



9. *Holland C.D.* Fundamentals of multicomponent distillation. – New York: McGraw-Hill Book Company, 1981.
10. Исследование методов идентификации моделей виртуальных анализаторов показателей качества ректификационной колонны / *Г.Б. Дуго, Н.Б. Дуго, И.С. Можаровский, А.Ю. Торгашов* // Фундаментальные и прикладные вопросы механики и процессов управления. Всероссийская научная конференция, посвященная 75-летию со дня рождения академика В.П. Мясникова. 11-17 сент. 2011 г., Владивосток: сб. докл. [Электронный ресурс]. – Владивосток: ИАПУ ДВО РАН, 2011. – С. 412-418.
11. *Wang D., Murphy M.* Estimating optimal transformations for multiple regression using the ACE algorithm // *Journal of Data Science.* – 2004. – Vol. 2. – P. 329-346.
12. *Вучков И., Бояджијева Л., Солаков Е.* Прикладной регрессионный анализ. – М.: Финансы и статистика, 1987.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии О.В. Абрамовым.*

**E-mail:**

*Дуго Галина Борисовна – [bernatsk@iacp.dvo.ru](mailto:bernatsk@iacp.dvo.ru);*

*Дуго Наталья Борисовна – [digo@iacp.dvo.ru](mailto:digo@iacp.dvo.ru);*

*Можаровский Игорь Сергеевич [studvvsu@gmail.com](mailto:studvvsu@gmail.com);*

*Торгашов Андрей Юрьевич – [torgashov@iacp.dvo.ru](mailto:torgashov@iacp.dvo.ru).*

УДК 004.942

© 2011 г. **В.М. Дмитриев**, д-р техн. наук,

**Т.В. Ганджа**, канд. техн. наук,

**О.С. Затик**

(Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники)

## **КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕГО РЕГИОНА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГРАММ<sup>1</sup>**

Описывается методика компьютерного моделирования эколого-экономических систем нефтегазодобывающих регионов на базе метода компонентных цепей, предназначенная для прогнозирования изменения экологических характеристик региона и формирования экономически эффективных экологических программ, направленных на снижение риска и уменьшение последствий природных и техногенных катастроф.

**Ключевые слова:** эколого-экономическая система, метод компонентных цепей, регион добычи нефти и газа, уровень моделирования.

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект № 10-06-0084 «Метод компонентных цепей для компьютерного моделирования и управления эколого-экономическими системами».

## Введение

Под эколого-экономической системой (ЭЭС) понимается совокупность экологических объектов региона с функционирующим в нем нефтегазодобывающим предприятием. Задачами компьютерного моделирования таким систем является выявление динамики изменения экологических характеристик региона при неблагоприятном воздействии на него со стороны предприятия, а также формирование экологических программ, направленных на снижение риска и уменьшение последствий природных и техногенных катастроф. Применяемые при этом компьютерные модели (КМ) и методики моделирования целесообразно использовать для прогнозирования развития экологической ситуации региона при изменении параметров и характеристик окружающей среды, введении новаций в производство и при выполнении различных природоохранных мероприятий (ПОМ). Их использование позволит снизить риск возникновения природных и техногенных катастроф, а также влияние производства на окружающую среду и проживающее население.

### **Методика многоуровневого представления моделей эколого-экономических систем в формате компонентных цепей**

Для компьютерного моделирования эколого-экономических систем (ЭЭС) [1] предприятий нефтегазодобывающей отрасли применяется многоуровневый подход, основанный на методе компонентных цепей. При этом под *уровнем* понимается степень абстракции, способ представления и обработки данных об исследуемой системе, ее моделях и методах анализа.

Метод компонентных цепей (МКЦ) [2], являясь универсальным методом компьютерного моделирования, позволяет представить в виде компонентной цепи (КЦ) – набора взаимосвязанных компонентов – любой физически неоднородный технический объект или сложную социально-экономическую систему и произвести ее моделирование в статическом и динамическом режиме. Для этого в рамках МКЦ разработаны два способа формирования моделей:

*математический*, при котором модель всей системы состоит из топологических уравнений, относительно переменных связей компонентов и уравнений компонентов, описывающих протекающие в компоненте процессы;

*имитационный*, когда входная информация, поступающая в каждый компонент, перерабатывается в нем по определенному алгоритму, результаты работы которого передаются далее стоящим компонентам.

