

Системы планирования и проектирования для нефтегазобывающих регионов и месторождений: математические модели, методы, применение

**Хачатуров В.Р., Соломатин А.Н., Злотов А.В.,
Бобылев В.Н., Веселовский В.Е., Коваленко А.Г.,
Крылов И.А., Ливанов Ю.В., Скиба А.К.**

Введение

В течение многих лет в отделе Методов проектирования развивающихся систем ВЦ РАН под руководством д.ф.-м.н. В.Р. Хачатурова ведется работа по решению задач комплексного освоения территорий, и, в первую очередь, нефтегазодобывающих регионов. В результате проводимых исследований сформировалось новое научное направление - региональное программирование [1]; были разработаны оригинальные математические методы, модели и алгоритмы, накоплен большой опыт создания и применения конкретных программных комплексов. Было осуществлено широкое внедрение разработанных программных комплексов для проектирования обустройства большого числа нефтяных и газовых месторождений, долгосрочного планирования развития газо- и нефтедобывающих регионов.

Все работы выполнялись в тесном сотрудничестве со специалистами проектных институтов нефтяной и газовой промышленности и при личном участии таких выдающихся специалистов нефтегазовой отрасли, как В.Ю. Филановский, С.А. Оруджев, В.С. Черномырдин, Р.Д. Маргулов, В.И. Муравленко, Ф.Г. Аржанов, Р.И. Кузоваткин, В.К. Борисенко, Б.А. Николаев.

К результатам этих работ проявил большой интерес Председатель Госплана СССР Н.К. Байбаков; он высоко оценил возможности разработанного программного обеспечения для решения задач размещения и развития производительных сил и проектирования генеральных схем комплексного освоения территорий. Работа ВЦ АН заслушивалась на коллегии Госплана СССР, где было принято решение о внедрении разработанных методов и систем в практику планирования Госплана, а также выделены для этих целей значительные средства. При Госплане была создана специальная комиссия для «подготовки перспективного плана внедрения разработок ВЦ АН в практику планирования развития республик, районов и отраслей». К сожалению, после распада СССР внедрение этих работ было по известным причинам приостановлено.

В настоящее время наличие серьезных проблем в развитии отечественного ТЭК и усиление внимания к региональной проблематике вновь ставят на повестку дня активное использование научного потенциала ВЦ РАН. Поэтому было бы желательно, чтобы Правительство РФ обратило внимание на работы ВЦ РАН и создало условия для внедрения их результатов в практику.

В данной статье кратко излагаются некоторые результаты работ отдела Методов проектирования развивающихся систем ВЦ РАН. Рассматривается комплекс математических моделей, методов и алгоритмов, разработанных для решения различных задач развития нефтегазодобывающих регионов, в том числе, задач долгосрочного планирования, проектирования и стратегического управления. Полученные результаты относятся к различным уровням региона (например, собственно регион, группа месторождений, месторождение), различным отраслям (например, нефтедобыча, газодобыча) и различным задачам (например, стратегического управления, планирования, проектирования). Следует отметить, что только решение задач долгосрочного планирования и проектирования позволяет эффективно решать задачи стратегического управления добывающим регионом, обеспечив данный процесс надежной количественной базой.

Часть из представленного математического обеспечения реализована в виде программных систем и успешно применялась в течение многих десятилетий для решения различных региональных задач, часть реализована, но еще не внедрена в практику, часть только планируется к реализации. Поэтому возникает необходимость обеспечить:

- интеграцию таких разнородных и независимо разработанных систем для решения различных задач регионального развития, которые могут возникать на различных уровнях региональной системы;
- совместную работу этих систем, в том числе, в распределенной вычислительной среде, когда различные системы функционируют в различных территориально разделенных местах;
- добавление новых систем для решения новых задач без ущерба для работы уже существующих систем.

Такую интеграцию предлагается производить в рамках интегрированных систем регионального программирования (ИР-систем), неотъемлемой частью которых является инструментарий разработки интегрированных систем ИРИС. Эта инструментальная система призвана обеспечить формирование, функционирование и сопровождение каждой интегрированной системы, выступая в качестве ее адаптирующего элемента.

