УПРАВЛЯЮЩИЕ ИМИТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ БОЛЬШИХ СИСТЕМ

Н. Б. Кобелев (Москва)

Понятие «управление» в любой системе *S* – это целенаправленная деятельность с использованием определенного количества ресурса или энергии в форме обобщенной работы, которая осуществляется либо частью системы или другой системой для рационального выбора пути движения к определенной цели системы *S*.

Имитационные модели обычно не используются для управления какими-то объектами, а воспроизводят сам процесс-оригинал объекта во времени и с сохранением его логической структуры, т.е. этот тип моделирования близок к натурному эксперименту. Специалисты-эксперты могут изменять начальные условия действия объекта или его структуру и находить требуемые заказчиком параметры и цели, но имитационные модели пока не могут самостоятельно находить требуемые решения.

Эта работа посвящена нахождению одного способа выбора **оптимальных решений при имитационном моделировании больших систем.**

Управляющие имитационные модели в отличие от аналитических математических моделей способны применять многокритериальные и многоуровневые модели без взвешивания целевых функций и даже без последовательной оптимизации по составляющим многокритериальной целевой функции.

Суть управляющих имитационных многокритериальных моделей заключается в следующем. **Во-первых,** имитация позволяет не ограничивать формы представления целевых функций и допускает также регулирование степени взаимосвязи между составляющими многокритериальной целевой функции. **Во-вторых,** имитационный подход не ограничивает методы составления многокритериальных целевых функций. Если при аналитическом моделировании система подстраивается под целевую функцию, то при имитационном подходе целевая функция выбирается под цели системы.

Здесь важен **принцип содержательной оптимизации**, который заключается в предварительном содержательном или описательном введении желаемых для объекта условий функционирования. Когда такие условия сформированы, оговариваются заимодействие и взаимосвязь, а также те или иные ограничения условий оптимизации. Таким образом, формируется возможность управляемого допустимого компромисса как основы оптимального взаимодействия составляющих многокритериальной целевой функции.

Степень или величина уступки, учитывающая оптимальные или нормативные значения всех составляющих целевой функции, должна быть такой, чтобы выполнялись определенные условия уступки. Эти условия в зависимости от ситуации или от состояния объекта моделирования могут изменяться, т.е. они создаются в зависимости от состояния имитируемого объекта, системы или процесса.

Стратегия управляемого имитационного метода требует знания нормативов или оптимального значения энергии каждого элемента или подсистемы глобальной системы. Учитывая, что элементы потребляют и выделяют различные ресурсы, а наша модель имеет дело только с ресурсом в форме энергии, необходимо пересчитать необходимые ресурсы в форму энергии. Таблица пересчета некоторых ресурсов приведена в работе [3]. Нормативы должны быть разработаны специалистами, представляющими целевой план достижения цели системы.

Итак, чтобы получить величины управляющей энергии каждого элемента системы $\Delta E(a_u^0)$, нужно для каждого элемента системы a_u^0 знать фактическую энергию, потребляемую этим элементом $E^{\text{ф}}(a_u^o, t)$ в момент t, и задать нормативную энергию $E^{\text{н}}(a_u^0)$. **Что такое нормативная или оптимальная энергия?** Это энергия, которая нужна элементу a_u^0 для достижения общей цели системы *S*. Суть нормативного метода управления заключается в следующем. Обозначим через $E^{\text{н}}(a_1^0,t)$, $E^{\text{н}}(a_2^0,t),\ldots,E^{\text{н}}(a_{u'}^0,t)$ нормативы величины энергии, необходимые для функционирования каждого элемента системы *S*. Норматив задает определенное числовое значение энергии по элементам.

Введем также показатель фактического потребления энергии по каждому элементу в виде

$$E^{\text{ф}}(a_1^0,t),\, E^{\text{ф}}(a_2^0,t),\ldots,E^{\phi}(a_{u'}^0,t)\,.$$

У каждого элемента, если фактическая энергия меньше нормативной, имеется место дефицит энергии, что требует дополнительной порции энергии. Такой порцией может быть энергия управления $\Delta E(a_u^0,t)$ для этого элемента, т.е.

$$\Delta E(a_u^0,t) = E^{\text{н}}(a_u^0,t) - E^{\text{ф}}(a_u^0,t) \qquad (1)$$

Вся требуемая энергия управления для системы S найдется таким образом:

$$E_{\text{упр}}(S,t) = \sum_{u=1}^{u'} \Delta E(a_u^0,t)\,. \qquad (2)$$

Итак, энергия управления системой S $E_{\text{упр}}(S,t)$ является дефицитом энергии системы *S* во времени t.