Для объединения данных способов моделирования объекта в МКЦ с методиками параметризации компонентов, алгоритмами обработки данных и средствами визуализации результирующей информации предлагается использовать методику многоуровневого представления компьютерной модели ЭЭС и основанную на ней среду многоуровневого моделирования MAPC [3]. Для этого многоуровневая компьютерная модель ЭЭС (МКМ ЭЭС) включает следующие уровни моделирования:

*визуальный уровень*, который отображает информацию о значениях пере-

менных и параметрах ЭЭС, экологических программах, представляющих совокупность природоохранных мероприятий;

*информационно-логический уровень* представляет информацию о ходе компьютерного моделирования, реализуя алгоритмы компьютерного эксперимента; алгоритмы взаимодействия КЦ объекта с системой информационной поддержки для динамической параметризации компонентов с помощью экологических ГИС-систем и баз данных предприятия; методы обработки результатов моделирования и др.;

*схемный уровень* отображает модель ЭЭС в виде одной или нескольких КЦ. Для моделирования ЭЭС схемный уровень представлен двумя субуровнями: экологическим и экономическим. Экологический схемный субуровень отображает модель природной среды (экологические характеристики) и различных воздействий на нее. Экономический схемный субуровень отображает модель организационно-технической системы (техничко-экономические характеристики) функционирующего нефтегазодобывающего предприятия.

Визуальный слой	
Информационно-логический слой	
Схемный слой	
Экологический схемный субслой	Экономический схемный субслой

Рис. 1. Архитектура многослойного редактора компьютерных моделей ЭЭС.

Для формирования многоуровневой компьютерной модели ЭЭС используется многослойный редактор компьютерных моделей. При этом под «Слоем» понимается программно-инструментальное отображение уровня.

Архитектура многослойного редактора компьютерных моделей включает в себя следующие слои (рис. 1):

*визуальный*, представляющий собой программно-алгоритмическую реализацию визуального уровня моделирования. Компоненты данного слоя предназначены для отображения и регулирования значений параметров

и переменных компьютерной модели и информации с реальных ГИС-систем и баз данных;

*информационно-логический*, предназначенный для программной реализации алгоритмов информационно-логического уровня моделирования;

*экологический субслой схемного слоя*, где реализуется схемный уровень моделирования экологических характеристик природной среды и экологических объектов;

*экономический субслой схемного слоя*, на котором реализуется схемный уровень моделирования технико-экономических характеристик организационно-технических средств и систем.

Многоуровневая компьютерная модель ЭЭС является совокупностью компонентов трех слоев и представлена в виде:

$$C = (K_V, K_L, K_{C1}, K_{C2}, B_L, B_{C1}, B_{C2}, N_L, N_{C1}, N_{C2}),$$

где  $K_V$  – совокупность компонентов визуального слоя;  $K_L$  – совокупность компонентов информационно-логического слоя;  $K_{C1}$  – совокупность компонентов эко-

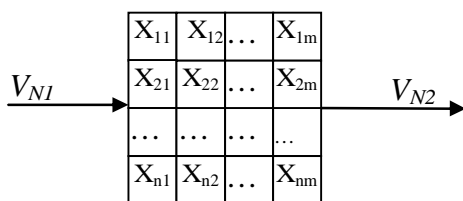
логического субслоя схемного слоя, в т.ч. компоненты природной среды;  $K_{C2}$  – совокупность компонентов экономического субслоя схемного слоя, в т.ч. компоненты организационно-технических средств и систем;  $B_L$  – совокупность связей компонентов информационно-логического слоя;  $B_{C1}$  – совокупность связей компонентов экологического субслоя;  $B_{C2}$  – совокупность связей компонентов экономического субслоя;  $N_L$  – множество узлов информационно-логического слоя, образованное соединениями связей компонентов множества  $K_L$ ;  $N_{C1}$  – множество узлов экологического субслоя схемного слоя, образованное соединениями связей компонентов множества  $K_{C1}$ ;  $N_{C2}$  – множество узлов экономического субслоя схемного слоя, образованное соединениями связей компонентов множества  $K_{C2}$ .

Модели компонентов созданы с учетом специфики моделирования и управления ЭЭС в формате метода компонентных цепей [2].

Компоненты, предназначенные для визуализации результатов моделирования и управления экспериментом, располагаются на визуальном слое редактора и реализованы преимущественно в рамках редактора виртуальных инструментов и приборов [3]. Наибольший интерес в данной работе представляют собой модели компонентов, располагающиеся на схемном и логическом слое, которые составляют специфику компьютерного моделирования ЭЭС.

### Компоненты компьютерного описания территории добычи нефти и газа

Как известно, для мониторинга экологической ситуации региона добычи нефти и газа в данное время широко используются экологические ГИС-системы. Согласно им вся исследуемая территория разбивается на минимально допустимые неделимые клетки, в каждой из которых значение рассматриваемого фактора окружающей среды остается постоянным. При компьютерном моделировании ЭЭС для описания динамики изменения каждого фактора вводится компонент «Территория». Он предназначен для построения grid-модели карты местности в рамках МКЦ. Территория разбита на условные клетки. В рамках одной клетки показатель исследуемого фактора (концентрация вредного вещества в почве, количество единиц деревьев одного вида) имеет единое значение. Компонент «Территория» отображается на экологическом субслое схемного слоя, представляется



в виде клеточного grid-компонента (рис. 2). На его вход  $V_{N1}$  подаются воздействие угнетающего или компенсирующего характера, на выход  $V_{N2}$  передаются текущие значения рассматриваемого экологического фактора в конкретные моменты времени.