1. Моделирование и оптимизация развития нефтегазодобывающих регионов

Проблемы энергетики тесно переплелись с экономическими, политическими, социальными, экологическими процессами и стали важнейшими факторами, определяющими в значительной степени весь ход мирового развития. В РФ эти проблемы связаны, в частности, с особой ролью ТЭК в экономике страны, необходимостью освоения новых труднодоступных добывающих регионов в условиях нехватки средств, устаревания основных фондов и технологического отставания и т.д. Решение задач освоения новых перспективных добывающих районов требует адекватного уровня планирования и проектирования, что позволяет частично нейтрализовать негативное влияние перечисленных проблем. А это, в свою очередь, невозможно без широкого использования математических методов – методов

системного анализа, имитационного моделирования и оптимизации, а также современных информационных технологий.

В ВЦ РАН была разработана аппроксимирующая имитационная модель группы газовых месторождений и многошаговый алгоритм, который по минимальной входной (запасы газа, дебиты, «полки», данные на начало планового периода) и управляющей информации (план добычи по группе месторождений, порядок ввода месторождений в эксплуатацию) позволяет распределить планируемую добычу газа в динамике между месторождениями и тем самым создать основу для формирования стратегии развития добывающего региона [2, 3]. Данный алгоритм позволяет также учитывать различные режимы дебитов, имеющиеся проекты разработки, а также топологию и пропускные способности сети региональных трубопроводов.

На основании полученной динамики добычи и соответствующих нормативов в динамике по месторождениям можно рассчитать многочисленные производные показатели развития газодобывающего региона. Это технологические и экономические показатели добычи и транспорта газа, показатели социального развития, динамические экономические показатели, динамические и агрегированные финансовые показатели развития газодобывающего предприятия [3, 4]. Предоставляется возможность производить анализ текущего положения и тенденций изменения финансово-хозяйственного положения предприятия с использованием матриц финансовой стратегии, а также расчет цены газа, обеспечивающей заданную внутреннюю норму доходности.

Важной проблемой при перспективном планировании является выполнимость сформированных стратегий разработки группы месторождений. Очевидно, что для каждого года планового периода динамика необходимых капитальных вложений и затрат должна соответствовать динамике суммарного объема средств, поступающих из различных источников финансирования. В противном случае обеспечивается формирование оптимальных программ кредитования, определяющих объем и параметры кредитов как в случае одной области убыточности, так и в случае нескольких областей [5].

Была разработана Система перспективного планирования добычи газа [2, 3], которая использовалась для расчета вариантов долгосрочных планов добычи газа для различных регионов страны. Так, анализировались варианты выбора стратегии освоения месторождений Надым-Пур-Тазовского района севера Тюменской области, в результате чего была обоснована эффективность первоочередного ввода Ямбургского месторождения по сравнению с более мелкими месторождениями. При выборе вариантов освоения Оренбургского газоконденсатного месторождения различные его пласты трактовались как различные месторождения, и решалась задача определения наиболее рационального срока поддержания добычи на уровне проектной производительности газоперерабатывающего завода, обеспечивающего очистку газа от сероводорода. Кроме того, система использовалась для различных групп месторождений Северо-Тюменской газоносной провинции, Восточной Сибири, Восточной Украины, шельфа Черного моря и т.д.

Аналогичные задачи планирования решались также для месторождений жидких углеводородов. Для газоконденсатного месторождения с учетом его специфики была

предложена непрерывная имитационная динамическая модель, учитывающая возможность закачки сухого газа в пласт для реализации сайклинг-процесса [6]. Особое внимание в описании модели уделяется потенциальному содержанию конденсата в жирном газе и предполагаемым пропорциям между добытыми сухими и жирными газами. В качестве управлений выбираются прирост добывающих и нагнетательных скважин, а также доля нагнетательных скважин, задействованных на добычу. Результатом являются основные расчетные динамические параметры модели газоконденсатного месторождения, представленные формулами или дифференциальными уравнениями.

Модель функционирования группы нефтяных месторождений позволяет рассчитывать извлекаемые запасы нефти, добычу нефти, обводненность продукции, фонды добывающих и нагнетательных скважин, дебиты скважин и многие другие показатели [7]. Модель является агрегированной и задается системой обыкновенных дифференциальных уравнений с параметрами, учитывающими гидродинамику нефтяного пласта в обобщенной форме. Управлением служит объем эксплуатационного бурения, задаваемый экспертно или вычисляемый на основе данной модели. При этом обеспечивается оценка точности определения запасов нефти различных категорий. Разработанные методики позволяют формировать многочисленные технико-экономические показатели добычи нефти, которые рассчитываются в динамике по месторождениям на основании полученной динамики добычи и соответствующих нормативов. Была реализована Система формирования планов добычи нефти (СФПДН), которая использовалась для групп нефтяных месторождений Среднего Приобья, Коми АССР, а также для решения задач прогнозирования добычи нефти на Самотлорском месторождении [8].

