



УДК 004.942

© 2014 г. **В.М. Дмитриев**, д-р техн. наук,  
**Т.В. Ганджа**, канд. техн. наук,  
**О.С. Затик**, канд. техн. наук

(Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники)

## ПРИНЦИП АДАПТАЦИИ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ\*

Рассматриваются принцип и примеры адаптации компьютерной модели эколого-экономической системы для решения задач интеллектуального управления. Принцип основан на расширении формализма метода компонентных цепей, декомпозиции задач интеллектуального управления, методах аспектно-ориентированного программирования.

**Ключевые слова:** интеллектуальное управление, компьютерное моделирование, аспектно-предикатный фильтр, эколого-экономическая система.

### Введение

Управление эколого-экономическими системами предполагает целенаправленное изменение структуры и параметров технологических и производственных процессов, темпом и объемов использования природного, кадрового и технико-экономического потенциала в целях обеспечения устойчивого развития нефтегазодобывающих регионов. Для автоматизации решения задач интеллектуального управления используются компьютерные модели. Компьютерное моделирование эколого-экономических систем – специфически сложное направление научных исследований, призванное объединить в общую модель системы компоненты различных подсистем – технических, социальных, экологических, экономических, в связях с материальными и информационными потоками. Сегодня существует потребность в повышении качества управления эколого-экономическими системами на федеральном, региональном и корпоративном уровне, а также потребность в росте темпов принятия этих решений на всех уровнях управления. Когда площадь территории управления велика и ситуация меняется быстро, важно понять, какие аспекты следует учитывать при принятии решения и при компьютерном моделировании системы, как отстроить организационно-технологическую инфраструктуру с учетом экологических, социальных и экономических ограничений, чтобы

---

\* Исследование проведено при поддержке гранта РФФИ, проект № 13-07-00378а.

предложенное решение, стратегия оказались эффективными и своевременными [1 – 3].

Актуальным является развитие методических подходов к адаптации архитектуры общей компьютерной модели эколого-экономической системы для автоматического решения различных задач интеллектуального управления.

### **Технологическая схема адаптации архитектуры компьютерной модели эколого-экономической системы**

Алгоритм адаптации компьютерной модели эколого-экономической системы (далее – системы) для решения задач интеллектуального управления состоит из нескольких этапов:

1. Описываем модель системы в виде аспектно-предикатных групп.
3. Выделяем основные аспекты эколого-экономических систем.
2. Формируем архитектуру общей компьютерной модели системы.
4. Структурируем и описываем задачи интеллектуального управления системой для целей моделирования.
5. Разрабатываем аспектные фильтры, т.е. определяем, какие точки зрения учитываются при решении конкретных задач интеллектуального управления, и применяем их к общей компьютерной модели системы.
6. В результате компиляции компонентов и аспектов в среде моделирования МАРС получаем готовый продукт в виде компьютерной модели системы, адаптированной для решения одной из задач интеллектуального управления. Она формируется в формате метода компонентных цепей их компонентов, разработанных с помощью генератора моделей компонентов [4].

*Примечание к шагу 5.* В целях решение конкретной задачи интеллектуального управления системой ее общая математическая модель может быть упрощена, если оставить только переменные, принадлежащие предикатам аспектов, рассматриваемых в конкретной задаче. Выделяем необходимую подсистему (аспекты) и формируем соответствующую архитектуру модели. При этом ряд компонентов других подсистем, воздействующих на компоненты рассматриваемой подсистемы, заменяем на соответствующие компоненты-источники, задающие значения определенным переменным.

### **Основные аспекты эколого-экономической системы**

Рассматривать эколого-экономические системы можно с различных точек зрения, перечислим основные аспекты.

*Организационно-технический аспект*, позволяющий рассматривать динамику влияния производства на экосистему, и его субаспекты:

*технологический аспект*, в рамках которого рассматривается состояние сложных технических объектов (технические параметры, уставки), влияние экосистемы на производство (температура, влажность и др.);

*компенсирующий аспект*, в рамках которого рассматривается функционирование системы с точки зрения предотвращения или снижения техногенного

воздействия, а также ликвидации последствий технологических отклонений и аварий на производстве (показатели эффективности природоохранных мероприятий и предотвращенного экологического ущерба, расход ресурсов предприятия на выполнение экологической программы, включая персонал, технику, материалы).

*Экологический аспект*, позволяющий анализировать динамику состояния экосистемы, и его субаспекты:

*биологический аспект*, позволяющий рассматривать динамику состояния биологической системы, состоящей из сообщества живых организмов (биоценоза), среды их обитания (биотопа), непосредственно подверженной техногенному влиянию (экологические показатели), а также влияние антропогенной деятельности, производства на экосистему (показатель техногенной нагрузки на биотопы);

*климатический аспект*, позволяющий анализировать динамику погоды, влияние погоды на производство (климатические показатели);

*географический аспект*, позволяющий анализировать динамику распространения загрязнения, рассматривать систему с точки зрения логистики (точки высот рельефа местности, площади, протяженность и расположение техногенных и природных объектов).

