МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ И ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

С. А. Власов, Н. Г. Волочек (Москва)

При решении различных задач исследования, проектирования и управления для сложных производственных систем могут быть эффективно использованы системы имитационного моделирования.

Современная система имитационного моделирования должна отвечать следующим требованиям:

– семантика языка моделирования должна позволять достаточно легко составлять модели имитируемых объектов, интерпретирующих их поведение в течение длительных интервалов времени (или в течение жизненного цикла);

– формализованное описание моделируемого объекта должно позволять выявить такие его свойства, которые трудно обнаружить без формализованного описания;

– выбранный язык моделирования должен быть таким средством имитации, чтобы основные работы с реализованной моделью не требовали от пользователя специальных знаний в области программирования.

На основе выполненных исследований различных средств моделирования непрерывно-дискретных процессов и опыта их применения для металлургических производственных объектов, имеющих непрерывно-дискретный характер, в Институте проблем управления разработана специальная методика имитационного моделирования, принципы формирования имитационных систем [1, 2].

Указанная методика ориентирована на решение задач анализа и синтеза вариантов автоматизированных технологических комплексов (АТК) современного металлургического производства.

При традиционном подходе к имитационному моделированию имитационная модель рассматривается как некоторый алгоритм, вычислительный процесс которого моделирует работу исследуемой системы. Рассматривая имитационную модель как «черный ящик», ее можно представить в виде тройки $<X,Y,P>$, где X и Y – вход и выход модели; P – параметры модели. Для изменения варианта моделируемой системы (или варианта имитационной системы) необходимо изменить значения параметров P. При проведении исследований на модели меняются во времени X и Y. Таким образом, для изменения имитационной модели и работы с ней должна быть построена оболочка, позволяющая работать с различными вариантами исследуемой системы. Для построения такой оболочки применительно к имитационным моделям АТК использовались принципы интегрированнного проектирования (ИП), разработанные в ИПУ РАН в начале 80-х годов [1].

Исследование проблем ИП осуществляется путем итеративного процесса, включающего следующие стадии (уровни) [1]:

1) имитации альтернатив ТЭО и исходных положений проекта. Выбор целевых и нормативных ограничений в допускаемых природными ограничениями пределах: а) ограничений A_j на технологический оператор $a_j \in A_j$ (тип технологии $j \in J$, т.е. множество всех осуществимых технологических процессов): б) ограничений на состав $\{\sigma_{ji}\}$ и значения параметров $\sigma_{ji} \in \Sigma_i$ агрегатов и их взаимосвязей; в) ограничений X_i на состояния $x_{ji} \in X_i$ совокупности всех переменных процесса при технологии $j \in J$ на прогнозируемом множестве I сортаментов $i \in I$; г) ограничений U_i на управляющие воздействия u_{ji} (тип системы управления, принципы планирования и т.п.);

2) прогноза - имитации альтернатив технического и рабочего проектов. Выбор альтернатив сочетаний: а) конкретного сортамента *I*; б) конкретного технологического оператора $j \subset J$; в) конкретной трубки состояний $\tilde{X}_i$ технологического процесса $x_{ij} \in \tilde{X}_i \subset X_i$ г) конкретной пространственной и временной привязки этой трубки состояний (размещение оборудования и т.п.) $\theta \subset T, \pi \subset P;$

3) прогноза-имитации подготовки производства. Выбор: а) конкретного портфеля $\tilde{I}$ заказов $i \in \tilde{I} \subset P;$; б) конкретного плана его выработки; в) конкретных значений параметров (настроек оборудования), $\sigma \in \tilde{\Sigma} \subset \Sigma;$

4) прогноза-имитации текущего производства с воспроизведением ряда экономических и технологических показателей производства, а также показателей качества продукции $D_r r = 1,2,...$. На этой стадии осуществляется выбор конкретных управляющих воздействий, $u_{ij} \in U_i$.