Введем теперь **показатель относительной степени недопотребления энергии** одного элемента a_u^0 системы *S*, т.е.

$$W(a_u^0,t) = \frac{E^{\text{н}}(a_u^0,t) - E^{\text{ф}}(a_u^0,t)}{E^{\text{н}}(a_u^0,t)}\,. \qquad (3)$$

Показатель степени относительного недопотребления $W(a_u^0,t)$ пока не является целевой функцией или критерием. Но, если мы определили целевые нормативы потребления энергии каждого элемента a_u^0, то разумно потребовать, чтобы этот показатель был одинаковым для всех элементов. Это условие является уже **целевой функцией** для всех элементов системы *S*, т.е.

$$\frac{E^{\text{н}}(a_u^0,t) - E^{\text{ф}}(a_u^0,t)}{E^{и}(a_u^0,t)} = \frac{E^{\text{н}}(a_{u+1}^0,t) - E^{\text{ф}}(a_{u+1}^0,t)}{E^{и}(a_{u+1}^0,t)} \ldots\ldots \qquad (4)$$

Эту целевую функцию можно назвать **целевой функцией пропорциональности** потому, что она определяет относительные дефициты энергии по каждому элементу системы S. Причем эти дефициты определены в соответствии с требованиями цели системы, если нормативы энергии элементов определены **в программно-целевом плане действий** системы (рис. 1).

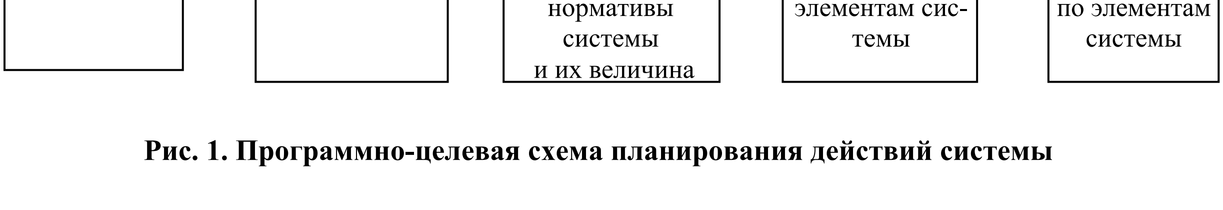

Рис. 1. Программно-целевая схема планирования действий системы

Данная схема предполагает в качестве предварительного этапа формирования целей или нормативов системы (объекта) планирования. Как правило, цели формируются в виде **дерева целей**, которое в конечном счете задает **целевые программы**.

Эти целевые программы представляют системный анализ, отображающий оценки **потребности или нормативы и их величину в форме энергии** по каждому элементу системы, а также альтернативные способы или направления их обеспечения по времени достижения главной цели системы *S*.

Программно-целевой план действий помогает системе *S* рассчитать показатель $W(a_u^0, t)$ по всем элементам и **проранжировать их по величине от больших до меньших значений**, тогда мы получим ряд ранжированных показателей степени относительного недопотребления энергии каждого элемента системы *S*.

Если в системе имеется управляющая энергия $E_{\text{упр}}(S,t)$, то эту энергию можно **передавать в первую очередь в те элементы, у которых значения** $W(a_u^0, t)$ **для различных элементов могут быть близкими или даже одинаковыми**, поэтому весь ранжированный ряд показателей $W(a_u^0, t)$ разбивается на интервалы, внутри которых показатели $W(a_u^0, t)$ признаются одинаковыми.

Итак, ряд ранжирования показателей элементов будет таким:

$$W^1, W^2, \ldots, W^m, \ldots W^k, \tag{5}$$

где $m = \overline{1,k}$, где k – число интервалов, на которые разбит ряд ранжирования.

Пример 1. Имеется реальная система S (этот объект можно назвать областью или регионом России или другой страны мира). Эта система нуждается в различных видах топлива (уголь, нефть, мазут, торф и т.п.) для обеспечения энергией и теплом жителей и предприятий области. Энергетическая комиссия, рассмотрев все варианты привлечения этих топливных ресурсов в область, составила сравнительную табл. 1. В примере применяется норматив и фактический **уровень энергии** каждого вида топлива **в рублях на душу населения**, причем фактический уровень обозначается b_i, нормативный – H_i. Показатель относительной степени недопотребления будет W_i.

