

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего
профессионального образования

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

Кафедра моделирования и системного анализа (МиСА)

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой МиСА, д.т.н.

_____ В.М. Дмитриев

«__» _____ 2017 г.

Дмитриев В.М., Затик О.С., Ганджа Т.В.

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Методические указания по выполнению практических занятий и организации
самостоятельной работы по дисциплине «Эколого-экономические системы»

«Эколого-экономические системы». Методические указания по выполнению практических занятий и организации самостоятельной работы. – 50 с.

Разработчики: В.М. Дмитриев, О.С. Затик, Т.В. Ганджа. – Томск: 2017.

Методические указания «Эколого-экономические системы» предназначены для студентов направления бакалавриата «Системный анализ и управление». Оно включает методические указания по выполнению практических и самостоятельных работ.

СОДЕРЖАНИЕ

Занятие № 1. Разработка критериев оптимизации параметров природоохранных мероприятий и выбор методов оптимизации с учётом специфики управления эколого-экономическими системами	4
Занятие № 2. Формирование структуры библиотеки моделей природоохранных мероприятий с учётом структуры экологической программы предприятий нефтяной отрасли	9
Занятие № 3. Задача оптимизации параметров процесса «Откачка нефти с грунта» и ее автоматизированное решение	11
Занятие № 4. Задача оптимизации параметров процесса «Детоксикация грунта сорбентом» и ее автоматизированное решение	32
Занятие № 5. Разработка примера алгоритма структурного синтеза фрагмента экологической программы предприятия нефтяной отрасли	47
Методические указания по организации самостоятельной работы студентов	49
Список литературы	50

Практическое занятие № 1. Разработка критериев оптимизации параметров природоохранных мероприятий и выбор методов оптимизации с учетом специфики управления эколого-экономическими системами

Особенности объекта исследования играют важную роль при выборе методов оптимизации [1], построении математической модели объекта управления [2] и разработке критериев оптимизации природоохранных мероприятий.

Проведем анализ специфики эколого-экономической системы (ЭЭС) с целью идентификация задачи оптимизации параметров природоохранных мероприятий, выбора метода оптимизации и синтеза критериев оптимизации при автоматизированном формировании экологической программы.

Выделим следующие особенности эколого-экономических систем предприятий нефтяной отрасли:

– результаты деятельности управляемых субъектов многоаспектны. Различаются такие уровни как экологический, экономический, организационно-технологический;

– наличие выделяемых сред управления, предполагает участие в системе компонентов различной природы (компоненты природной среды, фонды, технические средства и др.), наличие материальных и информационных потоков в связях, что характерно для больших систем. Причем параметры технологических процессов природоохранных мероприятий оказывают влияние на состояние компонентов природной среды и фонда предприятия;

– подсистемы имеют «высокую степень открытости, отражаемую, в частности, большим количеством линейных управляющих воздействий», в т.ч. детоксикация грунта загрязненного нефтью, очистка промышленных стоков и водопропускных сооружений [3], инновации, инвестиции;

– плановыми показателями экологической программы] являются такие показатели как затраты, время выполнения природоохранных мероприятий, эффективность мероприятий, предотвращенный экологический ущерб.

Выявленные особенности управления ЭЭС требуют учета при постановке и решении задачи оптимального управления ЭЭС, которая включает следующие этапы:

- определение класса задач и метода оптимизации;
- формирование уравнений состояния системы;
- определение управляющих переменных задачи;
- представление ограничений в виде уравнений или неравенств;
- задание критерия-функционала (целевой функции), подлежащего минимизации или максимизации.

В результате анализа специфики ЭЭС, методов оптимизации, программ оптимизации CM MAPC, задач оптимизации параметров природоохранных мероприятий сделаны следующие выводы:

1) *Определен класс задач оптимизации.* Задачи оптимизации параметров природоохранных мероприятий (ПОМ) в большинстве своем относятся к классу задач линейного программирования со смешанным типом ограничений, поскольку ограничения, представленные в виде равенств или неравенств, и целевая функция, как правило, линейны. Причем значения управляющих переменных для ряда задач оптимизации принимают только целые значения, что характерно для класса задач целочисленного программирования;

2) *Предложено рассмотреть для примера две задачи оптимизации параметров природоохранных мероприятий:*

- *задача оптимизации параметров технологического процесса ПОМ «Откачка нефти с грунта»;*

– задача оптимизации расхода сорбента при выполнении технологического процесса ПОМ «Детоксикация грунта сорбентом»;

3) Выбраны методы оптимизации из реализованных в СМ МАРС:

– для решения задачи оптимизации параметров технологического процесса ПОМ «Откачка нефти с грунта» выбран метод для решения многомерной оптимизации - метод покоординатного спуска (метод Гаусса–Зейделя). Так как данный метод прост и удобен для реализации автоматизированного решения задач многомерной оптимизации. Отметим, что данный метод сводит задачу поиска наименьшего значения функции нескольких переменных к многократному решению одномерных задач оптимизации;

– для решения задачи оптимизации расхода сорбента при выполнении ТП ПОМ «Детоксикация грунта сорбентом» выбран метод для решения одномерной оптимизации - метод золотого сечения. Он обладает высокой вычислительной эффективностью и простотой реализации;

4) Определен состав уравнений ЭЭС. Состояние ЭЭС описывается уравнениями переменных связи компонентов ее подсистем: технических средств, природной среды, фонда;

5) Определен тип переменных задачи оптимизации ЭЭС. В качестве управляющих переменных задачи оптимизации ЭЭС выступают параметры технологического процесса и технических средств природоохранного мероприятия, поскольку они влияют на состояние всех подсистем ЭЭС;

6) Задачи оптимизации параметров природоохранных мероприятий сводятся к определению оптимальных параметров технических средств и технологического процесса как функции от t в интервале $t_1 \leq t \leq t_2$ (при заданных начальных состояниях подсистем, ограничениях на переменные состояния и управления), минимизирующих заданный критерий-функционал.

Разработаны универсальные критерии-функционалы для решения задач оптимизации параметров природоохранных мероприятий (1.1-1.5):

1) Критерий-функционал «Время выполнения» задается в виде:

$$\min T(t) = \int_{t_1}^{t_2} dt, \quad (1.1)$$

где $T(t)$ – время выполнения мероприятия;

$$\Delta t = t_2 - t_1 = F(V_{i0}, P, N),$$

где V_{i0} – начальный объем, либо концентрация загрязнения;

P – параметр технического средства ПОМ;

N – количество технического средства используемых в ТП ПОМ.

Критерий (1) используется в задаче регулирования параметров природоохранных мероприятий по быстродействию;

2) Критерий-функционал «Затраты» задается в виде:

$$\min Z(t) = \int_{t_1}^{t_2} \sum_{i=1}^k C^i \cdot N(t) dt, \quad (1.2)$$

где $Z(t)$ – затраты предприятия на выполнение мероприятия за время t ;

C^i – цена использования 1 ед.ресурса в час. Если цена использования ресурса зависит от его состояния, то $C = C(st)$, где st - состояние ресурса;

$N(t)$ – объем используемых ресурсов за время t . Причем $N(t) = \frac{N \cdot t}{3600}$, где N – количество ресурсов, используемых в час, и зависит от загрязнения КПС, параметров ресурсов и времени выполнения мероприятия;

k – число типов используемых ресурсов;

Критерий (1.2) используется в задаче регулирования параметров природоохранных мероприятий по экономической эффективности;

3) Критерий-функционал «Эффективность мероприятия» задается в виде:

$$\max ЭМ(t) = P \cdot \int_{t_1}^{t_2} N(t) dt, \quad (1.3)$$

где $ЭМ(t)$ – эффективность мероприятия за время t ;

$N(t)$ – объем используемых ресурсов за время t ;

P – параметр ресурса (технического средства, материального ресурса), характеризующий компенсирующее воздействие 1 ед. ресурса на КПС.

Критерий (1.3) используется в задаче регулирования параметров природоохранных мероприятий по технологической эффективности;

4) Критерий-функционал «Предотвращенный экологический ущерб» задается в виде:

$$\max ПЭУ(t) = Цнэу \cdot \int_{t_1}^{t_2} ЭМ(t) dt, \quad (1.4)$$

где $ПЭУ(t)$ – предотвращенный экологический ущерб, в руб.;

$ЭМ(t)$ – эффективность мероприятия за время t , количество восстановленных единиц КПС за время выполнения ПОМ;

$Цнэу$ – цена 1 ед. восстановленного КПС.

Критерий (4) используется в задаче регулирования параметров природоохранных мероприятий по экологической эффективности;

1) «Мультипликативный обобщенный критерий-функционал ЭЭС» задается в виде:

$$\min МКФ(t) = \int_{t_1}^{t_2} \frac{Z(t) \cdot T(t)}{ЭМ(t) \cdot ПЭУ(t)} dt, \quad (1.5)$$

где $МКФ(t)$ – мультипликативный обобщенный критерий-функционал.

Критерий (1.5) сформирован на основе обобщения критериев-функционалов (1.1-1.4).

Предложенные критерии оптимизации природоохранных мероприятий (1.1-1.5) программно реализованы в составе библиотеки компонентов критериев оптимизации природоохранных мероприятий для их последующего использования при моделировании и анализе ЭЭС.

Занятие № 2. Формирование структуры библиотеки моделей природоохранных мероприятий с учетом структуры экологической программы предприятия нефтяной отрасли

Для автоматизации процесса синтеза экологических программ изучена унифицированная структура экологической программы предприятия нефтяной отрасли и установлено рациональное число типовых разновидностей природоохранных мероприятий – 9 групп по основным направлениям природоохранной деятельности:

- 1) Организационные мероприятия;
- 2) Природоохранное строительство;
- 3) Мероприятия по предупреждению аварийных загрязнений;
- 4) Мероприятия по охране малых рек и рациональному использованию водных ресурсов;
- 5) Мероприятия по охране атмосферного воздуха от загрязнения;
- 6) Охрана и рациональное использование земельных ресурсов;
- 7) Мероприятия по обращению с отходами;
- 8) Экологический мониторинг
- 9) Экологическое обучение.

На основе изучения унифицированной структуры и формализованного фрагмента экологической программы предприятия нефтяной отрасли создана структура библиотеки моделей природоохранных мероприятий предприятий нефтяной отрасли (рис. 2.1).

Ветвь дерева на рис. 2.1, выделенная цветом, выбрана для рассмотрения в примере имитационного моделирования эколого-экономических процессов и экспериментального синтеза фрагмента экологической программы предприятия нефтяной отрасли.

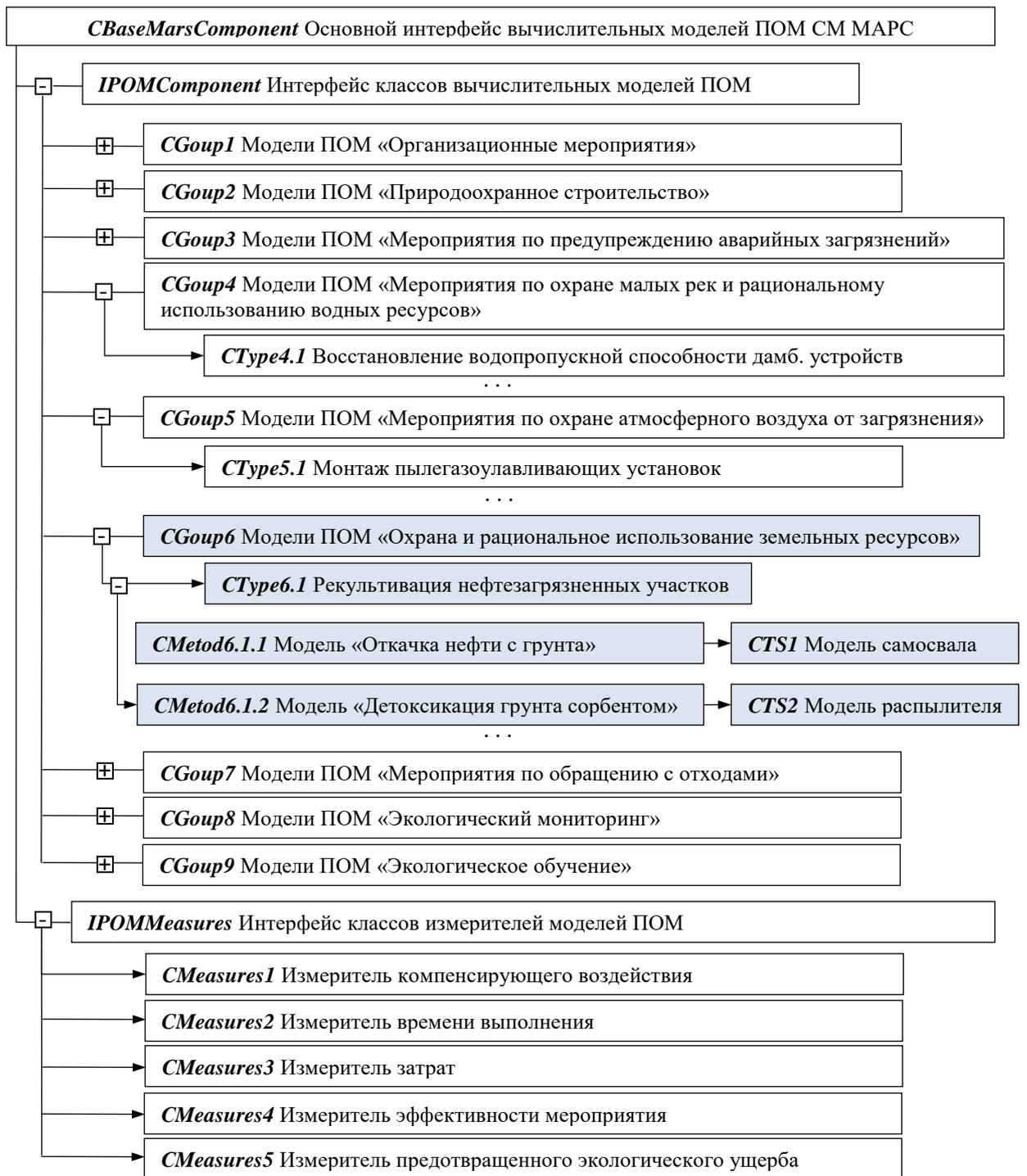


Рис. 2.1. Структура библиотеки моделей природоохранных мероприятий в составе экологической программы предприятия нефтяной отрасли

