omega C_{\vartheta}' R_{\vartheta}')^2} \right];$$

$$C_{\vartheta}'' = \frac{C_{\vartheta}'}{1 + (\omega C_{\vartheta}' R_{\vartheta}')^2};$$

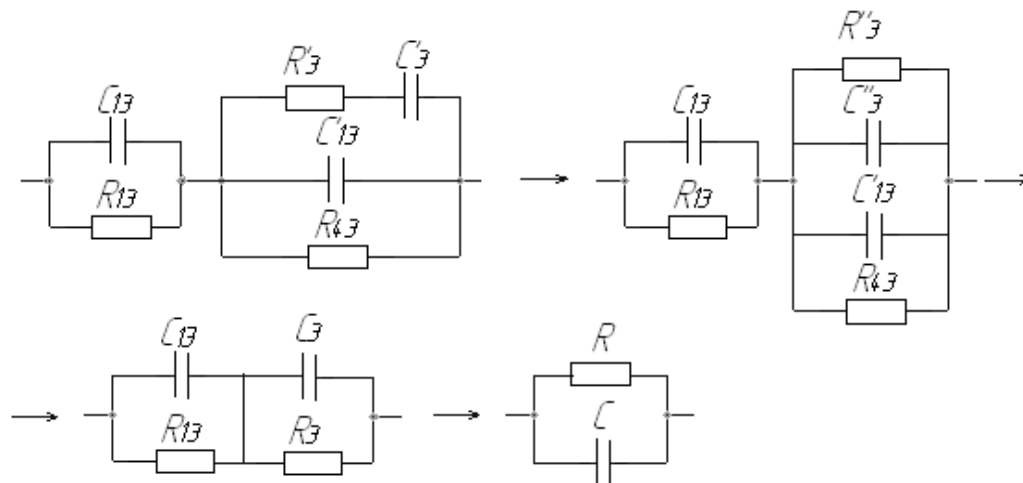


Рисунок 9 – Последовательность дальнейшего преобразования эквивалентной схемы замещения системы двух частиц

$$C_{\vartheta} = \frac{C_{\vartheta}'}{1 + (\omega C_{\vartheta}' R_{\vartheta}')^2} + C_{1\vartheta}'. \quad (1)$$

$$R_{\vartheta} = \frac{R_{4\vartheta} \cdot R_{\vartheta}' \left[1 + \frac{1}{(\omega C_{\vartheta}' R_{\vartheta}')^2} \right]}{R_{4\vartheta} + R_{\vartheta}' \left[1 + \frac{1}{(\omega C_{\vartheta}' R_{\vartheta}')^2} \right]}. \quad (2)$$

Для кубической укладки сыпучего материала на рис. 1 проводимость вдоль любой из осей x , y , z равна сумме проводимостей отдельных цепочек, параллельных соответствующей оси, а сопротивление каждой из цепочек равно сумме сопротивлений отдельных частиц [3]. При коллинеарности вектора напряженности E одной из осей координат компоненты полной проводимости кубического объема сыпучего материала с числом частиц на сторону n равны компонентам проводимости по соответствующей оси

$$C_M = nC; \quad \gamma_M = \frac{n}{R},$$

где C – емкость системы из двух частиц (1), R – сопротивление системы из двух частиц (2).

Подставляя формулы C_{ϑ} и R_{ϑ} , получим:

$$C_M = \frac{n \cdot (R_{1\vartheta}^2 C_{1\vartheta} + C_{\vartheta} R_{\vartheta}^2 + (\omega R_{1\vartheta} R_{\vartheta})^2 \cdot C_{1\vartheta} C_{\vartheta} (C_{1\vartheta} + C_{\vartheta}))}{(R_{1\vartheta} + R_{\vartheta})^2 + [\omega R_{1\vartheta} R_{\vartheta} (C_{1\vartheta} + C_{\vartheta})]^2},$$

$$\gamma_M = \frac{n \cdot (R_{1\varnothing} + R_{\varnothing} + \omega^2 R_{1\varnothing} R_{\varnothing} (R_{1\varnothing} C_{1\varnothing}^2 + R_{\varnothing} C_{\varnothing}^2))}{(R_{1\varnothing} + R_{\varnothing})^2 + [\omega R_{1\varnothing} R_{\varnothing} (C_{1\varnothing} + C_{\varnothing})]^2}.$$

При кубической укладке величина полной проводимости объема сыпучего материала не зависит от направления электрического поля. Из математической модели поведения сыпучего вещества можно выявить зависимость тангенса диэлектрических потерь конечного объема сыпучего материала от изменения частоты прикладываемого электрического поля, в котором находится этот объем вещества:

$$\operatorname{tg} \delta_M = \frac{1}{\omega \cdot n^2 \cdot R_M C_M},$$

где сопротивление кубического объема сыпучего материала по соответствующей оси

$$R_M = \frac{1}{\gamma_M}.$$

Отличительной особенностью данной математической модели является то, что, во-первых, аналитически описывается поведение в электрическом поле сыпучей смеси, состоящей из двух компонент. Во-вторых, учитывается гранулометрический состав сыпучего материала. Перечисленные особенности позволяют расширить применимость математической модели к анализу различных по компонентному и гранулометрическому составу сыпучих смесей.

На основании аналитических частотно-влажностных характеристик сыпучего материала, полученных с использованием математической модели, выбираются оптимальные рабочие частоты влагомеров, а также проводят математическое описание поведения емкостных датчиков в электрическом поле измерительной цепи преобразователя сигнала в сигнал, удобный для дальнейшей обработки.

Необходимость создания программы расчета и визуализации результатов вычисления возникает вследствие того, что система автоматизированного проектирования MathCad не позволяет увеличивать диапазон частоты прикладываемого напряжения свыше 1 МГц. В то время как требуемый диапазон изменения частоты определяется необходимостью подвергать объем сыпучего материала в емкостной ячейке датчика изменению частоты напряжения свыше 1 ГГц. Пример графического представления результатов расчета представлен на рис. 10.

Программное средство было разработано в среде Microsoft Visual Studio [5] и имеет следующие возможности:

- 1) возможность изменения исходных данных, таких как размеры частиц в составе смеси и их физико-химические свойства;
- 2) широкий диапазон изменения частоты напряжения;
- 3) возможность усовершенствования программного средства в соответствии с внесением изменений требованиям к процессу вычисления и отображению результатов.

Данные для проведения экспериментального расчета были взяты из [1] с учетом варьирующегося гранулометрического состава двухкомпонентной сыпучей среды (рис. 1).

Работа с приложением (рис. 10) осуществляется последовательно:

- 1) ввод данных или загрузка данных по умолчанию (кнопка «Умолчание»);
- 2) после любого изменения данных требуется подтверждение изменений (кнопка «Принять»);
- 3) просмотр действий и результатов расчетов в реальном времени осуществляется с вкладки «Терминал»;

4) после получения расчетов можно воспользоваться вкладками. Вкладка «Массив результатов FW» - список результатов функции «Расчет-1». Расчет всех переменных для текущего FW, точечный расчет. «Массив результатов W» - массив расчетов согласно заданной частоте W (w_1, w_2, w_3), выполняется группа из 33-х функций, расположенных на панели для каждого W. Результат расчетов отображается во вкладке «Массив результатов W». Вкладка «Массив результатов W» отображает первые 500 строк массива из 33-х значений переменных в целях оптимизации процессорного времени на вывод данных. Поддерживает просмотр любого количества строк в качестве участка массива.

5) вычислительная панель позволяет рассчитать функции по отдельности или запустить одну из двух автоматических функций: «Расчет-1» и «Расчет-2» для FW и W соответственно.

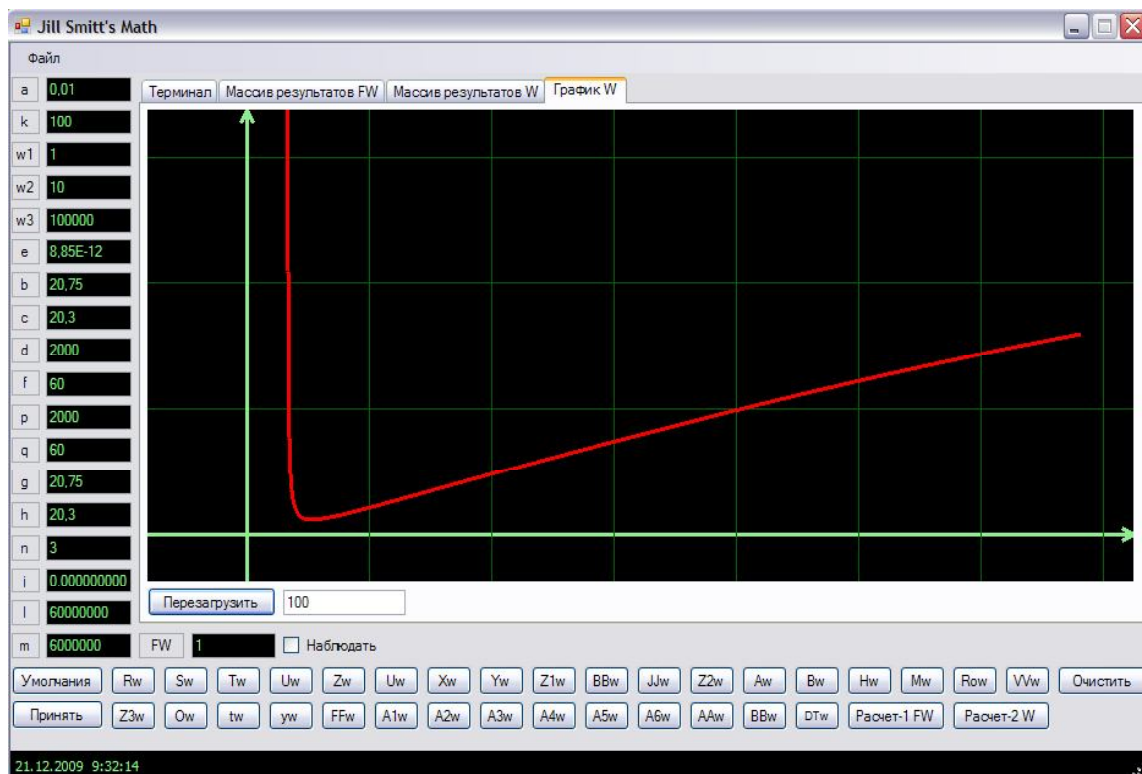


Рисунок 10 – Результаты расчета зависимости тангенса диэлектрических потерь конечного объема сыпучего материала от частоты приложенного к датчику напряжения

Разработанная математическая модель поведения конечного объема двухкомпонентного сыпучего материала с варьирующимся гранулометрическим составом в переменном электрическом поле емкостного датчика [6] позволяет производить расчет зависимости тангенса диэлектрических потерь от частоты переменного поля емкостного датчика.

Разработанная программа расчета и визуализации результатов вычисления зависимости тангенса диэлектрических потерь от частоты переменного поля емкостного датчика предоставляет возможность проведения множества модельных экспериментов с минимальными трудовыми и временными затратами.

Список литературы

1. Дубров Н.С. Многопараметрические влагомеры для сыпучих материалов / Н.С. Дубров, Е.С. Кричевский, Б.И. Невзлин. – М.: Машиностроение, 1980. – 144 с.
2. Кричевский Е.С. Контроль влажности твердых и сыпучих материалов/ Е.С. Кричевский, А.Г. Волченко, С.С. Галушкин; под.ред. Е.С. Кричевского. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 136 с.
3. Аринова Н.В. Математическая модель оценки электрофизических параметров сыпучих материалов / Н.В. Аринова, Г.К. Шадрин, Ш.А. Муздыбаева // Перспективные технологии, оборудование и аналитические системы для материаловедения и наноматериалов: Междунар. Казахстанско-Российско-Японская конф. – Усть-Каменогорск, 2008. – С. 646-654.
4. Атабеков Г.И. Основы теории цепи: Учеб. для вузов. – М.: Энергия, 1969. – 424 с.
5. Шевякова Д.А. Самоучитель Visual Basic 2005 / Д.А. Шевякова, А.М. Степанов, Р.Г. Карпов; под общей ред. А.Ф. Тихонова. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 567 с.
6. Аринова Н.В. Научные аспекты построения измерительных преобразователей промышленных влагомеров сыпучих материалов / Н.В. Аринова, Г.К. Шадрин, Ш.А. Муздыбаева // Роль университетов в формировании инновационной экономики: Междунар. науч.-техн. конф. – Усть-Каменогорск, 2008. – С. 7-10.

Получено 2.02.2017

УДК 519.688

Е.Г. Бутурлакина

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,
г. Усть-Каменогорск

**АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ ПОРТФЕЛЯ ПРОЕКТОВ
В СИСТЕМЕ ПОДДЕРЖКИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ**

Задача формирования портфеля проектов является вариантом классической «задачи о ранце» и решается путем перебора возможных вариантов состава портфеля. В классическом виде решение задачи Марковица представляет собой множество всех неуплощаемых портфелей ценных бумаг [1]. В рассматриваемом случае, когда портфель формируется из дискретных целых элементов – проектов, задача упрощается, и необходимо лишь исключить доминируемые варианты портфелей.

Оптимизация решения задачи о ранце является важной и актуальной математической и алгоритмической задачей. Одним из способов решения является использование параллельных вычислений. Данной проблеме посвящено множество зарубежных [2-4] и российских [5, 6] публикаций. Наиболее распространенные методы решения основываются на использовании метода ветвей и границ [7] или генетического алгоритма [8-11].

В первоначальном варианте реализации алгоритм перебора выглядел в соответствии с рис. 1.

Данный алгоритм позволял получить экономию времени за счет того, что операции сравнения проводились с заранее подготовленными числами характеристик портфеля. Однако эмпирически были установлены ограничения на количество проектов, участвующих в анализе. Максимальное количество проектов, для которых в оперативной памяти возможно было адресовать необходимое пространство для хранения массива данных, составило 12. Количество возможных вариантов портфелей в этом случае составляет $2^{12} = 4096$. При добавлении каждого следующего проекта количество вариантов перебора возрастает вдвое. И если для адресации массива в 4096 элементов, каждый из которых состоит из 3-х переменных типа Real, требуется 72 КБ, то для рассмотрения 26 проектов

потребуется уже более 1 ГБ. Однако даже создать массив размера 144 КБ, требуемый для анализа 13 проектов, оказалось невозможно.

Для решения задачи исследования необходимо провести анализ 25 инвестиционных проектов и, следовательно, необходимо преобразовать алгоритм перебора (рис. 2).