Таблица 1

Сравнительная характеристика альтернативных видов топлива

Виды топлива	$в_{i;}$	H_i	$\mathbf{W}_i$	Приоритет топлива
1	2	3	4	5
Уголь бурый	0,49	0,59	16,9	16
Уголь антрацит	0,65	0,84	22,6	14
Уголь марки С	0,37	0,67	44,7	7
Уголь марки Д	3,45	4,34	20,5	15
Сырая нефть	0,04	0,13	69,2	4
Торф	1,29	1,43	9,8	20
Солярка летняя	0,63	1,03	38,8	9
Бензин 92	0,84	1,66	49,4	6
Солярка зимняя	0,11	0,19	42,0	8
Мазут марки 1	1,78	2,00	11,0	18
Мазут марки 2	0,76	1,04	26,9	12
Мазут марки 3	0,25	0,87	71,3	3

Продолжение табл. 1

Виды топлива	$в_i$;	H_i	$\mathbf{W}_i$	Приоритет топлива
Газ природный	0,53	2,33	77,2	1
Газ сжиженный	0,81	1,27	36,2	10
Бензин 95	1,49	2,03	26,6	13
Бензин 98	0,42	0,60	30,0	11
Бензин 80	0,013	0,040	67,5	5
Дрова	0,37	0,41	9,8	19
Уголь марки Е	0,09	0,38	76,3	2
Прочие виды	0,36	0,41	12,2	17

Фактический уровень потребления ресурсов b_i берется из отчетных данных за истекший период по объектам, потребляющим эти виды ресурсов, а также из прогноза цен на ресурсы в планируемом периоде.

Показатели H_i и b_i могут быть в форме удельных показателей на одного жителя, одного работающего, на единицу валовой продукции и т.п.

Итак, в табл.1. приведены расчеты показателя степени недопотребления топливных ресурсов, определяющие первоочередность их для региона. В графе «Приоритет топлива» проставлены порядковые номера, показывающие приоритет или ранг данного топлива с точки зрения распределения лимитных средств $E_{\text{упр}}(S,t)$.

Первым получает часть лимита элемент **первого** приоритета (газ природный), далее – **второго** (уголь марки Е) и т.д. Например: $\{\Delta E_{13}(a_u^0,t) = [E_{13}^{\text{н}}(a_u^0,t) - E_{13}^{\text{ф}}(a_u^0,t)]\ \text{Ч}\}$, $\{\Delta E_{19}(a_u^0,t) = E_{19}^{\text{н}}(a_u^0,t) - E_{19}^{\text{ф}}(a_u^0,t)]\text{Ч}\}$,**….,** где Ч – численность жителей области, причем $E_{\text{упр}}(S,t) \le L$, где L – общий лимит энергии системы *S*.

Мы рассмотрели вариант имитационного управления системой, имеющей один уровень элементов, но управление в иерархических и многоуровневых системах требует другой, определенной схемы действий.

Поскольку моделируется многоуровневая система, то ее главная цель должна достигаться. Основную роль для достижения главной цели должны играть высшие уровни системы, в том числе – ее первый уровень. Однако эти уровни должны управлять общей системой **разумно**, т.е. управлять основными принципами и параметрами. Неосновными параметрами должны заниматься средние и низшие уровни.

Разумно – это значит **управлять** так, чтобы основные принципы, процедуры и параметры были ясны всем элементам на всех уровнях. Подсистемы на среднем уровне могут только **регулировать** деятельность своих элементов по **заданным границам, т.е. минимальным и максимальным величинам основных параметров в установленных границах.** Нарушать элементам эти границы нельзя. Внутри границ подсистемы могут управлять своими **элементами самостоятельно** по своим соображениям.

Первый уровень является самым важным, потому что он задает основную цель, а также принципы и параметры деятельности системы. Если эти показатели будут задаваться элементами среднего или нижнего уровня, то эта система скоро разрушится, поэтому **управление** и **регулирование** в иерархических и многоуровневых системах является важнейшей задачей, от которой зависит время жизни большой системы.