Занятие № 3. Задача оптимизации параметров процесса «Откачка нефти с грунта» и ее автоматизированное решение

Задача оптимизации параметров технологического процесса ПОМ «Откачка нефти с грунта» решена в несколько этапов:

Этап 1. Понимание системы. В процессе выполнения ПОМ «Откачка нефти с грунта» взаимодействуют следующие компоненты ЭЭС (рис. 3.1):

- *грунт и грунтовые воды*, загрязненные нефтью;
- *вакуумный самосвал*, выполняющий сбор нефти с грунта (самосвал);
- *шламовый амбар*, предназначенный для временного хранения собранной загрязнённой нефтью почвы и жидкости;
- *фонд*, расходуемый в процессе выполнения.

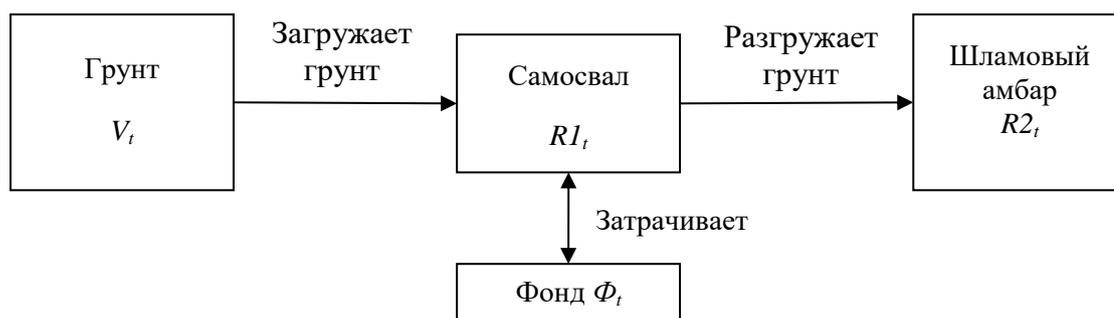


Рис. 3.1. Взаимодействие компонентов ЭЭС в процессе выполнения ПОМ «Откачка нефти с грунта»

Этап 2. Формулировка цели моделирования системы. Необходимо определить плановые показатели ПОМ «Откачка нефти с грунта» (затраты, эффективность, предотвращенный ущерб и время выполнения) при оптимальных параметрах технологического процесса;

Этап 3. Постановка задачи компьютерного моделирования

Логико-математическое описание процесса ПОМ «Откачка нефти с грунта». В качестве основных уровней модели процесса ПОМ «Откачка

нефти с грунта», характеризующих состояние ЭЭС, взяты следующие уровни:

- уровень заполнения вакуумного самосвала (далее самосвала) $R1_t$;
- уровень заполнения шламового амбара $R2_t$;
- уровень загрязнения V_t ;
- уровень фонда Φ_t .

Каждому из этих уровней соответствует определенная уровневая переменная (переменная состояния): объем вещества в самосвале, объем загрязненного грунта нефтью, объем грунта в боне, объем фондов:

1) *Объем вещества в самосвале Vc_t* являются переменной уровня. Он увеличивается в процессе загрузки, уменьшается в процессе разгрузки.

Изменение объема грунта Vc_t за момент времени t дается уравнением:

$$dVc/dt = PRI_t - TRI_t, \quad (3.1)$$

где Vc_t – объем грунта в самосвале, в м.куб.;

PRI_t – объем грунта, загружаемого самосвалом за время t ;

TRI_t – объем грунта разгружаемого самосвалом за время t .

Причем, $PRI_t = \frac{t \cdot P1}{3600}$, где $P1$ – скорость загрузки самосвала, в м.куб/ч,

$TRI_t = \frac{t \cdot P2}{3600}$, где $P2$ – скорость разгрузки самосвала, в м.куб/ч

Формула (3.1) описывает различные состояния самосвала (загрузка, разгрузка, ожидание), при условии:

- если $TRI_t = 0$, то модель описывает состояние загрузки самосвала;
- если $PRI_t = 0$, то модель описывает состояние разгрузки самосвала;
- если $PRI_t = 0$ и $TRI_t = 0$, то модель описывает состояние ожидания;

2) *Уровень заполнения шламового амбара Va_t* являются переменной уровня. Он увеличивается при разгрузке самосвала.

Изменение объема грунта в амбаре Va_t дается уравнением:

$$dVa/dt = TRI_t, \quad (3.2)$$

где Va_t – объем грунта в амбаре, в м.куб.;

N_t – объем загружаемых самосвалов;

TRI_t – объем грунта, разгружаемого самосвалом за время t .

3) *Уровень загрязнения* V_t являются переменной уровня. Он увеличивается за счет вредного воздействия производства, и уменьшается за счет выполнения ПОМ с помощью самосвала.

Изменение объема грунта загрязненного нефтью $V_{зt}$, дается уравнением:

$$dV_{зt}/dt = ZRI_t - PRI_t, \quad (3.3)$$

где $V_{зt}$ – объем загрязненного грунта на лицензионном участке, в м.куб.;

PRI_t – объем грунта, загружаемого самосвалом за время t ;

N_t – объем загружаемых самосвалов за время t ;

ZRI_t – объем грунта, угнетенного загрязнителем за время t .

Формула (3.3) описывает различные состояния грунта, загрязненного нефтью (восстановление, загрязнение, ожидание), при условии:

- если $ZRI_t=0$, то модель описывает состояние удаления грунта;
- если $PRI_t=0$, то модель описывает состояние загрязнения грунта;
- если $PRI_t=0$ и $ZRI_t=0$, то модель описывает фоновое состояние;

4) *Фонды* Φ_t являются переменной уровня. Они уменьшаются за счет затрат на использование технического средства самосвал.

Изменение размера Φ_t в момент времени t дается уравнением:

$$d\Phi/dt = Z_t, \quad (3.4)$$

где Φ_t – объем фондов в руб.;

Z_t – затраты на использование самосвала за время t .

Величина Z_t определяется по формуле:

$$\min Z_t = \int_{t1}^{t2} \sum_{i=1}^k C_i^i \cdot N_t dt, \quad (3.5)$$

где $Z(t)$ – затраты предприятия на выполнение мероприятия за время t ;
 C^i – цена использования 1 ед.ресурса в час. Если цена использования ресурса зависит от его состояния, то $C = C(st)$, где st - состояние ресурса;

N_t – объем используемых ресурсов в момент времени t ;

k – число типов используемых ресурсов.

Здесь *переменные модели* $PR1_t$, $TR1_t$ и N_t определяют последовательность решений, изменяющих $(t-1)$ -ю систему состояний ЭЭС в (t) -ю.

Задача оптимизации параметров процесса ПОМ «Откачка нефти с грунта» состоит в определении оптимальных параметров технологического процесса $\bar{P} = \{P1, P2, N\}$ как параметров функции от t в интервале $t1 \leq t \leq t2$ (при заданных начальных состояниях, ограничениях на переменные состояния и управления), минимизирующих заданный «Мультипликативный обобщенный критерий-функционал»:

$$\min MK\Phi(t) = \int_{t1}^{t2} \frac{Z(t) \cdot T(t)}{\mathcal{E}M(t) \cdot ПЭУ(t) \cdot PR1(t) \cdot TR1(t)} dt. \quad (3.6)$$

Он сформирован в результате обобщения следующих критериев-функционалов:

1) Критерии, подлежащие минимизации:

– «Затраты на выполнение ПОМ» $Z(t)$ вычисляются по формуле:

$$Z(t+h) = Z(t) + C_c \cdot \frac{h \cdot N}{3600}, \quad (3.7)$$

где $Z(t+h)$ – затраты предприятия на выполнение природоохранного мероприятия в момент времени $t+h$;

$Z(t)$ – затраты на использование самосвала в момент времени t ;

C_c – цена использования 1 ед.самосвала в час. Если цена использования самосвала зависит от его состояния, то $C_c = C_c(st)$, где st - состояние самосвала (загрузка, разгрузка, ожидание);

N – количество используемых самосвалов в час;

h – шаг времени моделирования;

– «Время выполнения ПОМ» $T(t)$ вычисляется по формуле:

$$T(t+h) = T(t) + h, \quad (3.8)$$

где $T(t)$ – время выполнения мероприятия в момент времени t ;

Время выполнение мероприятия до полного устранения загрязнения ($V_{з_i} = 0$) на участке равно:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{V_{з(0)}}{P_1 \cdot N} + \frac{V_{з(0)}}{P_2 \cdot N},$$

где $V_{з_{t0}}$ – начальный объем загрязненного грунта на лицензионном участке, в м.куб.;

P_1 и P_2 – скорость загрузки и разгрузки самосвала соответственно, в м.куб/ч;

N – количество самосвалов, единиц в час;

2) Критерии, подлежащие максимизации:

– «Эффективность мероприятия» $\mathcal{E}M(t)$ вычисляется по формуле:

$$\mathcal{E}M(t+h) = \mathcal{E}M(t) + \frac{h \cdot P_1 \cdot N}{3600}, \quad (3.9)$$

где $\mathcal{E}M(t)$ – эффективность мероприятия в момент времени t в м.куб/ч;

P_1 – скорость загрузки самосвала, в м.куб/ч;

N – количество самосвалов, единиц в час;

– «Предотвращенный экологический ущерб» $ПЭУ(t)$ вычисляется по формуле:

$$ПЭУ(t+h) = ПЭУ(t) + Ц_{пэу} \cdot \mathcal{E}M(h), \quad (3.10)$$

где $ПЭУ(t)$ – предотвращенный экологический ущерб, в руб.;

$\mathcal{E}M(h)$ – эффективность мероприятия, объем восстановленного грунта в момент времени h , м.куб.;

$Ц_{пэу}$ – стоимость 1 ед. м.куб. восстановленного грунта;

– Объем загружаемого грунта вычисляется по формуле:

$$PRI(t+h) = PRI(t) + \frac{h \cdot P1 \cdot N}{3600}, \quad (3.11)$$

где $P1$ – скорость загрузки;

– Объем разгружаемого грунта вычисляется по формуле:

$$TRI(t+h) = TRI(t) + \frac{h \cdot P2 \cdot N}{3600}, \quad (3.12)$$

где $P2$ – скорость разгрузки;

– Количество самосвалов/ часов вычисляется по формуле:

$$N(t+h) = N(t) + \frac{h \cdot N}{3600}. \quad (3.13)$$

Начальные состояния, ограничения на переменные модели:

– начальные состояния подсистем ЭЭС: объем загрязненного грунта на лицензионном участке $V_{з10}$; объем грунта в самосвале $V_{с10}$; объем грунта в шламовом амбаре $V_{а10}$, объем фонда Φ_{10} , цена использования самосвала за час работы C_c ; стоимость 1 ед. восстановленного грунта $C_{нэу}$;

– целевые состояния подсистем ЭЭС по завершению ТП ПОМ: $V_{зтН}=0$, $V_{стН}=0$ и $V_{атН} \geq V_{з10}$;

– ограничения на переменные состояния ЭЭС:

$$V_{с^i_t} \leq V_{с^i_t \max}, \quad (3.14)$$

где $V_{с_t}$ – объем грунта в самосвале;

$V_{с^i_t \max}$ – предельно-допустимый объем грунта в самосвале;

i – тип самосвала, для каждого типа самосвала свой объем кузова;

$$V_{а_t} \leq V_{а_t \max}, \quad (3.15)$$

где $V_{а_t}$ – объем грунта в амбаре;

$V_{а_t \max}$ – предельно-допустимый объем бона;

– ограничения на режимы функционирования самосвала:

$$P1^i \min \leq P1^i \leq P1^i \max, \quad (3.16)$$

где $P1^i$ – скорость загрузки самосвала типа i ;

$P1_{\min}$ и $P1_{\max}$ – минимально и максимально допустимые скорости загрузки самосвала типа i соответственно;

$$P2^i_{\min} \leq P2^i \leq P2^i_{\max}, \quad (3.17)$$

где $P2^i$ – скорость разгрузки самосвала;

$P2^i_{\min}$ и $P2^i_{\max}$ – минимально и максимально допустимые скорости разгрузки самосвала соответственно;

– ограничения на число доступных самосвалов в ТП ПОМ:

$$N_{\min} \leq N \leq N_{\max}, \quad (3.18)$$

где N – число самосвалов в час,

определяющие замкнутую область допустимых управлений.