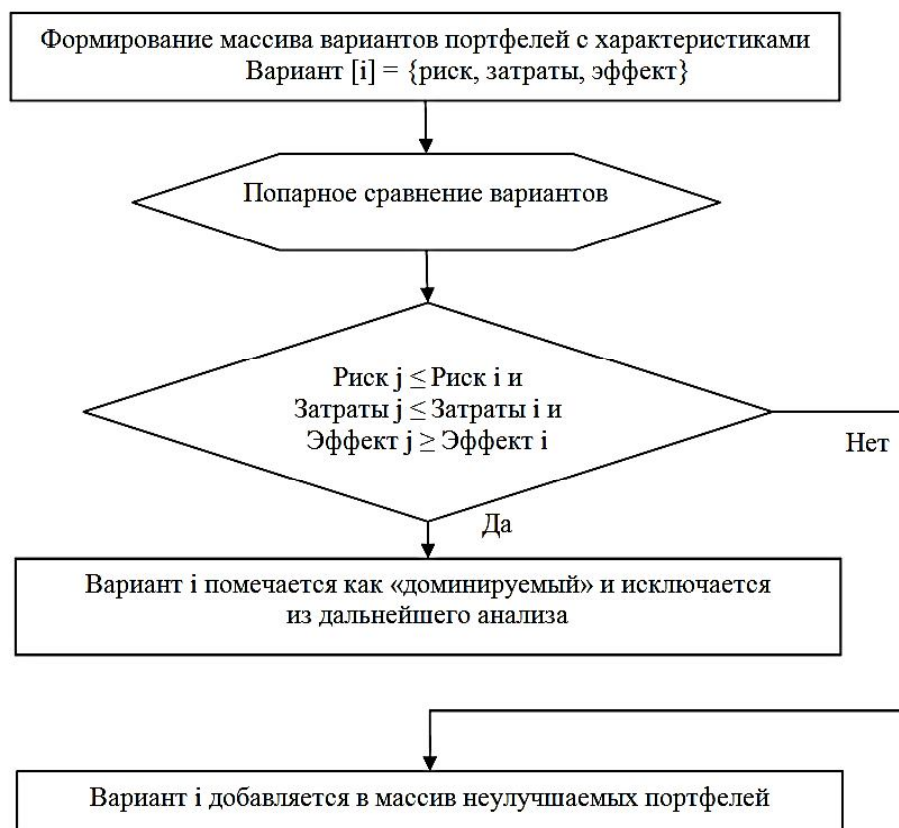


Рисунок 1 – Алгоритм, дающий выигрыш во времени

Данный алгоритм позволяет хранить в памяти только массив с результатами анализа в виде логических переменных, содержащий после завершения работы ложные значения, если набор проектов является доминируемым, и истинное значение в противном случае. Набор проектов определяется путем перевода номера элемента в двоичную систему, в результате вычисляется число, состоящее из 25-ти позиций. Единица обозначает, что проект, находящийся в списке проектов на данной позиции, реализуется, ноль – нет. Например, первый элемент массива хранит обозначение портфеля, который предполагает реализацию только одного проекта (...001) – первого из списка проектов. Второй элемент (...010) – реализация только второго проекта, третий элемент (...011) – портфель из первого и второго проектов и т.д. На рис. 3 показан пример массива портфелей из пяти проектов.

Экспериментально определено максимальное количество проектов, информацию о переборах которых можно хранить в подобном массиве. Данный способ позволяет проводить анализ 29-ти проектов, что требует хранения в памяти массива из 536870912 элементов, что удовлетворяет требованиям исследования.

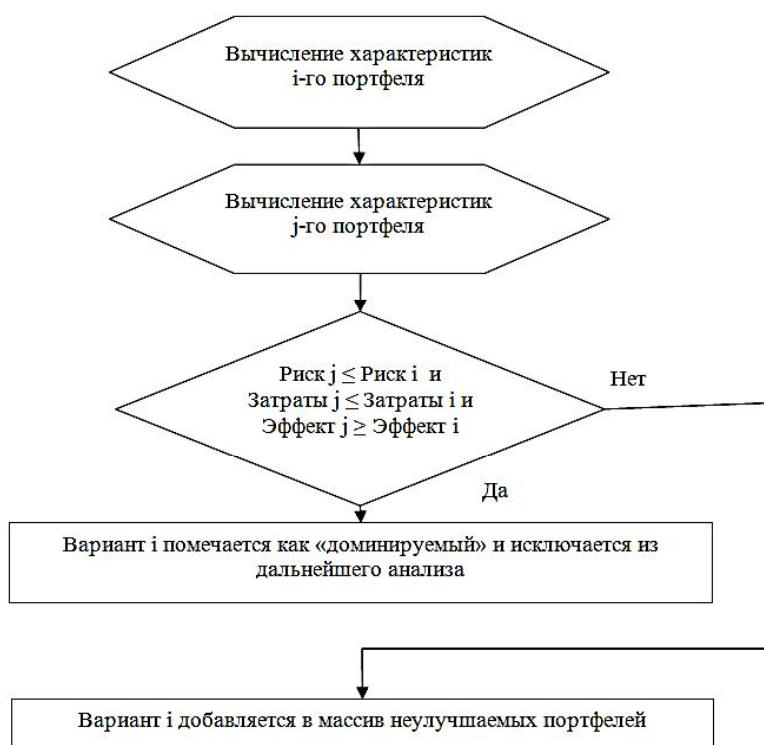


Рисунок 2 – Алгоритм, расширяющий вариативность

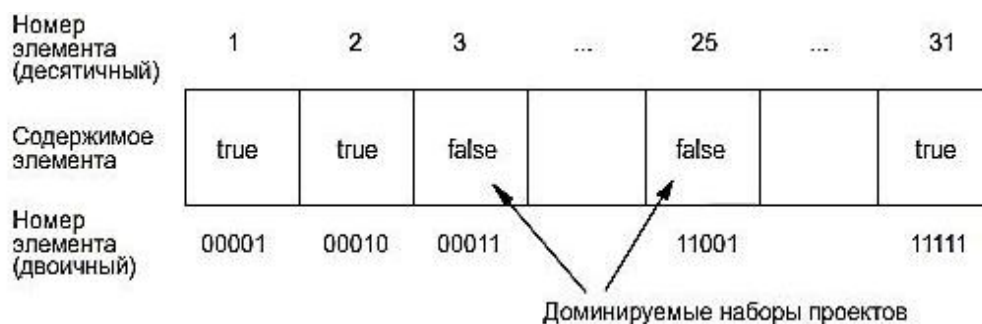


Рисунок 3 – Пример массива портфелей проектов

Однако при использовании данного алгоритма существенно увеличивается количество времени, необходимого для проведения расчетов, поскольку необходимо каждый раз заново рассчитывать характеристики каждого набора – риск, затраты и эффект. При имеющихся 25 проектах на сравнение только одного набора со всеми остальными требуется около 2-х минут. Экстраполируя на остальные 33554432 варианта портфелей без учета выбывающих в процессе анализа доминируемых наборов, получим требуемое для проведения расчетов время более 127 лет.

Для возможности использования метода в системах поддержки принятия решений принято следующее допущение: инвестор заинтересован в рассмотрении только портфе-

лей проектов в рамках своих финансовых возможностей. То есть до проведения процедуры анализа инвестору предлагается обозначить границы интервала совокупной стоимости всех проектов в портфеле. Итоговый вариант алгоритма включает следующую процедуру, проводимую до начала работы основного алгоритма (рис. 4).

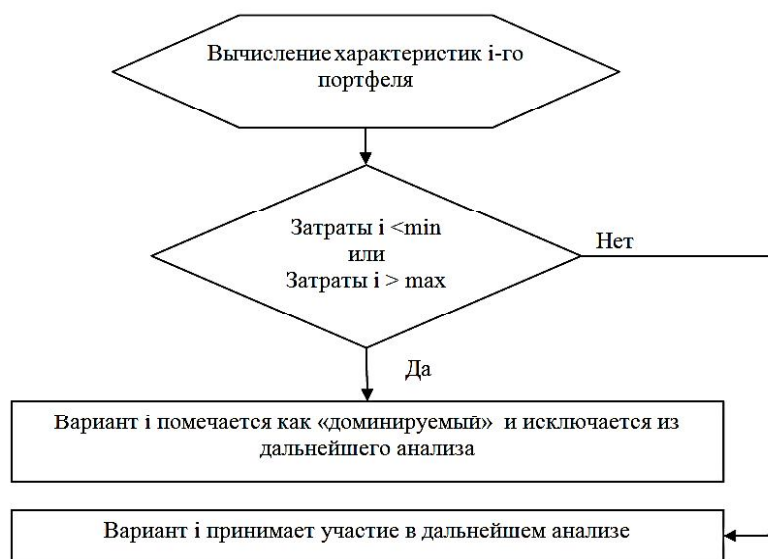


Рисунок 4 – Процедура отбора портфелей

Таким образом, портфели, не удовлетворяющие заданным условиям, искусственно признаются неэффективными.

Время работы данного варианта алгоритма прямо пропорционально зависит от размера анализируемого интервала стоимости портфелей. Понятно, что при введении в качестве минимального значения минимальной стоимости проекта, а в качестве максимального – стоимости портфеля, содержащего все проекты, программе придется перебрать все возможные варианты. Поэтому программная реализация должна предусматривать проверку введенных значений и ограничение допустимого интервала.

Разработанное на основе рассмотренного алгоритма программное обеспечение было использовано при анализе инвестиционных проектов малых ГЭС [12].

Список литературы

1. Markowitz H. Portfolio selection // The Journal of Finance. – 1952. – № 7. – P. 77-91.
2. Crawford M., Toth D. Parallelization of the Knapsack Problem as an Introductory Experience in Parallel Computing // Journal of Computational Science Education. – 2013. – Vol.4, №1. – P. 35-39.
3. Loots W., Smith T.H.C. A parallel algorithm for the 0-1 knapsack problem // International Journal of Parallel Programming. – 1992. – Vol.21, №5. – P. 349-362.
4. Quan D., Yang L. Solving 0/1 Knapsack Problem for Light Communication SLA-Based Work of Mapping Using CUDA // International Conference on Computational Science and Engineering. – 2009. – P. 194-200.
5. Афанасьев А.П. Программный комплекс для решения задач оптимизации методом ветвей и границ на распределенных вычислительных системах / А.П. Афанасьев, В.В. Волошинов, М.А. Посыпкин и др. // Труды ИСА РАН. – 2006. – № 25. – С. 5-17.
6. Евтушенко Ю. Г. Распараллеливание процесса поиска глобального экстремума / Ю.Г. Евтушенко, В.У. Малкова, А.А. Станевичюс // Автоматика и телемеханика. – 2007. – № 5. – С. 56-58.

7. Lalami M.E., El-Baz D. GPU Implementation of the Branch and Bound Method for Knapsack Problems // Parallel and Distributed Processing Symposium Workshops & PhD Forum (IPDPSW). 2012 IEEE 26th International. - 2012. - P. 1769-1777.
8. Jiangfei Z., TingLei H., Fei P., Yuanjie L. Genetic Algorithm Based on Greedy Strategy in the 0-1 Knapsack Problem. 3rd International Conference on Genetic and Evolutionary Computing, 2009. WGECC '09. - 2009. - P. 105-107.
9. Pospichal P., Jaros J., Schwarz J. Parallel Genetic Algorithm on the CUDA Architecture // Applications of Evolutionary Computation. - 2010. - P. 442-451.
10. Pospichal P., Schwarz J., Jaros J. Parallel Genetic Algorithm Solving 0/1 Knapsack Problem Running on the GPU // Proceedings of the 16th International Conference on Soft Computing MENDEL. - 2010. - P. 64-70.
11. Singh R.P. Solving 0-1 Knapsack problem using Genetic Algorithms. IEEE 3rd International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN). - 2011. - P. 591-595.
12. Buturlakina Y., Kvasov A., Tabakov P. A portfolio of small power plants projects designed according to their risk and cost/reward ratio // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Зеленая экономика - будущее человечества». - Усть-Каменогорск. - 2014. - С. 65-74.

Получено 2.02.2017

УДК 004

Г.А. Маликова, Г.В. Попова

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,
г. Усть-Каменогорск

**ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ
ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ**

В настоящее время наблюдается стремительный рост интереса к внедрению современных информационных технологий в практику работы органов государственной власти. Особенно интенсивно развиваются технологии поддержки принятия решений в ситуационных центрах различного назначения.

Ситуационный Центр предназначен для проведения совместных (групповых) совещаний по выработке решения различных управленческих задач (проблем, ситуаций) с применением автоматизированных и инструментальных средств комплексного анализа и многовариантного сценарного и целевого прогнозирования различных сфер деятельности [1].

Основное отличие ситуационного центра от традиционных систем автоматизации управления состоит в том, что в процессе проведения производственно-управленческого совещания в режиме реального времени можно просчитывать и анализировать последствия любых управленческих решений [2]. Для обеспечения решения поставленных задач ситуационный центр должен включать в себя следующие подсистемы: подсистема мониторинга; геоинформационная система; подсистема анализа данных (аналитическая подсистема); подсистема прогнозирования ситуации; подсистема поддержки принятия решений; хранилище данных (базы данных и базы знаний); подсистема визуализации; подсистема защиты информации [3]. Структурно-функциональная схема, предложенная в [3], программного комплекса ситуационного центра приведена на рис. 1.

Системы поддержки принятия решений СЦ базируются на всем арсенале средств обработки информационных ресурсов, технологиях доступа к ИАС, инструментально-моделирующим средствам, современных методах визуализации, что позволяет их считать эффективным средством решения широкого круга ситуационных задач (рис. 2) [4].