Рис. 2. Компонент «Территория».

Обобщенно математическая модель компонента «Территория» для описания одного экологического фактора представляется в виде:

$$X_{i,j}(t+h) = X_{i,j}(t) + F(V_{i,j}^{N1}(t), P, t), \quad (1)$$

где  $i, j$  – координаты клетки;  $X_{i,j}(t)$  – значение рассматриваемого экологического показателя в клетке территории с координатами  $(i, j)$  в момент времени  $t$ ;

$X_{i,j}(t+h)$  – состояние ячейки территории с координатами  $(i, j)$  в момент времени  $t+h$  ( $h$  – шаг моделирования);  $V_{i,j}^{N1}(t)$  – воздействие на ячейку с координатами  $(i, j)$  в момент времени  $t$  (угнетающее воздействие берется со знаком «-», а компенсирующее – с «+»);  $P$  – вектор параметров;  $F(V_{i,j}^{N1}(t), P, t)$  – функция воздействия, зависящая от входного воздействия, параметров компонента и времени.

С помощью данного компонента на одной территории можно описать различные изменяемые и неизменяемые факторы. К таким факторам относятся рельеф местности, численность конкретного вида растительного или животного мира на рассматриваемой территории, концентрация вредных веществ и др.

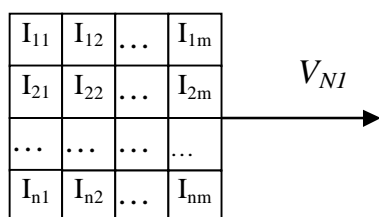


Рис. 3. Компонент «Источник неблагоприятного воздействия».

Концентрация вредных и загрязняющих веществ в почве, водоеме и воздушном пространстве изменяется вследствие действия различных неблагоприятных воздействий. Для описания неблагоприятных воздействий применяется компонент «Источник неблагоприятного воздействия» (рис. 3). В качестве параметров данного компонента задается значение фактора неблагоприятного воздействия в каждой клетке рассматриваемой территории. Если для определенной клетки значение неблагоприятного фактора не задано, оно принимается равным 0.

Источником неблагоприятных воздействий, влияющим на экологические показатели территории, являются результаты производственно-хозяйственной деятельности предприятий нефтяной и газовой отрасли (строительство нефтепроводов, дорог и др.), последствия технологических отклонений или аварийных ситуаций (подтопления в результате засорения водопропускных труб, разливы нефтепродуктов в случае порыва нефтепровода, пожары) и др.

Математическая модель компонента «Источник неблагоприятного воздействия» задана в виде векторно-матричного уравнения:

$$V_{i,j}^{N1} = I_{i,j}^{N1}, \quad (2)$$

где  $I_{i,j}^{N1}$  – объем, количество неблагоприятного фактора, подаваемого на каждую клетку рассматриваемой территории, выбирается при анализе ситуации из базы данных информационной системы предприятия.

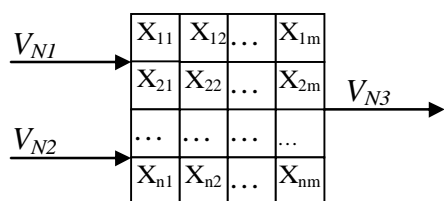


Рис. 4. Компонент «Взаимодействие факторов».

Для описания влияния одного экологического фактора на другой применяется компонент «Взаимодействие факторов». На его вход  $V_{N1}$  подается вектор значений фактора, на который производится воздействие, на вход  $V_{N2}$  – вектор значение фактора, которым производится воздействие на первый фактор. На выходе  $V_{N3}$  формируется вектор значений первого фактора после воздействия на него второго фактора.

Обобщенная математическая модель компонента «Взаимодействие факто-

ров» представляется в виде:

$$V_{i,j}^{N3} = F(V_{i,j}^{N1}, V_{i,j}^{N2}), \quad (3)$$

где  $F(V_{i,j}^{N1}, V_{i,j}^{N2})$  – в общем случае нелинейная функция относительно двух факторов.

С помощью данного компонента могут быть описаны влияние концентрации вредного вещества в почве на состояние биоценоза на исследуемой территории, влияние рельефа местности и пористости почвы на распространение и концентрацию вредного вещества в грунте, взаимодействия других факторов.

Экологический ущерб, наносимый территории со стороны функционирующего предприятия, определяет степень поражения экологических объектов различными неблагоприятными воздействиями и измеряется в виде экономических потерь предприятия.

Для расчета экологического ущерба для каждого из рассматриваемых экологических показателей используется компонент «Оценка экологического ущерба» (рис. 5).

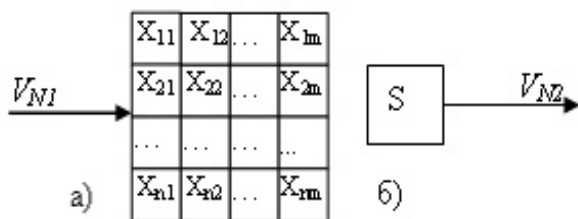


Рис. 5. Компонент «Оценка экологического ущерба»: а) отображение на экологическом субслое схемного слоя; б) отображение на логическом слое.