В целом, состояние эколого-экономической системы в процессе выполнения природоохранного мероприятия «Откачка нефти с грунта» характеризуется приведенными выше дифференциальными уравнениями (3.2)-(3.5). Динамика вычисляемых эколого-экономических показателей данного природоохранного мероприятия определяется дифференциальными уравнениями (3.2)-(3.13).

Предложенное выше логико-математическое описание природоохранного мероприятия «Откачка нефти с грунта» требует учета при синтезе моделей компонентов и моделирующего алгоритма с целью автоматизированного решения поставленной задачи оптимального управления ЭЭС (3.6), (3.14)-(3.18);

Этап 4. Разработка моделей компонентов ЭЭС в формате МКЦ

В процессе выполнения ПОМ «Откачка нефти с грунта» задействованы следующие компоненты ЭЭС:

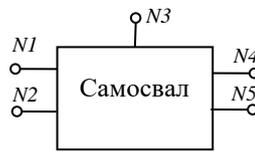
- компонент природной среды Грунт;
- техническое средство Самосвал;
- компонент природной среды Шламовый амбар;
- компонент Фонд;

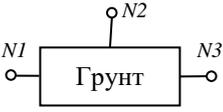
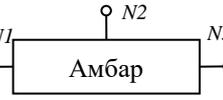
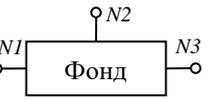
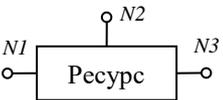
- конвертеры, в т.ч.:
 - затраты на выполнение ПОМ;
 - эффективность мероприятия;
 - предотвращенный экологический ущерб;
 - время выполнения ПОМ;
 - компенсирующее воздействие на КПС Грунт;
- управляемый ключ и условие, подающее ему сигнал.

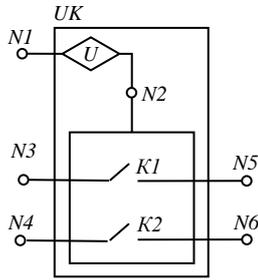
Разработаны условные обозначения и математические модели компонентов ЭЭС (табл. 3.1) и конвертеров ПОМ «Откачка нефти с грунта» (табл. 3.2), в их 3-х аспектах: математическом, топологическом и физическом. Моделей компонентов и конвертеров выполнены с учетом выше предложенного логико-математического описания ПОМ «Откачка нефти с грунта» (3.1)-(3.16).

Табл. 3.1.

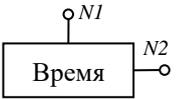
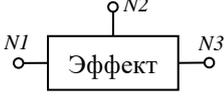
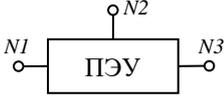
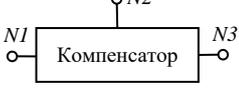
Модели компонентов ЭЭС в процессе ПОМ «Откачка нефти с грунта»

№	Название и изображение	Математическая модель	Параметры
1.	<p>Самосвал</p> 	<p>Модель загрузка:</p> $VN4(t+h) = VN4(t) + VN1(h)$ <p>Модель разгрузка:</p> $VN4(t+h) = VN4(t) + VN1(h)$ <p>Модель ожидание:</p> $VN4(t+h) = VN4(t)$	<p>$VN1$ – объем загрузки $VN2$ – объем разгрузки $VN4$ – объем заполнения самосвала $N3$ – связь для параметризации $N5$ – связь для обмена информацией и передачи параметров <i>Параметры модели самосвал, загружаются из БД:</i> $P1$ – скорость загрузки $P2$ – скорость разгрузки $Vmax$ – вместимость кузова N – количество используемых самосвалов данного типа в час</p>

2.	<p>Грунт</p> 	$VN3(t+h) = VN3(t) - VN1(h)$	<p>$VN1(h)$ – скорость загрузки, компенсирующее воздействие</p> <p>$VN2$ – начальный объем загрязнения, параметр загружается из БД</p> <p>$VN3(t+h)$ – объем загрязненного грунта в момент времени $t+h$</p>
3.	<p>Шламовый амбар</p> 	$VN3(t+h) = VN3(t) + VN1(h)$	<p>$VN1(h)$ – объем разгрузки, компенсирующее воздействие</p> <p>$VN2$ – начальный объем заполнения, параметр из БД</p> <p>$VN3(t+h)$ – объем загрязненного грунта в амбаре в момент времени $t+h$</p>
4.	<p>Фонд</p> 	$VN3(t+h) = VN3(t) - VN1(h)$	<p>$VN1(h)$ – затраты</p> <p>$VN2$ – начальный объем фонда, параметр загружается из БД</p> <p>$VN3(t+h)$ – объем фонда в момент $t+h$</p>
5.	<p>Ресурс</p> 	$VN3 = VN2 - VN1$	<p>$VN1$ – потребление ресурса</p> <p>$VN2$ – начальный объем ресурса, параметр загружается из БД</p> <p>$VN3$ – объем свободного ресурса</p>

6.	<p>Переключатель режима модели Самосвал</p> 	<p>Если $\overline{VN2}_t = [1,0]$, то режим загрузки: $VN5_t = VN3_t$, $VN6_t = 0$.</p> <p>Если $\overline{VN2}_t = [0,1]$, то режим разгрузки: $VN5_t = 0$, $VN6_t = VN4_t$.</p> <p>Если $\overline{VN2}_t = [0,0]$, то режим ожидания: $VN5_t = 0$, $VN6_t = 0$.</p>	<p>U – условия переключения режима работы модели. Если для этого требуется время, то используется переключение с задержкой</p> <p>$VN1$ – уровень наполнения самосвала</p> <p>$N2$ – сигнальный выход</p> <p>$\overline{VN2}$ – вектор-сигнал для ключей $K1$, $K2$, которые зависят от величины $VN1$</p> <p>$N4$ – связь с КПС Грунт</p> <p>$N5$ – связь со шламовым амбаром для локализации загрязнения</p>
----	---	--	---

Модели конвертеров ТП ПОМ «Откачка нефти с грунта»

№	Название и изображение	Математическая модель	Параметры
1.	<p>Затраты</p> 	$VN3_t = VN1_t \cdot VN2_t$	<p>$VN1$ – количество самосвалов в час $VN2$ – цена использования 1 ед.самосвала в час $VN3$ – затраты, в руб.</p>
2.	<p>Время выполнения</p> 	$\frac{dVN2}{dt} = VN1_t$	<p>$VN1$ – время моделирования $VN2$ – время выполнения ПОМ</p>
3.	<p>Эффективность мероприятия</p> 	$\frac{dVN3}{dt} = VN1_t \cdot VN2_t$	<p>$VN1$ – объем загрузки в момент t $VN2$ – количество загружаемых самосвалов $VN3$ – эффективность мероприятия, в м.куб.</p>
4.	<p>Предотвращенный экологический ущерб (ПЭУ)</p> 	$\frac{dVN3}{dt} = VN1_t \cdot VN2_t$	<p>$VN1$ – эффективность мероприятия $VN2$ – цена 1 ед.эффекта, параметр загружается из БД $VN3$ – предотвращенный экологический ущерб, в руб.</p>
5.	<p>Объем загружаемого грунта</p> 	$\frac{dVN3}{dt} = VN1_t \cdot VN2_t$	<p>$VN1$ – скорость загрузки $VN2$ – время загрузки $VN3$ – объем загружаемого грунта</p>
6.	<p>Объем разгружаемого грунта</p> 	$\frac{dVN3}{dt} = VN1_t \cdot VN2_t$	<p>$VN1$ – скорость разгрузки $VN2$ – время разгрузки $VN3$ – объем разгружаемого грунта</p>

Этап 5. Разработка концептуальной структуры модели

Разработана структура интегрированной многоуровневой КМ ЭЭС для анализа процесса ПОМ «Откачка нефти с грунта» (рис. 3.3):

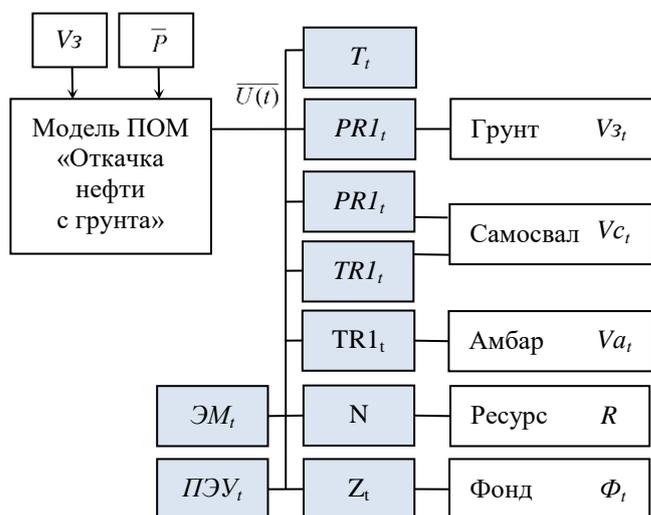


Рис. 3.3. Структура КМ ЭЭС ПОМ «Откачка нефти с грунта»

Параметры и переменные КМ ЭЭС:

1. Входные параметры модели

ПОМ:

$$\bar{P} = \{ P1, P2, V_{max}, N, h, C_{\phi}, S_{пз} \}$$

1.1. Управляемые параметры ТП

ПОМ:

$P1$ – скорость загрузки; $P2$ – скорость разгрузки; V_{max} – объем кузова;

N – количество, используемых

самосвалов данного типа в час;

1.2. Параметры для конвертации:

h – шаг моделирования; C_c – цена 1 ед. самосвала/ч; $C_{пз}$ – цена 1 ед. восстан. грунта, объем загрязнения $V_z(0)$;

2. Выходные переменные связи модели ПОМ, отражающие состояние ЭЭС:

$\bar{U}(t) = \{ Z(t), T(t), ЭМ(t), ПЭУ(t), PR1(t), TR1(t) \}$ (блок конвертеров параметров ТП), где

– затраты на использование самосвала в момент времени $t+h$

$$Z(t+h) = Z(t) + C_c \cdot \frac{h \cdot N}{3600};$$

– текущее время $T(t+h) = T(t) + h$; время выполнения $\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{V_z(0)}{P1 \cdot N} + \frac{V_z(0)}{P2 \cdot N}$;

– эффективность мероприятия в момент времени $t+h$

$$ЭМ(t+h) = ЭМ(t) + \frac{h \cdot P1 \cdot N}{3600};$$

– предотвращенный экологический ущерб $ПЭУ(t+h) = ПЭУ(t) + C_{пз} \cdot ЭМ(h)$;

- объем загружаемого грунта $PR1(t+h) = PR1(t) + \frac{h \cdot P1 \cdot N}{3600}$;
- объем разгружаемого грунта $TR1(t+h) = TR1(t) + \frac{h \cdot P2 \cdot N}{3600}$;

3. Переменные связи:

- изменение объема загрязненного грунта на лицензионном участке $dV_3/dt = ZR1_t - PR1_t$;
- изменение объема грунта в самосвале $dV_c/dt = PR1_t - TR1_t$;
- изменение объема грунта в амбаре $dV_a/dt = TR1_t$;
- изменение размера фонда $d\Phi/dt = -Z_t$;
- изменение размера свободных ресурсов $dR/dt = -N$.