В последние годы становится все более актуальной проблема ликвидации газовых месторождений, что связано с выходом большой группы месторождений Западной Сибири на режим падающей добычи. Впервые были исследованы методологические вопросы ликвидации газовых месторождений, различные источники финансирования ликвидационных работ, построена и проанализирована модель функционирования газового месторождения с учетом формирования ликвидационного фонда [9]. Были разработаны методики расчета объема ликвидационного фонда и динамики ликвидационных затрат по укрупненным показателям; необходимая для этих целей информация может быть получена на основании имитационной модели группы газовых месторождений. Следует отметить, что полученные результаты могут быть использованы также для месторождений жидких углеводородов.

В условиях рыночной экономики план добычи для группы месторождений нельзя считать заданным, т.е. возникает задача оптимизации стратегий разработки группы газовых месторождений [10]. Поэтому была поставлена и решена задача формирования плана добычи, обеспечивающего максимизацию накопленной добычи для группы газовых месторождений. Имитационный характер модели группы месторождений не позволяет задать целевую функцию и ограничения оптимизационной задачи в аналитическом виде. Поэтому непрерывная оптимизационная задача сводится к дискретной за счет введения равномерной сетки и решается при помощи метода ветвей и границ, применимость которого доказывается для данной задачи. Помимо

приближенного оптимального, находятся все близкие к нему решения, что позволяет далее решать задачи многокритериальной оптимизации для других заданных критериев оценки.

Рассмотренные выше имитационные и оптимизационные модели являются детерминированными, что не совсем адекватно отражает объективную реальность. Поэтому в настоящее время решается задача моделирования и оптимизации стратегий развития группы газовых месторождений с учетом неопределенности исходных данных, таких как запасы газа, дебиты скважин, удельные капиталовложения, на основе использования математического аппарата нечетких множеств. В силу невозможности напрямую использовать методы неопределенного программирования из-за имитационного характера модели группы месторождений, при решении задач моделирования, оптимизации и многокритериальной оптимизации вместо детерминированных значений предлагается использовать функции принадлежности соответствующих нечетких чисел, а операции с детерминированными значениями заменить на операции с нечеткими числами.

В процессе реализации перспективных планов вследствие возникновения различных событий (изменение цены на газ, аварии, ремонтные работы и т.д.) непрерывно решаются задачи оперативного регулирования отбора газа. Для различных уровней объектов регулирования (от газодобывающего региона и до промысла) предлагается многоуровневая система алгоритмов оперативного регулирования. Для объектов каждого уровня ставится оптимизационная задача: определить такие оптимальные отборы газа на объектах, чтобы обеспечить выполнение скорректированной программы добычи с учетом диапазонов регулирования и прочих ограничений. Для решения задачи предлагается использовать метод последовательных расчетов и аппроксимационно-комбинаторный метод с последующей многокритериальной оптимизацией по прочим критериям оценки [11-13]. Кроме того, ставится динамическая задача оперативного регулирования, когда параметры объектов регулирования и события, вызывающие в нем необходимость, определяются на перспективу на основании моделирования.

2. Проектирование генеральных схем обустройства нефтяных и газовых месторождений

Обустройство нефтяного или газового месторождения предназначено для обеспечения добычи, сбора, первичной переработки и транспорта нефти (газа) до магистральной сети трубопроводов. Оно представляет собой процесс создания на территории месторождения сложного комплекса сооружений и коммуникаций (скважины, объекты и сооружения сбора, транспорта, замера, сепарации, подготовки продукции скважины для сдачи ее потребителям, автодороги, линии электропередачи и т.д.), который часто осложняется географическими и климатическими особенностями: застроенностью, наличием водных преград и заболоченностью отдельных участков территории, ценностью земель для сельского и лесного хозяйства и т.д. Все это определяет проектирование как сложную многоцелевую задачу, основная цель которой

- сокращение капитальных вложений, трудозатрат, материальных ресурсов и достижение высоких технико-экономических показателей.