*Социальный аспект*, предполагающий изучение взаимодействия индивида и среды, в частности влияния изменения экологических и экономических показателей на жизнедеятельность проживающего на территории населения (социальные показатели).

*Экономический (финансовый) аспект* оценивает затраты, необходимые на выполнение экологической программы, в рублях.

### **Задачи интеллектуального управления предприятием в контексте эколого-экономической системы (ИУ ЭЭС)**

*Первая задача ИУ ЭЭС* – контроль, управление и прогнозирование состояния сложных технических объектов (СТО) с учетом влияния климатических внешних факторов. Задача направлена на обеспечение безаварийного режима работы СТО. При решении данной задачи ИУ ЭЭС ставится в соответствие критерий оценки вида:

$$\varepsilon_0(t) = \left( y_0(t) - \tilde{y}_0(t) \right)^2, \quad (1)$$

где  $y_0$  – результаты компьютерного моделирования СТО;  $\tilde{y}_0$  – данные мониторинга реального СТО, взятые из информационной системы предприятия. В случае если рассчитанное значение  $\varepsilon_0(t)$  превышает некоторое заданное значение уставок  $\varepsilon_0^*$ , т.е.  $\varepsilon_0(t) > \varepsilon_0^*$ , производится визуализация информации о необходимости изменения режимов функционирования ТО.

Критерий (1) используется в задаче регулирования параметров ЭЭС, в частности режимов работы СТО, по климатическим поясам и погодным условиям с учетом чрезвычайных ситуаций.

Задача актуальна для крупных территориально распределенных предпри-

ятий, где одна технология и техника используются в разных регионах соответственно с поправкой на климатическую зону.

*Аспектный фильтр* для решения первой задачи ИУ ЭЭС (АФ1) включает следующие аспекты и соответствующие им предикаты:

*технологический аспект*, предикаты которого характеризуют процессы, протекающие в технических объектах, подверженные возмущающим воздействиям со стороны окружающей природной среды и управляющим – со стороны исполнительных средств;

*климатический аспект*, с помощью предикатов которого рассматриваются природные факторы, оказывающие возмущающие воздействия на СТО и технологические процессы. При этом компоненты климатического аспекта будут представлены компонентами-источниками величин, осуществляющими возмущающие воздействия на объекты.

На рис. 1 приведен пример расположения аспектного фильтра АФ1 в модели, представлена архитектура компьютерной модели ЭЭС [4], в которой активные компоненты выделены жирными линиями, а неактивные – пунктирными.

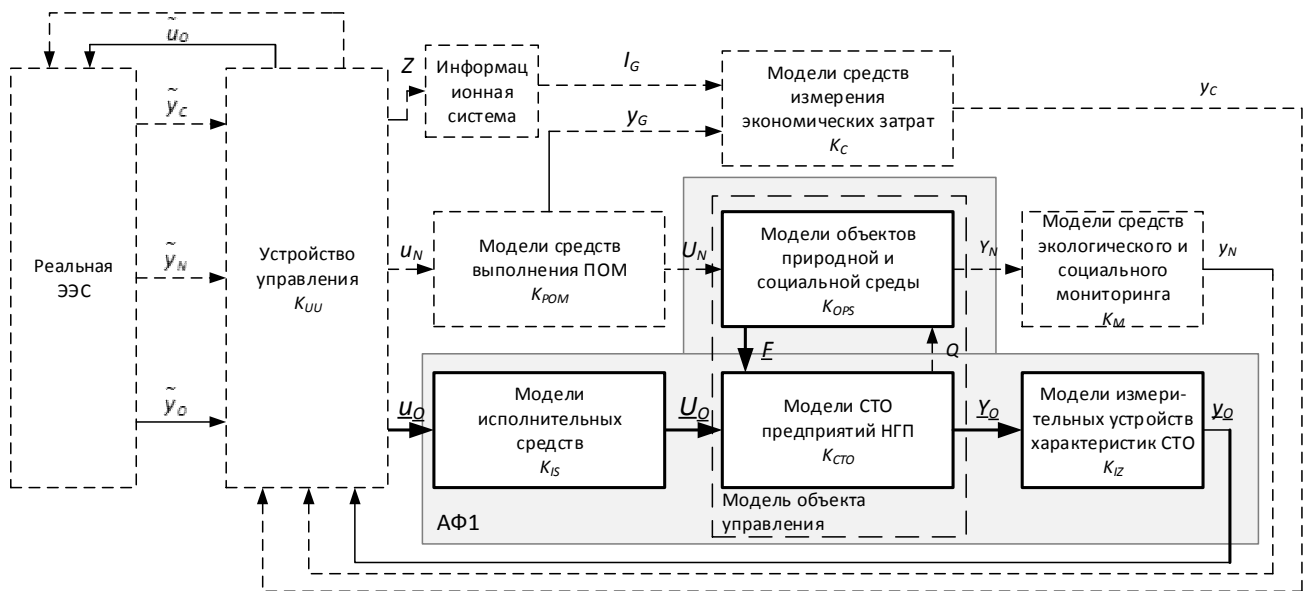


Рис. 1. Пример расположения аспектного фильтра АФ1 в модели системы.