Этап 6. Разработка алгоритма эксперимента

Разработан алгоритм поиска оптимальных параметров процесса ПОМ «Откачка нефти с грунта» (рис. 3.4). Имитационное моделирование ЭЭС осуществляется во временной области с постоянным временным шагом h .

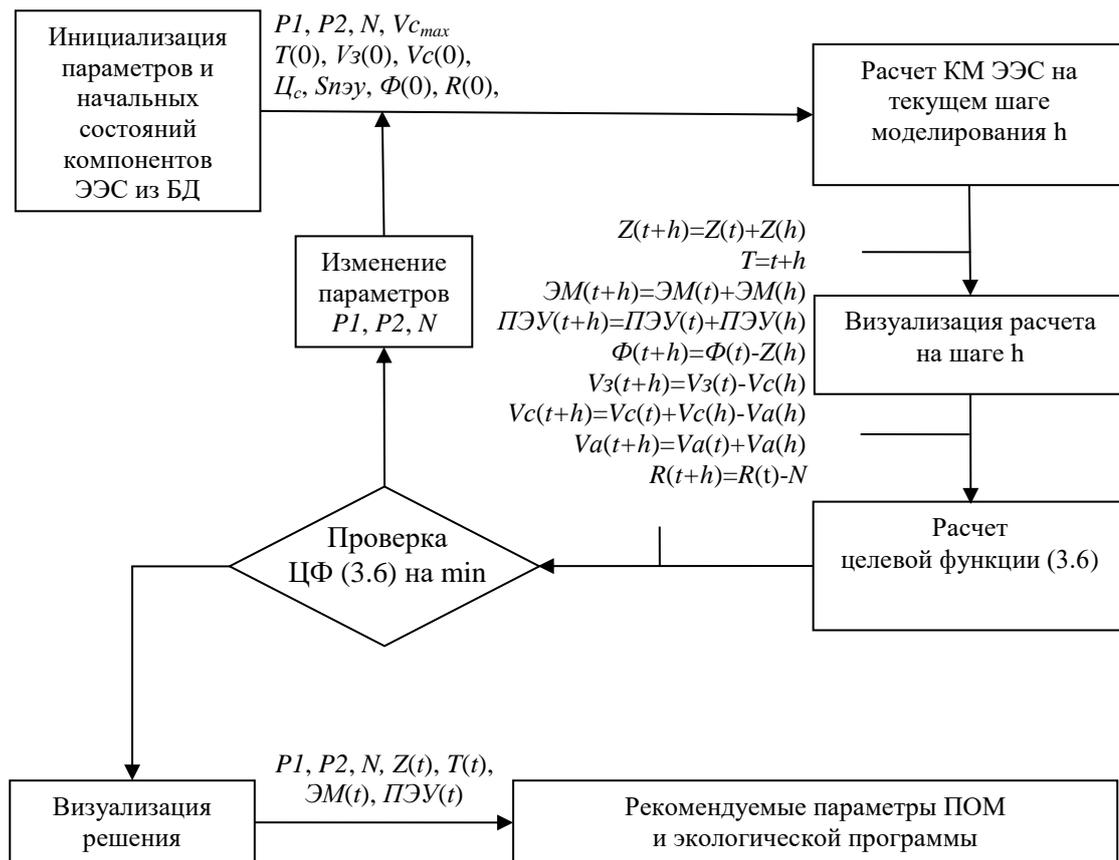


Рис. 3.4. Алгоритм эксперимента ПОМ «Откачка нефти с грунта»

Здесь взяты следующие параметры $P1$ – скорость загрузки; $P2$ – скорость разгрузки; V_{max} – объем кузова; N – количество, используемых самосвалов данного типа в час. И переменные модели, которые зависят от времени моделирования, $Vз$ – объем загрязненного грунта; Vc – объем грунта в самосвале; Va – объем грунта в амбаре; Φ – объем фонда; Z – затраты; ЭМ – эффективность мероприятия; ПЭУ – предотвращенный экологический ущерб.

Компьютерная модель самосвала реализует следующий алгоритм работы самосвала (рис. 3.5):

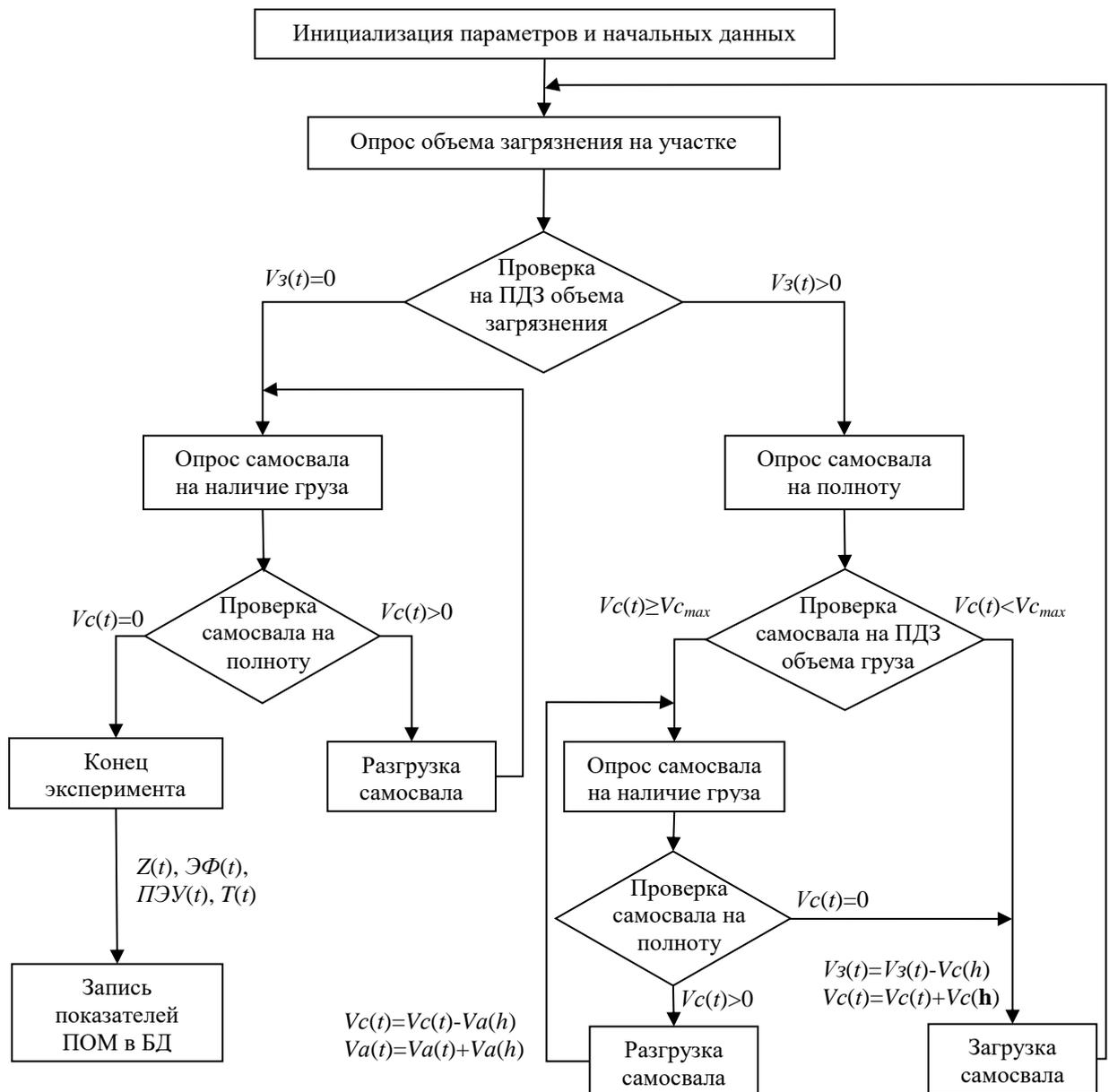


Рис. 3.5. Алгоритм работы самосвала ПОМ «Откачка нефти с грунта»

Здесь взяты следующие переменные модели, которые зависят от времени моделирования, V_3 – объем загрязненного грунта; V_c – объем грунта в самосвале; V_a – объем грунта в амбаре.

Предложенные алгоритмы эксперимента ПОМ «Откачка нефти с грунта» реализуется в имитационном ядре среды моделирования MARCS. Для ядра ставятся следующие задачи:

- 1) Установка соединения связей между компонентами модели;

2) Пересылка сообщений от компонентов-источников к компонентам - приемникам;

3) Изменение глобальных параметров моделирования, одинаковых для всех компонентов исследуемой компонентной цепи. Запрос значений глобальных параметров производится компонентом путем вызова функций интерфейса имитационного ядра:

- *GetCurrentTime()* возвращает текущее время моделирования;
- *GetCurrentStep()* возвращает текущий шаг моделирования.

Интерфейс имитационного ядра является открытым и может быть дополнен другими функциями.

Алгоритма функционирования ЭЭС основывается на процессе обмена сообщениями по связям между компонентами. Для реализации алгоритма имитационного моделирования эколого-экономических систем в базовой имитационной модели предусмотрены следующие методы:

- метод начала эксперимента, при котором производится инициализация параметров модели и другие подготовительные к моделированию действия;

- метод начала очередного шага эксперимента;

- метод посылки сообщения в начале эксперимента с помощью выходных связей;

- метод посылки сообщения в начале каждого очередного шага моделирования;

- метод приема сообщения на одну из совокупностей связей;

- метод обработки сообщения, пришедшего на одну из входных связей, возможно, сообщения, пришедшие на часть связей, будут обрабатываться, а на остальные – остаются без обработки.

Этап 7. Реализация модели и алгоритмов эксперимента в СМ МАРС

Предложенные выше модели компонентов, концептуальная структура модели и алгоритмы эксперимента процесса ПОМ «Откачка нефти с грунта» - реализованы в СМ MAPS. Для реализации примера компьютерного моделирования ПОМ «Откачка нефти с грунта» разработана база данных параметров модели ЭЭС в формате MS Access.

Выбор метода оптимизации. Проведено исследование на тему выбор оптимизатора из библиотеки оптимизаторов СМ MAPS, исходя из характеристик задачи управления, вида критерия-функционала и уравнений ограничений. В результате исследований, для решения задачи оптимизации параметров технологического процесса ПОМ «Откачка нефти с грунта» - выбран метод многомерной оптимизации - метод покоординатного спуска (метод Гаусса–Зейделя) [34]. Данный метод прост и удобен для реализации автоматизированного решения задач многомерной оптимизации. Отметим, что данный метод сводит задачу поиска наименьшего значения функции нескольких переменных к многократному решению одномерных задач оптимизации;

Этап 8. Планирование и проведение компьютерного эксперимента

Планирование эксперимента без оптимизации параметров модели, пусть заданы следующие начальные данные:

– начальные состояния подсистем ЭЭС: объем загрязненного грунта на $V_{з_{т0}}=3000\text{м.куб.}$, объем грунта в самосвале $V_{с_{т0}}=0$, объем грунта в амбаре $V_{а_{т0}}=0$, объем фонда $\Phi_{т0}=600\text{тыс.руб.}$;

– целевые состояния подсистем ЭЭС по завершению ТП ПОМ: $V_{з_{тH}}=0$, $V_{с_{тH}}=0$ и $V_{а_{тH}}=V_{з_{т0}}$;

– режимы функционирования самосвала: скорость загрузки самосвала $P1=200\text{м.куб./ч}$, скорость разгрузки самосвала $P2=800\text{м.куб./ч}$, число самосвалов в час $N=2$;

– ограничение на предельный объем грунта в самосвале $V_{с_{т}} \leq 200\text{м.куб.}$;

– цена использования самосвала за час работы $C_c=2\text{тыс.руб.}$;

– цена 1 ед. восстановленного грунта $C_{пэу}=1,2$ тыс.руб.

Автоматизированный расчет показателей ПОМ «Откачка нефти с грунта» в среде моделирования MAPS без оптимизации параметров процесса (рис. 3.6). Параметризация компонентов осуществляется на основе информации из базы данных.

