

УДК: 004.946

КОМПЛЕКСНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ СВЯЗИ

**А.В. Ануфренко, И.В. Ковальский, М.А. Снятков,
А.И. Жирохов (Санкт-Петербург)**

Современные подходы к созданию новых и модернизации существующих систем связи и автоматизации строятся на принципах открытой архитектуры и адаптивности, позволяющих обеспечить управление интересующими процессами в едином информационном пространстве.

Реализация бесшовного межуровневого взаимодействия элементов системы является ключевой задачей, от степени эффективности решения которой напрямую зависит скорость информационного обмена и, как следствие, оперативность управления пользовательскими процессами.

Реализация эффективных решений по взаимодействию элементов системы связи – это сложная задача, требующая глубокого понимания специфики большого количества совместно протекающих процессов системы.

Исследование этих процессов, выявление их закономерностей осуществляется методами математического моделирования. И хотя существует много полезных моделей, описывающих влияние различных внешних и внутренних параметров на свойства системы связи, комплексное их применение зачастую не представляется возможным.

Метод комплексного моделирования элементов транспортной сети связи раскрывает частные вопросы функционирования ее элементов. Его разработка является актуальным вопросом и составляет интерес настоящего исследования. В частности, интерес представляет подходы к эффективному использованию комплекса аналитических и имитационных моделей в области телекоммуникаций.

Любой математический аппарат – это живой язык, который совершенствуется со временем. Найти подходящий математический аппарат – значит получить возможность создать более адекватный и понятный прототип исследуемого процесса (рис 1).

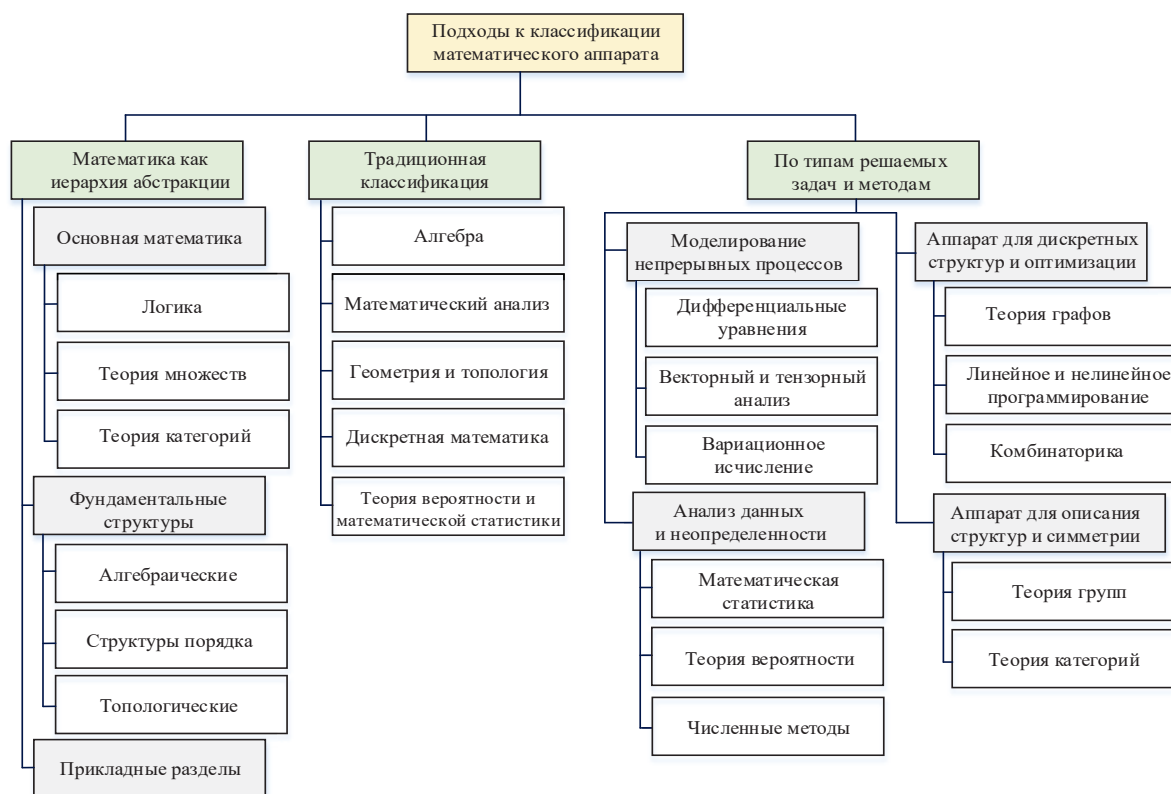


Рис. 1. Подходы к классификации математического аппарата

Существуют много разных разделов математики (рис. 1). Понимание классификации математического аппарата с позиции описания сетей связи дает возможность использовать подходящий инструментарий для решения конкретных телекоммуникационных задач (табл. 1).

