

адгезионной прочности в структуре цементных композиций; кремнеземистые частицы, как более твердые, представляют собою наноразмерный наполнитель, снижающий открытую пористость.

Данное техногенное сырье представляет определенную ценность в качестве активного наполнителя в производстве бетонов и растворов общестроительного назначения. Как и все дисперсные двухфазные наполнители, рассматриваемый отход (размер частиц от 40 до 100 нм) участвует в формировании структуры и свойств цементных композиций. В процессе приготовления и формирования цементного камня кремнезем и карбонат кальция участвуют в образовании новых кристаллических соединений (гидрокарбоалюминат кальция и гидросиликат кальция). Эффективность от введения достигается за счет участия в физико-химических процессах (с возникновением избыточной поверхностной энергии), связанных с образованием адгезионной прочности в сложносоставленных цементных композициях.

Адсорбционно-связанные слои воды на поверхности твердых частиц карбоната кальция позволяют постепенно отдавать воду на физико-химические процессы, связанные с твердением цемента и формированием его прочности. Кроме того, за счет увеличения адсорбционно-связанной воды, уменьшается количество свободной воды, и тем самым существенно улучшаются структурно-реологические свойства цементного теста. Важна роль наноразмерных частиц, как центров организации кристаллической структуры наполненного вяжущего.

Известно, что упрочнение цементной матрицы достигается ее структурированием, улучшением пористой структуры и повышением однородности всех составляющих. В качестве микродисперсного наполнителя для изготовления пенобетонов возможно применение рассмотренной выше двухкомпонентной системы, обеспечивающей снижение анизотропности, высокое сопротивление цементной матрицы деформациям под нагрузкой. Частицы карбоната кальция адсорбируют воду и повышают агрегативную устойчивость пены, а частицы кремнезема заполняют крупные пустоты в структуре матрицы. Также важную роль играет наполнитель в улучшении деформационных свойств цементной матрицы под нагрузкой. При введении 2-х компонентного наполнителя полностью отсутствует объемная усадка с момента заливки пенобетона в форму и до набора марочной прочности.

Известно, что при воздействии влажности пенобетон частично теряет первоначальную прочность, поэтому замена части песка на двухкомпонентный наноразмерный наполнитель позволяет связать наиболее растворимую часть гидратированного цемента CaO в малораство-

римые гидросиликаты кальция. Кроме того, присутствие высокоактивного карбоната кальция способствует образованию нового кристаллического соединения – гидрокарбоалюмината кальция. Непрореагировавшая часть наполнителя будет уплотнять крупноразмерные и открытые поры, тем самым повышая устойчивость к действию влаги и воды. Еще один не менее важный фактор – повышение адгезионной прочности в структуре пенобетона.

Отметим, что на основе марочных цементов ПЦ 400-500 ДО возможно получение теплоизоляционных и конструктивно-теплоизоляционных пенобетонов классов по прочности от В 0,5 до В 2,5. По комплексу физико-механических свойств пенобетоны из разработанных составов отличаются достаточно высокой долговечностью и могут быть рекомендованы для применения. Усовершенствование структуры пенобетона и улучшение его технических свойств связано с введением в качестве наноразмерного наполнителя карбонатно-кремнеземистой смеси.

МЕТОДЫ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В ФУНКЦИОНАЛЬНО-ЛОГИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ

Петрунина Е.В.

*Пензенский государственный университет, Пенза,
e-mail: petruninaelenav@gmail.com*

Функционально-логическое моделирование (ФЛМ) связано с применением формальных языков, учитывающих при записи статистические и физико-химические процессы в моделируемых объектах. Проверка правильности алгоритмов и верификация их результатов заключается в определении корректности случайного функционирования объекта управления и управляющего устройства. В техногенных комплексах (ТК) можно выделить следующие типы случайностей и неопределенностей, влияющих на процессы функционирования агрегатов и устройств: случайные изменения внешних воздействий (флуктуации таких физических параметров, как температура, давление, влажность и т.п.); случайные изменения параметров и характеристик отдельных функциональных элементов; случайные изменения функциональных причинно-следственных связей в процессе функционирования комплекса.

Теория вероятностных и нечетких функциональных графов (или гиперграфов) предлагается в качестве основы для проверки правильности функционирования параллельных алгоритмов логического управления в условиях случайным образом меняющихся внешних воздействий.