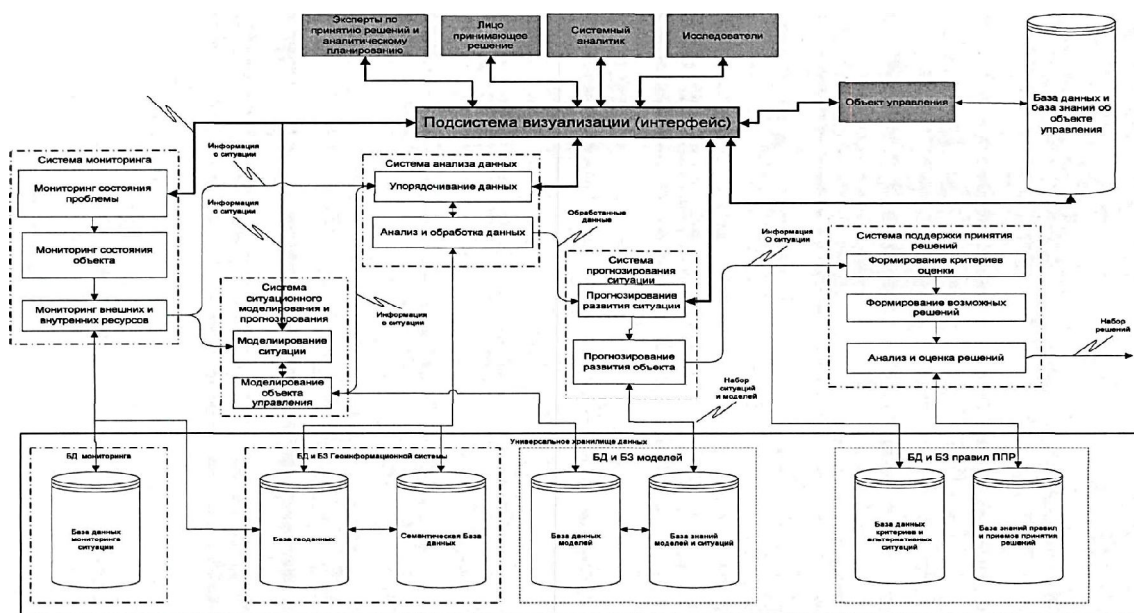


Рисунок 1 - Функциональная схема подсистем ситуационного центра

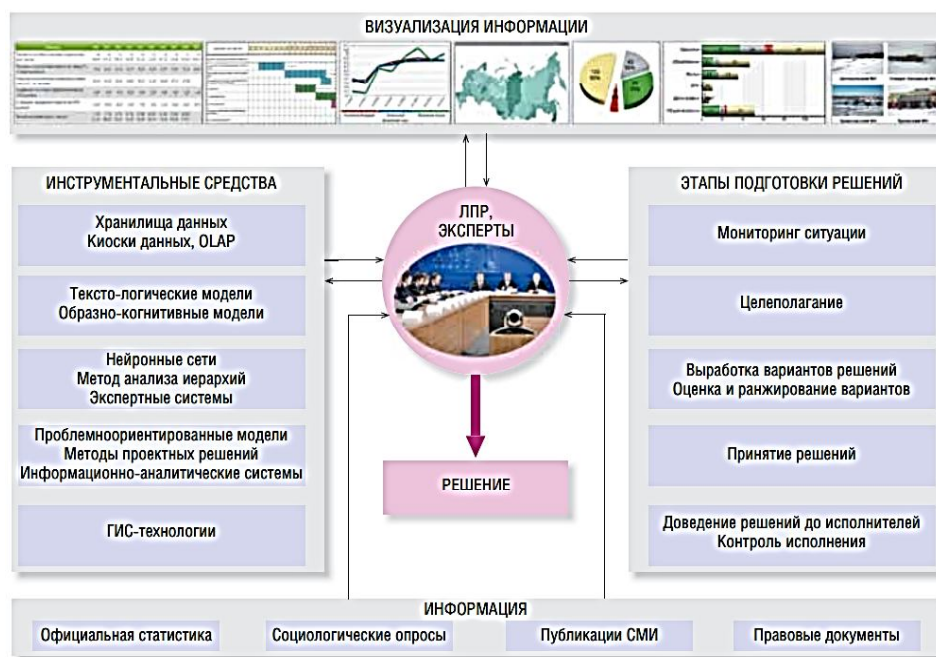


Рисунок 2 - Структурная схема системы подготовки и принятия решений

Главной особенностью СППР в СЦ является творческий, проблемный характер деятельности пользователей, их свобода в выборе информационных ресурсов на каждом этапе подготовки решений. Принципиальным отличием от традиционных систем является ориентация на конкретного пользователя, его знания, опыт, интуицию, его систему

ценностей при принятии решений, что обеспечивает решение даже слабоструктурированных задач. В ходе подготовки решений используются все виды методов и средств, которые способствуют становлению принципа активизации лица, принимающего решение (ЛПР). Они выступают как средство формализации личного опыта и передачи его другим пользователям с обеспечением возможности идентификации автора знаний и процедур их получения [5].

Коллективный характер решения ситуационных задач с использованием накопленного опыта, знаний профессионалов высокого уровня определяет необходимость использования экспертных систем. В рамках развития новых форм организации работы СЦ перспективным направлением является такая стратегия генерации вариантов возможных решений, когда концептуальный анализ проблемной ситуации, интуитивной цели и замысла решения трансформируется в форму, пригодную для моделирования. Такая стратегия принимаемых на уровне руководства решений имеет характер «выбора альтернативных решений из некоторого известного множества возможных» и определяется оптимальным сочетанием «выигрыша» и риска. Учитывая, что стратегия «выигрыш» и связанный с ней риск представляют собой сложные комплексы количественных и качественных показателей, выбор стратегии, обладающей оптимальным сочетанием «выигрыша» и риска, является весьма сложной задачей многокритериального анализа и сравнения, предполагающей учет предпочтений и приоритетов лиц, принимающих решение [4].

Обзор существующих информационных систем поддержки принятия решений

Система поддержки принятия решений Б88-иТЕ8. Система позволяет рассмотреть большое число различных вариантов решений, каждый из которых может оцениваться несколькими показателями. 088-иТЕ8 сопоставляет различные варианты решений, ранжирует их и оптимизирует. Выбор происходит по методу учета зависимости по предпочтениям, что является специфической особенностью Э88-иТЕ8, которой не обладают другие СППР. Однако в применении этот режим наиболее сложен.

Используются также и формальные методы, под которыми понимаются математические методы поддержки решений с целью расширения её возможностей и максимального удовлетворения потребностей пользователя.

Работа с системой начинается с ввода показателей, по которым оцениваются принимаемые решения. Показатель может быть как количественным, так и качественным. После того как определены показатели, вводятся предпочтения пользователя на множестве их значений. Для всех комбинаций значений показателей необходимо определить какая из комбинаций с точки зрения пользователя хуже, а какая лучше. Для этого все значения показателей выводятся как заголовки столбцов и строк таблицы, где результат представляется в виде закрашенных ячеек, закрашенных по принципу: чем лучше, тем светлее (или чем хуже, тем темнее). Для удобства пользователя в окне приведена шкала полутонов.

В меню выбора режимов активизируется режим свертки на основе взвешенной суммы с использованием метода парных сравнений. В окне приводятся значения коэффициентов важности показателей, вычисленные на основе заполненной пользователем матрицы парных сравнений.

Мониторинг можно осуществлять путем оценок по временным срезам, различающимися введенными исходными данными. При сопоставлении различных критериев необходимо обеспечить единство введенных в систему предпочтений [6].

Система поддержки принятия решений «Прототип». Система «С1 И LP-Прототип» предназначена для поддержки современной технологии принятия решений. Схема принятия решений, поддерживаемая системой, такова: выбор наилучшей альтернативы (альтернатив) предполагает использование многокритериальных экспертных суждений и вы-

работку коллективных мнений (т.е. каждый проект решения оценивается несколькими аналитиками и/или экспертами). Возможна оценка каждого решения одним лицом, однако в этом случае не будут задействованы возможности системы по оценке согласованности мнений, построению компромиссных суждений и защите от преднамеренного искажения суждений (защита от манипулирования).

Система является открытой и не требует заранее заданного набора критериев. Для суждений по любому критерию в системе принята привычная многим пятибалльная шкала. Данная система очень проста в управлении, так как построена на базе Microsoft Excel и имеет очень простой интерфейс для работы, поэтому пользователю достаточно лишь иметь знания по работе в Windows и Excel [7].

Система поддержки принятия решений «Decision Lab 2000». Данная система позволяет принимать решения по проблемам, требующим особых решений, когда необходимо привлечение нескольких экспертов.

При сравнении проблемы система позволяет упорядочить количественные и качественные шкалы по той или иной проблеме. При оценке проблемы создается оценочная таблица, которая позволяет осуществить воздействия или критерии, сформировать предпочтение, оценить каждый сценарий.

Выбор наилучшего решения и сравнение проблем производится с помощью методов: а) Прометей 1 (решение по многим критериям), разработанном в Брюссельском университете, основанном на точно установленных предпочтениях; б) Прометей 2 (отнесение решений от самого худшего до самого лучшего).

Вся информация объединяется в таблице, которая представляет эксперту сравнительный графический образ проблемы [8].

Система поддержки принятия решений «МАИ» (версия 2.0). СППР представляет собой экспертную имитационную информационно - прогностическую технологию (ИПТ), разработанную на основе метода анализа иерархий Т. Саати и средств когнитивной психологии, изучающей особенности процессов переработки информации человеком.

СППР «МАИ» может использоваться при решении следующих типовых задач в области социально-политического управления:

- проектирование и анализ социальных программ и политических компаний (анализ предвыборной ситуации, стратегическое, организационное и медиапланирование, РЯ-анализ и психологическая поддержка);
- экспертиза политических и социально-экономических программ;
- прогнозирование, разрешение или урегулирование конфликтов (распределение влияния участников конфликта, установление возможных коалиций, определение «линий интересов» участников, построение «структур решений», оценка эластичности решений и т.д.), разработка стратегии и тактики сложных коммуникативных взаимодействий при применении технологии социального управления.

СППР МАИ используется при решении практически любых задач оптимального планирования и управления [9].

Интеллектуальная система поддержки принятия решений ЭС FuzzyClips. Данная система разработана для предприятий, занимающихся выпуском изделий радиотехнического направления, часто в качестве дополнительных приборов контроля и имитации используются так называемые пульта, входящие в состав стендового технологического оборудования (СТО).

Задача описывается следующим образом: есть фиксированный набор типоразмеров корпусов, принимающих различные значения (корпус с наклонной передней панелью,

корпус с вертикальной передней панелью и корпус с шасси). ЭС предлагает ЛПР наиболее оптимальный типоразмер корпуса со всеми учитываемыми критериями, результатами работы подсистемы логического вывода являются экспертное заключение, вывод протокола экспертизы и запись данных статистики в БД, которая содержит в себе историю ранее выполненных проектов.

Задача выбора оптимального типоразмера корпуса решается подсистемой поддержки принятия решений. В основу данной подсистемы был положен метод анализа иерархий Т. Саати.

Однако данная система решает очень узкий круг задач, и ее применение может сводиться только к решению инженерных задач [10].

Система принятия решений Meta Cube от INFORMIX. Работа с системой не требует от пользователя глубоких знаний в области баз данных или программирования, достаточно некоторого опыта работы в среде Windows.

В состав MetaCube входят следующие основные модули: MetaCube Engine, MetaCube DataWarehouse Manager, MetaCube Agent Administrator, MetaCube DataWarehouse Optimizer, MetaCube Explorer, MetaCube for Excel.

MetaCube Engine является высокопроизводительный OLAP-сервер, анализирующий запросы, поступающие от пользовательских приложений, таких, как MetaCube Explorer или MetaCube for Excel, и генерирующий оптимизированные SQL-запросы к базе данных.

MetaCube DataWarehouse Manager - графическое средство моделирования многомерного логического отображения базы данных, предназначено для администратора.

MetaCube Agent Administrator - графическое средство администратора для управления агентами (MetaCube Agents).

MetaCube Warehouse Optimizer - специальный модуль, анализирующий текущую модель данных и поступающие SQL-выражения и вырабатывающий стратегию агрегации данных для вашей системы.

MetaCube Explorer - средство конечного пользователя для построения многомерных аналитических запросов к хранилищу данных. При необходимости можно записать в базу полученные результаты и таким образом хранить в ней отчеты, полученные в разное время, а можно построить новый запрос, который покажет вам динамику изменения какого-либо параметра.

Такие компании как Fleet Street Bank, First Union National Bank, Hewlett-Packard, Cirrus Logic и другие уже выбрали для своих СППР продукты компании Informix Software [11].

Ниже приведена таблица сравнения СППР по следующим критериям:

K_1 - совместимость и мобильность программного обеспечения;

K_2 - используемые методы принятия решений;

K_3 - масштабируемость;

K_4 - адаптируемость к различным задачам;

K_5 - область применения.

Проведённый анализ программных продуктов, реализующих поддержку принятия решений, показал, что необходимо эффективнее применять методологический аппарат теории принятия решений для анализа задач различного класса при многих критериях. Широкое применение методов теории принятия решений и привлечение экспертного мнения качественно повлияет на функционирование систем поддержки принятия решений и анализ задач ситуационного центра различного класса.

Применение правил и методов при выборе наилучшего

СППР	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅
СППР Б88-иТЕ8	-	МАИ, метод «идеальной точки», метод Парето	-	+-	Маркетинговая Техническая Технологическая
СИ LP-Прототип	-	Экспертные методы на основе качественных критериев	-	-	Управленческая
Decision Lab 2000	+-	Функция полезности на основе предпочтений ЛПР, в балльных шкалах	-	-	Техническая Технологическая
«МАИ» (версия 2.0)	-	Метод анализа иерархий	-	-	Социальная
ЭС FuzzyClips 6.04	+-	Метод анализа иерархий	-	-	Техническая Технологическая
Meta Cube от INFORMIX	+	Анализ данных	+	-	Управленческая Экономическая

«+» - полностью соответствует, «+-» - соответствует частично, «-» - не соответствует.

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Исследования выявили, что существующие СППР имеют ограниченную функциональность при рассмотрении задач различной структуры и сложности в части управления решением.

2. Актуальным направлением развития современных СППР и ситуационных центров является построение систем поддержки принятия решений, которые бы обеспечили анализ задач ситуационного центра различной сложности как в условиях определенности факторов, так и при нечеткости и неполноценности исходной информации с использованием экспертных процедур. Функционирование таких систем должно поддерживаться эффективным математическим и алгоритмическим аппаратом теории принятия решения, который в настоящее время сформулирован недостаточно полно.

3. При наличии комплексного набора алгоритмов методов поддержки принятия решений в рамках классов управленческих задач одной предметной области возможно построение адаптивной СППР, позволяющей решать проблемы, принадлежащие различным предметным областям. Система подобного класса должна быть ориентирована на выполнение большого количества функциональных задач, ориентированных четко на реализацию процесса поддержки принятия решения в различных предметных областях управленческой деятельности.

Список литературы

1. Колесников Д.А. Режимы работы ситуационного центра регионального уровня / Д.А. Колесников, В.С. Симанков // Вестник Южного Научного Центра РАН. - Москва, 2010. - Т. 6. - С. 96-99.
2. Денисов Д.В. Автоматизация управления качеством образования в вузе // Прикладная информатика. - Москва, 2011. - № 3(33). - С. 57-60.
3. Черкасов А.Н. Разработка математического и алгоритмического обеспечения адаптивных систем поддержки принятия решений в ситуационных центрах: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / Черкасов Александр Николаевич; Кубанский государственный технологический университет. - Краснодар, 2011. - 9 с.
4. Новикова Е. Средства интеллектуального анализа и моделирования сложных процессов как ключевой инструмент ситуационного управления / Е. Новикова, Н. Демидов // Журнал CONNECT. Мир связи. - Москва, 2012. - № 3. - С. 84-89.
5. Демидов Н.Н. Методы и средства визуализации процедур принятия решений в ситуационных центрах / Н.Н. Демидов, И.Н. Демидова // Журнал «Образовательные ресурсы и технологии». - Москва, 2014. - № 5 - С. 33-42.

6. Универсальная информационно-аналитическая система (ИАС) поддержки принятия решений «ОЦЕНКА и ВЫБОР» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.deol.ru/users/DecisionSupporter/projects/iasctc.html> (дата доступа: 30.09.2016).
7. Минько А.А. Принятие решений с помощью Excel. Просто как дважды два. – М.: Эксмо, 2007. – 240 с.
8. Decision Lab 2000 review [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://decision-lab-2000.software.informer.com/> (дата доступа: 01.10.2016).
9. Основные элементы многокритериальной задачи принятия решений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://sppr-mai.narod.ru/> (дата доступа: 25.09.2016).
10. Интеллектуальная система поддержки принятия решений ЭС FuzzyClips [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.mai.ru> (дата доступа: 30.09.2016).
11. Электронный Курс лекций по дисциплине «Системы искусственного интеллекта» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: http://www.mari-el.ru/mmlab/home/AI/7_8/ (дата доступа: 30.09.2016).