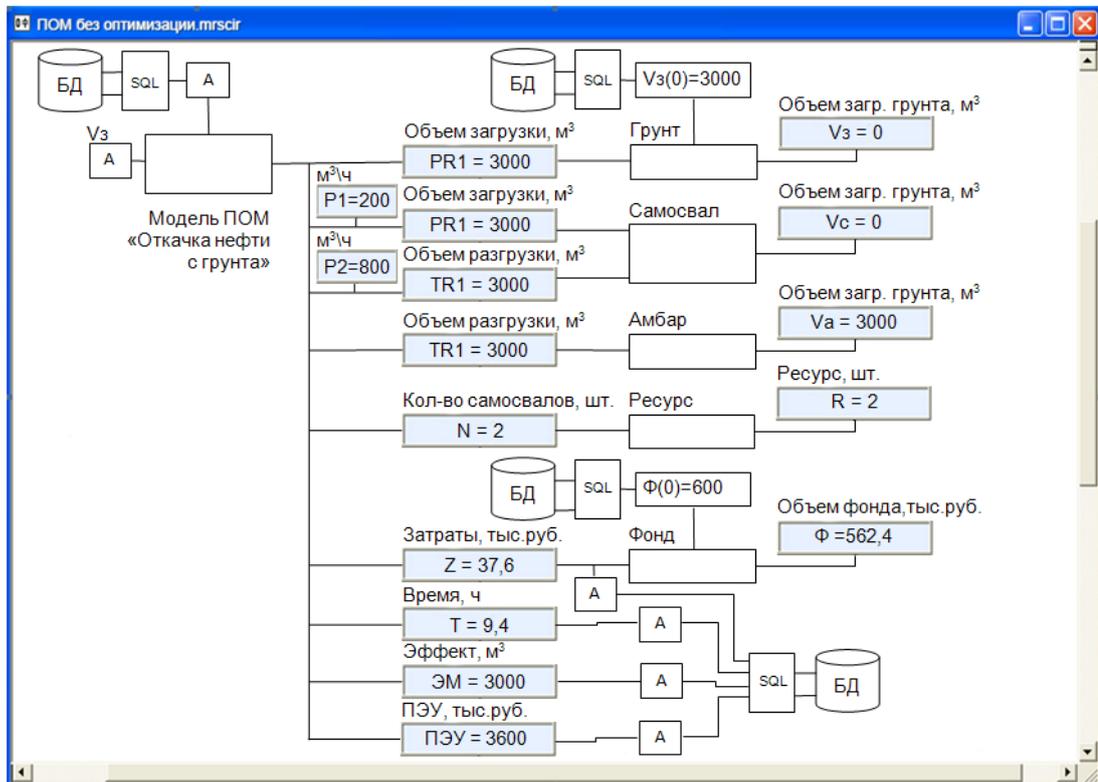


Рис. 3.6. Результат автоматизированного расчета показателей ПОМ «Откачка нефти с грунта» в СМ MAPS

Результат моделирования. Здесь при заданных значениях параметров ТП $P1=200$ м.куб./ч, $P2=800$ м.куб./ч, $N=2$ получены такие показатели ПОМ:

Наименование ПОМ	Затраты, тыс.руб.	Эффективность мероприятия, м.куб.	Предотвращенный экологический ущерб, тыс.руб.	Время выполнения, ч
Откачка нефти с грунта	37,6	3000	3600	9,4

Планирование эксперимента с оптимизацией параметров процесса.

Пусть заданы следующие начальные состояния, ограничения на переменные модели:

– начальные состояния подсистем ЭЭС: объем загрязненного грунта на лицензионном участке $V_{зt0}=3000\text{м.куб.}$; объем грунта в самосвале $V_{сt0}=0$; объем грунта в амбаре $V_{aт0}=0$, объем фонда $\Phi_{t0}=600\text{тыс.руб.}$;

– целевые состояния подсистем ЭЭС по завершению ТП ПОМ: $V_{зtH}=0$, $V_{сtH}=0$ и $V_{aтH}=V_{зt0}$;

– ограничения на режимы функционирования самосвала: скорость загрузки самосвала $200\text{м.куб./ч} \leq P1 \leq 300\text{м.куб./ч}$, скорость разгрузки самосвала $800\text{м.куб./ч} \leq P2 \leq 850\text{м.куб./ч}$, число самосвалов в час $N=2$;

– ограничение на предельный объем грунта в самосвале $V_{сi} \leq 200\text{м.куб.}$;

– цена использования самосвала за час работы $Ц_c=2\text{тыс.руб.}$;

– цена 1 ед. восстановленного грунта $Ц_{пэу}=1,2\text{тыс.руб.}$.

Задача оптимизации параметров процесса ПОМ «Откачка нефти с грунта» состоит в определении оптимальных параметров технологического процесса $\bar{P}=\{P1, P2, N\}$, как параметров функции от t в интервале $t1 \leq t \leq t2$ (при заданных начальных состояниях, ограничениях на переменные состояния и управления), минимизируем заданный мультипликативный обобщенный критерий-функционал (уравнение описано выше ур.3.11):

$$\min MK\Phi(t) = \int_{t1}^{t2} \frac{Z(t) \cdot T(t)}{\text{ЭМ}(t) \cdot ПЭУ(t) \cdot PR1(t) \cdot TR1(t)} \cdot dt$$

Выполнен компьютерный эксперимент, направленный на поиск оптимальных параметров процесса ПОМ «Откачка нефти с грунта», в СМ МАРС (рис.3.7).

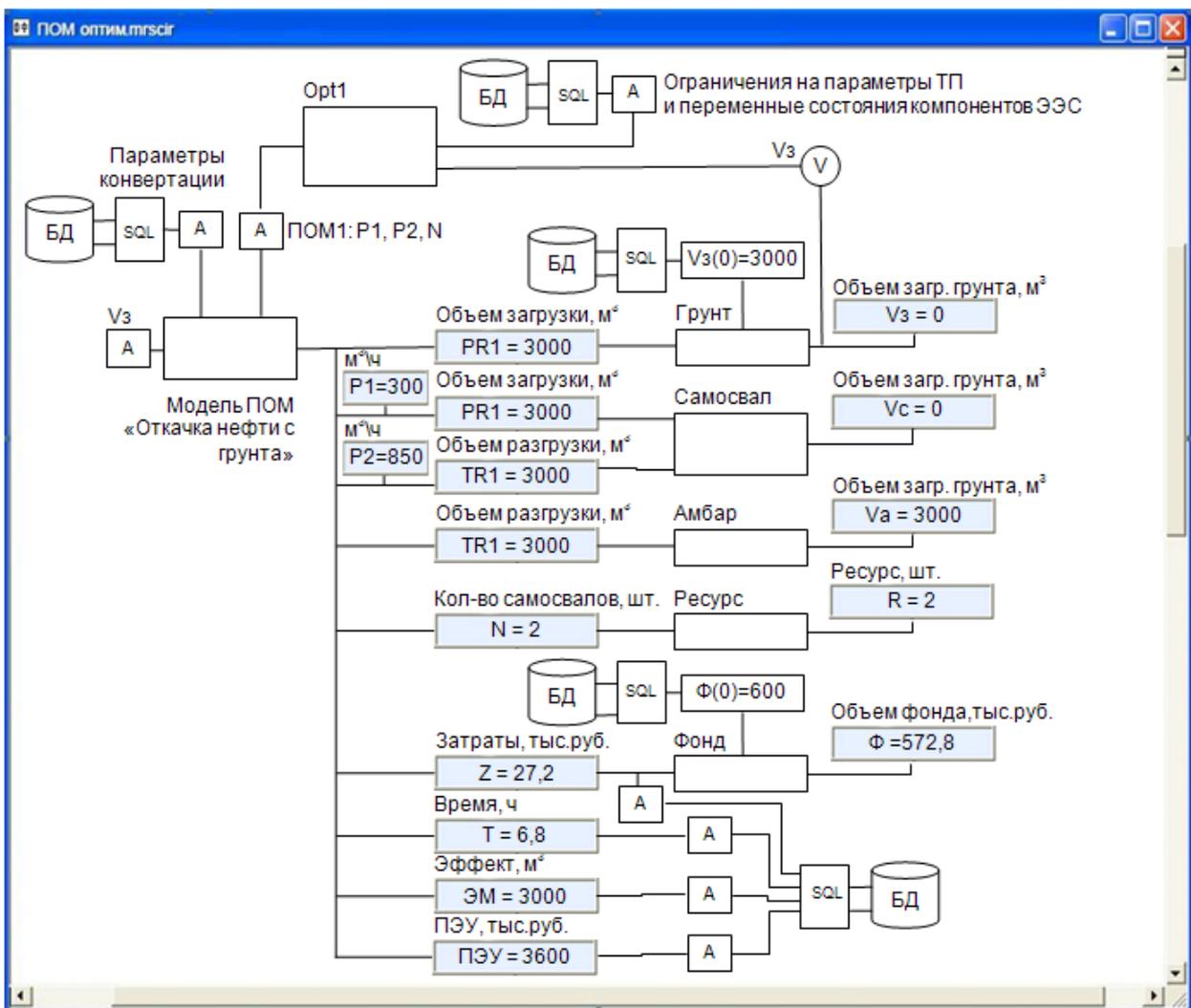


Рис. 3.7. Результат компьютерного эксперимента в СМ МАРС для ПОМ «Откачка нефти с грунта»

Результат моделирования с оптимизацией параметров ПОМ. Сравним полученные без оптимизации и с оптимизацией параметров ПОМ:

Параметры ПОМ «Откачка нефти с грунта»	Без оптимизации	С оптимизацией
Мощность насоса при загрузке вакуумного самосвала, м.куб./ч	200	800
Мощность насоса при разгрузки вакуумного самосвала, м.куб.	300	350
Затраты, руб.	37,6	27,2
Эффективность мероприятия, м.куб.	3000	3000
Предотвращенный экологический ущерб, руб.	3600	3600
Время, ч	9,4	6,8

Здесь, при найденных оптимальных значениях параметров ТП $P1=300$ м.куб./ч, $P2=850$ м.куб./ч, $N=2$, улучшились показатели по времени и

затратам. Полученные оптимальные показатели ПОМ берем за основу при составлении плана экологической программы предприятия.

Занятие № 4. Задача оптимизации параметров процесса «Детоксикация грунта сорбентом» и ее автоматизированное решение

Детоксикация грунта загрязненного нефтепродуктами производится путем «Добавления в грунт сорбента». При этом актуальным является вопрос оптимального расхода сорбента, т.е. какую минимальную массу сорбента необходимо внести в грунт, чтобы концентрация нефти в грунте стала ниже предельно-допустимой концентрации.

Задача оптимизации расхода сорбента при ПОМ «Детоксикация грунта сорбентом» решена в несколько этапов:

Этап 1. Понимание системы. В процессе выполнения ПОМ «Детоксикация грунта сорбентом» взаимодействуют следующие компоненты ЭЭС (рис. 4.1):

- *грунт и грунтовые воды*, загрязненные нефтью;
- *распылитель*, техническое средство, осуществляющее добавление сорбента в грунт;
- *сорбент*, материальный ресурс, предназначенный для добавления в грунт с целью снижения уровня концентрации нефти в нем до предельно-допустимой концентрации;
- *фонд*, затрачиваемый в процессе выполнения технологического процесса на оплату работы распылителя и израсходованного сорбента.

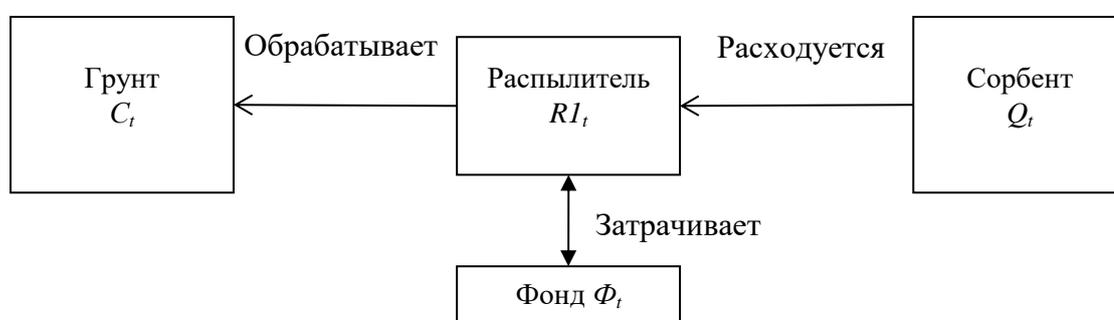


Рис. 4.1. Взаимодействие компонентов ЭЭС в процессе выполнения ПОМ «Детоксикация грунта сорбентом»

Этап 2. Формулировка цели моделирования системы. Необходимо определить оптимальные расход сорбента и плановые показатели ПОМ «Детоксикация грунта сорбентом»;

Этап 3. Постановка задачи компьютерного моделирования

Уравнения состояния ЭЭС. В качестве основных уровней модели процесса ПОМ «Детоксикации грунта сорбентом», характеризующих состояние ЭЭС, взяты следующие уровни:

- уровень запаса сорбента Q_t ;
- уровень наличия распылителей N_t ;
- уровень загрязнения грунта C_t ;
- уровень фонда Φ_t .