Таблица 1 – Математика для описания сетей связи

Область исследования	Пример математического аппарата	Пример решаемых задач
Сетевая топология	Теория графов	Представление узлов и связей
Канал ПД	Теория вероятностей	Расчёт <i>BER</i> , анализ затухания сигнала
Телетрафик	Теория массового обслуживания	Моделирование очередей, расчёт потерь пакетов
Сигнал	Математический анализ	Анализ формы, спектра сигнала
Кодирование данных	Дискретная математика	Помехоустойчивые коды, сжатие данных
Сетевые протоколы	Математическая логика	Принятия решений в маршрутизаторах
Сетевое планирование	Линейное программирование	Оптимизация распределения сетевых ресурсов
Проектирование	Численные методы	Оптимизация параметров сети

Так как эти задачи зачастую сложные, то их решение требует использования «инструментов» из разных математических дисциплин, чтобы компенсировать

недостатки одного преимуществами другого. И в этой связи особый интерес представляет проработка подходов к совместному использованию аналитического и имитационного методов моделирования. Каждый из методов имеет свои сильные и слабые стороны (рис. 2), однако объединение их функционала – это мощный аппарат для глубокого изучения особенностей функционирования объектов исследования.

Аналитическая модель	решение путем нахождения точной формулы или алгоритма, дающего ответ в общем виде	Имитационная модель
	решение "прогоняется" множество раз, а результаты собираются и анализируются статистически.	
	требует радикальных упрощений	
	учитывает большое количество деталей и сложностей	
	дает точный ответ	
	дает правдоподобный (статистически оцененный) ответ	
	результат - это часто одно число	
	результат - это выборка данных	
	можно ошибиться в выводе формул	
	можно сделать логическую ошибку в алгоритме	

Рис. 2. Противоречия между методами аналитического и имитационного моделирования

Необходимо отметить, что инструменты имитационного моделирования не уступают в разнообразии аналитическим. Это различные языки программирования и специализированные программные продукты. Они отличаются функционалом, требуют от пользователей специальных навыков, представляют собой продукты разной степени сложности и т.д. Не существует универсального инструмента имитационного моделирования. Не существует лучшего или худшего из них. Это набор инструментов, который в умелых руках способен воплотить самые смелые идеи [1].