Обобщенная математическая модель вычисления экологического ущерба имеет вид:

$$V_{N2} - \sum_i \sum_j (1 - V_{ij}^{N1}) \cdot S \cdot C = 0, \quad (4)$$

где:  $S$  – площадь одной клетки территории;  $C$  – стоимость восстановления угнетенного компонента природной среды;  $V_{ij}^{N1}$  – степень угнетения рассматриваемого экологического фактора в пределах клетки  $(i,j)$ ;  $V_{N2}$  – объемы экологического ущерба в рублях, в единицах природной среды.

Снижение экологического ущерба и устранение последствий влияния неблагоприятных факторов достигается путем выполнения экологических программ, к которым обычно предъявляются требования максимальной эффективности при минимизации времени и организационно-финансовых затрат на их выполнение. Каждая экологическая программа представляет собой набор природоохранных мероприятий (ПОМ), которые оказывают компенсирующие воздействия на один или несколько экологических показателей.

Для представления экологических программ в рамках компьютерной модели ЭЭС применяется компонент «Природоохранное мероприятие», который позволяет оценить и минимизировать мероприятие по временным и стоимостным критериям. Компонент имеет отображение на экономическом субслое схемного слоя (рис. 6а) для учета указанных критериев, а также на логическом слое (рис. 6б) для обмена информационными сообщениями с другими компонентами.

Компонент «Природоохранное мероприятие», отображающий модель на схемном экономическом слое (рис. 6а), имеет следующие связи:

$N_1, N_2, \dots, N_i$  – узлы для подключения компонентов «Средства выполнения ПОМ», необходимых для выполнения ПОМ. Посредством данных узлов подаются команды, а также измеряется время и стоимость их использования;

$N_{i+1}$  – связь, используемая для передачи значения времени выполнения мероприятия;

$N_{i+2}$  – связь, используемая для передачи стоимости выполнения мероприятия за единицу времени или за один цикл;

$N_{i+3}$  – связь, используемая для передачи предотвращенного или ликвидированного экологического ущерба территории.

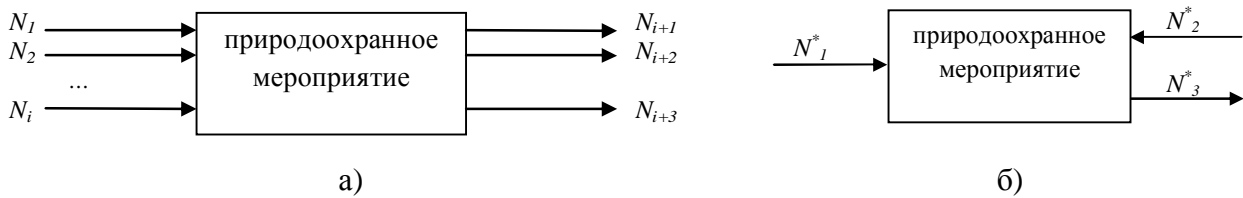


Рис. 6. Компонент «Природоохранное мероприятие»:  
 а) отображение на экономическом субслое схемного слоя;  
 б) отображение на логическом слое.

Для формирования и оптимизации экологических программ (набора ПОМ) модель компонента «Природоохранное мероприятие» имеет свое отображение на логическом слое (рис. 6б) со следующими узлами:

$N^*_1$  – связь для передачи значения предотвращенного экологического ущерба в ходе выполнения ПОМ;

$N^*_2$  – связь для подачи сигнала о начале выполнения мероприятия;

$N^*_3$  – связь для передачи сигнала об окончании мероприятия.

В данной модели реализуются алгоритмы вычисления времени и стоимости выполнения ПОМ, а также алгоритмы взаимодействия с привлеченными для его выполнения средствами, которые делятся на основные и вспомогательные. Основное средство характеризуется непосредственным воздействием на объекты окружающей среды с целью улучшить значения экологических факторов. К таким средствам относятся трактора, экскаваторы, технические средства пожаротушения, водоотведения и др. Вспомогательными являются средства, принимающие участие в выполнении ПОМ, но не оказывающие непосредственного воздействия на объекты окружающей среды.