Каждому из этих уровней соответствует определенная уровневая переменная (переменная состояния): запас сорбента Q_t , количество распылителей N_t , концентрация нефти в грунте C_t , объем фондов Φ_t :

1) *Запас сорбента Q_t уменьшается в процессе выполнения ПОМ.*

Изменение состояния запаса сорбента Q_t за момент времени t дается уравнением:

$$dQ/dt = RS_t, \quad (4.1)$$

где Q_t – запас сорбента, кг;

RS_t – расход сорбента в момент времени t ;

Величина RS_t определяется по формуле:

$$RS_t = \frac{t \cdot N \cdot P1 \cdot P2}{3600},$$

где RS_t – расход сорбента в момент времени t ;

t – время моделирования;

N – количество распылителей, задействованных в ПОМ;

$P1$ – скорость подачи сорбента, кг/м.кв.;

P_2 – скорость обработки грунта, м.кв./ч.

2) *Количество распылителей N_t* уменьшается в процессе ПОМ и восстанавливается после завершения ТП. Изменение состояния N_t за момент времени t дается уравнением:

$$dN/dt = -N_t, \quad (4.2)$$

где N_t – количество распылителей, задействованных в ТП;

3) *Концентрация нефти в грунте C_t* уменьшается за счет выполнения ПОМ. Изменение состояния C_t за момент времени t дается уравнением:

$$dC/dt = -W_t, \quad (4.3)$$

где C_t – концентрация нефти в грунте, мг/кг;

W_t – компенсирующее воздействие ПОМ в момент времени t .

4) *Объем фондов Φ_t* уменьшается за счет затрат в процессе выполнения технологического процесса на оплату работы распылителя и израсходованного сорбента. Изменение размера фонда Φ_t в момент времени t дается уравнением:

$$d\Phi/dt = -Z_t, \quad (4.4)$$

где Φ_t – объем фондов в руб.;

Z_t – затраты на n распылителей и сорбент в момент времени t .

Здесь *переменные модели* – расход сорбента RS_t определяет последовательность решений, изменяющих $(t-1)$ -ю систему состояний ЭЭС в (t) -ю.

Приведенные уравнения (4.1)-(4.4) характеризуют состояние ЭЭС в ТП ПОМ «Детоксикация грунта сорбентом».

Задача оптимизации параметров ПОМ «Детоксикации грунта сорбентом» состоит в оптимизации расхода сорбента RS_t (а именно скорости подачи сорбента $P1$ кг/м.кв.) как параметра функции от t в интервале $t1 \leq t \leq t2$ (при заданных начальных состояниях, ограничениях на переменные состояния и управления), *минимизирующей заданный мультипликативный обобщенный критерий-функционал:*

$$\min MK\Phi(t) = \int_{t_1}^{t_2} \frac{Z(t) \cdot T(t) \cdot RS(t)}{\text{ЭМ}(t) \cdot ПЭУ(t) \cdot W(t)} dt . \quad (4.5)$$

Он сформирован в результате обобщения следующих критериев-функционалов.

Функционалов, подлежащих минимизации:

– *затраты на выполнение ПОМ $Z(t+h)$ вычисляются по формуле:*

$$Z(t+h) = Z(t) + \frac{h \cdot N \cdot Цр}{3600} + RS(h) \cdot Цс, \quad (4.6)$$

где $Z(t)$ – затраты предприятия на выполнение мероприятия за время t ;

h – шаг моделирования;

N – количество распылителей;

$Цр$ – цена 1 часа работы распылителя;

RS_h – расход сорбента в момент времени h , кг;

$Цс$ – цена 1 кг сорбента.

– *время выполнения ПОМ $T(t)$ вычисляется по формуле:*

$$T(t+h) = T(t) + h, \quad (4.7)$$

где $T(t)$ – время выполнения мероприятия в момент времени t ;

Время выполнение мероприятия, когда концентрация нефти в грунте меньше предельно-допустимой концентрации $C_t \leq 500$ мг/кг:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{S}{N \cdot P_2},$$

где S – площадь загрязнения, в м.кв.;

P_2 – скорость обработки грунта, м.кв./ч.

N – количество распылителей.

Функционалов, подлежащих максимизации:

– *Эффективность мероприятия $\text{ЭМ}(t)$ вычисляется по формуле:*

$$\text{ЭМ}(t+h) = \text{ЭМ}(t) + \frac{h \cdot P_2 \cdot N}{3600}, \quad (4.8)$$

где $ЭМ(t)$ – эффективность мероприятия, количество м.кв, восстановленных за время $t+h$;

$P2$ – скорость обработки грунта, м.кв./ч.;

N – количество распылителей;

– *Предотвращенный экологический ущерб ПЭУ(t) вычисляется по формуле:*

$$ПЭУ(t+h) = ПЭУ(t) + Ц_{пэу} \cdot ЭМ(h), \quad (4.9)$$

где $ПЭУ(t)$ – предотвращенный экологический ущерб, в руб.;

$ЭМ(h)$ – эффективность мероприятия в момент времени h ;

$Ц_{пэу}$ – цена 1 ед.м.кв. восстановленного грунта;

– *Компенсующее воздействие сорбента на грунт* (понижение концентрации нефти за счет внесения сорбента), измеряется в мг/кг и в момент времени $t+h$ вычисляется по формуле:

$$W(t+h) = W(t) + \frac{h}{3600} \cdot \left(\frac{C_0 \cdot K \cdot N \cdot P1 \cdot P2}{100 \cdot S} \right), \quad (4.10)$$

где h – шаг моделирования;

C_0 – концентрация нефти в грунте в начальный момент времени;

K – коэффициент поглощения нефти сорбентом;

N – количество распылителей;

$P1$ – скорость подачи сорбента, кг/м.кв.;

$P2$ – скорость обработки грунта, м.кв./ч.;

S – площадь загрязнения, в м.кв.;

– *Расход сорбента* в момент времени $t+h$ вычисляется по формуле:

$$RS(t+h) = RS(t) + \frac{h \cdot N \cdot P1 \cdot P2}{3600}, \quad (4.11)$$

где RS_t – расход сорбента в момент времени t .

Начальные состояния, ограничения на переменные модели:

– начальные состояния подсистем ЭЭС загружаются из БД: запас сорбента Q_{i0} , количество распылителей N_{i0} , концентрация нефти в грунте C_{i0} , площадь загрязнения S_{i0} , объем фондов Φ_{i0} ;

– начальные данные загружаются из БД: количество распылителей N ; цена 1 часа работы распылителя C_p , цена 1 кг сорбента C_c , скорость подачи сорбента $P1$, скорость обработки грунта $P2$, шаг моделирования h , цена 1 ед.м.кв. грунта $C_{пэу}$;

– условие завершения работы модели:

$$C_t \leq C_{ндк},$$

где C_t – концентрация нефти в грунте;

$C_{ндк}$ – предельно-допустимая концентрация нефти в грунте, и равна $C_{ндк} = 500 \text{ мг/кг}$;

– при оптимизации управления ЭЭС задано ограничение на параметр ТП ПОМ, скорость подачи сорбента $P1$, в виде неравенства:

$$P1_{\min} \leq P1 \leq P1_{\max}, \quad (4.12)$$

где $P1_{\min}$ – минимальная скорость подачи сорбента,

$P1_{\max}$ – максимальная скорость подачи сорбента, *определяющего замкнутую область допустимых управлений.*

Таким образом, поставлена задача оптимизации параметров ПОМ «Детоксикация грунта сорбентом».

Этап 4. Разработка моделей компонентов ЭЭС в формате МКЦ

В процессе ПОМ «Детоксикация грунта сорбентом» задействованы следующие компоненты ЭЭС:

- компонент природной среды Грунт;
- техническое средство Распылитель;
- материальный ресурс Сорбент;
- компонент Фонд и конвертеры.

Разработаны условные обозначения и математические модели компонентов ЭЭС (табл. 4.1) и конвертеров ПОМ (табл. 4.2):

Табл. 4.1.

Модели компонентов ЭЭС ПОМ «Детоксикация грунта сорбентом»

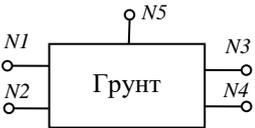
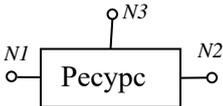
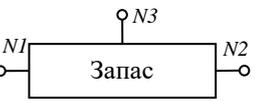
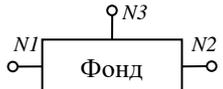
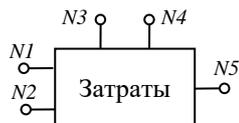
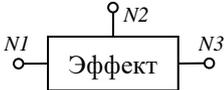
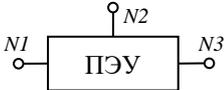
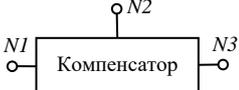
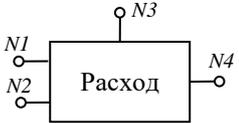
№	Название и изображение	Математическая модель	Параметры
1.	<p>Грунт (КПС)</p> 	$\frac{dVN3}{dt} = -VN1_t$ $\frac{dVN4}{dt} = -VN2_t$	<p>$VN1$ – компенсирующее воздействие $VN2$ – скорость обработки грунта $VN3$ – концентрация нефти в грунте $VN4$ – площадь загрязнения $N5$ – связь для параметризации из БД</p>
2.	<p>Распылитель</p> 	$\frac{dVN2}{dt} = -VN1_t$	<p>$VN1$ – расход распылителей $VN2$ – ресурс распылителей $N3$ – связь для параметризации из БД</p>
3.	<p>Запас сорбента</p> 	$\frac{dVN2}{dt} = -VN1_t$	<p>$VN1$ – расход сорбента $VN2$ – запас сорбента $N3$ – связь для параметризации из БД</p>
4.	<p>Фонд</p> 	$\frac{dVN2}{dt} = -VN1_t$	<p>$VN1$ – затраты $VN2$ – размер фонда $N3$ – связь для параметризации из БД</p>

Табл. 4.2

Модели конвертеров ТП ПОМ «Детоксикация грунта сорбентом»

№	Название и изображение	Математическая модель	Параметры
1.	<p>Затраты</p> 	$VN5_t = VN1 \cdot VN3 + VN2_t \cdot VN4$	<p>$VN1$ – количество распылителей $VN2$ – расход сорбента $VN3$ – цена 1 ч. работы распылителя $VN4$ – цена 1кг сорбента $VN5$ – затраты</p>

2.	<p>Время выполнения</p> 	$\frac{dVN2}{dt} = VN1_t$	<p>$VN1$ – время моделирования $VN2$ – время выполнения</p>
3.	<p>Эффективность мероприятия</p> 	$\frac{dVN3}{dt} = VN1_t \cdot VN2_t$	<p>$VN1$ – объем обработанного грунта $VN2$ – количество распылителей $VN3$ – эффективность мероприятия</p>
4.	<p>Предотвращенный экологический ущерб (ПЭУ)</p> 	$\frac{dVN3}{dt} = VN1_t \cdot VN2_t$	<p>$VN1$ – эффективность мероприятия $VN3$ – предотвращенный экологический ущерб, в руб. $VN2$ – цена 1 ед. эффекта из БД</p>
5.	<p>Компенсирующее воздействие</p> 	$VN3_t = \frac{C_0 \cdot K \cdot N \cdot P1 \cdot P2}{100 \cdot S}$	<p>$\overline{VN1} = \{P1, P2, N\}$ вектор параметров ТП (скорость подачи сорбента $P1$, скорость обработки грунта $P2$, количество распылителей N) $\overline{VN2} = \{C_0, K, N, S\}$ – вектор параметров, загружается из БД (концентрация нефти C_0, площадь загрязнения S, коэффициент поглощения нефти K) $VN3$ – компенсирующее воздействие</p>
6.	<p>Расход сорбента</p> 	$\frac{dVN4}{dt} = VN1_t \cdot VN2_t \cdot VN1_t$	<p>$VN1$ – количество распылителей $VN2$ – объем обработанного грунта $VN3$ – объем подачи сорбента $VN4$ – расход сорбента</p>

Этап 5. Разработка концептуальной структуры модели

Разработана структура интегрированной многоуровневой КМ ЭЭС для ТП ПОМ «Детоксикация грунта сорбентом» (рис. 4.2):

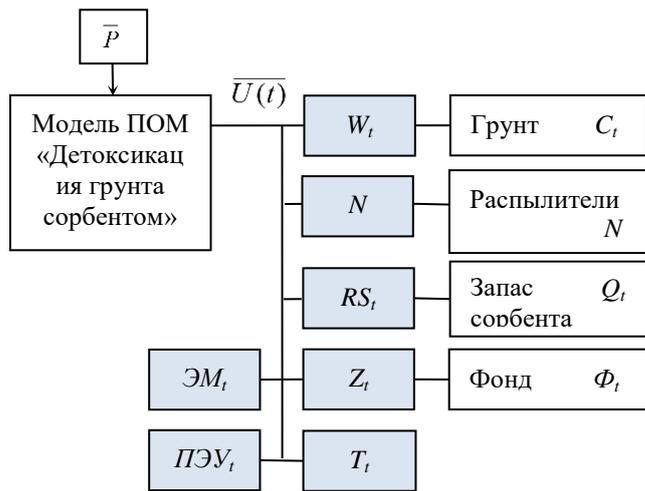


Рис. 4.2. Структура КМ ЭЭС
ПОМ «Детоксикация грунта сорбентом»