В большинстве практических технологий для наглядного графического представления алгоритмов управления используются граф-схемы. Для адекватного формального отобра-

жения таких схем предлагается воспользоваться моделью в виде функционального графа или гиперграфа (в дальнейшем *F*- или *F_g*-графа).

Статистические параметры и характеристики функционирования отдельных технологических звеньев техногенных комплексов в рассматриваемых моделях учитываются в основных свойствах нечетких и вероятностных графов и гиперграфов, определяемых нижеследующим образом.

Нечеткое множество на множестве *V* вершин *F*- или *F_g*-графа рассматривается как подмножество *A*, которому отвечает характеристическая функция вида $\hat{g}_A: V \rightarrow [0,1]$. Для каждой вершины $x \in V$ значение $\hat{g}_A(x)$ есть мера или степень принадлежности вершины *x* нечеткому подмножеству *A*, например, к нечеткому подмножеству исправных элементов.

Рассматривается также функция вида $\hat{g}_x: V \rightarrow [0,1]$, которая для каждой вершины $x \in V$ определяет вероятность исправного состояния соответствующего элемента.

Аналогично нечетким подмножествам определяются нечеткие фактор-множества для *F*-графов. Если ρ – обычное отношение эквивалентности на множестве *V*, то нечеткая эквивалентность ρ_v – это отображение вида $\rho: V \times V \rightarrow [0,1]$, удовлетворяющее условиям:

$$\rho(x,y) \leq \rho(y,x) \text{ и } \rho(x,y) \text{ \& } \rho(y,x) \leq \rho(x,z),$$

где знак $\text{\&}$ – есть мера эквивалентности элементов *x* и *y* $\in V$.

По определению, нечеткое фактор-множество V/ρ_v – это пара, состоящая из четкого множества *V* и нечеткой эквивалентности ρ_v на нем. Различные вершины из V/ρ_v инцидентны по соответствующей мере $\text{\&}$.

Вероятностные *F*- и *F_g*-графы определяют как множества вершин со случайными отображениями. Морфизмы $v: A \rightarrow B$ – случайные отображения, которые можно интерпретировать как стохастические матрицы. Строка матрицы соответствует элементам множества *A*, а столбцы – элементам из *B*. Каждый элемент $v(a,b)$ матрицы *v* есть вещественное число на отрезке $I=[0,1]$, которое можно рассматривать как вероятность того, что вершина $a \in A$ инцидентна вершине $b \in B$. При этом для каждой $a \in A$ должно выполняться естественное условие нормировки $\text{\&}$, означающее, что *a* инцидентна некоторой вершине *b*.

В соответствии с введенными обозначениями алгоритм логического управления записывается в форме неопределенного *F*- или *F_g*-графа, интерпретирующего композицию операций действия, ожидания и дополнения. Каждой операции в *F*- или *F_g*-графе ставится в соответствие числовая функция, определяющая вероятность соответствующего события или надежность соответствующего отдельного технологического элемента.

Аналогично подходу, принятому в неопределенном программировании, для функционально-логического моделирования параллельных алгоритмов логического моделирования вводятся понятия нечетких, вероятностных, нечетко-вероятностных, бинечетких, бивероятностных и графов (гиперграфов) с многократными неопределенностями.

Каждой операции в *F*- или *F_g*-графе ставится в соответствие числовая функция, определяющая вероятность соответствующего события или надежность соответствующего отдельного технологического элемента.

Параллельные АЛУ (ПАЛУ) представляется совокупностью параллельно выполняемых модулей – элементарных алгоритмов, иерархическая структура которых поддерживается путем обмена командами и оповещениями между алгоритмами различных уровней иерархии.

Анализ корректности алгоритма управления, то есть его соответствия заданному по замыслу проектировщика поведению системы, проводится специальным программным комплексом в два этапа:

- синтаксический контроль, при котором обнаруживаются недопустимые сочетания символов в описании алгоритма, недопустимые способы использования аппарата управления разрабатываемого ТК, повторные описания элементов управления и др.;

- моделирование алгоритма, в ходе которого обнаруживаются семантические ошибки, осуществляется исследование работоспособности алгоритма управления в различных режимах работы проектируемого оборудования.

Алгоритм логического управления будет корректным и надежным, если в процессе анализа он проявит следующие свойства: устойчивость, восстанавливаемость, непротиворечивость, настойчивость и самосогласованность. В процессе контроля корректности обнаруживаются следующие недопустимые ситуации: неоднозначности, ловушки, избыточности и зависания.