Архитектура компьютерной модели ЭЭС, адаптированная к решению первой задачи ИУ, включает:

*модели СТО предприятий НПП* множества  $K_{cto}$ , адекватно моделирующие протекающие в технологическом оборудовании физико-химические процессы;

*модели исполнительных средств* множества  $K_{is}$ , осуществляющие преобразования информационных сигналов  $u_o$  в энергетические воздействия различной физической природы  $U_o$ ;

*модели измерительных устройств характеристик СТО* множества  $K_{iz}$ , осуществляющие вывод из компьютерной модели ЭЭС значений наблюдаемых переменных и передачу их устройству управления для дальнейшей математической обработки и визуализации;

модели объектов природной и социальной среды, выраженные в предназначенной для решения первой задачи ИУ модели ЭЭС источниками возмущающих воздействий на протекающие в СТО физико-химические процессы.

При решении первой задачи ИУ ЭЭС учитываются два из семи субаспектов физического аспекта общей модели системы (технологический, климатический) и задействуются соответствующие им компоненты и переменные.

Вторая задача ИУ ЭЭС – контроль, управление и производственное планирование экологически безопасного производства. Задача направлена на выбор оптимальных режимов работы СТО в целях предотвращения или снижения техногенного воздействия на объекты природной среды (ОПС). При этом требуется определить управляющие воздействия  $u_o$  на СТО, при которых режимы работы будут удовлетворять технологическим уставкам, а техногенные воздействия на ОПС будут минимальными, т.е.  $Q \rightarrow \min$ . При этом минимизации подлежит целевая функция вида:

$$(y_N(u_o, t) - y_N^*) \rightarrow \min, \quad (2)$$

с помощью которой путем варьирования значений управляющих воздействий  $u_o$  определяется экологически безопасный режим функционирования ГО, предполагая, что экологические показатели ОПС  $y_N(t)$  не будут превышать предельно допустимых значений  $y_N^*$ .

При решении данной задачи модель УУ будет представлять собой алгоритм определения минимума целевой функции (2) при наличии ограничений на управляющие воздействия  $u_o$ .

Критерий (2) используется в задаче регулирования параметров ЭЭС, в частности режимов работы СТО, по промышленной и экологической безопасности.

*Аспектный фильтр для решения второй задачи ИУ ЭЭС (АФ2)* включает следующие аспекты и соответствующие им предикаты:

*технологический аспект* – с помощью соответствующих компонентов (множеств  $K_{TO}$  и  $K_{IS}$ ) определяется управляющее воздействие  $u_o$ , позволяющее установить такой режим СТО, при котором наблюдаются минимально возможные воздействия на ОПС;

*биологический аспект* – позволяет моделировать динамику состояния экологической системы;

*климатический аспект* – характеризует влияние погоды на состояние СТО;

*социальный аспект* – рассматривает влияние изменения экологических показателей на жизнедеятельность населения региона;

*географический аспект* – рассматривает систему с точки зрения логистических задач, анализируется распространение загрязнения.

Пример расположения аспектного фильтра АФ2 показан на рис. 2.

Архитектура компьютерной модели ЭЭС, адаптированная к решению второй задачи ИУ, включает:

модели СТО предприятий НПП (компоненты множества  $K_{СТО}$ ), модели исполнительных средств (компоненты множества  $K_{IS}$ ) и модели измерительных

устройств характеристик СТО (компоненты множества  $K_{IZ}$ );

модели объектов природной и социальной среды (компоненты множества  $K_{OPS}$ ) и модели устройств экологического мониторинга (компоненты множества  $K_M$ ), которые рассматриваются в рамках биологического и социального аспектов. В случае необходимости рассмотрения распределенных по территории объектов и процессов подключается географический аспект.