Получено 2.02.2017

УДК 004.8

Н.Б. Набиева, Г. Жомарткызы

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,
г. Усть-Каменогорск

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА УСЛУГ В ТРАНСПОРТНОЙ КОМПАНИИ

В период с 1990 по 2014 годы пассажиропоток в Казахстане вырос в 2,8 раза. Если в 1990 году пассажирооборот составлял 91241 млн пассажирокилометров, то 2014 году он составил 255 956,2 млн пассажирокилометров [1]. Основная доля пассажирооборота в Казахстане приходится на автомобильный и городской электрический транспорт. В 2014 году доля автомобильного и городского электрического пассажирооборота составила 84,9% [1]. Доля перевозок такси в перевозке пассажиров всеми видами транспорта показана на рис. 1 [2], где доля перевозок такси стабильно высокая в период 2003-2015 годов.



Рисунок 1 - Перевозки пассажиров всеми видами транспорта в Казахстане в 2003-2015 гг.

По итогам независимого исследования, проведенного проектом GoTaxi в рамках 24 городов Казахстана, выяснилось, что на сегодняшний день по всей стране в неравном количестве распределено более 350 таксопарков. Статистика показала, что среднее количество таксопарков в крупнейших городах равняется 33 [3]. Таким образом, можно сделать

вывод, что конкуренция в сфере услуг очень высокая, и сама отрасль перевозок пассажиров на такси является очень востребованной.

Компания «А» работает в сфере предоставления услуг такси. Для повышения конкурентоспособности на рынке услуг пассажирских перевозок необходимо повысить качество предоставляемых услуг. Услугу перевозки можно считать качественной, если по заказу клиента приезжает лучший автомобиль в самые короткие сроки и с самым вежливым и опытным водителем.

В компании уже действует система распределения заказов (рис. 2). Действующая система распределения заказов обеспечивает различную скорость поступления заказов водителям на основе нескольких критериев: на основании их рейтинга, отдаленности от адреса клиента, на том, выполнялся ли заказ клиента данным водителем, и понравилась ли ему оказанная услуга. Это частично обеспечивает то, что на определенный заказ клиента будет подан именно тот автомобиль, который ему подойдет.

На рис. 2 представлено дерево решений скорости поступления заказов исполнителям. Подобные деревья решений широко используются в интеллектуальном анализе данных. Структура дерева представляет собой «листья» и «ветки». На ребрах («ветках») дерева решения записаны атрибуты, от которых зависит целевая функция, в «листьях» записаны значения целевой функции, а в остальных узлах - атрибуты, по которым различаются случаи. Чтобы классифицировать новый случай, надо спуститься по дереву до листа и выдать соответствующее значение. Цель построения дерева решений в системе распределения заказов состоит в том, чтобы создать модель, которая предсказывает значение целевой переменной на основе нескольких переменных на входе.

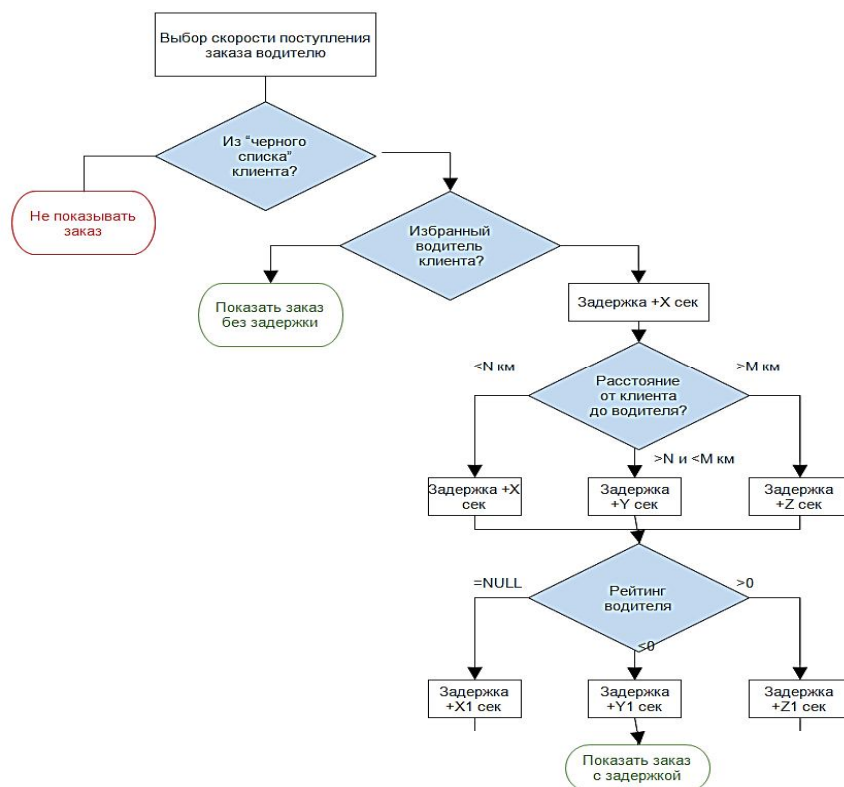


Рисунок 2 - Дерево решений скорости поступления заказов исполнителям

Дерево решений в существующей системе использовано в качестве математической основы для описания, классификации и обобщения набора данных, который может быть записан следующим образом:

$$(x, Y) = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_k, Y).$$

Зависимая переменная Y является целевой переменной, которую необходимо проанализировать, классифицировать и обобщить. Вектор x состоит из входных переменных x_1, x_2, x_3 и т.д., которые используются для выполнения этой задачи. В данном случае Y - это временная задержка поступления заказа. А x_1, x_2, x_3 и т.д. - это из черного списка, избранный водитель, расстояние между водителем и клиентом, рейтинг водителя.

Каждый лист представляет собой значение целевой переменной, измененной в ходе движения от корня по листу. Каждый внутренний узел соответствует одной из входных переменных. Дерево может быть также «изучено» разделением исходных наборов переменных на подмножества, основанные на тестировании значений атрибутов. Это процесс, который повторяется на каждом из полученных подмножеств. Рекурсия завершается тогда, когда подмножество в узле имеет те же значения целевой переменной [4].

В связи с увеличением общего количества водителей между ними возникает конкуренция в борьбе за заказы, и это осложняет выбор лучшего водителя из имеющихся на линии свободных водителей для выполнения заказа клиента. Поэтому необходимо пересмотреть критерии ранжирования потенциальных исполнителей заказов при распределении заказов.

Следующим этапом для улучшения системы распределения заказов является изучение многокритериальных методов принятия решений, технологии обработки и анализа больших данных. Исходными данными являются: данные из таблиц базы данных, содержащие сведения об исполнителях, а также данные, передаваемые GPS-приемником смартфона водителя. В рамках исследования необходимо изучить и выбрать оптимальные методы многокритериального анализа, определить возможные критерии для учета при выборе потенциальных исполнителей.

Список литературы

1. Показатели пассажирооборота в Казахстане за 1990-2014 гг. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://stat.gov.kz/faces/wcnav_externalId/ecolog-H-29?lang=ru&afrLoop=6057225675029435#%40%3F_afrLoop%3D6057225675029435%26lang%3Dru%26_adf.ctrl-state%3Da00egud25_22, свободный.
2. Основные показатели развития транспорта в Казахстане за 2003-2015 г. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://stat.gov.kz/getImg?id=ESTAT099961>, свободный.
3. Таксопарки Казахстана: независимое исследование GoTaxi [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://gotaxi.kz/news/taksoparki_kazahstana_nezavisimoe_issledovanie_gotaxi, свободный.
4. Википедия. Дерево принятия решений [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%BE_%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%BD%D1%8F%D1%82%D0%B8%D1%8F_%D1%80%D0%B5%D1%88%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B9, свободный.

Получено 2.02.2017

УДК 004.822

Г.Ш. Нургазина

Павлодарский государственный педагогический институт, г. Павлодар

А.С. Омарбекова

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилёва, г. Астана

О СОЗДАНИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ОБУЧЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

Первоначальные попытки создания интеллектуальных средств обучения (ИСО) относятся к началу 70-х годов XX века. Исследования в области разработки ИСО были вызваны разочарованием разработчиков систем обучения в традиционной технологии программированного обучения, недостатком которого выделяли недостаточно высокую индивидуализацию такого обучения. С целью повышения эффективности обучающих программ авторы разрабатывают несколько вариантов изложения одного и того же учебного материала, что вызывает существенный рост затрат на разработку и приводит к усложнению обучающих программ, а иногда и к невозможности их отладки и сопровождения [1]. Поэтому на сегодняшний день особо важную актуальность приобретают исследования и разработки, направленные на повышение эффективности средств обучения и контроля знаний, а также сокращение затрат на разработку и возможность упрощения насколько возможно их разработки с целью преодоления сложности разработки ИСО. Наиболее значимые перспективы в направлении разработки эффективных средств обучения и контроля знаний связаны с разработкой ИСО и контроля знаний, а также средств автоматизации их проектирования. Напомним, что одной из первых ИСО считается SCHOLAR [2].

В течение первых нескольких лет исследования в области ИСО исследователи и разработчики работали в направлении создания предметно-ориентированных систем. Многие ученые того времени, в том числе и известные на тот момент D. Sleeman и J.S. Brown, выступали с критикой этого направления, отмечая тот факт, что «ИОС полностью отказались от одной из ранних целей компьютерного обучения, а именно от поддержки широких учебных курсов и сконцентрировались на более узких предметах» [3].

В качестве основных целей создания ИОС указываются следующие [1]:

- развитие динамической адаптивной обучающей среды;
- организация эффективной диагностики ошибок обучаемого;
- облегчение значительных усилий по подготовке учебного материала.

В соответствии с указанными целями предполагается, что в ИСО должны быть максимально полно автоматизированы основные функции обучающих систем: предъявления учебной информации, контроля обучения и управления познавательной деятельностью обучаемого [1].

ИСО и контроля знаний динамически формируют содержимое программ обучения (учебную информацию, задачи, разъяснения, помощь и т.д.) в соответствии с текущей ситуацией в процессе обучения, в отличие от традиционных обучающих систем, которые обучают по заранее заданному определенному сценарию. Для обеспечения динамичности формирования содержания компьютерных программ обучения ИСО должны иметь знания о предметной области. Для формирования такой базы знаний о предметной области необходима формализация перечисленных знаний, которую необходимо осуществить построением моделей представления знаний, для чего используют соответствующие языки и формы представления знаний. В работе [4] нами была рассмотрена история возникновения различных интеллектуальных средств обучения и их архитектур для более ранних интеллектуальных систем. Говоря о более современных ИСО, можно сказать, что боль-

шинство исследователей [5, 6] выделяют (с некоторыми различиями) следующие основные составляющие архитектуры ИСО:

- база знаний (модель знаний о предметной области);
- решатель задач (машина обработки знаний);
- интеллектуальный интерфейс.

Иногда в отдельные составляющие выделяются: модель обучаемого, блок управления диалогом, подсистема модели обучения и др.

Перечисленные составляющие архитектуры ИСО являются обобщенными. В процессе эволюционного развития ИСО и контроля знаний предлагались различные их архитектуры, некоторые в значительной степени подобные, но другие радикально отличающиеся. Ведь различные концепции обучения накладывали и сейчас накладывают различные акценты на аспекты учебного процесса, а значит и на структуру обучающих программ. В самом деле, из-за экспериментальной природы области разработки интеллектуальных средств и по сей день, даже к так называемой обобщенной архитектуре, следует относиться с определенной долей скептицизма и определенно не следует рассматривать в качестве основы для всех ИСО. Конкретные реализации интеллектуальных средств обучения могут отличаться от приведенного описания. *База знаний.* Для представления знаний в обучающих системах, в зависимости от характера предметной области обучения, используются те или иные модели представления знаний, разработанные для систем искусственного интеллекта (ИИ) [7].

Наиболее удачно и успешно вопросы формализации знаний решаются в таких предметных областях обучения, как математика. Сейчас более чем когда-либо математические навыки имеют основополагающее значение для успешной работы в любой сфере деятельности, в том числе и в образовании. Если раньше высокий уровень математических способностей требовался для работы в области науки и исследований, то сейчас все большее число рабочих мест более низких уровней требуют математических навыков для работы высокотехнологичного оборудования [8].

Одним из подходов повышения эффективности изучения математики во многих странах является использование ИСО для использования преимуществ достижений в области когнитивной науки и искусственного интеллекта, а также развивающейся власти Интернета, поэтому актуальность исследований в области разработки ИСО и контроля знаний более чем оправдана. Некоторые особенности дифференциации интеллектуальных репетиторов от более традиционных компьютеров на основе инструкции, в том числе право контекстуально отслеживать производительность студента и тщательно корректировать учебный подход, основанный на потребности в обучении студента [9].

Для представления знаний предметной области математики в формализованном виде могут быть использованы следующие часто используемые и популярные на сегодняшний день модели представления знаний: логические модели, продукционные модели, сетевые модели, фреймовые модели, математические модели. Модели представления знаний относятся к прагматическому направлению (основано на предположении о том, что мыслительная деятельность человека - «черный ящик») в исследованиях по ИИ [10].

Достоинствами логической модели представления знаний являются единственность теоретического обоснования и возможность реализации системы формально точных определений и выводов [10].

Основным достоинством продукционных моделей являются простота создания, простота пополнения и редактирования, простота механизма логического вывода. Основным же недостатком - низкая эффективность обработки, отличие от человеческой структуры знаний, отсутствие гибкости в логическом выводе.

Основным преимуществом фреймовой модели представления знаний является то, что она отражает концептуальную основу организации памяти человека, а также ее гибкость и наглядность [10].

Наиболее организации долговременной памяти человека соответствуют сетевые модели представления знаний, но они являются наиболее сложными в создании и модификации. Это так называемые семантические модели представления знаний.

Проанализировав технологии обработки семантических моделей представления знаний, в нашей работе по проектированию ИСО и контроля знаний по элементарной алгебре мы опираемся на комплексную открытую технологию проектирования интеллектуальных систем OSTIS, ориентированную на семантическую модель представления знаний.

Для создания базы знаний ИСО мы четко структурировали модель базы знаний предметной области элементарной алгебры, представленную в виде семантической сети. Для кодирования указанной семантической сети, описывающей различные виды знаний указанной предметной области, использовали универсальный абстрактный язык семантических сетей SC-код (Semantic Computer Code).

В результате работ [11-14] разработана база знаний ИСО и контроля знаний по элементарной алгебре. На сегодняшний день ведутся работы по расширению базы знаний путем добавления в нее новых видов знаний до следующей структуры (см. табл.).