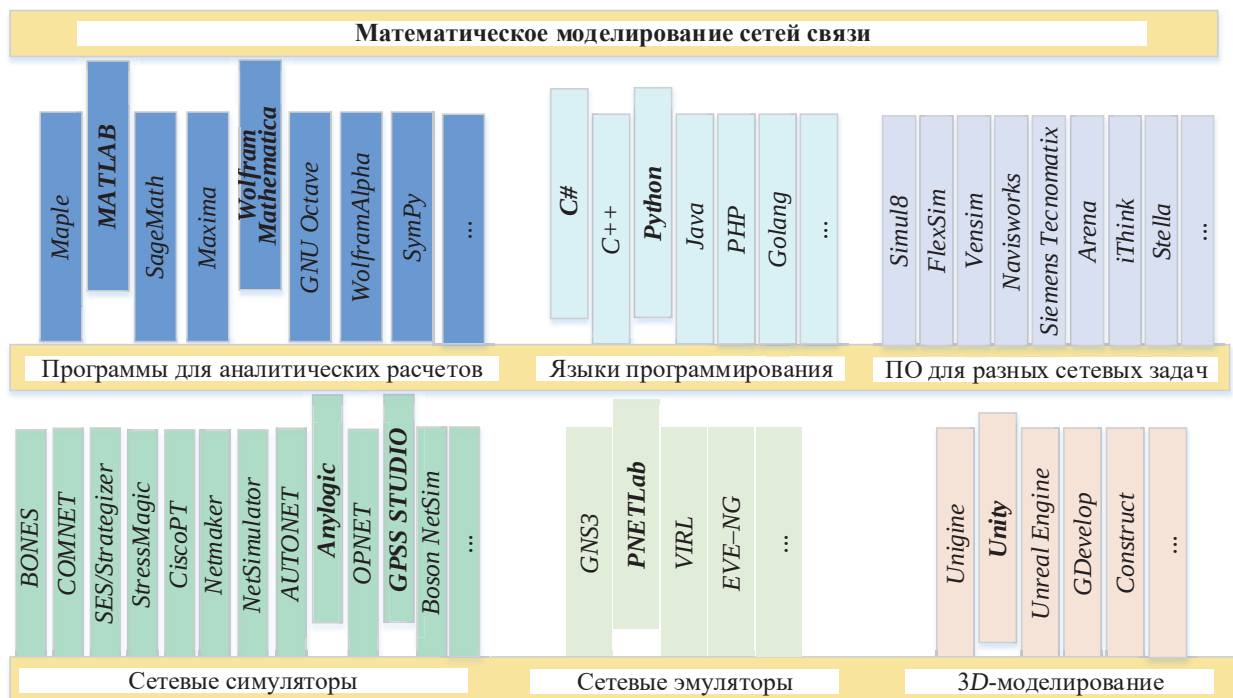


Рис. 3. Программные продукты для разработки математических моделей сетей связи

Но чаще всего одних рук не хватает, и работает целая команда, каждый из которой специализируется на работе с конкретным программным продуктом для решения специфических задач (рис. 4).