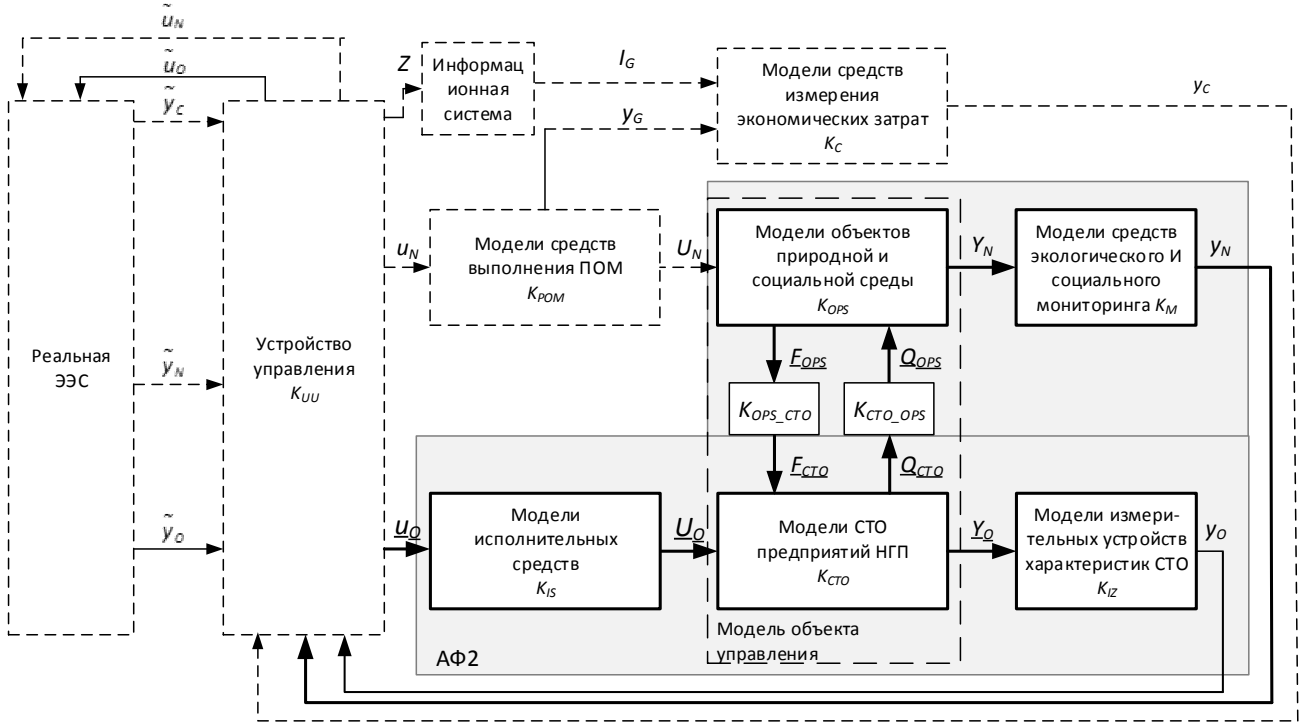


Рис. 2. Пример расположения аспектного фильтра АФ2 в модели системы.

Согласование между переменными технологического и экологического аспектов производится с помощью согласующих компонентов двух видов:

компонентов множества  $K_{CTO\_OPS}$ , согласующих переменные технологического аспекта  $Q_{CTO}$  с переменными биологического аспекта. Обобщенная математическая модель данных компонентов будет представлена в виде:

$$F_{CTO} = f_{OPS\_CTO}(F_{OPS});$$

компонентов множества  $K_{CTO\_OPS}$ , осуществляющих согласование переменных биологического аспекта с переменными технологического аспекта. Обобщенную математическую модель компонентов данного класса можно представить в виде:

$$Q_{OPS} = F_{CTO\_OPS}(Q_{OPS}).$$

При решении второй задачи ИУ ЭЭС учитываются пять из семи субаспектов физического аспекта общей модели системы (технологический, биологический, климатический, географический, социальный) и задействуются соответствующие им компоненты и переменные.

Третья задача ИУ ЭЭС – экологический мониторинг и прогнозирование чрезвычайных ситуаций. Задача включает исследование степени загрязнения

ОПС (воздух, почв, вода), динамики распространения загрязнения на местности, а также его влияния на социокультурную среду и бытовые условия населения региона. В этом случае исследованию подлежит функция вида:

$$(y_N(Q, t) - y_N^*) \rightarrow \min. \quad (3)$$

Требуемое состояние компонентов ОПС ограничивается предельно допустимыми значениями, установленными законодательством.

Критерий (3) используется в задаче регулирования параметров ЭЭС, в частности состояния ОПС по техногенной нагрузке на нее.

*Аспектный фильтр для решения третьей задачи ИУ ЭЭС (АФЗ)* включает следующие аспекты и соответствующие им предикаты:

*технологический аспект*, представленный компонентами-источниками техногенных воздействий  $K_{СТО\_ОПС}$  на ОПС;

*биологический аспект*, представленный всеми своими аспектно-предикатными группами и позволяющий оценивать состояние ОПС при техногенных воздействиях  $Q$ , носящих постоянный или случайный характер;

*социальный аспект* – влияние изменения экологических показателей на жизнедеятельность проживающего на территории населения;

*географический аспект*, согласно которому компоненты биологического и социального аспектов представляются распределенными в пространстве и описываются моделями, основанными на обобщенном клеточном компоненте.

Пример расположения аспектного фильтра АФЗ показан на рис. 3.