Раздел	Понятия и отношения
Раздел 1. Цифры и числа	Целое число, дробное число, совершенное число, алгебраическое число, натуральное число, арифметические операции с натуральными числами, вещественное число, комплексное число, арифметические операции с комплексными числами, квадрат числа, куб числа, модуль числа, факториал, округление, десятичный логарифм, среднее арифметическое, тождество, равенство, неравенство, пропорция, выражения
Раздел 2. Арифметические знаки	Знаки сравнения: больше, меньше, намного больше, намного меньше, больше или равно, меньше или равно
Раздел 3. Одночлен и многочлен	Одночлен, арифметические операции с одночленами, многочлен, арифметические операции с многочленами
Раздел 4. Системы счисления	Система счисления, двоичная система счисления, восьмеричная система счисления, десятичная система счисления, шестнадцатеричная система счисления
Раздел 5. Последовательности	Числовая последовательность, предел последовательности, возрастающая последовательность, убывающая последовательность
Раздел 6. Прогрессии	Прогрессия, арифметическая прогрессия, геометрическая прогрессия
Раздел 7. Уравнения (во всем разделе будет переход к понятиям переменная, интервал)	Уравнение, линейное уравнение, показательное уравнение, логарифмическое уравнение, квадратное уравнение, уравнение с параметром (будет переход к понятию параметр), трансцендентное уравнение, дифференциальное уравнение, дифференциальное уравнение 1-го порядка, равносильные уравнения
Раздел 8. Функции (во всем разделе будет переход к понятиям переменная, интервал)	Функция, линейная функция, постоянная функция, периодическая функция, степенная функция, степенная функция с отрицательным дробным показателем, степенная функция с положительным дробным показателем, тригонометрическая функция, монотонная функция, обратная функция, обратимая функция

Раздел 9. Интегралы (во всем разделе будет переход к понятию интервал)	Интеграл, определенный интеграл, неопределенный интеграл, предел интегрирования
Раздел 10. Ряды	Ряд, числовой ряд, натуральный ряд, тригонометрический ряд, функциональный ряд, степенной ряд, ряд Фурье, ряд Тейлора

Данная структура не окончательна и может быть еще дополнена понятиями и отношениями.

Решатель задач. В ряде систем обучения реализованы решатели задач для конкретных предметных областей. Гипотетически возможно существование универсального решателя задач, объединяющего в себе все известные способы и методы решения задач [15]. Проблемы построения универсального решателя и соответственно универсальных интеллектуальных средств обучения на сегодняшний день остаются открытыми. Причем в различных интеллектуальных системах могут применяться различные модели решателей задач. Проанализировав их, наиболее приемлемым вариантом становится создание библиотеки компонентов, из которых впоследствии может быть скомпилирован решатель, который будет удовлетворять необходимым требованиям.

Как и в случае с созданием базы знаний нашего ИСО и контроля знаний, так и в случае создания решателей задач нами выбрана семантическая технология. В работе [15] одним из достоинств семантической технологии компонентного проектирования интеллектуальных решателей задач выделена предметная независимость системы операций, используемых решателем, что позволяет не привязываться к конкретной предметной области. Основным требованием, предъявляемым при таком подходе к реализации моделей решения задач, является представление их в соответствующем формальном виде – как многоагентной системы, работающей над общей памятью.

Как правило, в компьютерных системах обучения используются ответы трех видов: выборочные, выборочно-конструируемые и конструируемые (свободно конструируемые) [16-18].

В проектируемом нами ИСО и контроля знаний машина обработки знаний или решатель, так же как и сама база знаний, разрабатывается средствами семантической технологии компонентного проектирования OSTIS. Как и любые другие системы, разрабатываемые по технологии OSTIS, разрабатываемое нами ИСО и контроля знаний по элементарной алгебре строится на базе многоагентного подхода.

К примеру, рассмотрим фрагмент решения задачи на определение модуля числа в ИСО и контроля знаний по элементарной алгебре (рис. 1, 2).

На данных рисунках показан фрагмент калькулятора, внедренного в интеллектуальное средство обучения. Калькулятор разработан на основе многоагентного подхода, таким образом система операций калькулятора является агентно-ориентированной и представляет собой набор операций, условием выполнения которых является появление в памяти системы некоторой определенной конструкции из базы знаний. Работы по созданию ИСО и контроля знаний по элементарной алгебре продолжаются. На сегодняшний день разработан ряд агентов обработки знаний, ориентированных непосредственно на предметную область чисел:

- агент нахождения наибольшего общего делителя двух чисел;
- агент нахождения наименьшего общего кратного двух чисел;
- агент решения системы двух линейных уравнений;
- агент решения квадратного уравнения и другие.

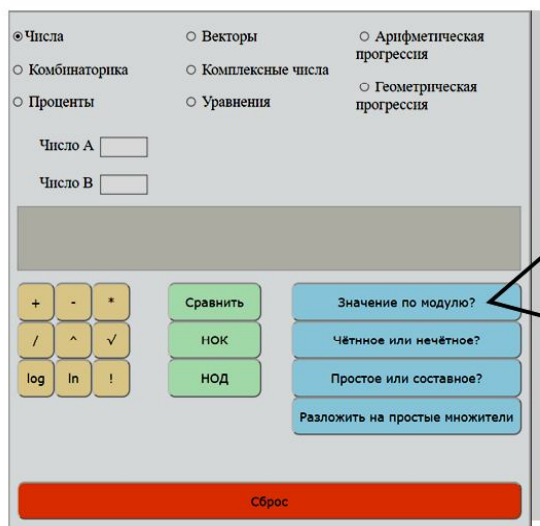
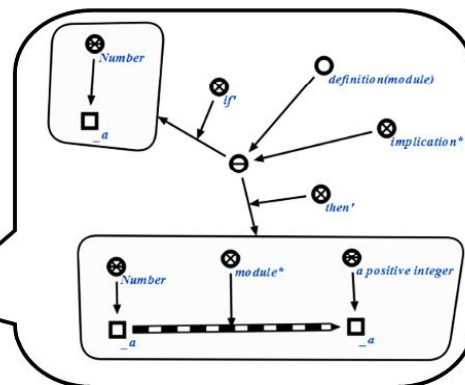
Рисунок 1 - Фрагмент интеллектуального
решателя задач

Рисунок 2 - Фрагмент базы знаний

Создание и развитие ИСО и контроля знаний продолжают находиться в центре внимания многих современных исследователей, как зарубежных, так и отечественных.

Список литературы

1. Галеев И.Х. Проблемы и опыт разработки ИОС // Междунар. электронный журнал «Образовательные технологии и общество (Educational Technology & Society)» - 2014. - № 4. - Т. 17. - С.526-542. - URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/problemy-i-opyt-proektirovaniya-ios>.
2. [Carbonell J.R. AI in CAI: An artificial intelligence approach to computer-assisted instruction // IEEE Transactions on Man-Machine Systems. - 1970. - V. MMS-11. - № 4. - P. 190-202.
3. Sleeman D., Brown J.S. Intelligent Tutoring Systems, Academic Press, 1982, ISBN: 0-12-648680-8.
4. Искусственный интеллект и образование: обзор интеллектуальных средств обучения. - Вестник ЕНУ им. Л.Н. Гумилева. - 2016. - № 4 (113). - Ч. 1. - с. 113-118.
5. Довгялло А.М. Обучающие системы нового поколения / А.М. Довгялло, Е.Л. Юценко // Управляющие системы и машины. - 1988. - № 1. - С.83-86.
6. Галеев И.Х. Модели и методы построения автоматизированных обучающих систем (обзор) // Информатика. Науч.-техн. сб. Сер. Кадровое обеспечение. - В. 1. - М.: ВМНУЦ ВТИ, 1990. - С. 64-72.
7. Представление знаний в человеко-машинных и робототехнических системах. Т.А. Фундаментальные исследования в области представления знаний / Под ред. Д.А. Поспелова. - М.: ВИНТИ, 1984. - 261 с.
8. Agondi, R., Harris, B., Atkins-Burnett, S., Heavyside, S., Novak, T., & Murphy, R. (2009). Achievement effects of four early elementary school math curricula: Findings from first graders in 39 Schools (NCEE2009-4052). Washington, DC: National Center for Education Evaluation and Regional Assistance, Institute of Education Sciences, U.S. Department of Education.
9. Woolf B.P. (2009). Building intelligent interactive tutors. New York: M. Kaufman.
10. Белоус Е.С. Современные модели представления знаний в обучающих системах журнала «Ученые записки. Электронный научный журнал Курского государственного университета» / Е.С. Белоус, В.А. Кудинов, М.Э. Желнин. - 2010. - № 1 (13). - URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-modeli-predstavleniya-znaniy-v-obuchayuschih-sistemah#ixzz4VWcJUfKf>.
11. Шарипбай А.А. Проектирование базы знаний интеллектуальной справочной системы по алгебре / А.А. Шарипбай, А.С. Омарбекова, Г.Ш. Нургазина // Материалы Междунар. науч.-техн. конф. OSTIS (Минск, 19-21 февр. 2015). - Минск: БГУИР, 2015. - с. 157-160.

12. On creation of the intelligent help system Journal of Theoretical and Applied Information Technology: Pakistan, 10th April 2016. Vol.86. No.1, p. 26-33 ISBN 1992-8645, входящий в базу данных Scopus (Elsevier, Нидерланды) SJR 0.151 www.jatit.org.
13. Designing of intelligent reference system for algebra based on the knowledge database. 2015 International Conference on Control, Automation and Artificial Intelligence (CAAI2015): Phuket, Thailand, August 23-24, 2015, p. 230-235 <http://www.caii2015.org>.
14. OSTIS интеллектуалдық жүйелерді жобалау кешенді ашық технологиясы негізінде білім қорын жобалау. – Вестник ВКГТУ: Усть-Каменогорск, 2015. – № 2(68). – с. 141-146.
15. Заливако С.С. Семантическая технология компонентного проектирования интеллектуальных решателей задач / С.С. Заливако, Д.В. Шункевич // Материалы Междунар. науч.-техн. конф. «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем» (Минск, 12-15 февр. 2012). – Минск: БГУИР, 2012. – С. 297-313.
16. Галеев И.Х. Адаптивное обучение и тестирование / И.Х. Галеев, Д.Л. Храмов, А.П. Светлаков // Материалы Всеросс. науч.-метод. конф. «Развитие методов и средств компьютерного адаптивного тестирования», 17-18 апр. 2003. – С. 33-35.
17. Галеев И.Х. Компьютерный контроль знаний (локально и дистанционно) / И.Х. Галеев, В.Г. Иванов, Д.Л. Храмов; Под ред. И.Х. Галеева. – Казань: Казанский государственный технологический университет, 2005. – 126 с.
18. Галеев И.Х. Сравнительный анализ программных комплексов TestMaker и ACT-Test / И.Х. Галеев, В.Г. Иванов, Н.В. Аристова // Междунар. электронный журнал «Образовательные технологии и общество (Educational Technology & Society)». – 2007. – V. 10. – № 3. – С.336-360. – URL: <http://ifets.ieee.org/russian/periodical/journal.html>.

Получено 2.02.2017

УДК 665.63: 51.001.57

Б.Б. Оразбаев, Ж.М. Калымов

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана

Л.Т. Курмангазиева

Атырауский государственный университет им. Х. Досмухамедова, г. Атырау

Б.Е. Утенова

Атырауский институт нефти и газа, г. Атырау

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ НЕЧЕТКОГО МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

В условиях неопределенности, вызванной из-за нечеткости исходной информации по ряду объективных причин, применение вероятностных методов, традиционных методов математического программирования для оптимизации производственных планов и процессов не оправданы. Более того, в случаях, когда есть основания считать, что исследуемые объекты ведут себя по вероятностным законам, дефицит информации, недостаточность статистических данных, экономическая нецелесообразность их сбора и обработки толкают на иные пути описания реальных процессов, на построение нестатистических, например нечетких схем формализации и решения задачи оптимизации.

Задачи оптимизации производственных планов и процессов, решаемые на основе методов математического программирования, как правило, являются многокритериальными, так как работа таких объектов описывается несколькими локальными критериями. Кроме того, формализация и решение таких задач усложняются тем, что они часто описываются нечетко, характеризуются нечеткостью исходной информации, критериев и ограничений.

Рассмотрим результаты анализа подходов к оптимизации и управлению производственными объектами в условиях неопределенности [1, 2]. Один из подходов, давший значи-

тельные успехи в решении задач оптимизации, достаточно сложных процессов в условиях неопределенности, был разработан в середине 50-х годов прошлого века Данцигом в работе по анализу чувствительности решения в задачах линейного программирования [3].

Другой подход к решению проблем нехватки достоверной информации при оптимизации производственных процессов рассматривается в работах по стохастическому программированию [4, 5], в которых обсуждаются вопросы построения работоспособных алгоритмов оптимизации в условиях зашумленной информации, а также проблемы анализа точности решения по известным вероятностным характеристикам используемой информации.

Следует отметить, что в этих подходах для анализа состояния производственных объектов и процессов используется четкая информация, а влияние размытости информации учитывалось в моделях не явно. Однако необходимость учета нечеткой информации, представленной в виде суждений специалистов-экспертов (руководителя, лица, принимающего решения) о функционировании объекта и отражающей их предпочтения в процессе выбора решений при оптимизации и управлении производством в математических моделях и в задачах управления, стимулировала развитие новых подходов [2, 6]. Важность этих подходов объясняется и тем, что многие производственные объекты функционируют в условиях неопределенности, а основным или единственным источником информации является человек, который выражает свои суждения, как правило, качественно, с помощью нечетких высказываний.

Методы непосредственного анализа влияния размытости информации на характер решения задач оптимизации и управления используют либо аппарат теории вероятностей и математической статистики [7-9], либо теорию нечетких множеств [6, 10-15].

В вероятностном подходе с параметрами математических моделей связываются функции плотности распределения объективной вероятности. Этот подход является достаточно хорошо изученным. Однако очень часто нет существенных оснований для предположения о наличии в множестве исследуемых объектов статистической устойчивости (многократная воспроизводимость результатов эксперимента в одинаковых условия), при выполнении которой вероятностный подход оправдан. В работах [12, 13, 15, 17] было показано, что ряд задач моделирования и оптимизация в условиях неопределенности невозможно формализовать в рамках теории вероятностей с классическим определением объективной вероятности. Это в первую очередь относится к задачам синтеза моделей и оптимизации при нечеткой исходной информации и к задачам учета субъективной информации типа уверенности эксперта в том или ином суждении или предпочтений ЛПР при выборе того или иного решения.

Таким образом, задачи оптимизации производственных планов и процессов, задач принятия оптимального решения по управлению производственными объектами можно свести к задачам математического программирования, для которых существуют хорошо изученные и эффективные подходы к решению [12, 18, 19].

Обобщения задач математического программирования на класс нечетких чисел и некоторые подходы к решению таких задач нечеткого математического программирования (НМП) обсуждаются в работах [17, 20-23]. В основном в этих работах задачи НМП сводятся к задачам достижения нечетко определенной цели, которые решаются на основе подхода Беллмана - Заде, т.е. рассматриваются пересечение функции принадлежности достижения нечеткой цели ($\mu_G(x)$) и выполнения ограничений ($\mu_R(x)$) [17]:

$$\mu_D(x) = \min\{\mu_G(x), \mu_R(x)\},$$

где $\mu_D(x)$ - функция принадлежности решений.

При таком представлении решения возникает проблема, связанная с тем, какую альтернативу выбрать. Один из наиболее известных способов состоит в выборе альтернативы, имеющей максимальную степень принадлежности нечеткому решению D :

$$\max_{x \in X} \mu_D(x) = \max_{x \in X} \min\{\mu_G(x), \mu_K(x)\}$$

Другой известный подход к решению задач НМП заключается в том, что исходная задача на этапе постановки заменяется эквивалентной детерминированной.

Применение этих подходов к решению производственных задач, характеризующихся, как правило, многокритериальностью и большой размерностью, затруднено, так как требует больших вычислительных затрат, возникают проблемы неудобства использования их пользователями - производственным персоналом (им требуется знать основу теории). Кроме того, в этих подходах теряется часть исходной нечеткой информации (описания).