Управляемыми объектами могут быть элементы системы различных уровней и подсистем. Построение иерархической системы может осуществляться по различным схемам, вид которых определяется типом задачи, решаемой системой.

Рассмотрим некоторую многоуровневую иерархическую систему, представленную в виде «дерева», с уровнями γ, $\gamma = 1,2,...,\gamma'$ (рис. 2).

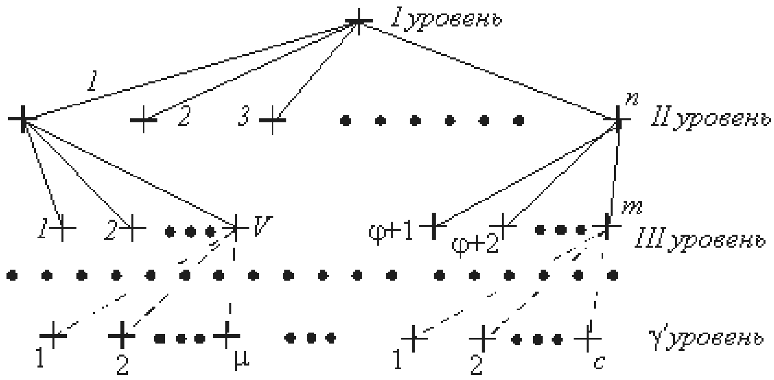

Рис. 2. Иерархическая система объектов, по которым идет распределение энергии или другого ресурса

Предположим, что «дерево» фиксирует иерархическую взаимосвязь уровней, подсистем и элементов системы, где идет распределение энергии или другого ресурса.

Итак, пусть γ – произвольный уровень дерева объектов. Элементы, принадлежащие уровню γ, будем обозначать $b_{\gamma}^{(\varphi)\omega_{\gamma}}$, где φ – номер элемента в любом уровне; ω_{γ} – номер подсистемы уровня γ. Например, $b_3^{(2)1_3}$ - элемент уровня 3 под номером 2 из подсистемы 1. Под подсистемой ω_{γ} понимается группа элементов уровня γ, имеющая непосредственную связь с одним из элементов (управляющим) вышестоящего уровня $\gamma - 1$. Таким образом, количество элементов в уровне $\gamma - 1$ определяется количеством подсистем в уровне γ. Элемент $b_{\gamma-1}^{(\varphi)\omega_{\gamma-1}}$ назовем управляющим для элементов своей подсистемы $\left\{b_{\gamma}^{(\varphi)\omega_{\gamma}}\right\}$.

Опишем таким образом систему и ее элементы, подсистемы и взаимосвязи. В целом по всем уровням системы (рис. 3) имеется множество элементов B, а именно:

$$B = B_1 + B_2, \ldots, + B_{\gamma}, \ldots, + B_{\gamma'},$$

где $B_1 = b_1^{(1)}$; $B_2 = [b_1^{(1)1_2}, b_2^{(2)1_2}, \ldots, b_2^{(n)1_2}]$;

$$B_3 = \left\{[b_3^{(1)1_3}, b_3^{(2)1_3}, \ldots, b_2^{(\bar{\nu})1_2}], \ldots, [b_3^{(1)\omega_3}, b_3^{(2)\omega_3}, \ldots, b_3^{(\bar{\nu}')\omega_3}], \ldots, [b_3^{(1)\omega_3'}, b_3^{(2)\omega_3'}, \ldots, b_3^{(\nu'')\omega_3'}]\right\};$$

………………………………………………………………………………

$$B_{\gamma'} = \left\{[b_{\gamma'}^{(1)1_{\gamma''}}, b_{\gamma'}^{(2)1_{\gamma'}}, \ldots, b_{\gamma'}^{(\tau)1_{\gamma'}}], \ldots, [b_{\gamma'}^{(1)\delta_{\gamma'}}, b_{\gamma'}^{(2)\delta_{\gamma'}}, \ldots, b_{\gamma'}^{(\tau^0)\delta_{\gamma'}}], \ldots, [b_{\gamma'}^{(1)\delta_{\gamma'}'}, b_{\gamma'}^{(2)\delta_{\gamma'}'}, \ldots, b_{\gamma'}^{(\bar{\tau})\delta_{\gamma'}'}]\right\}.$$

Подмножества $B_1, B_2, \ldots, B_{\gamma'}$ определяют совокупности элементов, принадлежащих определенному уровню.

