

УДК 519.85

Е.Л. Гусев, д-р техн. наук, профессор

ИПНГ СО РАН, г. Якутск, Россия

Тел./Факс: +7 411 2 390-630; E-mail: elgusev@mail.ru

## РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

*В последние десятилетия, в связи с разработкой новых композиционных материалов с широким разнообразием физико-механических и химических свойств возникает проблема разработки физической и геометрической структуры трубопроводных систем, обеспечивающей наиболее эффективный режим транспорта в условиях экстремальных факторов внешней среды. Показано, что в условиях экстремальных факторов внешней среды, физико-механическая и геометрическая структура неоднородных композиционных покрытий трубопроводных систем оказывает существенное влияние на режимы транспортировки. В соответствии с этим в условиях действия экстремальных факторов внешней среды разработка структурно-неоднородных покрытий из композиционных материалов может позволить создавать композиции, одновременно сочетающие высокие химические и физико-механические свойства, не достижимые для однородных покрытий. Направленный выбор физической и геометрической структуры покрытий из композиционных материалов позволяет достичь существенного синергетического эффекта в улучшении свойств неоднородных покрытий по сравнению с однородными. Усложнение структуры неоднородного композиционного покрытия, в частности, увеличение числа его слоев может позволить существенно улучшить его физико-механические свойства, а также разрабатывать композиционные покрытия, в которых отсутствуют характерные недостатки покрытий, имеющих более простую структуру и, в частности, меньшее число слоев. Для сформулированных многокритериальных задач оптимального проектирования физической и геометрической структуры трубопроводных систем, обеспечивающих наиболее эффективный режим транспорта, были сформулированы эффективные методы решения, предложены эффективные способы сведения данной задачи к задаче оптимизации с одним критерием, рассмотрены наиболее важные постановки многокритериальных задач оптимального проектирования физической и геометрической структуры трубопроводных систем, в которых может быть выделен основной, основополагающий критерий. Предложены наиболее эффективные методы решения такого класса задач.*

**Ключевые слова:** оптимальная конструкция, композитные материалы, методы оптимизации, необходимое состояние оптимальности, оптимальной структуры композиционных построений, системы труб, структурно-неоднородные покрытия.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда фундаментальных исследований - грант № 13-08-00229.

В последние годы значительное внимание уделяется проблемам повышения прочности, надежности, ресурса, интенсификации систем трубопроводного транспорта при воздействии экстремальных факторов внешней среды [1-7]. Современные подходы к решению данных проблем связаны с математическим и компьютерным моделирова-

нием процессов функционирования трубопроводных систем [8-12]. Разработка адекватных математических моделей функционирования трубопроводного транспорта является основой для разработки эффективных методов численного расчета и оптимизации режимов трубопроводного транспорта и принятия на их основе оптимальных решений [12-15].

При проектировании и эксплуатации трубопроводных систем, прокладываемых по территориям, характеризующимся широким разнообразием экстремальных факторов, высокой сейсмической активностью, значительными экстремальными перепадами температур, необходимо предусматривать дополнительные возможности обеспечения требуемых режимов транспортировки сред. При этом в условиях значительного перепада экстремальных температур необходимо учитывать зависимость основных параметров транспортируемых сред от температуры, а также влияние такой зависимости на режимы транспортировки.

Задача обеспечения заданных режимов трубопроводного транспорта может решаться как на стадии проектирования трубопроводных систем, так и на последующей стадии эксплуатации. В связи с большой протяжённостью трубопроводных систем различного назначения, многообразием климатических и геофизических условий эксплуатации, одним из перспективных направлений повышения эффективности трубопроводных систем, является применение при их проектировании и эксплуатации полимерных и композиционных материалов. В последние десятилетия, в связи с разработкой новых композиционных материалов с широким разнообразием физико-механических и химических свойств возникает проблема разработки физической и геометрической структуры трубопроводных систем, обеспечивающей наиболее эффективный режим транспорта в условиях экстремальных факторов внешней среды [13-18].