<u>Итак, решение проблем интегрированного проектирования приходится проводить, разбив задачу на ряд уровней.</u> На нижнем уровне 4 и 3 осуществляется выбор практических переменных *u* и *σ*, т. е. выбираются режимы оборудования с фиксированными конструктивными свойствами, придающие продукции необходимые потребительские свойства. На верхних уровнях 2 и 1 определению подлежат оператор технологии и области ограничений переменных, параметров и управлений, т.е. вид и состав оборудования, конструктивно-компоновочные формы и материалы оборудования из числа нескольких перспективных вариантов с учетом того, что для каждого варианта предварительно был проведен выбор нижнего уровня. Эти задачи имеют, как правило, комбинаторный характер и могут быть решены различными методами упорядочения вариантов по ряду критериев оптимальности. Заметим, что задачи уровня 1 могут быть расширены и обогащены вплоть до стратегических плановых, экономических и др. Важно только (для данной постановки), чтобы все они в конечном итоге отражались альтернативными вариантами исходных положений и ТЭО проектов.

Средством осуществления указанных процессов ИП являются человеко-машинные процедуры моделирования на ЭВМ, ориентированные на конкретный класс объектов и насыщенные необходимыми для этого класса объектов моделями агрегатов, моделями их взаимосвязей, их совместной работы, моделями действия систем управления и др. Иными словами, методом решения являются проблемно-ориентированные человеко-машинные процедуры моделирования. Разработанные (для указанной конкретной сферы приложений) процедуры моделирования, обеспечивающие формирование основных технических проектных решений и их технико-экономический анализ как в плане технологии, так и управления на различных уровнях и имитационные модели для реализации указанных процедур строятся по методике, показанной в виде схемы на рис. 1.

Цикл по числу технологических схем

Цикл по числу испытаний

Цикл по числу агрегатов

I. Формирование имитационной модели комплекса:
Множество альтернатив технологических схем:

Имитационная модель технологической схемы *q*
Мнодество альтернатив N_z агрегатов z
Ограничения на взаимосвязи агрегатов
База исходных данных
Имитационные модели агрегатов:

Имитационная модель агрегата

I. Формирование:

1) множества M_z состояний i_z, где $i_z \to t \in \left[t_{i_z}, t_{i_{z+1}}\right]$;
2) ограничений на состояния i_z;
3) множества управлений от АСУ $\left\{u_{i_z}^{алг}\right\}$;
4) ограничений на $u_{i_z}^{алг}$;
5) множества управлений от ЛПР $\left\{u_{i_z}^{лпр}\right\}$;
6) ограничений на $\left\{u_{i_z}^{лпр}\right\}$;
7) гистограмм $t_{i_z}^{норм}$; моделей $t_{i_z}^{мод}$;
8) графа состояний Γ_z;
9) матрицы вероятностей переходов по графу Γ_z; $\left\|P_{i_z} \to i_{z+1}\right\|$;
10) логических условий перехода $i_z \to \left(i_{z+1}\right)$ по графу Γ_z, т.е.
$\Gamma_z : \{\left[t \ge t_{i_{z+1}} = \min\left(t_{i_z}^{норм}, t_{i_z}^{мод}\right)\right] \vee \left[R_{i_z} > P_{i_z} \to i_z + 1\right] \vee \left[u_{i_z}^{алг}\right] \vee \left[u_{i_z}^{лпр}\right]\} \to \{i_z \to \left(i_z + 1\right)\}$;

II. Определение необходимого числа испытаний Q_z

Критерии оптимальности и показатели
Необходимое число испытаний: $Q = \max Q_z$

II. Определение параметров согласованной работы технологической схемы *q*.
III. Определение алгоритмов координации и значений параметров координации технологической схемы *q*.
IV. Определение значений критериев оптимальности и показателей технологической схемы *q*.

Рис. 1. Методика имитационного моделирования

На рис. 2 показана принципиальная структура имитационной системы, которая строится на основе программного комплекса ИМИТАМП (ИМИТация Автоматизированного Металлургического Производства), разработанного в ИПУ РАН. Система может быть адаптирована к различным объектам металлургического производства, с одной стороны, и к различным задачам, составляющим проблему интегрированного проектирования АТК металлургического производства, с другой.