Задача распределения энергии по элементам системы заключается в определении **лимитов энергии** $L^{(\varphi)\omega_{\gamma}}$ по элементам всех уровней (за исключением 1-го уровня, где лимит устанавливается вне данной модели), причем прежде всего самых важных объектов.

Чтобы рассмотреть общую процедуру управления системой, применим целевую функцию пропорциональности.

Модель управления по целевой функции пропорциональности строится таким образом, чтобы рассчитать относительные недопотребления ресурсов или энергии. Итак, в многоуровневой системе имеются элементы по всем уровням и подсистемам, а также какие-то нормативы $H_{\gamma}^{(\varphi)\omega_{\gamma}}$ ресурсов и фактические значения величины ресурсов по всем элементам $b_{\gamma}^{(\varphi)\omega_{\gamma}}$.

Управление или распределение энергии заключается в том, что если все нормативы и фактические значения энергии (ресурсов) имеются, то в такую модель вводится показатель относительного недопотребления ресурса (энергии).

Однако, все нормативы и фактические величины энергии (ресурсов) должны быть рассчитаны в одной размерности. Например, в денежном выражении или другом обобщенном измерении. Наиболее подходят измерения ресурса в форме энергии. Трудности перевода измерения ресурса в другую форму имеются, но не надо этого бояться [3].

Далее, рассчитаем целевую функцию пропорциональности, определяющую показатели относительного недопотребления по всем элементам (рис.3).

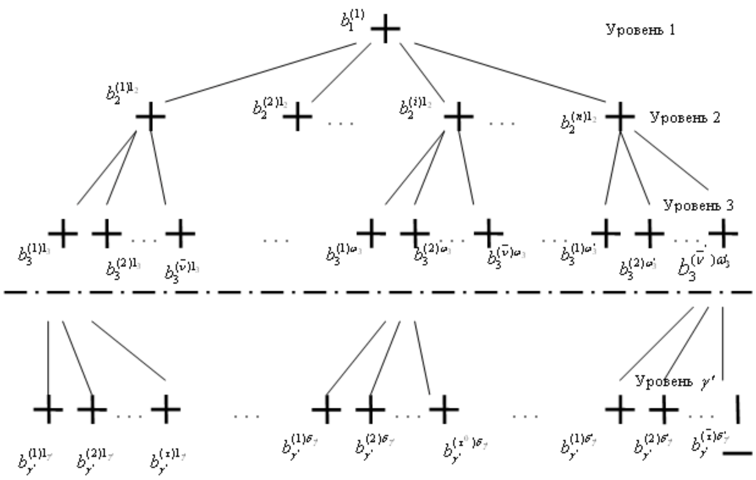

Рис. 3. Схема иерархической модели с выделением элементов и подсистем

Для простоты элементы системы обозначаются буквой $b_{\gamma}^{(\varphi)\omega_{\gamma}}$ и также обозначаются фактические значения величины ресурсов элементов, так как элементы и представляют величины ресурсов этих элементов.

Итак, показатель относительного недопотребления первого элемента $b_1^{(1)_1}$ первого уровня в форме

$$W(b_1^{(1)1},t)=\frac{H_1^{(1)_1}-b_1^{(1)_1}}{H_1^{(1)_1}},$$

который показывает величину $W(b_1^{(1)_1}t)$ и абсолютный дефицит ресурса $\Delta E(b_1^{(1)_1},t)$, т.е.

$$\Delta E(b_1^{(1)_1},t)=H_1^{(1)_1}-b_1^{(1)_1}.$$

Абсолютный дефицит ресурса $\Delta E(b_1^{(1)_1},t)$ является лимитом ресурса второго уровня системы. По второму уровню также находятся показатели относительного недопотребления или целевая функция пропорциональности, т.е.

$$\frac{H_2^{(1)1_2}-b_2^{(1)1_2}}{H_2^{(1)1_2}}=\frac{H_2^{(2)1_2}-b_2^{(2)1_2}}{H_2^{(1)1_2}}=\ldots=\frac{H_2^{(n)1_2}-b_2^{(n)1_2}}{H_2^{(n)1_2}} \qquad (6)$$

и абсолютный дефицит ресурса каждого элемента второго уровня :

$$\Delta E(b_2^{(i)1_2},t)=H_2^{(i)1_2}-b_2^{(i)1_2}, \qquad (7)$$

который является лимитом ресурса третьего уровня.

