

МЕТОД АНАЛИЗА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ПРОИЗВОДСТВА С ЭЛЕМЕНТАМИ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ОПАСНОСТИ

Объектом исследования являются технические системы из различных предметных областей, имеющие сложную природу, математические модели которых построены на основе различных способов формализации. Такие объекты исследования характеризуются тем, что содержат большое число компонентов, динамика взаимодействия которых описывается с помощью сложных алгоритмов. При этом характер поведения компонентов системы и результат их взаимодействий трудно описать с помощью аналитических моделей. В подобных случаях обычно используются так называемые имитационные модели. Это обстоятельство обусловлено тем, что размерность решаемых задач, а также невозможность формализации сложных систем в рамках аналитических методов исследований не позволяют использовать классические методы исследования операций, классические и конструктивные методы оптимизации.

Необходимо отметить, что хотя в настоящее время разработано и используется более семисот специализированных языков моделирования, обладающими удобством и быстротой программирования (GPSS, Q-GERT, GASP IV, SIMULA 67 и др.), они требуют от пользователя основательных знаний языков программирования и обеспечивают меньше возможностей по сравнению с универсальными языками программирования. С другой стороны, использование при разработке имитационных моделей проблемно-ориентированных систем и средств моделирования, которых насчитывается всего несколько десятков (DOSIMIS-3, Process Charter 1.0.2, Powersim 2.01, Extend+BRM, Arena и др.), не требует от пользователя знаний языков программирования, однако позволяют моделировать лишь относительно узкие классы сложных технических систем (СТС). Кроме того, существующие средства моделирования *обладают ограниченными возможностями моделирования систем управления*, которые являются неотъемлемой частью СТС, а также слабо ориентированы на учет «человеческого фактора» при принятии экспертных решений.

Эти и некоторые другие проблемы обусловили дальнейшее развитие нового этапа имитационного моделирования, связанного с построением гибких и универсальных систем, позволяющих имитировать результаты человеческой деятельности при принятии решений, поскольку в существующих средствах моделирования логика систем управления закладывалась либо в алгоритм имитационной модели (GPSS, SLAM II и др.), либо ограничивалась достаточно скромными средствами ее формализации (например, GPSS, DOSIMIS-3 и др.).

Анализ систем управления технологическими процессами при наличии элементов потенциальной опасности. Метод анализа систем управления (СУ) технологическими процессами производства (ТП) с элементами потенциальной опасности состоит в поэтапном применении агрегатного способа имитации, построении имитационной модели системы управления и испытании имитационных моделей динамики управления оборудованием вероятностного технологического процесса производства, в разработке и эксплуатации типовых имитационных моделей (ИМ) систем управления.

Во-первых, предлагается правило декомпозиции СУ по уровням иерархии технологических операций ($MTXO_{ij}$) в сочетании с детальным представлением алгоритма имитации компонентов СУ после их декомпозиции на составные элементы. При этом каждому компоненту СУ соответствует свой тип агрегата, имитирующего его функции при квазипараллельном выполнении процессов в модельном времени имитации. Компоненты СУ могут быть связаны между собой по фактическим параметрам и переменным управления $\{U_k\}$.

Во-вторых, предлагается библиотека компонентов имитационной модели СУ, в состав которой входят агрегаты-имитаторы ее элементов. Для каждого компонента библиотеки задаются характеристики их конкретной структуры. При этом алгоритмы функционирования агрегатов реализуются на основе агрегатного способа имитации сложных систем.

В-третьих, предлагается способ оперативного использования компонентов ИМ с коррекцией структуры по результатам имитационных экспериментов на других ИМ. Часть параметров ИМ отображает влияние внешней среды и поведение оборудования ТПП, а другая часть отображает поведение соответствующей ветви системы управления. Каждому параметру одной ИМ могут соответствовать несколько откликов других подмоделей СУ. Поэтому после нескольких итераций имитационного эксперимента удастся добиться соответствия имитационной модели реальной системе управления.

В-четвертых, предлагается параметризовать структуру СУ, что позволяет разработчику изменять количество элементов модели в различных вариантах ее организации. Параметры имитационной модели разделены на две категории: *параметры настройки* ИМ на конкретную конфигурацию СУ и *параметры управления*, которые исследователь может менять в ходе изучения динамики функционирования оборудования ТПП.