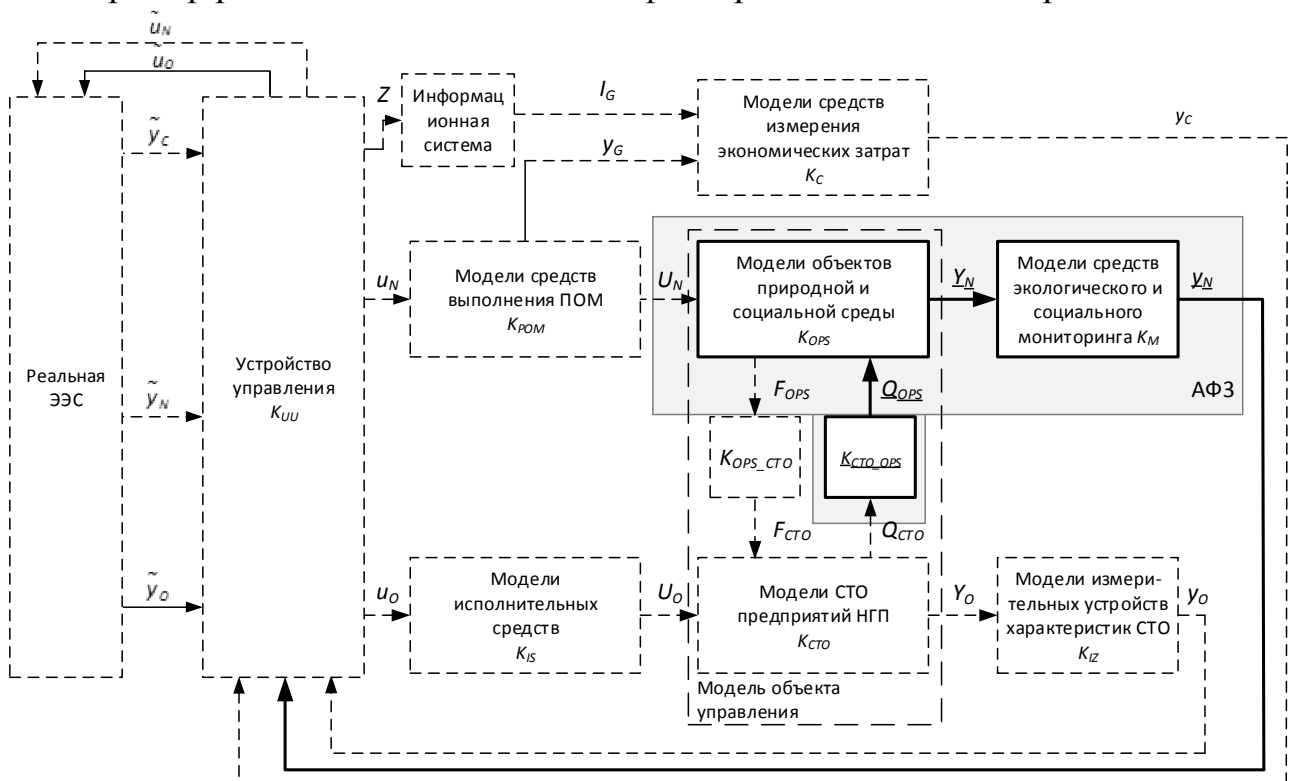


Рис. 3. Пример расположения аспектного фильтра АФЗ в модели системы.

Архитектура компьютерной модели ЭЭС, адаптированная к решению третьей задачи ИУ, включает:

множество компонентов-источников техногенных воздействий  $Q_{K_{СТО\_OPS}}$  на подверженные его влиянию ОПС, принадлежащих технологическому аспекту;

множество компонентов природной и социальной среды  $K_{OPS}$ , подверженных техногенному воздействию  $Q$  со стороны СТО ;

модели средств экологического и социального мониторинга множества  $K_M$ , осуществляющие измерение соответствующих наблюдаемых переменных объектов экологической и социальной среды  $Y_N$ , принадлежащих биологическому и социальному аспектам, и передачу их значений  $y_N$  устройству управления.

При решении третьей задачи ИУ ЭЭС учитываются четыре из семи субаспектов физического аспекта общей модели системы (технологический, биологический, географический, социальный) и задействуются соответствующие им компоненты и переменные.

Четвертая задача ИУ ЭЭС – производственное планирование, контроль и прогнозирование эффективности выполнения экологической программы, в том числе управление кадрами. При решении этой задачи определяются методы, средства и исполнители ПОМ в целях ликвидации последствий технологических отклонений или аварий.

Решение задач данного класса может быть произведено на основе автоматизированного структурно-параметрического синтеза экологической программы, в ходе которого должен быть найден минимум целевой функции:

$$\varepsilon(K_{ПОМ}) = (y_N(u_N, u_O, t) - y_N^*) \rightarrow \min, \quad (4)$$

где  $y_N(u_N, u_O, t)$  – вектор-функция характеристик ОПС, которая зависит от значений параметров компонентов  $K_{ПОМ}$ , оказывающих компенсирующие воздействия  $U_N$  на ОПС с целью снижения техногенного влияния ГО предприятий НПП на них, а также уменьшения и ликвидацию их загрязнений;  $y_N^*$  – предельно-допустимые значения характеристик ОПС, при превышении которых происходит ухудшение состояния природных объектов.

Критерий (4) используется в задаче регулирования параметров ЭЭС, в частности состояния ОПС, по компенсирующему воздействию на нее (эффективность природоохранных мероприятий по предупреждению и ликвидации последствий технологических отклонений и аварий).