Для осуществления все указанных проверок разработана специализированная тестовая оболочка, отличающаяся:

- удобным интерфейсом и возможностью работы на различных компьютерных платформах с различными операционными системами;
- возможностью настройки на отдельные технологические звенья различных техногенных комплексов;
- большим количеством корректных типовых алгоритмов управления простейшими узлами, блоками и агрегатами ТК;
- возможностью визуального отображения фрагментов структурных схем с иллюстрацией изменений состояний отдельных элементов под действием управляющих сигналов.

Проведенный вычислительный эксперимент позволяет сделать вывод, что предлага-

емые методы использования нечетких графов в функционально-логическом моделировании позволяют оптимизировать структуру исследуе-

мого объекта и провести проверку корректности алгоритмов логического управления в условиях случайных изменений внешних воздействий.

Физико-математические науки

СТРУКТУРА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ТЕРМОАНЕМОМЕТРИЧЕСКОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ТЕЧЕНИЙ В АЭРОФИЗИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Грек Г.Р., Гилев В.М., Зверков И.Д.,
Сорокин А.М.

*ФГБУН «Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН»,
Новосибирск, e-mail: gil@itam.nsc.ru*

В данной работе представлена структура создаваемой автоматизированной системы, предназначенной для пространственно-временной визуализации течений в аэрофизическом эксперименте. С помощью данной системы будет производиться автоматизированный ввод результатов измерений непосредственно в ЭВМ, их накопление в базе данных, обработка и их графическое представление.

Ключевые слова: аэродинамическая труба, координатное устройство, визуализация течений, автоматизированная система сбора и обработки экспериментальных данных

Введение. В настоящее время, как в России, так и за рубежом широким фронтом ведутся как теоретические, так и экспериментальные исследования по изучению фундаментальной проблемы механики – проблемы понимания сложного механизма перехода к турбулентности течений жидкости и газа. На основе этого понимания можно предложить различные методы управле-

ния, как затягиванием, так и ускорением процесса турбулизации течений. Экспериментальные исследования, проводимые в этом направлении, характеризуются использованием, главным образом, термоанемометрических методов измерения средних и пульсационных составляющих скорости течения и различных способов визуализации потока. Здесь коллективом авторов получен ряд приоритетных фундаментальных результатов, опубликованных как в монографиях, так и в ведущих мировых научных журналах [1–5]. Участники проекта имеют также значительный опыт в области создания систем автоматизированного сбора данных и управления ходом проведения эксперимента [6–7]. По окончании выполнения представляемого проекта у исследователей в руках будет новый мощный инструмент для проведения фундаментальных научных исследований и дальнейшего продвижения вперед в области аэродинамики дозвуковых течений. При этом следует отметить, что термоанемометрия дает количественную информацию о состоянии течения, в то время как визуализация отражает, в основном, качественное состояние потока.

В качестве исследуемого объекта использована аэродинамическая труба дозвуковых скоростей Т-324 ИТПМ СО РАН. Благодаря низкому уровню турбулентности, эта установка является единственной уникальной установкой подобного класса в Российской Академии наук. Она представляет собой исследовательский объект со следующими характеристиками:

- размер рабочей части трубы
- диапазон скоростей потока
- степень турбулентности в рабочей части

$1,0 \times 1,0 \times 4,0$ м;
2 – 100 м/с;
менее 0,04 %.

С использованием современных компьютерных технологий создаваемая автоматизированная система позволит получать количественную информацию о происходящих в возмущенном течении процессах по точкам, а также в виде картин и видеороликов пространственно-временной термоанемометрической визуализации, из которых можно судить о распределении в пространстве и времени как средних, так и пульсационных составляющих каждой из компонент скорости потока (U , V , W). Данная система позволяет получать детальную информацию о динамике развития пристенных, отрывных и свободных сдвиговых течений.

В разрабатываемой системе предполагается организовать автоматизированный ввод результатов пространственно-временных термоанемометрических измерений течения газа непосредственно в ЭВМ в режиме реального времени, их накопление, обработку по заданным программам и графическое представление как в виде картин пространственной визуализации течения, так и в форме пространственно-временных видеороликов, отражающих процесс развития возмущенного течения в динамике. Система обеспечит на современном уровне автоматизацию проведения экспериментальных исследований фундаментального характера, связанных