Формализация и постановка задачи оптимизации в нечеткой среде. Пусть перед заводом нефтяного оборудования стоит задача оптимизации плана по выпуску двух типов буровых долот вида: D_1 и D_2 . Их производство нечетко ограничено наличием сырья (искусственных алмазов) и временем обработки на станках.

Для каждого изделия D_1 требуется примерно 4 кг искусственного алмаза, а для изделия D_2 - около 5 кг. Завод может получить от своих поставщиков до 100 кг искусственных алмазов в неделю. Для изготовления каждого долота D_1 требуется около 12,5 часов времени работы на станках, а для изготовления одного долота типа D_2 - не более 10 часов. Таким образом, ограничения являются нечеткими. В неделю можно использовать до 240 часов времени работы на станках. Можно купить дополнительное сырье и использовать дополнительное время, но за более высокую цену.

Сколько изделий (долот) каждого типа следует выпускать заводу в неделю, если каждое изделие типа D_1 приносит 5 долларов прибыли, а каждое изделие типа D_2 - 7 долларов.

Для формализации этой задачи обозначим через x_1 и x_2 количество выпущенных за неделю изделий, соответственно долот типов D_1 и D_2 . Задача состоит в том, чтобы найти наилучшие значения, т.е. оптимальный план выпуска долот x_1 и x_2 , которые максимизируют еженедельную прибыль $f(x)$ ($x=(x_1, x_2, x_3)$), определяемую выражением:

$$f(x) = 5x_1 + 7x_2. \quad (1)$$

Выражение (1) является целевой функцией (критерием), который необходимо максимизировать. Как видно из структуры критерия, чтобы увеличить $f(x)$, надо увеличить x_1 и x_2 , но (и в этом суть проблемы) значения этих переменных не могут быть увеличены неограниченно, так как ограничены лимитами на сырье и временем обработки. Как уже отмечалось, эти ограничения носят *нечеткий характер*.

Поскольку x_1 и x_2 выражают еженедельный объем выпускаемых изделий, то они не могут быть отрицательными, т.е.:

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0. \quad (2)$$

Ограничения на наличие искусственного алмаза и времени обработки математически записываются в виде следующих нечетких неравенств;

$$4x_1 + 5x_2 \lesssim 100 \text{ (для сырья)}, \quad (3)$$

$$12,5x_1 + 10x_2 \lesssim 250 \text{ (для времени обработки)}. \quad (4)$$

Следовательно, сформулированная задача состоит в том, чтобы найти количество выпускаемых изделий каждого типа (плана производства), т.е. значения x_1 и x_2 , удовлетворяющие условиям неотрицательности (2) и максимизирующие критерии $f(x)$.

Разработка метода решения задачи нечеткого математического программирования.

Задачу (1) - (4) перепишем в стандартном для задач математического программирования виде:

$$f(x) = 5x_1 + 7x_2 \rightarrow \max \quad (5)$$

$$\text{при } 4x_1 + 5x_2 \lesssim 100 \text{ (нечеткое ограничение на сырье),} \quad (6)$$

$$12.5x_1 - 10x_2 \lesssim 250 \text{ (нечеткое ограничение на времени обработки),} \quad (7)$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0. \quad (8)$$

Для большей наглядности построим области, определяемые нечеткими ограничениями (нечеткими неравенствами) $4x_1 + 5x_2 \lesssim 100$, $12.5x_1 + 10x_2 \lesssim 250$ (рис. 1).

Строим сначала линию $4x_1 + 5x_2 \lesssim 100$, описывающую нечеткое ограничение (6), по двум точкам с координатами $x_1=0, x_2=20$ и при $x_1=25, x_2=0$. Нанесем точки с координатами (0, 20), (25, 0) на графике и проведем нечеткую прямую f_1 . Чтобы установить, какая часть плоскости определяется неравенством $4x_1 + 5x_2 \lesssim 100$, подставим произвольные координаты точки, например (30, 30), получим противоречие ($120+150>100$), т.е. нечеткое неравенство определяет полуплоскость, не содержащую точку с координатами (30, 30). Аналогично строим нечеткую линию $12.5x_1 + 10x_2 \lesssim 250$ (в точках (0,25) и (20, 0)) и установим направление допустимой плоскости.

Ограничения (8) указывают на то, что решение находится в первом квадранте ($x_1 \geq 0, x_2 \geq 0$).

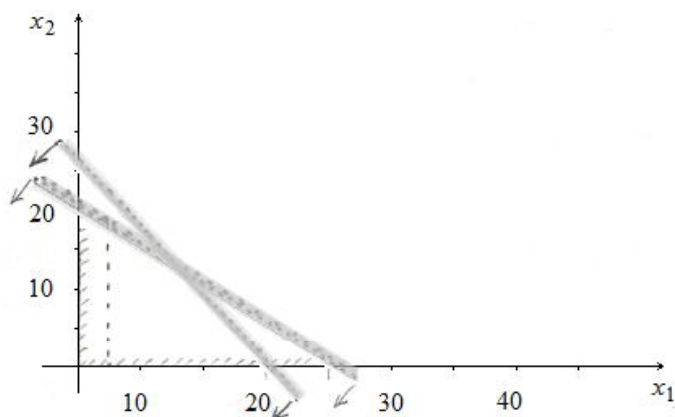


Рисунок 1 - Допустимая область решений

Для решения приведенной задачи воспользуемся различными подходами. Сначала, задавая жесткие ограничения, задачу преобразуем к обычной (четкой) задаче математического программирования:

$$f(x) = 5x_1 + 7x_2 \rightarrow \max,$$

$$4x_1 + 5x_2 \leq 100,$$

$$12.5x_1 + 10x_2 \leq 250,$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0 \text{ (целые)}.$$

Для решения этой задачи на основе симплекс-метода введем новые переменные x_3 и x_4 :

$$x_3 = 100 - 4x_1 - 5x_2,$$

$$x_4 = 250 - 12.5x_1 - 10x_2,$$

$$x_3 \geq 0, x_4 \geq 0$$

и составим следующие симплекс-таблицы (табл. 1).

Таблица 1

0	1	$-x_1$	$-x_2$
x_3	100	4	5
x_5	250	12,5	10
f	0	-5	-7

Этой таблице соответствует опорный план $x_1=0$, $x_2=0$; $x_3=100$, $x_4=250$. Значение целевой функции f для этого плана равно нулю. Этот план неоптимален, т.к. в строке целевой функции « f » есть отрицательные элементы (-5), (-7).

Выберем из этих чисел наименьшее отрицательное (-7), тогда столбец ($-x_2$) будет разрешающим. Согласно алгоритму числа, находящиеся в разрешающем столбце «1», делим на числа, находящиеся в столбце (x_2): $100/5=\underline{20}$; $250/10=\underline{25}$. Наименьшее положительное отношение достигается в строке x_3 , которая берется разрешающей. Тогда разрешающий элемент будет 5.

Далее строится новая табл. 2. В ней меняются местами x_3 и x_2 .

Таблица 2

0	1	$-x_1$	$-x_3$
x_2	20	4/5	1/5
x_4	50	6,5	-2
f	140	3/5	7/5

В табл. 2 элементы разрешающей строки и разрешающего столбца определяются делением старых значений на разрешающий элемент, т.е. на «5». Остальные элементы определяются по правилу прямоугольника:

$$250 \Rightarrow (250 \cdot 5 - 100 \cdot 10) / 5 = 50,$$

$$12,5 \Rightarrow (12,5 \cdot 5 - 4 \cdot 10) / 5 = 6,5,$$

$$0 \Rightarrow (0 \cdot 5 - 100 \cdot (-7)) / 5 = 140,$$

$$-5 \Rightarrow ((-5) \cdot 5 - 4 \cdot (-4)) / 5 = 3/5.$$

Соответствующий план к таблице 2: $x_1=0$; $x_2=20$; $x_3=0$; $x_4=50$; целевая функция $f=140$.

Этот план оптимален, так как строка « f » состоит из неотрицательных элементов, поэтому $f_{\max}=140$. Таким образом, если завод будет выпускать долота типа D_2 20 штук в неделю (изделия D_1 не выпускается, $x_1=0$), то он имеет 140 долларов прибыли в неделю. При любом другом количестве выпуска изделий при заданных жестких ограничениях завод будет иметь относительно малую прибыль.

Теперь рассмотрим нечеткий подход к решению этой задачи на основе методов нечеткого математического программирования. Так как ограничения нечеткие, они являются приближенными, и допускается их нарушение до определенной степени.

Нормализовав критерий $f(x)$, получим: $\mu_0(x) = \varphi(f(x)) \in [0,1]$, задачу (5)-(8) с учетом нечетких ограничений приведем к общему виду НМП:

$$\max_{x \in X} \mu_0(x) \quad (9)$$

$$\text{при } f_q(x) \lesssim b_q, q = 1, 2, \quad (10)$$

$$x_i \geq 0, i = 1, 2. \quad (11)$$

Предположим, что для каждого ограничения построены функции принадлежности выполнения ограничений: $\mu_q(x)$, $q=1,2$ и определен ряд приоритета ограничений $I=\{1, 2\}$.

Тогда на основе идеи метода главного критерия нечеткая задача (9)-(11) примет следующую постановку:

$$\max_{x \in X} \mu_0(x),$$

$$X = \{x : x \in \Omega \wedge \arg(\mu_q(x) \geq \mu_q^{\Gamma}), q = 1, 2\}.$$

Нормализацию целевой функции осуществляем на основе следующего выражения:

$$\mu_0(x) = \frac{f(x) - \inf_{x \in X} f(x)}{\sup_{x \in X} f(x) - \inf_{x \in X} f(x)} = \frac{f(x) - 0}{155 - 0}, \text{ где } 155 - \text{максимально возможная прибыль.}$$

Для решения этой задачи используем алгоритм FMP, основанный на модификации идеи метода главного критерия (ограничения).

1. Пусть более важным ограничением является ограничение на время обработки. Зададим следующий ряд приоритета ограничений: $I = \{1, 2\}$, где 1 - ограничение на время обработки (7), 2 - ограничение на сырье (6).

2. С учетом мнений ЛПР, производственного персонала определим терм-множество и построим функции принадлежности выполнения каждого ограничения, $\mu_q(x)$, $q = 1, 2$:

$$\mu_1(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } 12,5x_1 + 10x_2 \leq 245 \\ 1 - [255 - (12,5x_1 + 10x_2)]/5, & \text{если } 245 < 12,5x_1 + 10x_2 < 255 \\ 0, & \text{если } 12,5x_1 + 10x_2 \geq 255 \end{cases}$$
$$\mu_2(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } 4x_1 + 5x_2 \leq 85 \\ 1 - [155 - (4x_1 + 5x_2)]/15, & \text{если } 85 < 4x_1 + 5x_2 < 155 \\ 0, & \text{если } 4x_1 + 5x_2 \geq 155, \end{cases}$$

где $r_1=5$, $r_2=15$ - допустимые пороги.

3. ЛПР назначают начальные граничные значения ограничений $\mu_q^{\Gamma(r)}$, $q = 1, 2$, $r = 1$. Допустим, что заданы следующие граничные значения на степени выполнения ограничений: $\mu_1^{\Gamma(1)} = 0,90$; $\mu_2^{\Gamma(1)} = 0,65$.

4. Решаем задачу максимизации целевой функции $\mu_0(x)$ на допустимом множестве X , определим набор решений:

$$x^*(\mu_q^{\Gamma(r)}), \mu_0(x^*(\mu_q^{\Gamma(r)})), \mu_1(x^*(\mu_q^{\Gamma(r)})) \text{ и } \mu_2(x^*(\mu_q^{\Gamma(r)})).$$

В результате моделирования и поиска оптимальных значений x_1 , x_2 с учетом нечеткости ограничения определяется значение целевой функции больше чем 140 долларов, полученного при четком решении задачи.

Например, при $x_1=5$; $x_2=18$ (см. рис. 1) получим:

$$f(x) = 5 \cdot x_1 + 7 \cdot x_2 = 5 \cdot 5 + 7 \cdot 18 = 25 + 126 = 151 \text{ долларов;}$$

$$\mu_1(x) = 1, \text{ т.к. } 12,5 \cdot x_1 + 10 \cdot x_2 = 242,5 \leq 245;$$

$$\mu_2(x) = 1 - [155 - (4 \cdot x_1 + 5 \cdot x_2)]/15 = 1 - 5/15 = 0,67.$$

Тогда задача имеет вид:

$$\max_{x \in X} \mu_0(x) = \max_{x \in X} (f(x)/155),$$

$$X = \{x : x \in \Omega = [x_i \geq 0, i = 1, 2] \wedge \arg(\mu_1(x) \geq 0,90) \wedge \arg(\mu_2(x) \geq 0,65)\}.$$

Получим следующее решение:

$$\begin{aligned}
 x^*(\mu_q^{\Gamma(r)}) &= (5, 18), q = 1, 2; \\
 \mu_0(x^*(\mu_q^{\Gamma(1)})) &= 0,97 \Rightarrow f(x^*) = 151; \\
 \mu_1(x^*(\mu_q^{\Gamma(1)})) &= 1; \\
 \mu_2(x^*(\mu_q^{\Gamma(1)})) &= 0,67.
 \end{aligned}$$

Как видно, в полученном решении удовлетворяются заданные требования к ограничениям, и получается относительно (по сравнению с результатами при четком решении задачи) большое значение целевой функции. Ограничение с приоритетом 1 (на время обработки) не нарушается, т.е. выполняется полностью (функции принадлежности выполнения этого ограничения $\mu_1(x^*(\mu_q^{\Gamma(1)})) = 1$), функция принадлежности выполнения ограничения с приоритетом 2 (на сырье) равно $\mu_2(x^*(\mu_q^{\Gamma(1)})) = 0,67$ (заданное граничное значение этой функции равно 0,65, т.е. $\mu_2(x) \geq 0,65$). Таким образом, за счет учета нечеткости ограничений мы достигли улучшения значений целевой функции.

На основе метода главного критерия получена постановка задачи НМП для оптимизации производственного плана и процессов на примере плана выпуска буровых долот заводом нефтяного оборудования. Путем модификации метода главного критерия для работы в нечеткой среде предложен эффективный метод и эвристический алгоритм решения поставленной задачи НМП. Новизна предлагаемого метода формализации и решения задачи НМП, в отличие от известных методов, заключается в том, что на основе максимального использования исходной нечеткой информации достигается более адекватное и оптимальное решение исходной производственной задачи в нечеткой среде. Кроме того, использование различных компромиссных схем принятия решений в зависимости от доступной информации позволяет в удобном для ЛПР виде решить проблему многокритериальности производственных задач.

Приведены результаты реализации применения предложенного подхода на практике для оптимизации производственного плана завода по производству нефтяного оборудования с учетом нечеткости ограничений. При этом определено более оптимальное решение формализованной задачи НМП, которое является лучшим, чем результаты при решении исходной нечеткой задачи при детерминированном варианте.