Показано, что в условиях экстремальных факторов внешней среды, физико-механическая и геометрическая структура неоднородных композиционных покрытий трубопроводных систем оказывает существенное влияние на режимы транспортировки. В соответствии с этим в условиях действия экстремальных факторов внешней среды разработка структурно-неоднородных покрытий из композиционных материалов может позволить создавать композиции, одновременно сочетающие высокие химические и физико-механические свойства, не достижимые для однородных покрытий. Направленный выбор физической и геометрической структуры покрытий из композиционных материалов позволяет достичь существенного синергетического эффекта в улучшении свойств неоднородных покрытий по сравнению с однородными. Усложнение структуры неоднородного композиционного покрытия, в частности, увеличение числа его слоев может позволить существенно улучшить его физико-механические свойства, а также разрабатывать композиционные покрытия, в которых отсутствуют характерные недостатки покрытий, имеющих более простую структуру и, в частности, меньшее число слоев.

В соответствии с этим, возникает важная проблема направленного выбора физической и геометрической структуры как самой трубопроводной системы, так и физико-механической и геометрической структуры внешних и внутренних композиционных покрытий, обеспечивающей наиболее эффективный режим функционирования трубопроводной системы в условиях неблагоприятных сочетаний экстремальных факторов внешней среды [16-18].

В рамках сформулированной вариационной постановки проведено математическое и компьютерное моделирование процессов функционирования трубопроводного транспорта. К рассматриваемой вариационной постановке может быть сведен широкий

круг задач оптимального проектирования физической и геометрической структуры трубопроводных систем при воздействии экстремальных факторов внешней среды. В качестве математической модели функционирования трубопроводных систем в условиях экстремальных факторов внешней среды, в рассматриваемой вариационной постановке, принята система уравнений неразрывности, состояния, сохранения энергии и импульса. Теплообмен транспортируемой по трубопроводной системе среды с окружающей внешней средой считается происходящим по закону Ньютона [12, 19].

Вариационная постановка связана с проблемой направленного выбора физической и геометрической структуры как самой трубопроводной системы, так и физической и геометрической структуры внешних и внутренних композиционных покрытий, обеспечивающей наиболее эффективный режим функционирования трубопроводной системы в условиях неблагоприятных сочетаний экстремальных факторов внешней среды.

На основе разработанной методики оптимального проектирования, проведенных вычислительных экспериментов, исследованы особенности функционирования трубопроводного транспорта в условиях экстремальных факторов внешней среды.

Для сформулированных многокритериальных задач оптимального проектирования физической и геометрической структуры трубопроводных систем, обеспечивающих наиболее эффективный режим транспорта, были сформулированы эффективные методы решения, предложены эффективные способы сведения данной задачи к задаче оптимизации с одним критерием, рассмотрены наиболее важные постановки многокритериальных задач оптимального проектирования физической и геометрической структуры трубопроводных систем, в которых может быть выделен основной, основополагающий критерий. Предложены наиболее эффективные методы решения такого класса задач.

На основе исследования моделей функционирования трубопроводного транспорта установлены важные закономерности влияния физической и геометрической структуры покрытий на функционирование трубопроводного транспорта в условиях экстремальных факторов внешней среды. Установлены особенности физической и геометрической структуры покрытий, определяющие оптимальный режим трубопроводного транспорта в условиях экстремальных факторов. Разработана методика оптимального проектирования физической и геометрической структуры покрытий, обеспечивающих оптимальный режим трубопроводного транспорта в условиях экстремальных факторов внешней среды. Установленные качественные закономерности могут быть использованы для экспериментального подбора оптимальной толщины теплоизоляции трубопроводных систем, в случае, если исходные данные, описывающие динамику функционирования трубопроводной системы, являются неполными или недостаточно точными.

Полученные на основе математического и компьютерного моделирования результаты, проведенные вычислительные эксперименты, позволяют сделать вывод, что направленный выбор физической и геометрической структуры теплоизоляции трубопроводной системы может позволить эффективно обеспечить требуемые режимы функционирования трубопроводных систем большой протяженности в условиях экстремально низких отрицательных температур внешней среды.

Установленные на основе математического и компьютерного моделирования результаты, проведенные вычислительные эксперименты, закономерности влияния физической и геометрической структуры теплоизоляции на режимы функционирования трубопроводных систем большой протяженности в условиях как умеренно низких отрицательных температур, так и экстремально низких отрицательных температур