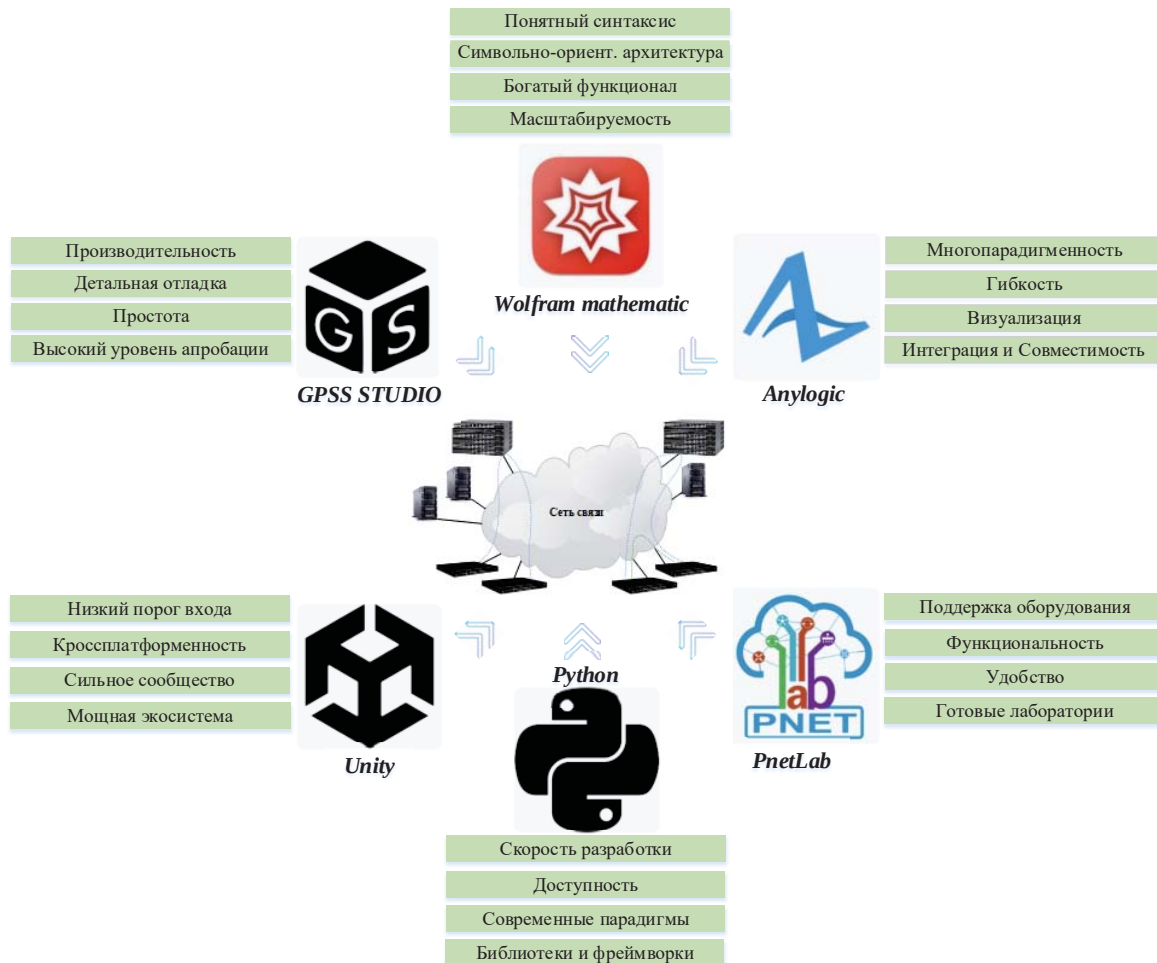


Рис. 4. Программы для комплексного моделирования сети связи (вариант)

Например, при разработке телекоммуникационных моделей одни специалисты занимаются симуляцией системы синхронизации сети, используя преимущества *GPSS STUDIO*. Описанием системы управления сетью занимаются другие, применяя метод агентного моделирования в *Anylogic*. Третьи – исследуют цифровые двойники сетевого оборудования при помощи функционала *PnetLab* и создают детализированные 3D-сценарии их технологических процессов в *Unity* и т.д. (рис. 4).

Перечисленные выше задачи в отдельности не так сложны. Сложна задача интеграции всех полученных решений в одну модель. Решение этой задачи позволит вывести процесс исследования сети связи на более высокий качественный уровень.

Несмотря на то, что существуют программы интеграторы (*AnyLogic*, *Wolfram mathematic*), имеющие большой функционал и способные решить широкий ряд связанных задач, качество выполненных ими частных решений зачастую уступает аналогичным решениям, реализованным в специализированном программном обеспечении. Поэтому разработка подходов к комплексному использованию математических моделей, созданных в разных средах моделирования, также позволит повысить качество исследовательской работы.

Интеграция математических моделей – это задача, требующая тщательного планирования. Для ее решения необходимо грамотная проработка следующих этапов работы (рис.5):

- определение целей и требований;
- обоснование архитектурного подхода к интеграции;
- проработка ключевых технических аспектов;
- практическая реализация.



Рис. 5. Этапы разработки комплексной модели

С одной стороны, для возможности объединения отдельных имитаторов в распределенную систему существуют стандарты и технологии (*IEEE 1516, OPC, CAPE-OPEN* и т.п.), которые могут быть положены в основу комплексного подхода по применению математических моделей в области телекоммуникаций [3].

С другой стороны, перспективной идеей является реализация функционала интегратора моделей при помощи технологий искусственного интеллекта. Данный подход лежит в основе таких концепций, как концепции «Автономных предприятий» и «Промышленной метавселенной» [4].

В любом случае, разработка и применение метода комплексного моделирования позволит создать «живой» экспериментальный стенд для исследования сети связи, а именно:

- поиска оптимальных решений;
- глубокого понимания сложных процессов;
- обнаружению скрытых зависимостей и т.д.

Вывод

Совместное применение разных математических моделей сети связи – это искусство создания синергетической системы. Комплексное моделирование – это путь для решения самых сложных, многогранных телекоммуникационных задач. Разработка метода комплексного моделирования транспортной сети связи позволит продвинуться в направлении глубокого исследования особенностей ее функционирования.

Литература

1. **Девятков В.В.** Имитационные исследования в среде моделирования *GPSS STUDIO*: учебное пособие / В.В. Девятков, Т.В. Девятков, М.В. Федотов. – М.: ИНФРА-М, 2018. – 283 с.
2. **Боев В.Д.** Имитационное моделирование систем : учеб. пособие для прикладного бакалавриата / В. Д. Боев. — М. : Издательство Юрайт, 2017. – 253 с.
3. <https://habr.com/ru/articles/509504/>.
4. <https://www.computerra.ru/288096/promyshlennye-metavselennye-zachem-oni-nuzhny-predpriyatiyam-obzor-mirovyh-kejsov-i-perspektivy/>.