При проектировании генеральной схемы обустройства нефтяного месторождения в качестве основных рассматриваются следующие технологические системы, которые описываются идентичными математическими моделями [14]: кустования скважин (при наклонно-направленном бурении), сбора и транспорта нефти (газа), поддержания пластового давления (для нефтяных месторождений), электроснабжения и автомобильных дорог.

Методологической основой для решения задачи проектирования служит аппроксимационно-комбинаторный метод, предложенный в [1, 12, 13]; он применяется для нахождения минимума функционала, заданного на подмножествах конечного множества элементов. Для решения таких задач дискретной оптимизации обычно используются различные методы, исключаящих полный перебор - методы линейного и динамического программирования, последовательных расчетов, ветвей и границ и т.д. Аппроксимационно-комбинаторный метод указывает способы модификации перечисленных методов в направлении уменьшения их «чувствительности» к изменению условий задачи, что позволяет расширить класс задач, решаемых при помощи этих методов. Метод основан на использовании аппроксимирующей снизу функции, для которой имеются эффективные методы и алгоритмы определения не только оптимального решения, но и всех решений в некотором заданном диапазоне. Построив множество всех решений, «близких» к оптимальному по значению функционала, и пересчитав на этом множестве функционал исходной задачи, решение исходной задачи принимается как наилучшее из просчитанных на множестве «близких» решений.

При решении задач проектирования использовались следующие основные методологические подходы [1, 11].

1. Декомпозиция и композиция задач проектирования. Решение задачи проектирования в общем виде невозможно как из-за очень большой размерности данной задачи, так и из-за наличия специфических условий и ограничений при проектировании каждой из систем обустройства. Поэтому исходная задача проектирования разбивается на задачи проектирования каждой из перечисленных технологических систем (декомпозиция задачи проектирования). При этом в соответствии с аппроксимационно-комбинаторным методом формируется не только оптимальный проект обустройства для каждой технологической системы, но и множество «близких» к оптимальному по значению функционала проектов, анализ агрегации которых с проектами для других систем обустройства (композиция задачи проектирования) и позволяет найти наиболее приемлемый – «реальный» проект для внедрения.

2. Аппроксимирующие задачи. Задача проектирования каждой из технологических систем также может оказаться неразрешимой как из-за сложного вида стоимостных функций строительства объектов и коммуникаций, так и из-за наличия специфических ограничений. Поэтому строится набор аппроксимирующих функций, для которых разработаны методы формирования не только оптимального, но «близких» решений в некотором фиксированном диапазоне. А последующий пересчет исходного

функционала задачи на «близких» решениях позволяет выбрать подмножество наиболее приемлемых вариантов.

3. Многокритериальные задачи. Применяемые методы оптимизации позволяют получать оптимальные или приближенные решения только по одному критерию (обычно по стоимости проекта). Однако при выборе «реального» проекта для внедрения его необходимо проанализировать и по ряду других, часто не формализуемых, критериев, таких как металлоемкость проекта, его соответствие нормам экологической и промышленной безопасности и т.д. Эту задачу позволяет решить наличие множества «близких» решений, анализ которого по совокупности оценочных критериев позволяет выбрать «реальный» проект.

4. Многоэкстремальные задачи. Характерной особенностью задач дискретной оптимизации, таких как задача размещения предприятий, определения структуры сетей и т.д., является их многоэкстремальность. Использование специализированных методов оптимизации, таких как метод последовательных расчетов, позволяет избежать при поиске оптимального решения полного перебора всех вариантов с отбраковкой заведомо неоптимальных решений, причем модификация алгоритмов для поиска «близких» к оптимальному решений позволяет найти «реальный» проект.

5. Динамическое проектирование. В процессе освоения месторождения неизбежно происходят отклонения от проекта, уточняются данные проекта разработки, возникают дополнительные ограничения и требования, изменяется информация о стоимости строительства объектов и коммуникаций. В этом случае проект необходимо пересчитать с учетом как уже построенных на данный момент объектов и коммуникаций, так и новой информации. Такой процесс отслеживания состояния проекта и при необходимости его периодических корректировок называется динамическим проектированием.

6. Имитационное проектирование. Важным элементом процесса проектирования является возможность моделирования проектировщиком собственных проектных решений: он может задавать некоторые элементы проекта (например, размещение пунктов сбора и переработки) и использовать средства автоматизации для остальных элементов (например, для оптимизации структуры сети и расчета ее параметров). Участие проектировщика позволяет сравнивать автоматически формируемые варианты проектов с вариантами, получаемыми традиционными методами проектирования, и, кроме того, производить анализ «близких» решений по дополнительным критериям оценки.