Элементы второго уровня B_2 **также должны ранжироваться по большей величине относительного недопотребления ресурсов**. Эти элементы имеют абсолютные дефициты энергии, которая является управляющей энергией для элементов третьего уровня подсистем ω_3 общей системы.

Наконец, элементы $b_{\gamma'-1}^{(\tau)\delta_{\gamma'-1}}$ уровня $\gamma'-1$ являются управляющими элементами для последнего уровня γ' и определяют абсолютные дефициты $\Delta E(b_{\gamma'-1}^{(\tau)_{\gamma'-1}})$, которые являются лимитами для элементов последнего уровня $b_{\gamma'}^{(\bar{\tau})\delta_{\gamma'}}$.

Естественно, элементы уровня $\gamma'-1$ также должны быть проранжированы по относительному недопотреблению ресурсов.

Элементы последнего уровня γ' также должны быть ранжированы:

$$\frac{H_{\gamma'}^{(\tau')1_{\gamma'}}-b_{\gamma'}^{(\tau')1_{\gamma'}}}{H_{\gamma'}^{(1)1_{\gamma'}}}=\ldots=\frac{H_{\gamma'}^{(\tau'')\delta_{\gamma'}}-b_{\gamma'}^{(\tau'')\delta_{\gamma'}}}{H_{\gamma'}^{(\tau'')\delta_{\gamma'}}}=\ldots=\frac{H_{\gamma'}^{(\bar{\bar{\tau}})\delta'_{\gamma'}}-b_{\gamma'}^{(\bar{\bar{\tau}})\delta'_{\gamma'}}}{H_{\gamma'}^{(\bar{\bar{\tau}})\delta'_{\gamma'}}}, \qquad (8)$$

где τ' – общий элемент первой подсистемы, $\tau'=\overline{1,\tau}$; τ'' – общий элемент подсистемы $\delta_{\gamma'}$, $\tau''=\overline{1,\tau^0}$; $\bar{\bar{\tau}}$ – общий элемент последней подсистемы $\delta'; \tau=\overline{1,\tau}$.

Далее должны быть определены значения лимита энергии (ресурса) по всем элементам последнего уровня γ', т.е.:

$$\Delta E(b_{\gamma'}^{(\tau'')\delta_{\gamma'}},t)=H_{\gamma'}^{(\tau'')\delta_{\gamma'}}-b_{\gamma'}^{(\tau'')\delta_{\gamma'}}. \qquad (9)$$

Сумма всех абсолютных дефицитов энергии (ресурса) каждого элемента системы S должна удовлетворять выражению

$$L\geq E_{\text{упр}}(S,t)$$

где L – общий лимит энергии (ресурса) системы S. Таким образом, мы имеем теоретическую модель многоуровневого управления системой.

Модель имитационного управления многоуровневой системой S представлена на рис. 4*, где все элементы описаны как типовой элементарный блок (ТЭБ) в программе УИМ-1 (см. [1, 2]). Блок (101) находится на самом верхнем уровне многоуровневой системы и определяет политику управления системой. Все элементы системы имеют какую-то энергию $b^{ik\gamma}(t)$ и используют эту энергию для достижения своей частной цели, а далее в некоторый момент t_1 может задаваться норматив управления $H^{ik\gamma}(t)$ для каждого элемента системы.

* Обозначения в имитационной модели (рис. 4) всех элементов системы соответствуют требованиям [1], но вместо $H_\gamma^{(i)W_\gamma}(t)$ пишем $H^{ik\gamma}(t)$, а в $b_\gamma^{(i)\omega_\gamma}(t)$ пишем $b^{ik\gamma}(t)$.