Каждому основному средству производства, участвующему в выполнении ПОМ, ставится в соответствие модель «Основное средство производства» (рис. 7), – например, модель экскаватора, которая имеет отображения на экологическом и экономическом субслоях схемного слоя со следующими узлами:

$N_1$  – для получения текущего значения изменяемого экологического фактора перед очередным шагом выполнения ПОМ;

$N_2$  – для передачи измененного значения экологического фактора после выполнения шага;

$N_3, N_4...N_m$  – для организации связей со вспомогательными средствами производства, необходимыми для работы основного и представляющими собой технологические объекты доставки материалов, перевозки грузов и выполнения других вспомогательных операций;

$N^*_1$  – связь для передачи времени использования основного средства;

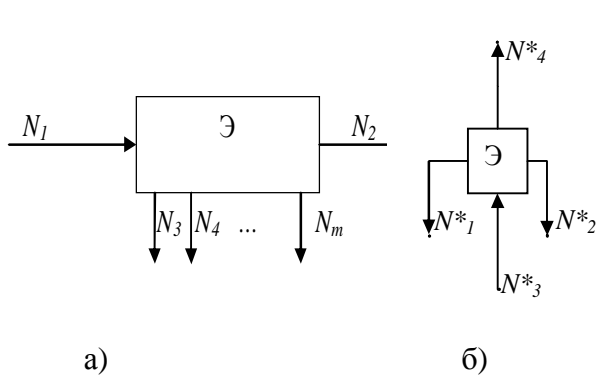


Рис. 7. Модель «Основное средство производства»:

- а) отображение на экологическом субслое схемного слоя;
- б) отображение на экономическом субслое схемного слоя.

$N_2^*$  – связь для передачи стоимости его использования;

$N_3^*$  – связь для передачи сигнала о начале работы средства (подается соответствующим компонентом ПОМ);

$N_4^*$  – связь для передачи сигнала о прекращении работы средства.

В основе модели компонента «Основное средство производства» лежит алгоритм, согласно которому основное средство производства, перемещаясь по отведенной территории, выполняет соответствующие функции. В общем случае параметрами данной модели могут являться следующие величины: текущее положение

средства, т.е. координаты клетки, в которой оно находится в данное время; значение экологического фактора, которого необходимо достичь в ходе выполнения мероприятия в каждой клетке территории; скорость изменения экологического показателя, на который производится непосредственное воздействие; площадь клетки карты; номер вспомогательного средства производства, с которым производится взаимодействие в данный момент; время участия средства в ходе природоохранного мероприятия; стоимость использования средства производства, руб/ч.

Разработанная таким образом модель основного средства производства позволяет определить время его работы, необходимое для достижения основных целей ПОМ, а также оценить организационно-хозяйственные и финансовые затраты, необходимые для его проведения.

Вспомогательными средствами выполнения ПОМ являются организационно-хозяйственные ресурсы предприятия, участвующие в выполнении ПОМ, но не оказывающие непосредственного воздействия на объекты окружающей среды. К таким средствам относятся автотранспортные средства, доставляющие материалы для выполнения мероприятия или осуществляющие отгрузку лишних веществ, а также средства мониторинга выполнения ПОМ и экологических характеристик региона.

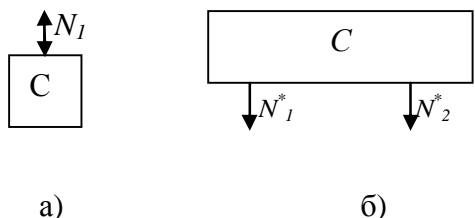


Рис. 8. Модель «Вспомогательное средство производства»:

- а) экологический субслой;
- б) экономический субслой.

Модель «Вспомогательное средство производства» (рис. 8) позволяет описать функционирования вспомогательного средства (например, самосвала, осуществляющего перевозку различных веществ) в формате МКЦ с целью учета временных и экономических затрат на его использование при выполнении ПОМ. При формировании уравнений данной модели вводятся переменные его состояния, оказывающие влия-



ние на расчет стоимости использования данного средства.

Во время моделирования модель «Вспомогательное средство производства» получает информацию от модели «Основное средства производства», на основе которой производится вычисление временных и финансовых затрат на его использование. Для выполнения своих основных функций модель «Вспомогательное средство производства» имеет отображение на экологическом и экономическом субслоях схемного слоя. На экономическом субслое посредством узла  $N_1^*$  данная модель передает временные, а посредством узла  $N_2^*$  финансовые затраты на использование данного средства.

Описанные обобщенные компоненты многоуровневой компьютерной модели ЭЭС лежат в основе реализации конкретных компьютерных моделей, позволяющих описать и произвести компьютерное моделирование экологического состояния ресурсодобывающих регионов, выделить основные экологические факторы, значения которых угрожают жизни флоры и фауны региона и наносят урон жизнедеятельности человека. Полученные значения лежат в основе формирования и оптимизации экологических программ, направленных на улучшение экологической обстановки региона, снижения риска и уменьшение последствий природных и техногенных катастроф.

### **Компьютерная модель эколого-экономической системы для моделирования разлива нефти в лесном массиве и формирования природоохранного мероприятия**

Актуальной задачей в области охраны окружающей среды являются мониторинг и минимизация последствий экологических аварий и катастроф, связанных с разливом нефти и ее просачиванием в почвенный покров. Особенно остро эта проблема стоит в лесном массиве, состоящем из деревьев ценных пород.