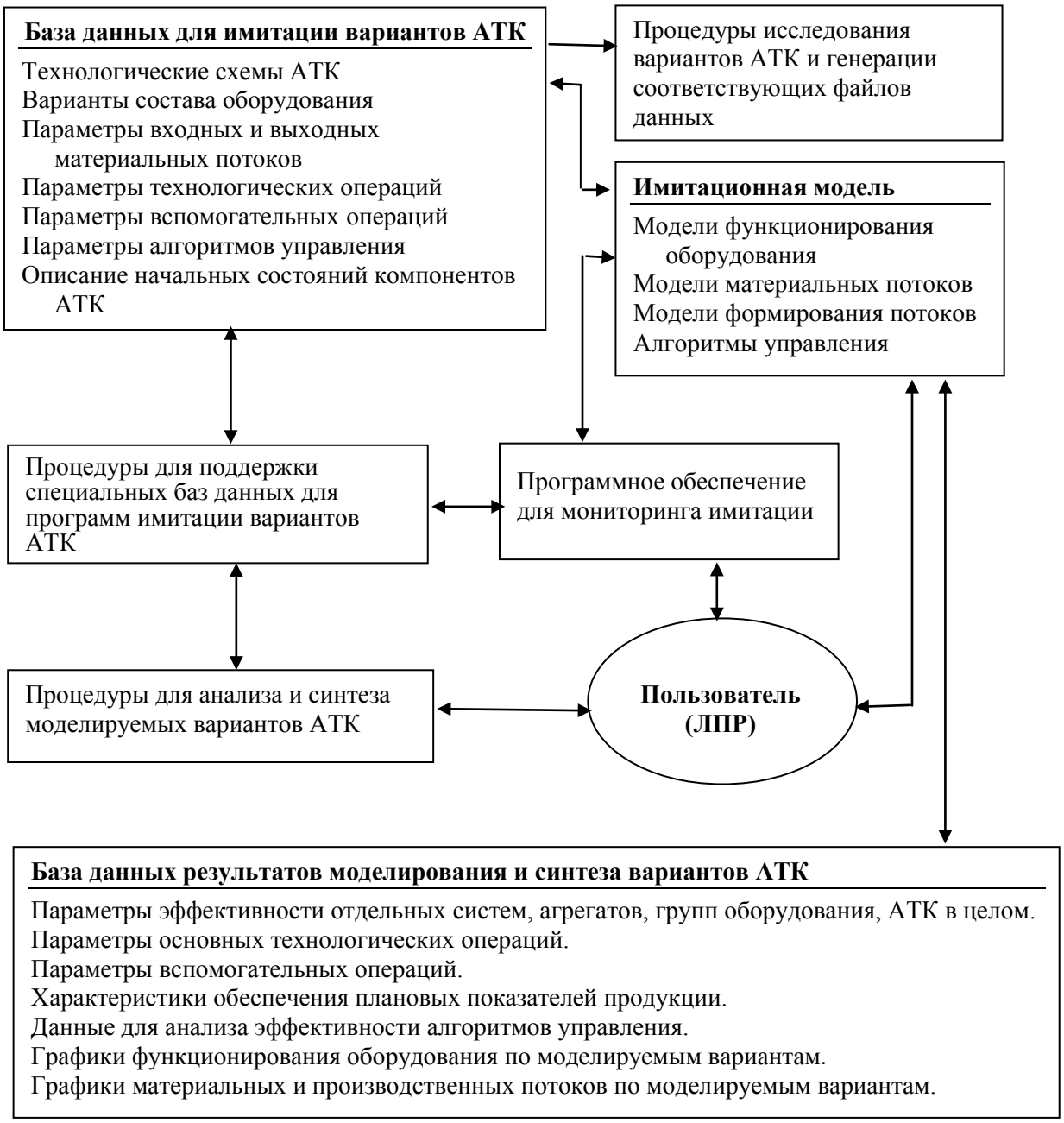

Рис. 2. Принципиальная структура имитационной системы

К настоящему времени имеется опыт использования имитационной системы для следующих объектов металлургического производства:

– кислородно-конвертерные цеха с отделениями разливки в слитки и с отделениями непрерывной разливки;

– электросталеплавильные цеха с непрерывной разливкой;

– миксерные отделения доменных цехов – конвертерные цеха;

– технологические комплексы «конверторы (или электропечи) – агрегаты внепечной обработки стали – разливочные агрегаты – склады – нагревательные агрегаты;

– технологические комплексы «печи-стан» различных типов;

– технологические комплексы заготовочных и сортовых станов со складским, транспортным и другим вспомогательным оборудованием и др.