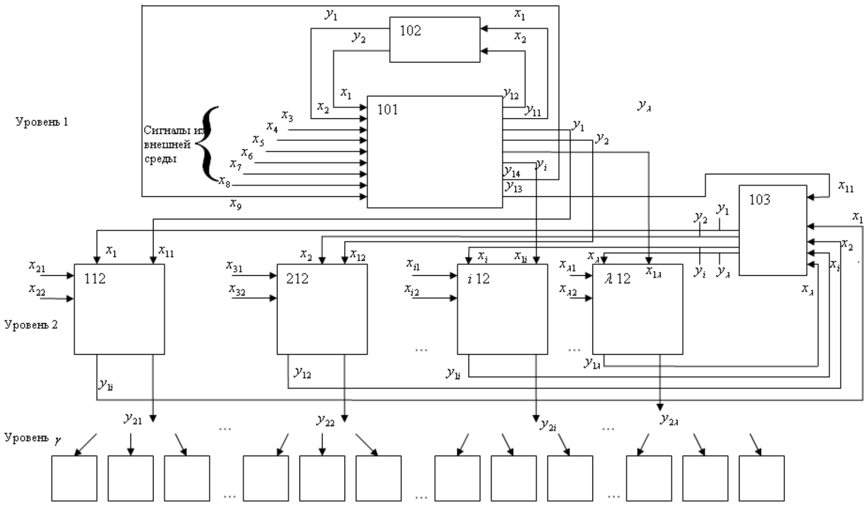

Рис. 4. Общая схематическая модель имитационного управления многоуровневой системы

(В верхней части показан фрагмент действующей модели имитационного управления на два уровня)

Таблица 2

Описание входов, выходов, состояний управляемой имитационной модели (фрагмент описания)

№	Входная клемма: Какая	Входная клемма: Откуда	Компоненты входного сигнала	Состояние и его компоненты	Вы ход. клемма	Компоненты выходного сигнала	Вых. сиг нал куда	Блок
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	$x_1^{101}(t_0)$	$y_1^{102}(t_0)$	$(101,1,\pi_1^{101}(t)=\{\varepsilon_1^{102}(t_0),$ $\varepsilon_2^{102}(t_0),\ldots,\varepsilon_\lambda^{102}(t_0);\mathrm{t}\ \}$	$S_1^{101}(t_0)=\varepsilon_1^{102}(t_0)$, $S_2^{101}(t_0)=\varepsilon_2^{102}(t_0)$, $\ldots,S_\lambda^{101}(t_0)=\varepsilon_\lambda^{102}(t_0)$	$y_1^{101}(t_2)$	$[\ 101,1,\varepsilon_1^{101}(t_2)=S_{31}^{101}(t_0)$; $\varepsilon_2^{101}(t_2)=S_{32}^{101}(t_1)$; $\varepsilon_3^{101}(t_2)=S_{40}^{101}(t_2)$; $\varepsilon_4^{101}(t_2)=S_{41}^{101}(t_2)$; $\varepsilon_5^{101}(t_2)=S_{51}^{101}(t_2)$; $\varepsilon_6^{101}(t_2)=S_{71}^{101}(t_2)$; $\varepsilon_7^{101}(t_2)=S_{81}^{101}(t_2);\mathrm{t}\,]$	$x_1^{112}(t_2)$	
2	$x_2^{101}(t_1)$	$y_2^{102}(t_1)$	$(101,2,\pi_2^{101}(t)=\{\varepsilon_{21}^{102}(t_1),$ $\varepsilon_{22}^{102}(t_1),\ldots,\varepsilon_{2\lambda}^{102}(t_1);\mathrm{t}\ \}$	$S_{21}^{101}(t_1)=\varepsilon_{21}^{102}(t_1)$, $S_{22}^{101}(t_1)=\varepsilon_{22}^{102}(t_1)$, $\ldots,S_\lambda^{101}(t_0)=\varepsilon_\lambda^{102}(t_0)$				
3	$x_3^{101}(t_0)$	$y_1^{0}(t_0)$	$(101,3,\pi_3^{101}(t_0)=b^{101}(t_0);\mathrm{t})$	$S_{31}^{101}(t_0)=b^{101}(t_0)$	$y_2^{101}(t_2)$	$[\ 101,2,\varepsilon_{21}^{101}(t_2)=S_{31}^{101}(t_0)$; $\varepsilon_{22}^{101}(t_2)=S_{32}^{101}(t_1)$; $\varepsilon_{23}^{101}(t_2)=S_{40}^{101}(t_2)$; $\varepsilon_{24}^{101}(t_2)=S_{42}^{101}(t_2)$; $\varepsilon_{25}^{101}(t_2)=S_{52}^{101}(t_2)$; $\varepsilon_{26}^{101}(t_2)=S_{72}^{101}(t_2)$; $\varepsilon_{27}^{101}(t_2)=S_{81}^{101}(t_2);\mathrm{t}\,]$	$x_2^{112}(t_2)$	
4	$x_4^{101}(t_1)$	$y_2^{0}(t_0)$	$(101,4,\pi_4^{101}(t_1)=H^{101}(t_1);\mathrm{t})$	$S_{32}^{101}(t_1)=H^{101}(t_1)$, $S_{40}^{101}(t_2)=H^{101}(t_1)-b^{101}(t_0)$ $S_{41}^{101}(t_2)=b^{101}(t_0)\cdot\varepsilon_1^{102}(t_0)$; $S_{42}^{101}(t_2)=b^{101}(t_0)\cdot\varepsilon_2^{102}(t_0)$;	$y_\lambda^{101}(t_2)$	………………………………… $[\ 101,\lambda,\varepsilon_{\lambda 1}^{105}(t_2)=S_{31}^{101}(t_0)$;		