Для оценки экологического ущерба угнетения леса, состоящего из деревьев ценных пород, применяется компьютерная модель, отображение на экологическом субслое схемного слоя которой представлено на рис. 9. При этом на логическом слое редактора формируется модель расчета общего экологического ущерба как суммы экологических ущербов деревьев различных пород.

В случае разлива нефти в лесном массиве целесообразно выполнять экологическую программу, которая включает в себя следующие природоохранные мероприятия:

- вырубка и вывоз пораженного леса;
- снятие загрязненного грунта;
- завоз чистого или очищенного грунта;
- высадка нового леса.

В качестве примера рассмотрим принцип моделирования ПОМ «Снятие загрязненного грунта». Данное мероприятие, являясь наиболее общим, предполагает задействовать как основные, так и вспомогательные средства производства. В качестве основного в данном ПОМ используется средство «Экскаватор», осуществляющее поэтапное снятие грунта и его погрузку в автотранспортные средства «Самосвал», являющиеся вспомогательными средствами производства.

Компьютерная модель ПОМ «Снятие загрязненного грунта» позволяет оценить время и финансовые затраты предприятия, необходимые на выполнение данного мероприятия. Для решения данной задачи она имеет отображение на экологическом и экономическом субслоях схемного слоя.

Отображение модели ПОМ на экологическом субслое схемного слоя (рис. 10) позволяет в динамическом режиме исследовать воздействие основных средств выполнения ПОМ на различные экологические факторы рассматриваемой территории.

Отображение компьютерной модели ПОМ «Снятие загрязненного грунта» на экологическом субслое схемного слоя включает в себя:

$G_1$  компонент «Территория», описывающий концентрацию нефти в почве;

$\Xi$  – отображение модели основного средства выполнения ПОМ «Экскаватор», предназначенного для снятия грунта с клеток территории с целью снижения концентрации вредного вещества;

$C_1, C_2, \dots, C_n$  – отображение моделей вспомогательных средств выполнения ПОМ «Самосвал», задействованных в процессе вывоза загрязненного грунта.