Задавая значения первой группы параметров, конструктор СУ определяет варианты организации структуры ТПП. Варьируя параметры второй группы, исследователь ставит серию натурных экспериментов (НЭ) на готовой конфигурации СУ, что дает возможность проектирования ее рациональной структуры в условиях потенциальной опасности. Поэтому очевидна необходимость постоянного пополнения соответствующей библиотеки новыми моделями.

В-пятых, предлагается параметризовать структуру СУ, что позволяет разработчику изменять количество элементов модели в различных вариантах ее организации.

Параметры имитационной модели разделены на две категории: *параметры настройки* ИМ на конкретную конфигурацию СУ и *параметры управления*, которые исследователь может менять в ходе изучения динамики функционирования оборудования ТПП. Задавая значения первой группы параметров, конструктор СУ определяет варианты организации структуры ТПП. Варьируя параметры второй группы, исследователь ставит серию натурных экспериментов (НЭ) на готовой конфигурации СУ, что дает возможность проектирования рациональной структуры СУ в условиях потенциальной опасности. Поэтому очевидна необходимость постоянного пополнения соответствующей библиотеки ИМ новыми или модифицированными имитационными моделями СУ.

В-шестых, предлагается использовать процедуру Монте-Карло при постановке имитационных экспериментов (ИЭ) для учета того факта, что запросы элементов СУ на использование ресурсов являются комбинацией случайных и детерминированных величин. Для достижения требуемой достоверности имитации β определяется число реализаций N_M процедуры Монте-Карло. Причем, каждая l -я реализация представляет собой один ИЭ с помощью ИМ СУ ($l = 1, N_M$).

Метод реализуется в 3 стадии: проектирование технологом структуры СУ и отладка сопряжения СУ с оборудованием ТПП (стадия 1); построение ИМ СУ, которая входит в качестве составного компонента функционирования человеко-машинного комплекса управления ТПП (стадия 2); проектное моделирование рациональной структуры СУ при наличии условий потенциальной опасности (*оперативное принятие решений* системой *SPRESH* на этапах эксплуатации) (стадия 3).

На этапе 1 осуществляется формализация СУ технологом предприятия на основе агрегатного способа имитации для представления функций ветвей СУ и отображения связи компонентов СУ с реальным ТПП. При этом составляется матрица коммутации связей элементов СУ с аппаратурой ТПП и определяется состав устройств оборудования СУ, с помощью которого модифицируются значения компонентов множеств $\{X_l\}$ и $\{U_j\}$. Определяются также статистики и отклики ИМ СУ.

На этапе 2 разрабатываются алгоритмы компонентов ИМ СУ. При этом определяются алгоритмы синхронизаторов и исполнительных элементов ИМ. Выделяются элементы СУ, формирующие сигнальную информацию в виде векторов θ_1 и θ_2 . На этапе 3 эти алгоритмы реализуются в виде программ агрегатов и в параметризованном виде записываются в соответствующую библиотеку ИМ СУ. На этапе 4 эти программы реализуются для ЭВМ, управляющей

функционированием ТПП, и затем отлаживается динамика их взаимодействия с сопряженной аппаратурой СУ. На этапе 5 ставится серия натурных экспериментов при взаимодействии аппаратных компонентов СУ с программами ИМ СУ. На этом шаге стадия 1 завершается. Технолог составляет технологическую схему ТПП и отображает места индикации значений управляющих переменных $\{U_j\}$ и запросов ресурсов СУ для выполнения операций управления.

На этапе 6 начинается стадия 2. Разрабатываются алгоритмы ИМ СУ. Элементы СУ заменяются агрегатами исполнительных функций $MTXO_{ij}$ или агрегатами синхронизации. Каждый тип агрегатов представляет собой сложным образом организованные схемы с универсальным алгоритмом формирования сигналов управления на основе инициализации их работы соответствующими входными сигналами. Агрегаты, имитирующие элементы синхронизации СУ, являются многополюсными, остальные типы агрегатов являются двухполюсными (с одним входным и одним выходным сигналами).

Программирование и отладка алгоритмов агрегатов осуществляется на этапе 7. Программы агрегатов-имитаторов основных элементов СУ после завершения отладки помещаются в библиотеку элементов имитационных моделей. Программы агрегатов-имитаторов являются параметризованными процедурами, что существенно сокращает объем имитационных моделей, хранящихся в библиотеке элементов моделей, и экономит объем оперативной памяти при их выполнении.

На этапе 8 осуществляется «запитка» ИМ СУ информацией, которая была получена на этапе постановки ИЭ при совместном функционировании СУ и ТПП на этапе 5.