Аспектный фильтр для решения четвертой задачи ИУ ЭЭС (АФ4) включает следующие аспекты и соответствующие им предикаты:

*компенсирующий аспект*, позволяющий рассматривать динамику выполнения ПОМ, учитывая направленный для этого персонал, выделенные единицы техники и материалы;

*биологический аспект*, с помощью аспектно-предикатных групп динамика выполнения ПОМ соответствующими организационно-техническими средствами;

*социальный аспект*, предикаты которого отражают в модели состояние объектов социально-бытового характера;



географический аспект, позволяющий анализировать динамику распространения загрязнения, рассматривать систему с точки зрения логистики.

Пример расположения аспектного фильтра АФ4 показан на рис. 4.

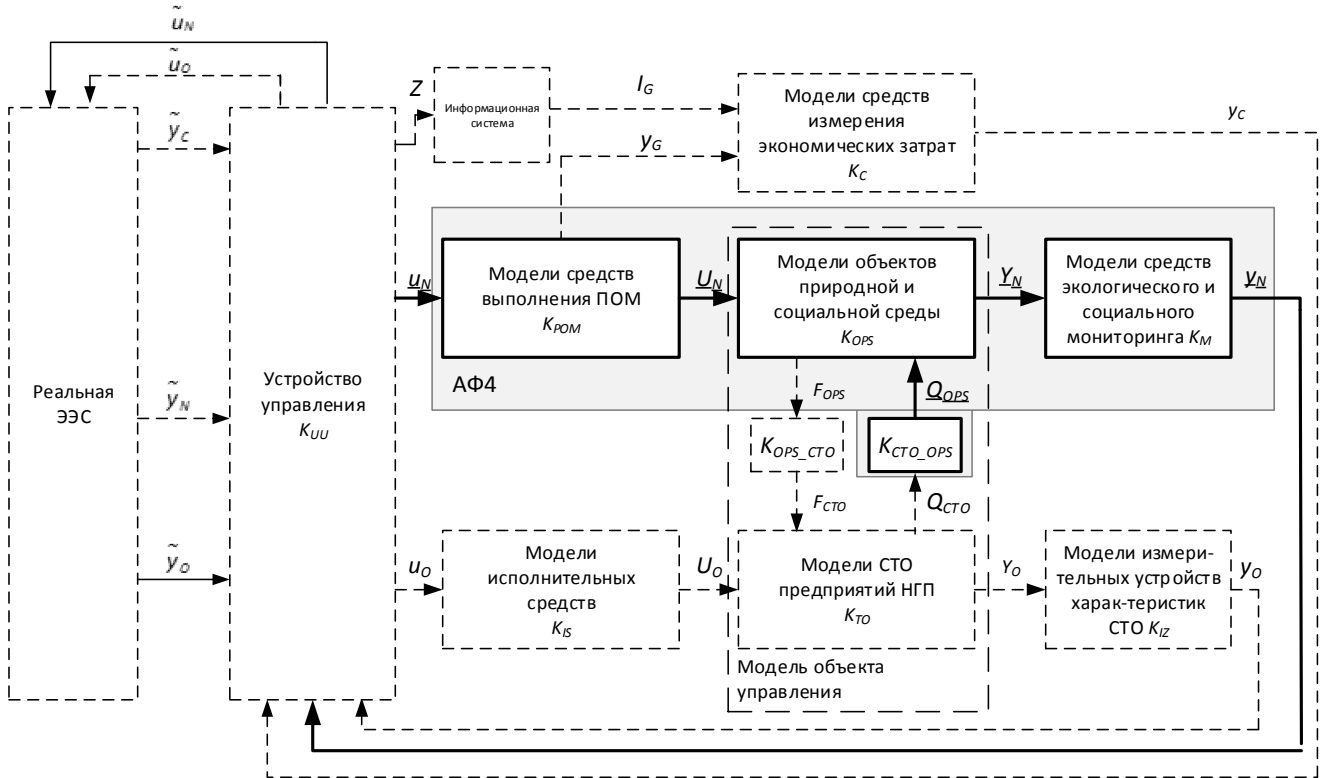


Рис. 4. Пример расположения аспектного фильтра АФ4 в модели системы.

В данной модели сложные технологические объекты представляют собой источники  $K_{СТО\_OPS}$  техногенного воздействия  $Q_{OPS}$ .

Архитектура компьютерной модели ЭЭС, адаптированная к решению четвертой задачи ИУ, включает:

*модели объектов природной и социальной среды*, позволяющие исследовать изменение состояния ОПС при компенсирующих воздействиях на них со стороны средств выполнения ПОМ, а также изменение состояния объектов социальной среды;

*модели средств выполнения ПОМ*, оказывающих компенсирующие воздействия  $U_N$  на ОПС, пропорциональные соответствующим командам устройства управления  $u_N$  и направленные на улучшение состояния объектов природной и социальной среды;

*модели средств экологического и социального мониторинга* – для измерения и вывода из модели значений переменных, характеризующих состояние ОПС и объектов социальной среды, и их передачу устройству управления.