Для определенности будем считать, что система получает нормативы управления и фактическое потребление энергии случайно, причем нормативы в момент t_1, а фактическое потребление в момент t_0. Для этого существует блок (102) – см. рис. 4, который задает случайные сигналы. Например, сигналы $x_1^{101}(t_0)$ и $x_2^{101}(t_1)$ фиксируют в состояниях $S_1^{101}(t_0),\ldots,S_\lambda^{101}(t_0)$ и $S_{21}^{101}(t_1),\ldots,S_{2\lambda}^{101}(t_1)$ случайные фактические доли энергии в момент t_0 элементов $\delta^{112}(t_0),\delta^{212}(t_0),\ldots,\delta^{\lambda 12}(t_0)$ и далее энергии нормативов управления $l^{112}(t_1)$, $l^{212}(t_1),\ldots,l^{\lambda 12}(t_1)$ в момент t_1 на втором уровне.

Сигналы $y_1^{101}(t_2)$, $y_2^{101}(t_2),\ldots,y_\lambda^{101}(t_2)$ поступают в блоки (112), (212),…,(λ12), которые являются блоками второго уровня ($\gamma = 2$), где $i = \overline{1,\lambda}$.

В блоке (102) от сигнала $x_1^{102}(t_0)$ разыгрывается случайная функция $\delta(t_0)$, которая в начальный момент t_0 определяет доли энергии, $b^{112}(t_0)$, $b^{212}(t_0),\ldots,b^{\lambda 12}(t_0)$. Сигнал $x_2^{102}(t_1) = (102{,}2,\pi_1^{102}(t) = \varepsilon_2^{101}(t_1) = 1; t)$ также разыгрывает случайную функцию $l(t_1)$, которая задает доли энергии нормативов управления в момент t_1.

Блок (103) работает так , что входные сигналы происходят в различные моменты времени, т.е. $t_3, t_4, \ldots, t_{2+i}, \ldots, t_{2+\lambda}$. Сигналы $x_i^{103}(t_{2+1})$ содержат проекцию $\pi_i^{103}(t_{2+i})$, которая определяет приоритет блока (i12) по потреблению энергии.

Все выходные сигналы $y_1^{103}(t_{2+\lambda+1}), y_2^{103}(t_{2+\lambda+2}),\ldots,y_\lambda^{103}(t_{2+\lambda+\lambda})$ посылаются в элементы второго уровня и образуют множество, по элементам второго уровня, величин нормативной энергии элементов второго уровня. Эти значения нормативной энергии в дальнейшем используются для распределения энергии по элементам третьего уровня и далее процесс может продолжаться по всем уровням системы. Подробное описание блоков второго уровня (112), (212),…,(λ12), $i = \overline{1,\lambda}$, а также блоков (101), (102) и (103) см. в [3].

Заключение

Управляющие имитационные модели могут применяться, когда большому объекту (человеку, предприятию, объединению организаций, региону и др.) необходимо пропорциональное развитие в разных направлениях, а ресурсов (энергии) для этого не хватает. Причем для этого не нужно строить всю структуру объекта, а только определить приоритетные направления его деятельности и направить туда требуемые объемы ресурсов.

Литература

1. **Кобелев Н. Б.** Введение в общую теорию имитационного моделирования. М.: ООО «Принт-Сервис», 2007.
2. **Власов С. А., Девятков В. В., Кобелев Н. Б., Половников В. А**. Имитационное моделирование больших систем // IV Всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика». СПб.: ЦТСС, 2009.
3. **Кобелев Н. Б.** Большие системы и их имитационное управление. М: ООО «Принт-Сервис», 2011.