При проектировании обустройства нефтяных месторождений последовательно решаются следующие основные задачи [1, 11, 14].

1. Задача размещения объектов решается для определения оптимального размещения различных нефтепромысловых объектов: кустов нагнетательных и эксплуатационных скважин, замерных установок, комплексных сборных пунктов, компрессорных станций и т.д. Решение задачи состоит в выборе из множества всех возможных точек строительства объектов данного типа такого подмножества, на котором достигается минимум функции, определяющей суммарную стоимость строительства объектов данного типа и сети коммуникаций, соединяющей эти объекты с источниками сырья. Для решения задачи применяется модифицированный алгоритм

последовательных расчетов, позволяющий определять не только оптимальное решение задачи, но множество всех решений, «близких» к оптимальному [15].

2. Далее решаются задачи определения оптимальной структуры сетей различного назначения [16-18]. Это сети сбора и транспорта нефти и попутного газа, сети водоводов высокого и низкого давления, сети дорог и электроснабжения. Данная задача ставится как задача построения сети с разрывными функциями стоимости проведения коммуникации в зависимости от потока по данной коммуникации. Для ее решения разработан специальный алгоритм, основанный на направленном переборе всех деревьев полного графа, в процессе которого при помощи ряда правил, основанных на свойствах оптимального решения данной задачи, отбраковываются большие группы деревьев и промежуточных поддеревьев.

3. После определения конфигурации сетей различного назначения решаются задачи трассирования коммуникаций, причем используемые методы решения зависят от способа представления территории. Так, например, если задана сетка категоричности территории и соответствующая ей сетка стоимости проведения коммуникаций по различным элементам этой сетки, для определения оптимальной трассы применяется алгоритм, основанный на алгоритме Дейкстры. При наличии на территории месторождения запретных зон для проведения коммуникаций (реки, болота, сельхозугодья), аппроксимированных фигурами второго порядка (круги, эллипсы), для решения задачи трассирования применяется метод локальных вариаций [19]. При задании запретных зон в виде замкнутых многоугольников для решения задачи трассирования применяется алгоритм, основанный на методе динамического программирования.

4. Для детальных расчетов решается задача определения параметров трубопроводных сетей [20-22], таких как диаметры отдельных участков трубопроводов и давления в узлах сети, при наличии ограничений на перепады давления и заданных значениях потребления и расхода в узлах-источниках и узлах стока. Для решения задачи применяются модели и методы решения задач оптимизации многошаговых процессов, заданных на ориентированном дереве.

Рассмотренные выше подходы, методы и алгоритмы были реализованы в Системе проектирования генеральных схем обустройства нефтяных месторождений (СПГСО) [14], которая широко использовалась при проектировании генеральных схем обустройства нефтяных месторождений Западной Сибири (Самотлорское, Федоровское, Тепловское, Южно-Балыкское, Холмогорское), Коми АССР (Усинское, Возейское), Казахстана (Каламкас, Каражанбас), газовых месторождений (Уренгойское) и т.д.

Кроме того, были предложены модели и методы оценки и управления параметрами надежности и безопасности нефтегазовых комплексов, а также систем нефте- и газоснабжения [23, 24]. Решались задачи построения и использования «деревя исходных» для анализа аварийности нефтепромысловых объектов, построения и использования «полей риска», выбора параметров надежности, промышленной и экологической безопасности на этапе проектирования. Была реализована Система обеспечения надежности, промышленной и экологической безопасности СОНПЭБ, которая использовалась при проектировании нефтегазовых месторождений шельфа

Черного и Охотского морей, Ново-Уренгойского газохимического комплекса, обустройстве месторождения Тенгиз, для анализа экологической безопасности Оренбургского газоперерабатывающего и Чимкентского нефтеперерабатывающего заводов, а также при разработке деклараций промышленной безопасности.