Для взаимодействия предикатов биологического и социального аспектов применяются согласующие компоненты, позволяющие отображать в модели, например, взаимосвязь экологического состояния водных ресурсов и потребления воды.

При решении четвертой задачи ИУ ЭЭС учитываются четыре из семи субаспектов физического аспекта общей модели системы (компенсирующий, биоло-

гический, географический, социальный) и задействуются соответствующие им компоненты и переменные.

*Пятая задача ИУ ЭЭС* – управление бюджетом экологической программы. Задача направлена на снижение материальных, финансовых затрат предприятия на выполнение ПОМ, определение размера фонда достаточного для сохранения и восстановления ОПС. Здесь должен быть найден минимум целевой функции:

$$y_C \left( u_N, Z, y_N, \tilde{y}_N \right) \rightarrow \min, \quad (5)$$

где  $u_N$  – управляющие воздействия на модели средств выполнения ПОМ, деятельность которых направлена на улучшение экологического состояния ОПС региона функционирования предприятия НПП;  $Z$  – данные о стоимостях средств, затрачиваемых на проведение ПОМ, и оплатах труда специалистов, полученные из информационной системы;  $y_N$  – результаты анализа моделей ОПС множества  $K_{РОМ}$ , полученные с помощью моделей устройств экологического мониторинга  $K_M$ ;  $\tilde{y}_N$  – результаты мониторинга реальных ОПС.

Критерий (5) используется в задаче регулирования параметров ЭЭС, в частности методов и средств выполнения ПОМ, по размеру инвестиций в них.

*Аспектный фильтр для решения пятой задачи ИУ ЭЭС (АФ5)* включает следующие аспекты и соответствующие им предикаты:

*компенсирующий аспект*, позволяющий исследовать работу средств выполнения ПОМ и рассчитывать затраты на проведение этих мероприятий во временном интервале;

*биологический аспект*, позволяющий наблюдать динамику изменения состояния ОПС при выполнении ПОМ, параметры и характеристики которых подлежат оптимизации в рамках решения данной задачи;

*географический аспект*, в рамках которого моделируются логистические решения с целью минимизация затрат на их реализацию в виде сокращения времени выполнения, экономии материалов, времени эксплуатации техники и времени работы соответствующего персонала;

*экономический аспект* – оцениваются и минимизируются затраты, необходимые на выполнение экологической программы в рублях.

Архитектура компьютерной модели ЭЭС (рис. 5), адаптированная к решению пятой задачи ИУ, включает следующие множества компонентов:

*модели объектов природной и социальной среды (компоненты множества  $K_{ОПС}$ )*, позволяющие исследовать состояние экологических и социальных объектов при выполнении соответствующих ПОМ, включенных в состав сформированной экологической программы (ЭП);

*модели средств выполнения ПОМ (компоненты множества  $K_{РОМ}$ )*, оказывающие компенсирующие воздействия на ОПС с целью ликвидации их загрязнения и улучшение состояния зависимых от них социальных объектов, оказывающих воздействие на проживающее население;

*модели средств экологического и социального мониторинга (компоненты*

множества  $K_M$ ), осуществляющие измерение характеристик состояния объектов природной и социальной среды, которые должны быть улучшены в процессе выполнения соответствующих ПОМ;

модели средств измерения экономических затрат (компоненты множества  $K_C$ ), предназначенные для выполнения функционально-стоимостного анализа формируемых экологических программ, оптимизации параметров и характеристик входящих в них ПОМ;

информационная система, позволяющая на основе запросов  $Z$  осуществлять выборку соответствующих стоимостных показателей и информации о наличии соответствующих ресурсов предприятия, направляемых на выполнение ПОМ, включенных в состав ЭП.