1. Входные параметры модели:

$$\bar{P} = \{ P1, P2, N, K, C_c, C_p, C_{нз}, S, C, \Phi \}$$

1.1. Управляемый параметр ТП:

$P1$ – скорость подачи сорбента $кг/м^2$;

1.2. Параметры для конвертации:

$P2$ – скорость обработки грунта;

N – количество распылителей; K – коэффициент поглощения нефти

сорбентом; C_c – цена 1 кг сорбента; C_p – цена 1 часа работы распылителя; $C_{нз}$ – цена 1 ед.м.кв. грунта, S и C – площадь загрязнения и концентрация нефти; Φ – объем фонда; h – шаг моделирования;

2. Выходные переменные связи модели ПОМ, отражающие состояние ЭЭС:

$$\bar{U}(t) = \{ Z(t), T(t), ЭМ(t), ПЭУ(t), W(t), RS(t) \}$$

- (блок конвертеров параметров ТП),

– затраты на ТП в момент времени $t+h$ $Z(t+h) = Z(t) + \frac{h \cdot N \cdot C_p}{3600} + RS(h) \cdot C_c$;

– текущее время $T(t+h) = T(t) + h$; время выполнения $\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{S}{N \cdot P2}$;

– эффективность мероприятия в $t+h$ $ЭМ(t+h) = ЭМ(t) + \frac{h \cdot P2 \cdot N}{3600}$;

– предотвращенный экологический ущерб $ПЭУ(t+h) = ПЭУ(t) + S_{нз} \cdot ЭМ(h)$;

– компенсирующее воздействие в $t+h$ $W(t+h) = W(t) + \frac{h}{3600} \cdot \left(\frac{C_o \cdot K \cdot N \cdot P1 \cdot P2}{100 \cdot S} \right)$;

– расход сорбента $RS(t+h) = RS(t) + \frac{h \cdot N \cdot P1 \cdot P2}{3600}$;

3. Переменные связи:

– концентрация нефти в грунте $dC/dt = -W_t$;

– площадь загрязнения $dQ/dt = -RS_t$;

– количество распылителей $dN/dt = -N_t$;

– изменение запаса сорбента $dQ/dt = -RS$; изменение размера фонда $d\Phi/dt = -Z$.

Параметры модели ПОМ загружаются из БД. Оптимальные параметры ТП ПОМ определяются с помощью компонента оптимизатор и на основе уравнений критерия и ограничений. Результаты моделирования сохраняются в базе данных.

Этап 6. Разработка алгоритма компьютерного эксперимента

Разработан алгоритм поиска оптимальных параметров процесса ПОМ «Детоксикация грунта сорбентом» (рис. 4.3). Имитационное моделирование ЭЭС осуществляется во временной области с временным шагом h .

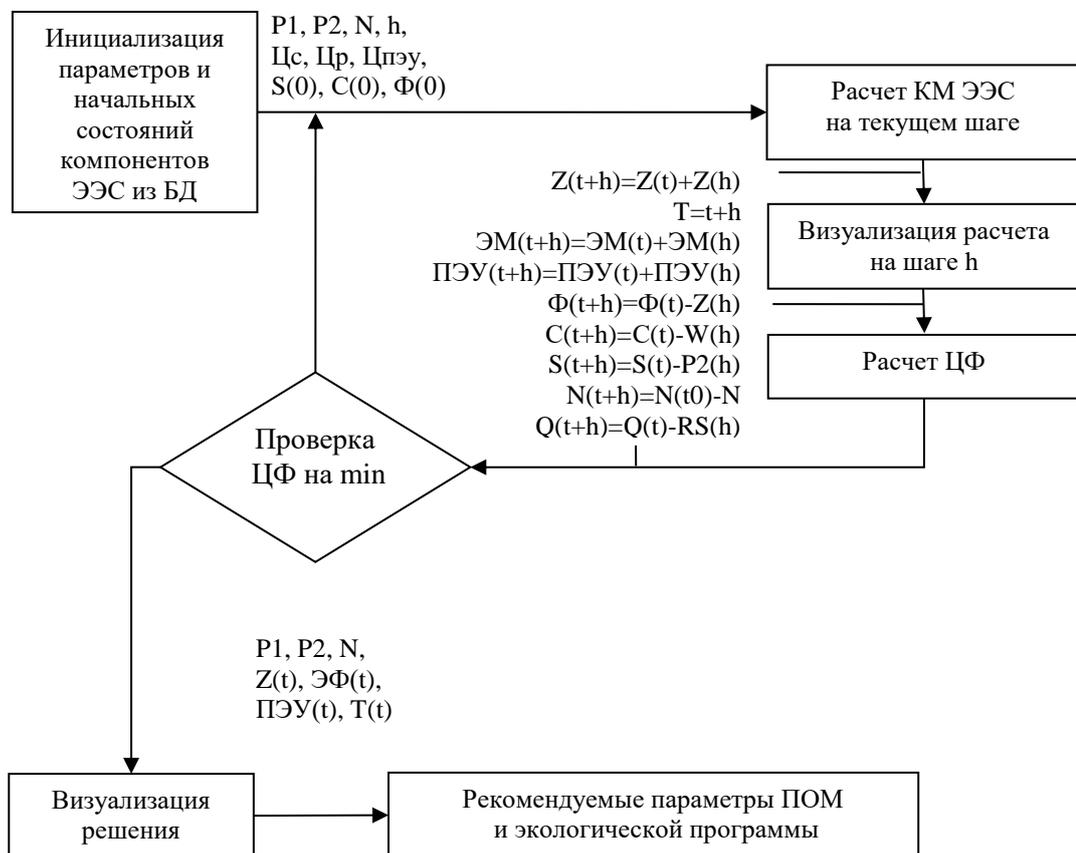


Рис. 4.3. Алгоритм поиска оптимальных параметров процесса ПОМ «Детоксикация грунта сорбентом»

Здесь взяты следующие параметры: $P1$ – скорость подачи сорбента $\text{кг}/\text{м}^2$; $P2$ – скорость обработки грунта; N – количество распылителей. И

переменные, которые зависят от времени, Cc – цена 1 кг сорбента; Cp – цена 1 часа работы распылителя; $C_{нэу}$ – цена 1 ед.м.кв. грунта; C – концентрация нефти в грунте; S – площадь загрязнения; Φ – объем фонда; Q – запас сорбента; Z – затраты; T – время моделирования; $ЭМ$ – эффективность мероприятия; $ПЭУ$ – предотвращенный экологический ущерб.

Компьютерная модель распылителя реализует следующий алгоритм работы распылителя (рис. 4.4):



Рис. 4.4. Алгоритм работы распылителя ПОМ «Детоксикация грунта сорбентом»

Предложенные алгоритмы эксперимента ПОМ «Детоксикация грунта сорбентом» реализуется в имитационном ядре СМ MAPC.

Этап 7. Реализация модели и алгоритмов эксперимента в СМ MAPC

Реализация в СМ MAPC. Предложенные выше модели компонентов, структура модели и алгоритмы эксперимента ПОМ «Детоксикация грунта сорбентом» - реализованы в СМ MAPC. Для реализации примера

компьютерного моделирования ПОМ «Детоксикация грунта сорбентом» разработана базы данных параметров модели ЭЭС в формате MS Access .

Выбор метода оптимизации. Проведено исследование на тему выбор оптимизатора из библиотеки оптимизаторов СМ MAPC, с учетом характеристик задачи управления, вида критерия-функционала и уравнений ограничений. В результате исследований, для решения задачи оптимизации расхода сорбента при выполнении ТП ПОМ «Детоксикация грунта сорбентом» выбран метод для решения одномерной оптимизации - *метод золотого сечения*, т.к. варьируется 1 параметр – расход сорбента. Данный метод обладает высокой вычислительной эффективностью и простотой реализации.

Этап 8. Планирование и проведение компьютерного эксперимента

Планирование эксперимента без оптимизации управления ЭЭС. Пусть заданы следующие начальные данные:

– запас сорбента $Q_{i0}=1700$ кг, количество распылителей $N=2$, концентрация нефти в грунте $C_{i0}=3850$ мг/кг, площадь загрязнения $S_{i0}=300$ м.кв., объем фондов $\Phi_{i0}=572,8$ тыс.руб.;

– параметры для конвертации: цена 1 часа работы распылителя $C_p=2,2$ тыс.руб., цена 1кг сорбента $C_c=0,2$ тыс.руб., цена 1 ед.м.кв. грунта $C_{нэу}=1,2$ тыс.руб, скорость обработки грунта $P2=20$ м.кв/ч, коэффициент поглощения нефти для сорбента «Глауконит» $K=19,4$ (на 1 кг/м.кв.), скорость подачи сорбента $P1=5$ кг/м.кв.

Выполнен автоматизированный расчет параметров процесса ПОМ «Детоксикация грунта сорбентом» в СМ MAPC без оптимизации параметров процесса (рис. 4.5). Параметризация КМ осуществляется из БД.

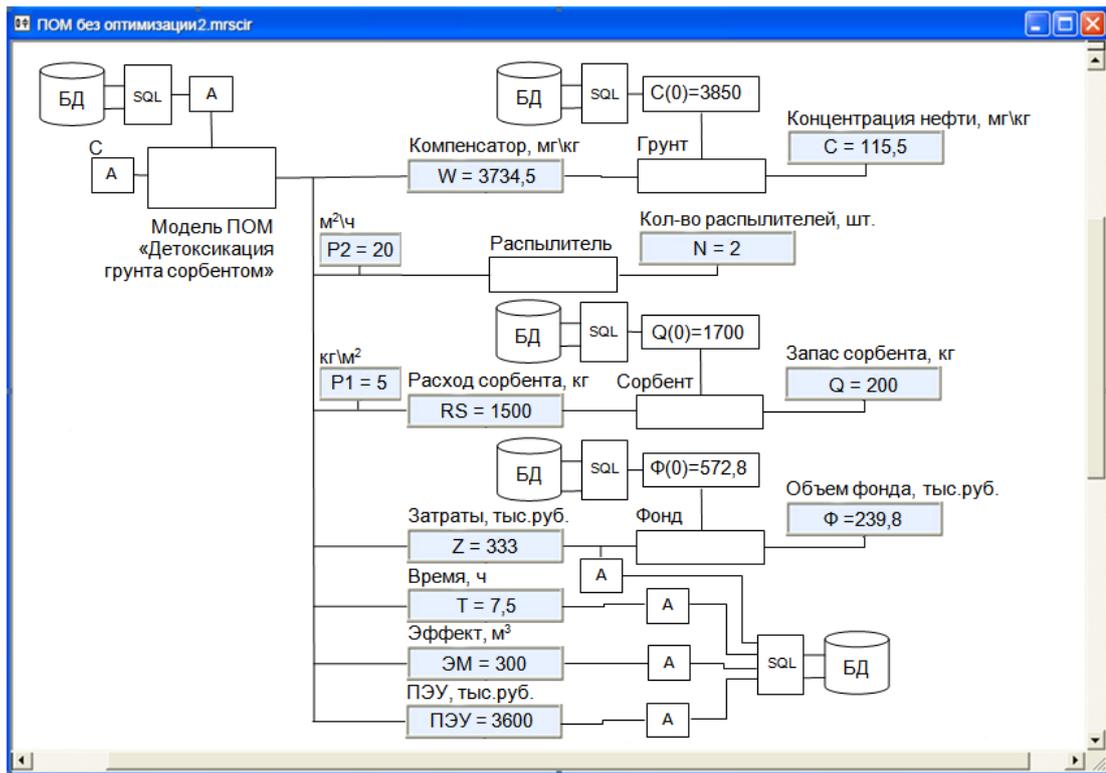


Рис. 4.5. Результат автоматизированного расчета показателей ПОМ «Детоксикация грунта сорбентом» в СМ МАРС

Результат автоматизированного решения. Здесь при заданной скорости подачи сорбента $P1=5\text{кг/м.кв.}$ расход сорбента составил $RS(t)=1500\text{кг}$, концентрация нефти в грунте снижена до значения $C(t)=115,5\text{мг/кг}$, что значительно меньше $C_{ндк}=500\text{мг/кг}$. Получены следующие параметры ПОМ:

Наименование ПОМ	Затраты, тыс.руб.	Эффективность мероприятия, м.кв.	Предотвращенный экологический ущерб, тыс.руб.	Время выполнения, ч
Детоксикация грунта сорбентом	333	300	3600	7,5

Планирование эксперимента с оптимизацией параметров процесса ПОМ.