Список литературы

1. Оразбаев В.Б. Подходы к моделированию и управлению сложными объектами в условиях неопределенности // Аналитический обзор. – КазГосИнТИ, 1994. – 22 с.
2. Rykov A.S., Orazbaev B.B., Kuznetsov A.G. Fuzzy sets application for modeling and control of rectification technology. Preprints IFAC, International Symposium ADCHEM 91. – Toulouse: France, 95-99, (1991).
3. Dantzig Dj. Linear programming, its generalization and application. – Progress, 1966.
4. Ермолаев Я.М. Методы стохастического программирования. – М.: Наука, 1976. – 325 с.
5. Guanghai L.: An optimal method for stochastic composite optimization. Mathematical Programming. Vol. 133, 365-397, 2012.
6. Оразбаев В.Б. Математические методы оптимального планирования и управления производством // Изд-во «Фылым». – Алматы, 2001. – 200 с.
7. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. пособие. – 12-е изд., перераб. – М.: Высшее образование, 2006. – 479 с.
8. Айвазян С.А. Прикладная статистика: Исследование зависимостей / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М: Финансы и статистика, 1985. – 405 с.
9. Zhi-Wen Zhao, De-Hui.: Wang Statistical inference for generalized random coefficient autoregressive model. Mathematical and Computer Modelling. Vol. 56, 152-166. 2012.
10. Dubois, D.: The role of fuzzy sets indecision sciences: Old techniques and new directions. Fuzzy Sets and Systems Vol. 184, 3-28, 2011.

11. Zadeh, L.A.: Fuzzy Sets. Information and Control. Vol 8, 338-353, 1965.
12. Оразбаев Б.Б. Теория и практика методов нечетких множеств: Учеб. для студентов вузов. – Алматы: Бастау, 2014.
13. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 166 с.
14. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.
15. Рыков А.П. Элементы теории нечетких множеств и ее приложений. – М.: МГУ, 2003. – 81 с.
16. Оразбаев Б.Б. Методы математического моделирования технологических систем при нечеткой исходной информации // Журнал Автоматизация и связь в нефтяной промышленности. – М. – 1994. – № 4. – С. 11-13.
17. Орловский С.А. Принятия решений с нечеткой информацией. – М. – 1981. – 206 с.
18. Кузнецов Ю.Н. Математическое программирование / Ю.Н. Кузнецов, В.Н. Кузубов, А.Б. Волошенко. – М.: Высшая школа, 1980.
19. Minoux, M.: Programmation mathematique. Theory et algorithms. Bordas et G.N.E.T. – E.N.S.T./ -Paris, 1979.
20. Зайченко Ю.П. Исследование операций: нечеткая оптимизация. – Киев: Вища школа, 1991.
21. Рыков А.С. Задачи и методы принятия решений. Многокритериальный нечеткий выбор / А.С. Рыков, Б.Б. Оразбаев. – Изд. МИСиС. – М. – 1995. – 124 с.
22. Рыков А.С. Применение методов нечеткого мат. программирования при оптимизации режимов работы технологических систем / А.С. Рыков, Б.Б. Оразбаев // Автоматизация и связь в нефтяной промышленности. – М. – № 1. – 1996. – С. 15-20.
23. Zimmermann H.J. Fuzzy programming and linear programming with several objective functions. Fuzzy Sets and Systems. N1, 45-55, 1978.

Получено 2.02.2017

УДК 004.42

Л.Р. Сулейменова, И.А. Бессмертный

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,
г. Усть-Каменогорск

**НАПРАВЛЕНИЕ РЕИНЖИНИРИНГА ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
МОНИТОРИНГА ВУЗА**

Важнейшей задачей для повышения качества образования является совершенствование системы мониторинга развития образования [1]. В ВКГТУ им. Д. Серикбаева разработана программа стратегического развития университета на 2015-2018 годы. Стратегический план является одним из основных документов, определяющих направления совершенствования деятельности вуза [2]. Для реализации перечисленных в указанных документах задач требуется информационная поддержка в виде информационной системы мониторинга развития вуза (ИСМРВ).

В казахстанских вузах имеется опыт разработки и использования информационных систем (ИС) по отдельным аспектам применения. Вместе с тем используемые системы функционируют автономно и не замкнуты в единую информационную сеть, что осложняет возможности их оперативного применения во внутривузовском управлении.

Можно определить следующие основные требования, предъявляемые к ИСМРВ.

Адаптируемость - это возможность системы приспосабливаться к меняющимся условиям бизнес-процессов и потребностям пользователей.

Объективность является относительным понятием, если учесть, что методы сбора информации являются субъективными. Данные должны быть получены из существующих и достоверных источников в автоматическом режиме.

Прозрачность определяется как состояние информированности (наличие полного, достаточного и достоверного знания) о той или иной деятельности (ее объектах или резуль-

татах) любого заинтересованного в этом субъекта [3]. Прозрачность инфраструктуры является необходимым условием для обеспечения ее управляемости [4].

Масштабируемость характеризует гибкость системы, способность учитывать изменения среды эксплуатации [5]. Информационная система должна функционировать на различных уровнях управления, например в СМРВ должна быть предусмотрена возможность функционировать с одним и тем же набором показателей мониторинга и на уровне кафедр, факультетов, и на уровне всего вуза.

Оперативность отражает актуальность информации, необходимой для расчетов и принятия решений в изменившихся условиях [6].

Персонализация - это возможность создания персонифицированных отчетов, т.е. детализация анализа в отношении структурных единиц и исполнителей.

Интеллектуальность систем зависит от их способностей к обучению, которые заложены в систему. В одном случае это способность в простом запоминании информации, в другом - приобретение навыков использования этой информации для решения задач, в третьем - формирование новых знаний в процессе использования уже имеющегося и т.п. Для реализации двух последних способностей развивается такое новое направление науки и техники, как представление знаний.

Унификация - приведение показателей в единый формат для всех вузов, так как у каждого вуза свои показатели оценки деятельности, которые они определяют согласно показателям международных рейтингов, программам МОН РК и внутренним положениям вуза.

Динамичность – необходим для того, чтобы отслеживать динамику исследуемого процесса, а также выявлять тенденции его развития.

Универсальность информационно-аналитической системы (ИАС) заключается в возможности оценивать эффективность деятельности как сотрудников и отдельных подразделений, так и предприятия в целом.

Существующие информационные системы вузов.

Корпоративная информационная система (КИС) ВКГТУ им. Д. Серикбаева представляет собой комплекс программ, направленных на автоматизацию и управление различными бизнес-процессами вуза. В КИС по управлению научно-образовательной деятельностью (НОД) вуза включена подсистема аналитической обработки данных, которая ориентирована на автоматизацию системы планирования и принятия решений по эффективному функционированию бизнес-процессов вуза. Применение индикативного планирования совместно с информационными технологиями дает возможность эффективно управлять вузом, достигать поставленных целей, повышать результативность НОД.

В Карагандинском государственном техническом университете в рамках автоматизированной информационной системы управления вузом функционируют подсистемы: «Приемная комиссия», «Деканат», «Кафедра», «Библиотека». Подсистемы автоматизируют функции, связанные с организацией учебного процесса вуза [7].

В КазНТУ им. К. Сатпаева внедрена корпоративная информационная система «Политех» - система, обеспечивающая автоматизацию функций структурных подразделений и отдельных специалистов вуза по всем направлениям учебно-методической деятельности и предоставляющая многие информационные сервисы [8].

КазНУ им. аль-Фараби разработаны КИС «UNIVER» и «Наука». ИС «UNIVER» позволяет развернуть платформу для электронного обучения; формирует фундамент для построения самоорганизующейся системы управления вузом; создает систему управления университетом, расширяет доступность и открытость образования; обеспечивает повышение рейтинга университета на рынке образовательных услуг; повышает оперативность и качество принятия управленческих решений. ИАС «Наука» предназначена для

автоматизации учета, анализа и мониторинга результатов научно-исследовательской и инновационной деятельности университета и дочерних научных организаций. ИАС «НАУКА» представляет собой интегрированную информационную систему [9].

В СКГУ им. М. Козыбаева внедрен информационно-аналитический комплекс управления вузом «Электронный ректорат», являющийся одной из передовых разработок в области информатизации образования и реализующий в комплексе все основные составляющие управления образовательным процессом. Внедрена система управления дистанционным обучением e-Learning NKZU [10].

КИС НИУ «МЭИ» позволяет обеспечить комплексную оптимизацию управления вузом по следующим направлениям: учебный процесс, управление контингентом и организационной структурой, договорная деятельность; организационное взаимодействие внутри вуза, представительство вуза в информационном сообществе [11].

В Оренбургском государственном университете (ОГУ) разработана, внедрена и функционально развивается ИАС ОГУ, относящаяся к классу интегрированных автоматизированных ИС управления высшим учебным заведением. Интеграция данных поддерживается за счет реализации в рамках ИАС ОГУ: единой модели базы данных, отражающей основные информационные потоки университета; единой системы показателей, характеризующих деятельность различных подразделений университета; унификации входных и выходных документов, соответствующих разным уровням управления; единой методики организации и обработки данных; соответствующего разграничения уровней доступа пользователей системы [12].

В Казанском федеральном университете разработана ИАС «Электронный университет», которая ориентирована на комплексную автоматизацию всех бизнес-процессов университета. В настоящее время ИАС состоит из следующих основных модулей: управление образовательным процессом; информационное обеспечение рабочего процесса и научно-исследовательской деятельности пользователя ИАС; управление финансово-хозяйственными процессами; поддержка процесса обеспечения структурных подразделений бесперебойной работой компьютерной техники и программного обеспечения [13].

В Сибирском государственном индустриальном университете разработана и поэтапно совершенствуется собственная система управления обучением. Система включает следующие укрупненные блоки: исследуемые объекты модельного, натурно-модельного и натурального типов для воспроизведения технологических, информационных и организационных процессов; нормативные модели деятельности обучаемых, а также учителя при решении конкретных задач освоения и совершенствования воспроизводимых процессов и обеспечивающих систем; методические, алгоритмические, программные и технические средства для эффективного выполнения функций учебно-исследовательского характера [14].

В основном разработанные системы направлены на мониторинг и анализ образовательной деятельности, а мониторинг и анализ научной деятельности выполняются не полностью. Мониторинг не только академической деятельности, но и научно-инновационной деятельности вуза позволит оценить эффективность реализации принятых программ, а также окажет содействие в принятии оптимальных решений на различных уровнях управления.

Анализ существующих ИС выявил недостаточную оперативность, невозможность обнаружения скрытых закономерностей в данных (см. табл.). В связи с этим необходима разработка методов и средств мониторинга на базе современных информационных технологий.

Результаты анализа ИС вузов

	Наименование критерия	Информационная система							
		ВКГТУ	КазНУ	ВКГУ	КарлГУ	НИУ МЭИ	ОГУ	МГУ	Казанский ГУ
1	Адаптируемость		+	н/д	н/д	+	н/д	н/д	н/д
2	Объективность	+-	+		+	-+	+	+	+
3	Открытость	+	+	+	+			+	+
4	Масштабируемость	+	+	+	+	+-	+	+	+
5	Оперативность	+	+	+	+		+	+	+
6	Персонализация	+	+		+	+	+	+	+
7	Интеллектуальность	-	-	-	-				
8	Унификация	ч	н/д	н/д	н/д	н/д	+	+	+
9	Динамичность	ч	н/д	н/д	н/д	н/д	+	н/д	н/д
10	Универсальность	+	+	н/д	+	+	+	+	+

Примечание. ч - частично, н/д – нет данных.

Анализируя полученные результаты в табл. 1, можно сказать, что общий недостаток всех систем следует из гетерогенности данных. Источники данных разработаны под решения конкретных задач и используются независимо друг от друга. На основе этого возникают проблемы унификации:

- проблемы именования схожих понятий предметной области;
- семантические конфликты (выбраны различные уровни абстракции для моделирования подобных сущностей реального мира);
- структурные конфликты (одинаковые сущности представляются в разных источниках разными структурами данных).

Основная причина этих проблем заключается в том, что характер данных плохо соотносится с реляционной моделью, используемой в базах данных вышеперечисленных систем. Наиболее соответствует природе хранимых данных в системах мониторинга производственная модель, в которой наряду с фактами в традиционной ER модели присутствует также большое количество продукционных правил, описывающих основные связи между объектами и процессами. Наиболее естественной формой хранения знаний продукционной модели является онтология.

Онтологическая модель предметной области.

Онтология – это структурная спецификация некоторой предметной области, ее формализованное представление, которое включает словарь (или имена) указателей на термины предметной области и логические выражения, которые описывают, как они соотносятся друг с другом [15].

Онтология состоит из терминов (понятий), их определений и атрибутов, а также связанных с ними аксиом и правил вывода [16].

Предложенная модель деятельности вуза описывает основные понятия, такие как структура, субъекты и объекты и т.д. Формально онтология описывается как:

$$O = \langle C, R, A \rangle,$$

где C – множество понятий (классов) предметной области; R – множество отношений между понятиями; A – множество аксиом предметной области.

Классы или понятия используются в широком смысле. Понятием может быть любая сущность, о которой может быть дана какая-либо информация.

Классы - это абстрактные группы, коллекции или наборы объектов. Они могут включать в себя экземпляры, другие классы, либо же сочетания и того, и другого.

Отношения представляют тип взаимодействия между понятиями предметной области

Аксиомы используются, чтобы записать высказывания, которые всегда истинны. Они могут быть включены в онтологию для разных целей, например для определения комплексных ограничений на значения атрибутов, аргументов отношений, для проверки корректности информации, описанной в онтологии, или для вывода новой информации.

В результате анализа научно-инновационной деятельности вуза были определены некоторые классы и экземпляры предметной области. Состав онтологии:

– классы: (структурные единицы, руководство, ППС, УВП, академическая деятельность, научно-исследовательская и др.);

– экземпляры: (департаменты, отделы, факультеты, кафедры, сотрудники, события, мероприятия, публикации, разработки).

Применение онтологического подхода к организации знаний обеспечит открытость данных, оперативное наполнение базы знаний новыми данными. Достоинствами онтологий являются их потенциальные свойства для решения таких задач, как формализация, интеграция, анализ данных и обмен знаниями и их повторное использование [17].

На основании вышеизложенного можно сделать заключение.

В результате анализа существующих ИС вузов было сформулировано направление реинжиниринга ИС, которое позволит выполнить вышеперечисленные требования к информационным системам.