Следует заметить, что в данном случае речь идет о типе объекта, а не о его конкретном воплощении на каком-либо заводе. Это значит, что в имитационной системе и в программном комплексе ИМИТАМП имеются инвариантные компоненты, которые могут быть использованы независимо от того, для какого конкретного завода строится имитационная система или комплекс имитационных моделей.

С другой стороны, с помощью специализированных программных средств имитации, используемых в комплексе ИМИТАМП, а именно языка GPSS PC^{TM}, и пользовательских программных модулей на базе языка C++ достаточно легко можно ввести в систему характеристики и параметры объекта, имеющего привязку к конкретному заводу [3].

Теперь остановимся на тех основных задачах, которые решены с использованием компонентов комплекса ИМИТАМП и человеко-машинных процедур имитационного моделирования. Прежде всего, укажем на три основные области проблем, к которым эти задачи относились. Это следующие области:

– управление проектами АТК металлургических предприятий, включая и вопросы САПР для этого случая [3–5];

– комплексное исследование взаимосвязанного функционирования технологических и организационных компонентов АТК и согласованный выбор состава оборудования и параметров управляющих систем [2];

– управление в АТК с целью достижения определенных в качестве главных показателей эффективности, например, управление качеством, управление энергосбережением и т. п. [3–5].

Задачи анализа и синтеза АТК металлургического производства в рамках указанных проблем решались с использованием входящего в комплекс ИМИТАМП программного и информационного обеспечения, укрупненная структура которого показана на рис. 3.