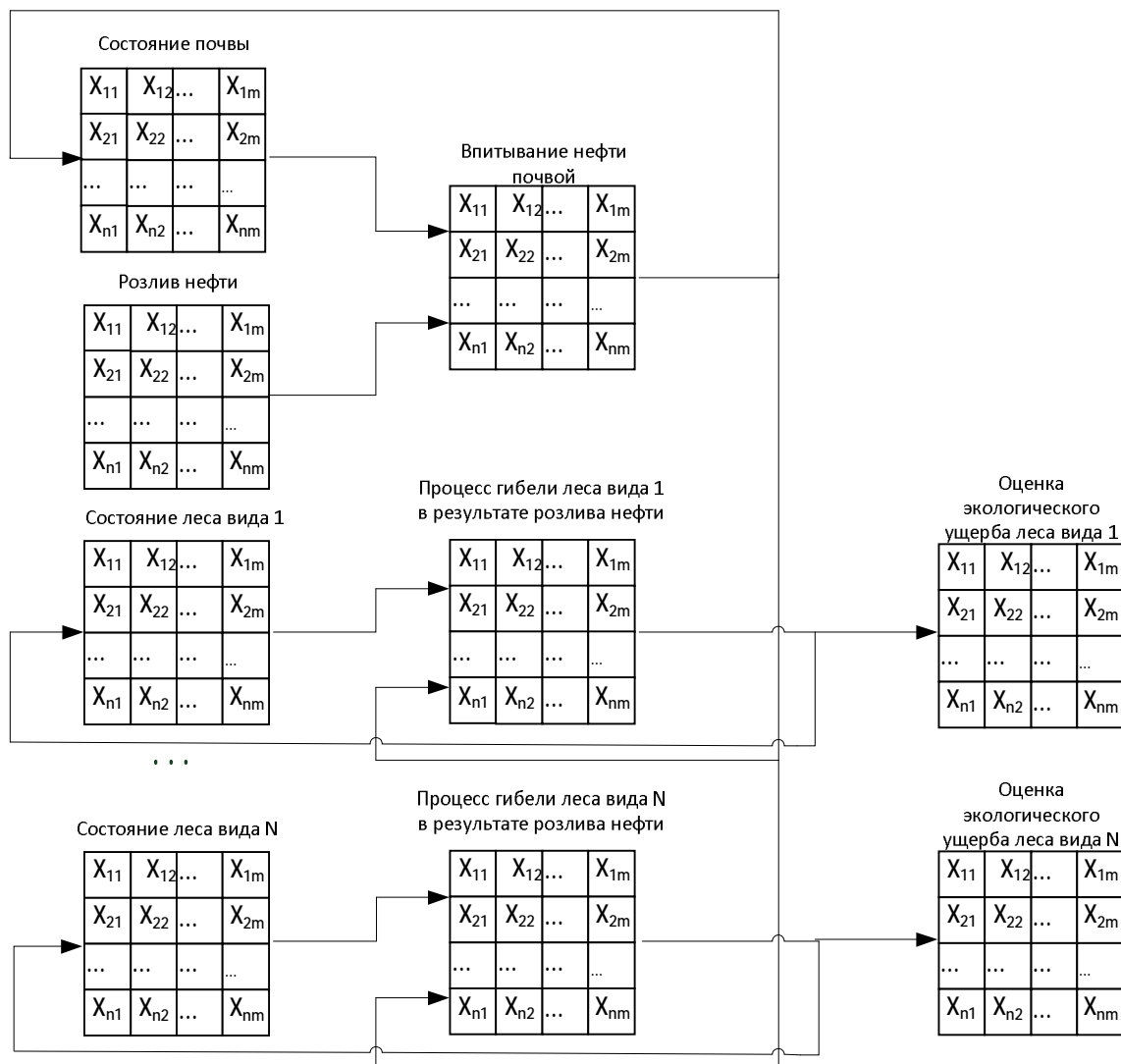


Рис. 9. Отображение компьютерной модели оценки экологического ущерба от разлива нефти в лесном массиве.

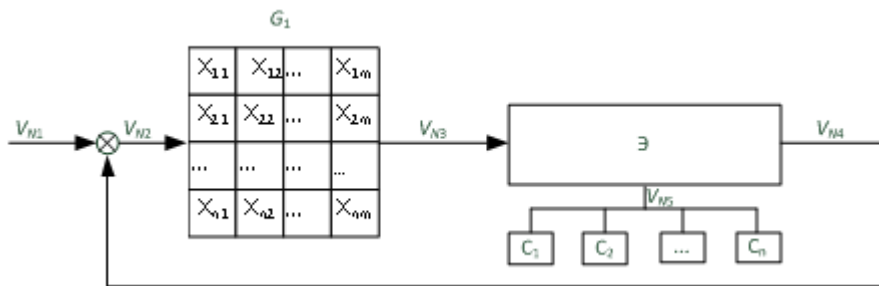


Рис. 10. Отображение компьютерной модели «Снятие загрязненного грунта» на экологическом субслое схемного слоя.

Между компонентами определены следующие векторные связи:

$V_{N1}$  – воздействие угнетающего характера – розлив нефти на почву лесного массива;

$V_{N2}$  – суммарное воздействие на почву;

$V_{N3}$  – текущая концентрация нефти в почвенном покрове лесного массива;

$V_{N4}$  – воздействие компенсирующего характера со стороны основного средства выполнения ПОМ «Экскаватор»;

$V_{N5}$  – связь для моделирования взаимодействия основного и вспомогательных средств выполнения ПОМ.

Для определения временных, финансовых и организационно-хозяйственных затрат предприятия модель ПОМ имеет свое отображение на экономическом субслое схемного слоя (рис. 11), которое содержит следующие компоненты:

*база данных* – компонент, предназначенный для параметризации компонентов компьютерной модели актуальными данными, снятыми из базы данных нефтегазодобывающего предприятия;

$\text{Э}_1, \text{Э}_2, \dots, \text{Э}_n$  – отображение моделей основных средств «Экскаватор», задействованных в выполнении ПОМ;

$C_1, C_2, \dots, C_m$  – отображение моделей вспомогательных средств «Самосвал», участвующих в выполнении ПОМ;

*ПОМ «Снятие загрязненного грунта»* – отображение модели природоохранного мероприятия;

$T$  – измеритель времени выполнения ПОМ;

$\Phi$  – измеритель финансовых средств, затрачиваемых на проведение ПОМ.

Обмен данными и управление компонентами осуществляется с помощью следующих связей:

$V_{N1}$  – связь запуска ПОМ на выполнение;

$V_{N2}$  – связь сигнализации о завершении выполнения ПОМ;

$V_{N3}$  – векторная связь для параметризации моделей основных и вспомогательных средства выполнения ПОМ;

$V_{N4}$  – векторная связь для передачи в модель ПОМ временных и финансовых характеристик использования средств выполнения мероприятия;

$V_{N5}$  – связь для вывода времени выполнения ПОМ на компоненты визуализации или дальнейшей обработки;

$V_{N6}$  – связь для вывода финансовых затрат предприятия для визуализации или дальнейшего моделирования.