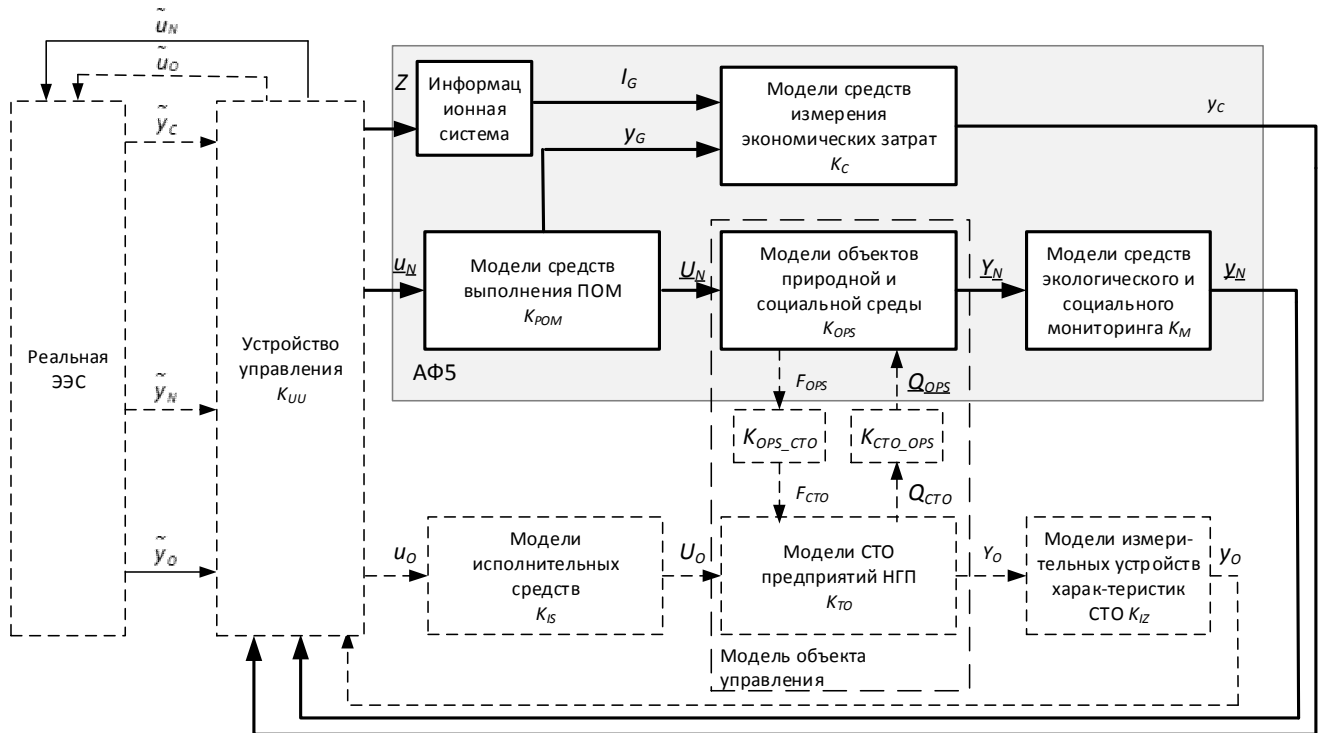


Рис. 5. Пример расположения аспектного фильтра АФ5 в модели системы.

При решении пятой задачи ИУ ЭЭС учитываются четыре из семи субаспектов физического аспекта общей модели системы (компенсирующий, биологический, географический, экономический) и соответствующие им компоненты и переменные.

### Заключение

Математические модели (1) – (5) являются функциональными моделями устройства управления и ориентированы на решение конкретных задач интеллектуального управления системой. Они представляют собой совокупности уравнений и целевых функций, при определении минимума которых будут найдены соответствующие управляющие воздействия  $u_O$ , позволяющие установить безаварийные и экологически безопасные режимы функционирования СТО, выбрать эффективные методы и средства для ликвидации последствий аварий  $u_N$ , определить политику управления кадрами, инвестициями и инновациями. При форми-



ровании новых задач интеллектуального управления данный аппарат на основе заданных аспектов и предикатов позволит производить адаптацию общей компьютерной модели системы к их автоматизированному решению с минимальными временными затратами на выполнение соответствующих вычислительных экспериментов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Оптимальное управление природно-экономическими системами / под ред. В.И. Гурмана, А.И. Москаленко. – М.: Наука, 1980.
2. Бурков В.Н., Новиков Д.А., Щепкин А.В. Модели и механизмы управления эколого-экономическими системами // Проблемы управления. – 2009. – № 1. – С. 2-7.
3. Малинецкий Г.Г., Маненков С.К., Митин Н.А., Шишов В.В. Когнитивный вызов и информационные технологии // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. – 2010. – № 46. URL: [http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2010\\_46](http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2010_46).
4. Дмитриев В.М., Ганджа Т.В., Затик О.С. Компьютерная модель эколого-экономической системы нефтегазодобывающего региона для формирования экологических программ // Информатика и системы управления. – 2011. – № 4(30). – С 27-39.
5. Дмитриев В.М., Ганджа Т.В., Коротина Т.Ю. Генератор моделей компонентов с энергетическими связями физически неоднородных цепей на базе интерактивной математической панели // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2009. – № 2 (20). – С.94-99.

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

*E-mail:*

*Дмитриев Вячеслав Михайлович – ofo45@mail.ru;*

*Ганджа Тарас Викторович – gandgatv@gmail.com;*

*Затик Ольга Сергеевна – olga\_sur@mail.ru.*

УДК 004.93

© 2014 г. С.А. Субботин, канд. техн. наук  
(Запорожский национальный технический университет, Украина)

### ОЦЕНКА СВОЙСТВ НЕЙРОМОДЕЛЕЙ В ЗАДАЧАХ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И АВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ

Предложен комплекс показателей, позволяющих оценивать свойства нейронных сетей. Применение предложенных показателей на практике позволяет автоматизировать процесс построения нейросетевых моделей для решения задач диагностики и автоматической классификации.

**Ключевые слова:** нейронная сеть, пластичность, однородность, параллелизм, иерархичность, предорганизация, функциональная блочность, обобщение, обучаемость, интерпретабельность, надежность, распределенность памяти, вариативность, эффективность.