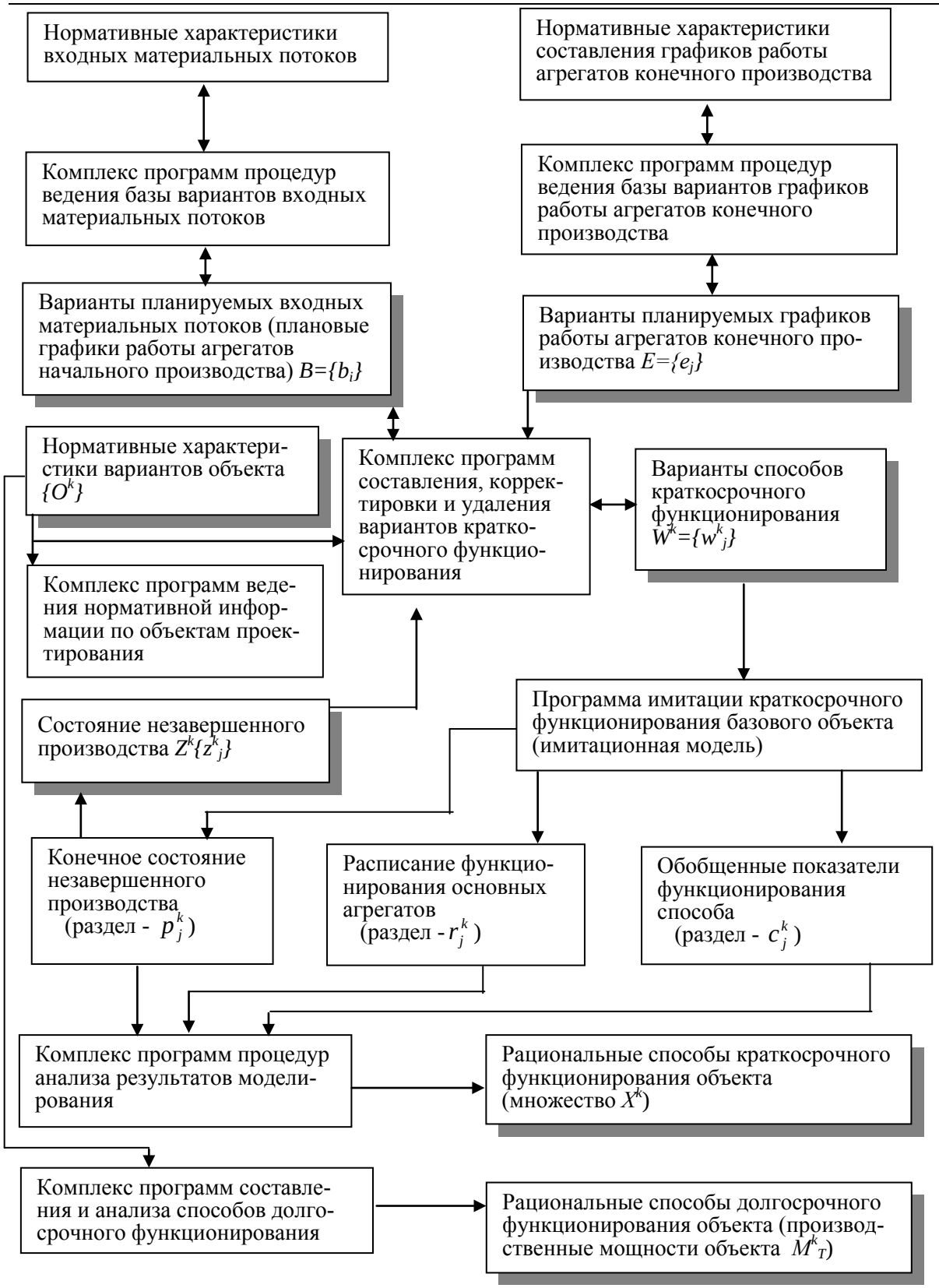

Рис. 3. Структура программного информационного обеспечения имитационной системы

Структура имитационных систем для анализа и синтеза АТК, которая предложена в [1,2], взаимодействие динамических элементов сегментов организационно-технологических моделей, реализуемых в терминах GPSS, обуславливают необходимость реализации в программах имитационных экспериментов следующих процедур: *обмен информацией между файлами внешних носителей ЭВМ и переменными модели в оперативной памяти; обмен информацией о параметрах транзактов и между транзактами; определение времени реализации критических событий для компонент, которые имеют непрерывный характер.* Реализация этих процедур наиболее эффективна с помощью универсальных языков программирования. В связи с этим, была проведена работа по совершенствованию и адаптации к различным условиям эксплуатации комбинированных средств программирования, состоящих из средств GPSS и универсальных языков программирования типа C++.

В настоящее время актуальной является задача переноса предложенных разработок в среду GPSS World™, предоставляющая большие возможности для визуализации процедур моделирования и другие современные возможности.

Литература

1. **Власов С.А., Малый С.А., Томашевская В.С., Тропкина А.И.** Интегрированное проектирование металлургических комплексов. М.: Металлургия, 1983.
2. **Vlasov S.A., Belov A.D.** Computer Simulation in CAD-CAM-CAPP System For Steelmaking. Preprints of 8-th IFAC Symposium on Automation in Mineral and Metal Processing, Sun City, South Africa, 1995, p.p. 139–144.
3. **Смирнов В.С., Ваулинский Е.С., Власов С.А.** Методы и модели управления проектами металлургических объектов. Препринт. М., Институт проблем управления, 1998.
4. **Рожков И.М., Власов С.А., Мулько Г.Н.** Математические модели для выбора рациональной технологии и управления качеством стали. М.: Металлургия, 1990.
5. **Смирнов В.С., Ваулинский Е.С., Власов С.А.** Развитие и применение методов управления проектами для металлургических объектов. Международная конференция по проблемам управления (29 июня-2 июля 1999 г.): Избранные труды, том 2, М., 1999, с. 191–200.