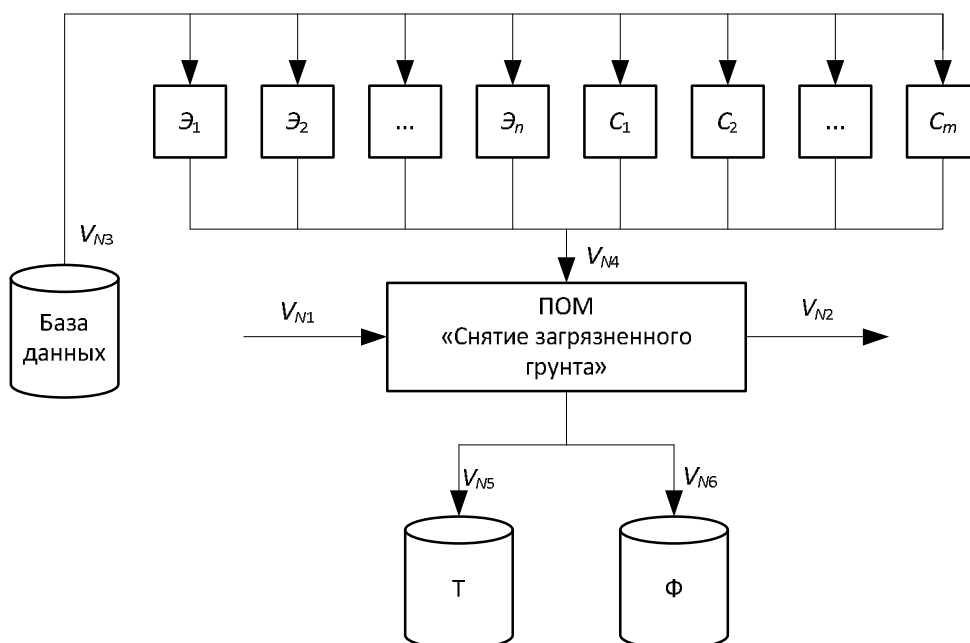


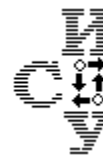
Рис. 11. Отображение модели природоохранного мероприятия «Снятие загрязненного грунта» на экономическом субслое схемного слоя.

Для компьютерного моделирования ЭЭС, в которых функционируют нефтегазодобывающие предприятия, целесообразно применять многоуровневую модель. Она позволяет, расположив компоненты в нескольких слоях, исследовать воздействие нефтегазодобывающих производств на окружающую среду, определять наиболее критические экологические факторы, а также формировать и оптимизировать по временным и финансовым критериям экологические программы, направленные на снижение риска и уменьшение последствий природных и техногенных катастроф.

### Заключение

Актуальность исследования эколого-экономических систем нефтегазодобывающих регионов обусловлена увеличением мест и объемов добычи полезных ископаемых, а следовательно, и ростом негативного воздействия на объекты региона из добычи. Для его уменьшения экологические службы предприятий должны разрабатывать экологические программы, направленные на снижение риска, уменьшение последствий природных и техногенных катастроф. Использование компьютерных моделей для проектирования экологических программ позволит значительно снизить риски возникновения неблагоприятных экологических ситуаций.

В данной работе на основе метода компонентных цепей предложена многоуровневая компьютерная модель эколого-экономической системы региона добычи полезных ископаемых, позволяющая на основе интеграции с экологическими ГИС-системами и базами данных предприятий моделировать взаимодействие экологических объектов региона с функционирующим предприятием, а также вырабатывать и оптимизировать экологические программы.



ЛИТЕРАТУРА

1. Павлов К.В. Региональные эколого-экономические системы. – М.: Изд-во «Магистр», 2009.
2. Арайс Е.А., Дмитриев В.М. Моделирование неоднородных цепей на ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1982.
3. Дмитриев В.М. Редактор виртуальных инструментов и приборов / В.М. Дмитриев, Т.В. Ганджа, Т.Ю. Коротина // Приборы и системы. Управление. Контроль. Диагностика. – 2009. – № 6. – С. 19-24.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии А.А. Шелупановым.*

**E-mail:**

*Дмитриев Вячеслав Михайлович – [of045@mail.ru](mailto:of045@mail.ru);  
Ганджа Тарас Викторович – [gandgatv@gmail.com](mailto:gandgatv@gmail.com);  
Затик Ольга Сергеевна – [olga\\_sur@mail.ru](mailto:olga_sur@mail.ru).*

УДК 519.622

© 2011 г. **Е.А. Новиков**, д-р физ.-мат. наук  
(Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск)

## МЕТОД ПЕРВОГО ПОРЯДКА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЖЕСТКИХ АДДИТИВНЫХ ЗАДАЧ<sup>1</sup>

Построен метод первого порядка точности для решения жестких аддитивных задач. Получена оценка ошибки и неравенства для контроля точности вычислений. Приведены результаты расчетов.

**Ключевые слова:** жесткая аддитивная задача,  $(m,k)$ -метод, контроль точности.

### Введение

Для численного решения задачи Коши для жестких систем обыкновенных дифференциальных уравнений вида

$$y' = f(y), \quad y(t_0) = y_0, \quad t_0 \leq t \leq t_k \quad (1)$$

обычно применяются  $A$ -устойчивые или  $L$ -устойчивые методы [1]. Здесь  $y$  и  $f$  –  $N$ -мерные вектор-функции, а  $t$  – независимая переменная. Рассмотрение автономной системы не снижает общности, потому что неавтономную задачу введением дополнительной переменной всегда можно привести к автономному виду.

В случае большой размерности задачи для методов с неограниченной областью устойчивости общие вычислительные затраты фактически полностью определяются временем обращения матрицы Якоби-системы (1). При реализации та-

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 11-01-00106 и 11-01-00224).