Список литературы

1. Указ Президента Республики Казахстан об утверждении Государственной программы развития образования и науки Республики Казахстан на 2011-2020 годы от 7 декабря 2010 года № 1118 // Казахстанская правда. – 14.12.2010. – № 338. <http://www.ektu.kz/media/343153/stratplan2015-2018.pdf.pdf>.
2. Гунин Д.И. Транспарентность и тайна информации: теоретико-правовой аспект: автореф. дис. ... канд. юрид. наук. – Екатеринбург: УГЮА, 2008. – 14 с.
3. Мамыкова Ж.Д. ИТ-инфраструктура вуза как платформа для развития информационных технологий / Ж.Д. Мамыкова, Г.М. Мутанов, Л.К. Бобров // Вестник НГУЭУ. – 2013. – № 4. – С. 267-287.
4. Лугачев М.И. Экономическая информатика: введение в экономический анализ информационных систем: учебник / М.И. Лугачев, Е.И. Анно, М.Р. Когаловский и др. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 956 с.
5. Левчук Е.А. Технологии организации, хранения и обработки данных: Учеб. пособие. – 2-е изд. – Минск : Вышэйшая школа, 2005. – 239 с.
6. Ахметов Б.С. Моделирование информационной образовательной среды вуза / Б.С. Ахметов, В.В. Яворский. – Караганда: КарГТУ, 2006. – 251 с.
7. Каз НТУ им. К.Сатпаева: <http://www.kazntu.kz/node/961>.
8. КазНУ им. Аль-Фараби: url: http://it.kaznu.kz/?page_id=853.
9. СКГУ им. М.Козыбаева: url: <http://www.nkzu.kz/page/view?id=17&lang=ru>.
10. Московский энергетический институт: url: <https://mpei.ru/Structure/uchchast/icc/Pages/cis.aspx>.
11. Оренбургский государственный университет: url: <http://www.osu.ru/doc/966>.
12. Казанский федеральный университет: url: <http://kpfu.ru/dis/informacionno-analiticheskaya-sistema-kfu>.
13. Сибирский государственный индустриальный университет.
14. Гаврилова Т.А. Онтологический инжиниринг // КИИ – 2002 : тр. конф. – М., 2002. – С. 845-853.
15. Chisholm R.M. A Realistic Theory of Categories: an Essay on Ontology / R.M. Chisholm. – Cambridge University Press, Cambridge, 1996. – 38 p.
16. Щербак С.С. Интеллектуализация обработки информации на основе технологий Semantic Web // Системы обработки информации. – Харьков, 2004. – Вып. 9(37). – С. 224-230.

Получено 2.02.2017

УДК 004.421.2:519.16

А.С. Шоманов, М.Е. Мансурова, Е.Н. Амиргалиев, Б.А. Урмашев
Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы

**РЕШЕНИЕ РЕСУРСОЕМКИХ ЗАДАЧ НА ОСНОВЕ РАЗНОСТНЫХ СХЕМ
С ПРИМЕНЕНИЕМ APACHE SPARK**

В современном мире существует множество масштабных и ресурсоемких задач, требующих высокоэффективных и хорошо разработанных подходов к их решению. Важной задачей является создание эффективных механизмов и алгоритмов, которые обеспечивают производительность, ускорение, отказоустойчивость при решении различного класса задач на основе параллельных вычислений.

Apache Spark представляет собой быстрый механизм обработки данных в памяти с удобными API-интерфейсами разработки, позволяющий эффективно выполнять различные задачи, требующие быстрого итеративного доступа к наборам данных. Apache Spark успешно применяется для решения широкого спектра задач в науке, медицине, банковской сфере, государственном секторе [1]. Основной абстракцией Apache Spark является распределенная коллекция элементов, называемая Resistent Distributed Dataset (RDD). В работе [2] авторы описали внутренний дизайн и свойства RDD и продемонстрировали способность выполнять вычисления в памяти на больших кластерах отказоустойчивым способом. В статье авторы также сообщили о значительном ускорении итеративных алгоритмов на графах и машинного обучения, используя Apache Spark по сравнению с Apache Hadoop. Также главной особенностью Apache Spark является способность производить кластерные вычисления в памяти, которые увеличивают скорость обработки приложения. Apache Spark предназначен для широкого спектра задач, таких как пакетные приложения, итерационные алгоритмы, интерактивные запросы и потоковая передача.

В параллельном программировании важной задачей является решение проблем, связанных с отказоустойчивостью выполняемого приложения. Для MPI (протокол передачи сообщений) характерны такие недостатки, как неактивное использование ресурсов центрального процессора при обмене данными между узлами, отсутствие надежности и потеря данных из-за сбоев в отдельных узлах кластера или нарушений в работе коммуникационной сети. В настоящее время не так много альтернатив для выбора, чтобы заменить или увеличить вычислительную парадигму MPI для крупномасштабных научных проблем с итерационными схемами, и исследования продолжают с различными успехами в этой важной области.

Очевидное преимущество MPI над Apache Spark заключается в том, что MPI потенциально может быть расширен для широкого спектра приложений в HPC и по-прежнему будет достаточно быстрым. Однако основная проблема с MPI заключается в отсутствии встроенных механизмов отказоустойчивости. Отказы могут быть проблематичными для длительных заданий при присутствии большого количества вычислительных узлов. Существуют разные подходы к предотвращению сбоев в среде MPI, но они отличаются высокой трудоемкостью в их использовании и подвержены множеству ошибок [3]. Также в литературе приводятся различные способы улучшения Mapreduce вычислений на основе применения технологии MPI [4-6].

Описание подхода к решению сеточных задач на основе Apache Spark.

Для описания и тестирования данного подхода к решению задач на основе разностных схем нами была выбрана задача Дирихле для уравнения Пуассона. Формулировка данной

задачи для трехмерной вычислительной области D описывается следующим набором ограничений и уравнений:

$$D = \{(x, y, z): 0 \leq x \leq l_1, 0 \leq y \leq l_2, 0 \leq z \leq l_3\}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = f(x, y, z), \quad (2)$$

$$u_\Gamma = \varphi(x, y, z). \quad (3)$$

На основе дискретизации задачи (1)-(3) была получена следующая разностная схема:

$$u_{i,j,k}^{n+1} = \left(\frac{u_{i+1,j,k}^n + u_{i-1,j,k}^n}{\Delta x^2} + \frac{u_{i,j+1,k}^n + u_{i,j-1,k}^n}{\Delta y^2} + \frac{u_{i,j,k+1}^n + u_{i,j,k-1}^n}{\Delta z^2} - f_{i,j,k} \right) / \left(\frac{2}{\Delta x^2} + \frac{2}{\Delta y^2} + \frac{2}{\Delta z^2} \right). \quad (4)$$

Таким образом, задача состоит в написании параллельного алгоритма для получения решения задачи (1)-(3) на основе применения Apache Spark.

Алгоритм Apache Spark для решения задачи Дирихле для уравнения Пуассона использует объектно-ориентированное представление точек в вычислительной области. Класс Point используется для хранения одной точки в вычислительной сетке. Каждая точка состоит из следующих свойств: целочисленное значение partition_id, целое число x для координаты x, целое число y для координаты y, целое число z для координаты z, число с плавающей запятой для значения в определенной точке (x, y, z). Свойство partition_id отвечает за сохранение номера раздела точки, являющейся идентификатором подобласти.

Алгоритм состоит из нескольких шагов, каждый шаг выполняет определенные операции с RDD. Для алгоритма мы выбрали метод декомпозиции 1D. Метод 1D декомпозиции сообщает, что вычислительная область должна быть разделена согласно x-координате на смежные подобласти.

Алгоритм решения данной задачи может быть описан последовательностью из нескольких шагов, описанных ниже:

1. Сгенерировать начальную вычислительную область и сохранить значения в каждой точке в RDD <Point>.

2. Выполнить операцию map для отображения каждой записи RDD <Point> в PairRDD <key, Point>, где key представляет номер раздела, а Point - это значение в определенной точке вычислительной области.

3. Выполнить трансформацию groupBy для разделения точек на несколько разделов, где операции над каждым разделом выполнялись бы параллельно.

4. Выполнить трансформацию map для каждого раздела следующим образом:

4.1. Создать трехмерный массив для каждого раздела и отобразить значения точек этого раздела с соответствующими элементами этого массива.

4.2. Выполнить вычисления на разбиениях на основе разностной схемы уравнения Пуассона.

4.3. Отобразить обратно элементы 3-мерного массива в RDD <Point>.

4.4. Возвратить как результат список вычисленных значений точек, сохраненных в RDD <Point>.

5. Проверить условие завершения.

5.1. Если условие завершения выполнено, перейти к шагу 6.

5.2. Если условие завершения не выполняется, перейти к шагу 2.

6. Сохранить полученные значения точек в HDFS (распределенная файловая система Hadoop).

Особенностью данного алгоритма является то, что вычислительный процесс разбивается между отдельными процессами, которые в параллельном режиме производят вычис-

ления на определенной подобласти вычислительного региона. После каждой итерации алгоритма происходит обмен граничными точками отдельных подобластей. Схематическое описание алгоритма приведено на рис. 1.

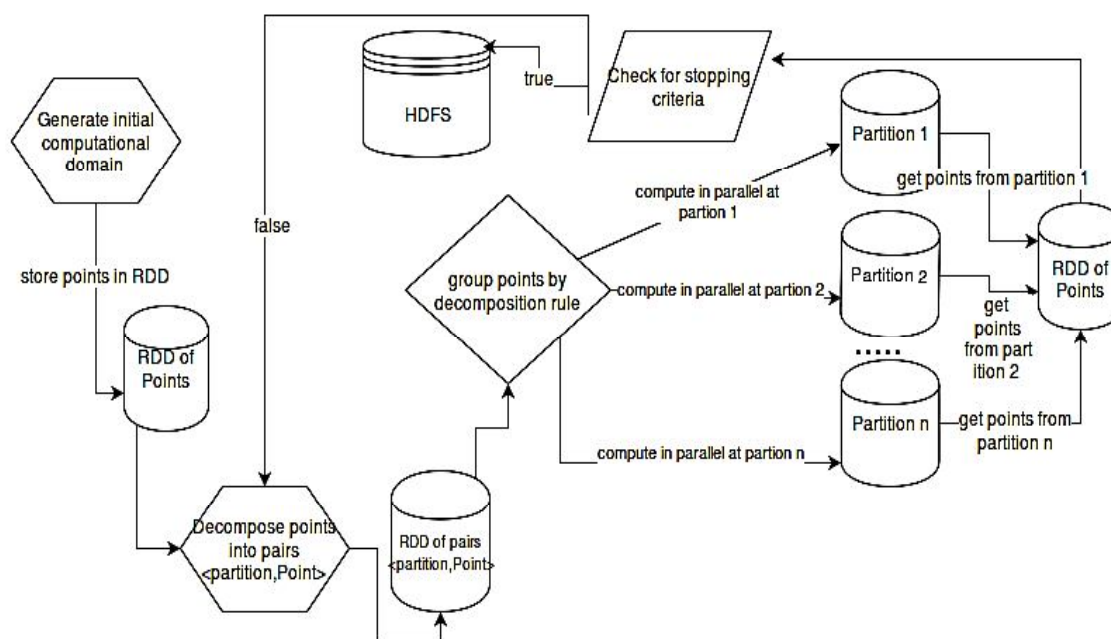


Рисунок 1 – Схема-описание алгоритма

Важно отметить, что перед выполнением любых действий или преобразований в PairRDD <key, Point> мы сделали дополнительное разбиение, чтобы указать, что каждый раздел должен быть расположен на отдельном узле кластера. Это необходимая оптимизация, чтобы избежать использования огромных сетевых ресурсов и, следовательно, очень низкой производительности программы.

Поскольку каждый раздел RDD определен для хранения только точек с одним определенным ключом, согласно алгоритму должен существовать механизм для обмена граничными точками между различными разделами. Основным узким местом в этом алгоритме являются дополнительные накладные расходы, связанные с выполнением этого обмена. Чтобы выполнить обменную операцию, мы должны применять преобразования отображения, группировки и разбиения на каждой итерации алгоритма. Преобразование отображения сформирует на основе элементов RDD<Point> RDD, состоящий из пар Point и номера раздела, где номер раздела будет представлять ключ. Номер раздела определяется координатами отдельных точек. После этого точки группируются путем применения преобразования groupByKey. И наконец, каждый раздел разделяется на отдельные разбиения, применяя преобразование partitionBy. Такие операции несколько ухудшают производительность программы.

Также важным моментом в применении данного подхода является тот факт, что все вычисления производятся в оперативной памяти. В случае с Apache Hadoop требуется после каждой итерации записывать данные в распределенную файловую систему, что приводит к значительным сетевым и вычислительным издержкам.

Нами было проведено тестирование данного подхода на кластере, состоящем из 10 вычислительных узлов, состоящих из 8 компьютеров с процессорами Core i-5 и оперативной памятью 16 Гб, а также 2 серверов с 4-ядерными Intel Xeon процессорами.

Рис. 2 описывает зависимость времени выполнения алгоритма, основанного на применении Apache Spark для различного количества вычислительных ядер и для различных размеров вычислительной области. Размер вычислительной области характеризуется количеством точек в кубе с количеством точек в каждом направлении равным указанной на графике величине. Таким образом, величине 720 будет соответствовать размерность равная $720 \times 720 \times 720$ точек.

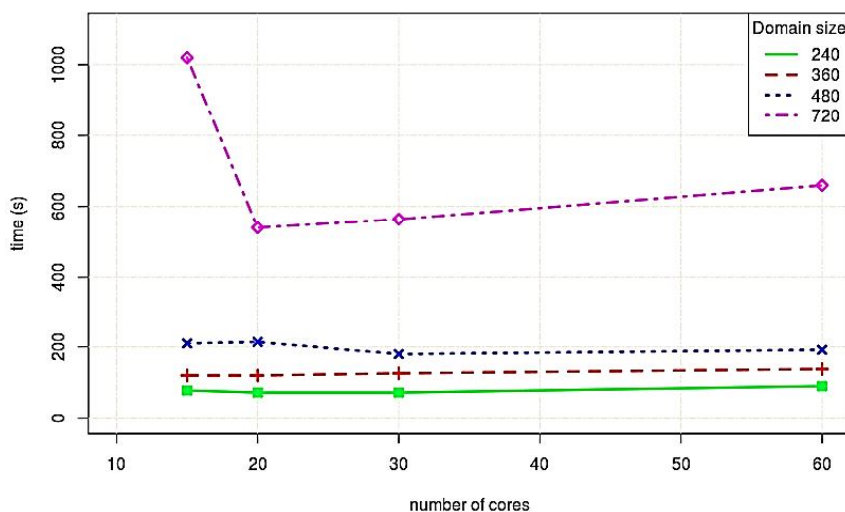


Рисунок 2 – График сравнения количества ядер/времени выполнения для различных размерностей задачи

На рис. 3 приведен график времени выполнения алгоритма Apache Spark в сравнении с Apache Hadoop.

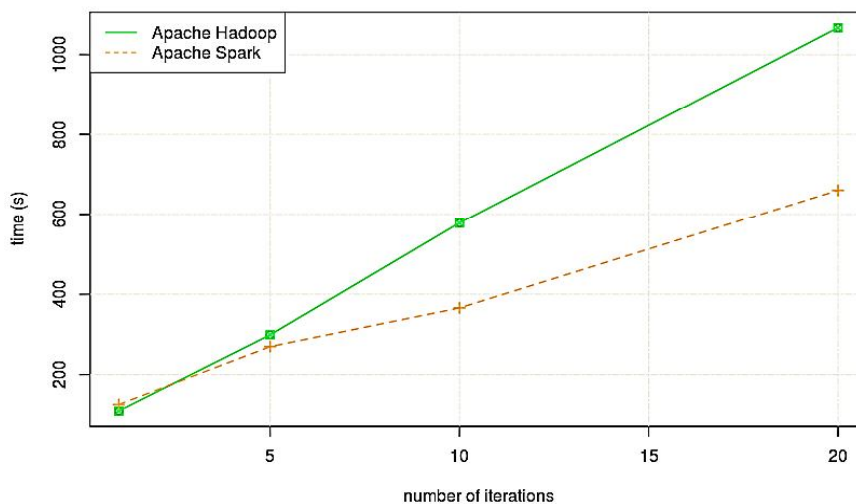


Рисунок 3 – График сравнения количества итераций/времени выполнения для Apache Spark/Apache Hadoop