На этапе 9 осуществляется верификация ИМ СУ. Верификация является неформальной процедурой и каждый раз должна учитывать состав и структуру системы управления. Универсальный характер типов агрегатов существенно облегчает отладку алгоритмов функционирования элементов ИМ СУ. Однако верификация имитационной модели является процедурой уникальной. Поэтому объем работ на этом этапе зависит от сложности структуры и состава СУ.

На этапе 10 осуществляется испытание вариантов ИМ СУ. Реализуется серия исследований технологических свойств ИМ и испытание вариантов имитационных моделей СУ. Этап реализуется следующей последовательностью шагов: оценка точности ε , оценка длины переходного периода T_{pp} , проверка «устойчивости имитации», оценка «чувствительности» откликов η_n к модификациям параметров модели, проверка адекватности ИМ реальной СУ. Если в имитационной модели на этапе 10 выявляются ошибки, то предусмотрен возврат на этап ее верификации. При повторной верификации, в случае выявления характера ошибок, возможен возврат на любой из этапов 6-8. Версия ИМ СУ, которая прошла этап испытания, помещается в библиотеку имитационных моделей. Она готова для дальнейшего использования.

На этапе 11 осуществляется l -я реализация ИМ СУ согласно процедуре Монте-Карло. Каждый ИЭ представляет собой одну реализацию процедуры Монте-Карло, в ходе которой осуществляется запись статистики имитации. На этапе 12 проверяется окончание цикла имитации N_M серий ИЭ с ИМ СУ и, по окончании этого цикла, на этапе 13 статистика обрабатывается, где и формируются усредненные значения откликов имитации.

На этапе 14 проводится комплексный анализ статистики имитации динамики управления оборудованием ТПП и изменений во времени множества переменных управления $\{U_j\}$ и, наконец, принятие решения о составе и структуре СУ. На этапе 15 проверяется, удовлетворяют ли результаты проектного моделирования СУ технолога. Если исследователь не удовлетворен результатами проектного моделирования СУ, он может вернуться на начало этапа 8 и сделать соответствующие поправки в алгоритмах компонентов СУ, повторить исследования от этапа 8 до этапа 15. На этом завершается стадия 2.

Стадия 3 начинается с этапа 16 и означает разработку человеко-машинного комплекса управления ТПП. Определяется состав переменных $\theta_1 - \theta_4$ связи комплекса управления с экспертом-технологом. Определяется состав статистик имитации, на основе которых осуществляется оперативное регулирование выполнением ТПП, означающее слежение за множеством значений переменных управления $\{U_j\}$ и своевременное переключение на резерв устройств оборудования ТПП. На этапе 17 разрабатывается структура управления с помощью программ компонентов человеко-машинного комплекса управления ТПП (*SPRESH*). На основе формализации,

выполненной на этапе 10, разрабатываются алгоритмы системы принятия решений (*SPRESH*) для этапа 18. Далее, на этапе 19, эти алгоритмы реализуются в соответствующей среде программного обеспечения на ЭВМ, для которой реализуется человеко-машинный комплекс управления ТПП.

На этапе 20 проводится комплексная отладка компонентов человеко-машинного комплекса управления ТПП в динамике их взаимодействия с аппаратурой сопряжения. На этапе 21 ставится серия натурных экспериментов при взаимодействии реального ТПП с человеко-машинным комплексом управления ТПП. Результат этой серии экспериментов позволяет на этапе 22 осуществить проверку адекватности комплекса и принять его в эксплуатацию. На этапе 23 осуществляется принятие проектных решений по определению рациональной структуры СУ при наличии условий потенциальной опасности в динамике взаимодействия ТПП с реальной системой управления.

В работе рассмотрены проблемы дальнейшего развития нового этапа имитационного моделирования, связанного с построением гибких и универсальных систем, позволяющих имитировать результаты человеческой деятельности при принятии решений в условиях неопределенности и риска, на основе интеллектуализации проектного моделирования систем управления сложными технологическими объектами как класса сложных систем. Изложены основы метода проектного моделирования систем управления при исследовании технологических процессов производства с элементами потенциальной опасности. Предложенный подход позволяет повысить надежность и безопасность производства для существующих технологических систем за счет резервирования цепочек технологических операций при возникновении аварийных ситуаций; снизить вероятность возникновения аварийных ситуаций на производстве на основе построения рациональной структуры систем управления технологическим циклом на стадии проектирования и повысить производительность технологических линий; снизить себестоимость проектного моделирования высоконадежных производственных систем.