Пусть заданы следующие начальные данные:

– запас сорбента $Q_{t0}=30$ кг, количество распылителей $N=2$, концентрация нефти в грунте $C_{t0}=3850$ мг/кг, площадь загрязнения $S_{t0}=300$ м.кв., объем фондов $\Phi_{t0}=572,8$ тыс.руб.;

– параметры для конвертации: цена 1 часа работы распылителя $C_p=2,2$ тыс.руб., цена 1кг сорбента $C_c=0,2$ тыс.руб., цена 1 ед.м.кв. грунта $C_{нау}=1,2$ тыс.руб, коэффициент поглощения нефти для сорбента «Глауконит» $K=19,4$ (на 1 кг/м.кв.), скорость обработки грунта $P2=20$ м.кв/ч;

– условие завершения работы модели ЭЭС – ограничение на концентрацию нефти в грунте $C_t \leq 500$ мг/кг;

– ограничение на параметр ТП ПОМ, скорость подачи сорбента на 1 м.кв. $P1$, задано в виде неравенства: $1 \leq P1 \leq 10$, определяющего замкнутую область допустимых управлений. При оптимизации шаг $P1$ равен 0,1кг/м.кв.

Задача оптимизации параметров ПОМ «Детоксикации грунта сорбентом» состоит в определении оптимального расхода сорбента (скорости подачи сорбента $P1$) при выполнении ТП, как параметров функции от t в интервале $t1 \leq t \leq t2$, минимизирующих заданный мультипликативный обобщенный критерий-функционал (3.28).

Выполнен компьютерный эксперимент, направленный на поиск оптимального расхода сорбента при выполнении ПОМ «Детоксикация грунта сорбентом» и показателей экологической программы в СМ МАРС (рис. 3.13).

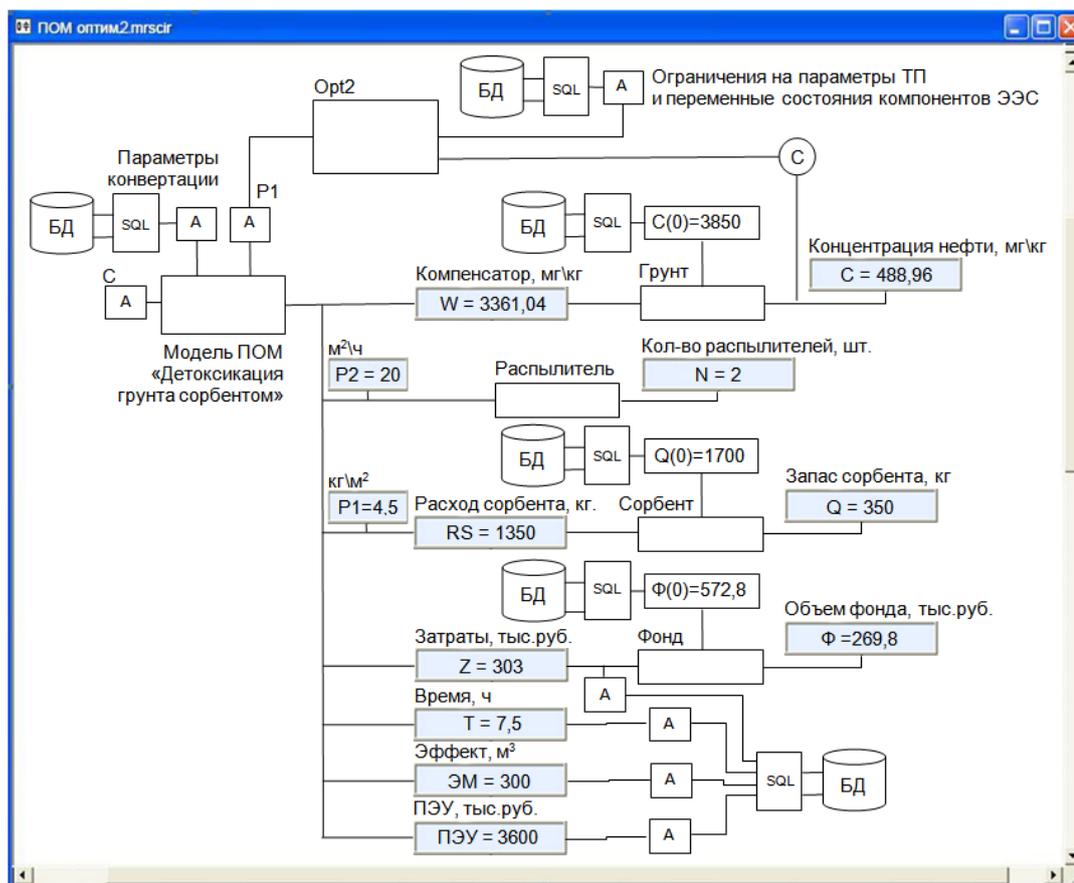


Рис. 4.6. Результат оптимизации расхода сорбента ПОМ «Детоксикация грунта сорбентом» в СМ МАРС

Результат моделирования с оптимизацией параметров ТП. Сравним полученные без оптимизации и с оптимизацией показатели ПОМ:

Параметры ПОМ «Детоксикация грунта»	Без оптимизации	С оптимизацией
Темп подачи сорбента, кг/м.кв.	5	4,5
Расход сорбента, кг	1500	1350
Затраты, руб.	333	303
Эффективность мероприятия, м.куб.	300	300
Предотвращенный экологический ущерб, руб.	3600	3600
Время, ч	7,5	7,5

Определена скорость подачи сорбента $P1=4,5$ кг/м.кв. При этом расход сорбента составил $RS=1350$ кг. Затраты на выполнение ТП ПОМ уменьшились на 30 тыс.руб. Концентрация нефти в грунте снижена до значения $C(t)=488,96$ мг/кг, что не превышает $C_{ндк}=500$ мг/кг.

Занятие 5. Разработка примера алгоритма структурного синтеза фрагмента экологической программы предприятия нефтяной отрасли

Предложен алгоритм структурного синтеза фрагмента экологической программы предприятия нефтяной отрасли (рис. 5.1):.

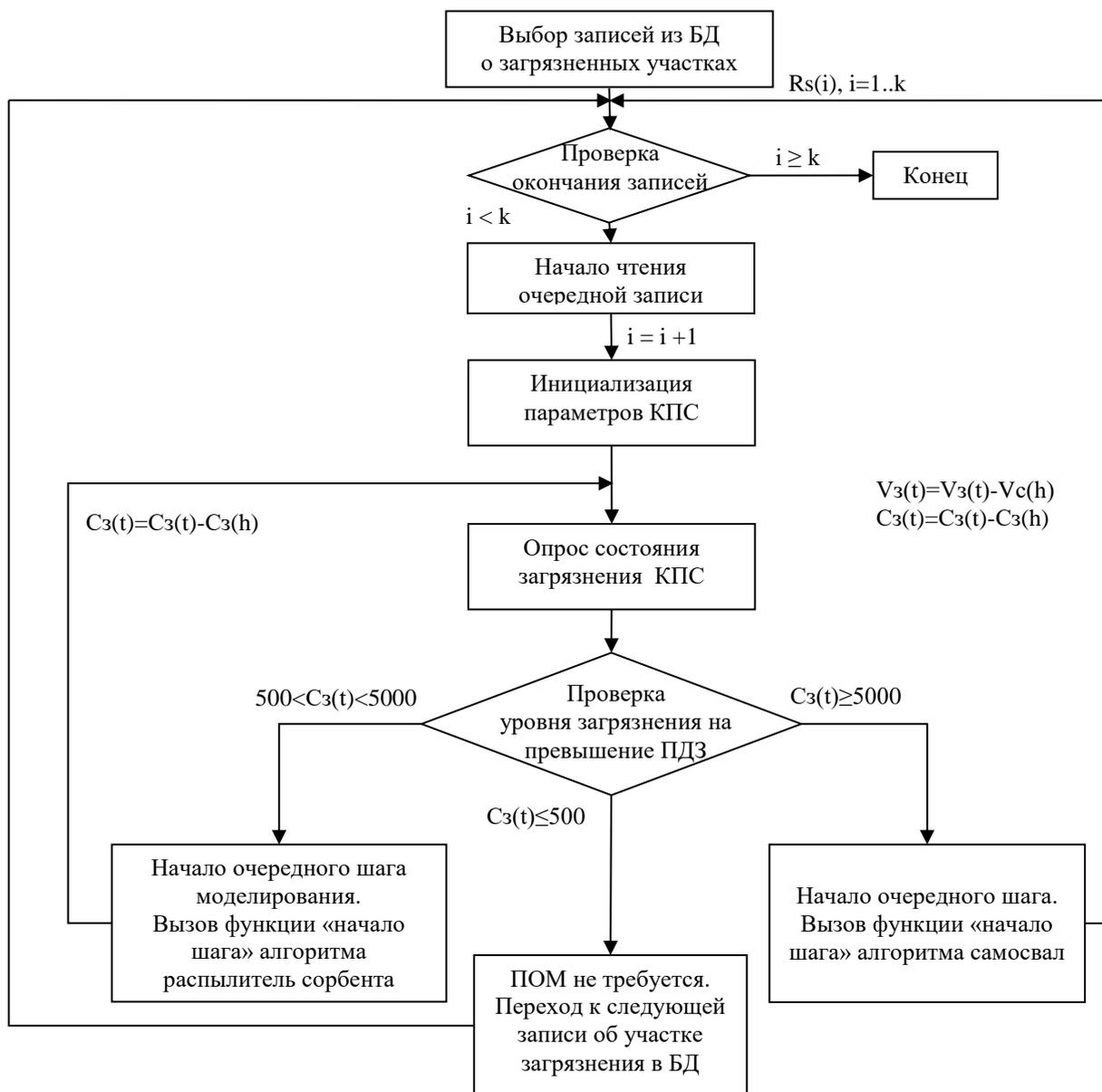


Рис. 5.1 Алгоритм структурного синтеза фрагмента экологической программы предприятия нефтяной отрасли

Программная реализация алгоритма. Компонент «Коммутатор», реализующий предложенный алгоритм разработан в среде моделирования MAPS.

Предложенные модели и алгоритмы ПОМ «Откачка нефти с грунта» и «Детоксикация грунта сорбентом» и алгоритм структурного синтеза фрагмента экологической программы предприятия нефтяной отрасли являются симплифицированными, необходимыми для понимания и достаточными для обоснования работоспособности предложенной методики имитационного моделирования эколого-экономических процессов в среде моделирования MAPS. Для промышленной организации автоматизированного синтеза экологических программ предприятий, необходимо разработать библиотеку моделей компонентов природоохранных мероприятий и комплексный алгоритм структурного синтеза экологической программы с учетом требований предприятия.

Методические указания по организации самостоятельной работы студента

Самостоятельная работа студента заключается в следующем:

1. В подготовке к практическим занятиям.

При подготовке к практическим занятиям студент самостоятельно отвечает на контрольные вопросы, предлагаемые преподавателем в конце каждой лекции. Практические работы выполняются на отдельных листах или в тетрадях для практических работ, а также сопровождаются сформированными компьютерными моделями в среде моделирования MAPS. По каждой практической работе студент отчитывается перед преподавателем. Он должен знать все термины, встречающиеся в работе и раскрытые в лекционном курсе, уметь объяснить какие законы использованы при решении задач, проанализировать физический смысл полученных результатов.

2. В подготовке к промежуточной аттестации и экзамену.

Список литературы

1. Мицель А.А., Шелестов А.А. Методы оптимизации. Часть 1: Учебное пособие. - Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2002. - 192 с.
2. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Г.Корн, Т.Корн. - М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. - 831 с.
3. Лозанрвская Н.Н., Орлов Д.С., Садовником Л. К. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. - М.: Высш. шк., 1998. — 287с.
4. Балакина Э.В., Дмитриев В.М., Журавский Ю.А. Экономико-экологическое регулирование в процессе российских реформ: Монография.
5. Затик О.С., Ганджа Т.В. Модели компонентов эколого-экономической системы на примере нефтегазодобывающего комплекса в формате метода компонентных цепей для компьютерного моделирования // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 314. – № 5. Управление, вычислительная техника и информатика. – с. 114-116.
6. Моделирование процессов в природно-экономических системах / Под ред. В.И. Гурмана, А.И Москаленко. – Новосибирск: Наука, 1982. – 178 с.