3. Формирование и оценка стратегий освоения морских месторождений углеводородов

В современных условиях важнейшую роль приобретают проблемы формирования и оценки стратегий освоения морских месторождений углеводородов. Была предложена модель функционирования шельфового месторождения [25]; описание данной модели с распределенным ресурсом формализуется тремя основными постулатами: о возможности полного извлечения ресурса месторождения, о линейном однопараметрическом падении дебита и о пропорциональности начального дебита вновь вводимых скважин объему неизвлеченного ресурса. Дается формализованное описание модели с непрерывным временем в дифференциальной форме, причем основное уравнение модели является квадратичным. Несмотря на нелинейность модели, удалось найти достаточно простые и адекватные действительности решения. Эти решения аналитически исследуются для различных стандартных режимов эксплуатации месторождения – режимов разработки, стабильной добычи и падения добычи.

В частности, исследовался подход к решению задачи кустования для шельфовых месторождений. Данная задача дезагрегируется на две – определения очередности ввода скважин внутри куста и определения очередности ввода кустов, которые решаются на основе многокритериального подхода.

Была предложена методология разработки компьютерных систем для проектирования и анализа стратегий освоения шельфовых месторождений, включая такие вопросы, как архитектура систем, формирование базы данных, интерактивные интерфейсы, поддержка многокритериальной оптимизации, этапы решения задачи и т.д.

Были разработаны соответствующие программные комплексы и инструментальные средства, которые использовались при их создании. Например, Система оценки вариантов освоения шельфовых месторождений нефти и газа использовалась для шельфовых месторождений Одопту и Чайво на Сахалине, Белый Тигр и Дракон во Вьетнаме, ряда месторождений шельфа Черного и Каспийского морей.

4. Организация и управление территориальными финансово-производственными комплексами при освоении новых регионов. Проект «Восточный Российский Ход в XXI век»

В сложных условиях функционирования современной отечественной экономики, усугубляемых последствиями глобального экономического кризиса, возрастает актуальность проблемы развития российских территорий как важнейшего направления ресурсно-ориентированной деятельности по обеспечению устойчивого развития страны. При наличии огромных запасов топлива и энергии производительность

отечественного ТЭК в настоящее время является весьма низкой, в основном из-за практически отсутствующего важнейшего звена этого комплекса – переработки сырья с выпуском готовой продукции.

Как показано в [26], доход, получаемый от единицы энергоресурсов нефти и газа при использовании ее на предприятиях нашей страны и исчисленный в объеме ВВП, более чем в 10 раз превышает доход от продажи этой единицы энергоресурсов другим странам. Доход же страны, покупающей ресурс и перерабатывающей его с использованием новейших технологий, превышает более чем в 20 раз затраты на его покупку. Другая причина слабой эффективности отечественного ТЭК состоит в недостаточных инвестициях на опережающие разработки, приобретение нового оборудования, внедрение новых технологий, соответствующих все более усложняющимся условиям производства.

Можно сделать вывод, что изменение сложившейся в отечественном ТЭК ситуации можно осуществить только за счет опережающего социально-экономического развития восточных регионов страны, что предлагается в проекте «Восточный Российский Ход в XXI век» [27].

В 1997-1998 гг. году совместно с Ассоциацией международного сотрудничества был проведен укрупненный анализ принципиальной возможности освоения южной зоны Восточной Сибири и Дальнего Востока, расположенной южнее 60-й параллели (с прилегающей к ней с севера частью Якутии) от Енисея до Тихого океана. Данный макрорегион с площадью около 4 млн. км² имеет население 6-8 млн.чел. и чрезвычайно богат природными ресурсами, причем природно-климатические условия в нем вполне пригодны для проживания.

В этом проявляется сходство макрорегиона с Канадой, наиболее освоенная и промышленно развитая часть которой расположена примерно в тех же широтах и имеет сходные природно-климатические условия. При этом площадь макрорегиона меньше площади Канады в 2,5 раза, а населения – в 3,3 раза при средней плотности населения в 2,0 чел./км² (в Канаде – 2,7 чел./км²).

Таким образом, проект «Восточный Российский Ход в XXI век» имеет все необходимые начальные характеристики, позволяющие обосновать целесообразность и эффективность ускоренного развития производительных сил с образованием ряда крупных территориально-производственных комплексов (ТПК). Решение этой задачи должно стать основой стратегического развития и укрепления Российского государства. Поэтому было бы крайне актуально рассмотреть в Правительстве РФ предложения о разработке данного проекта и придать ему статус важнейшей государственной программы.

Реализация проекта «Восточный Российский Ход в XXI век» также «прорубит окно» в Азиатско-Тихоокеанский регион, который окаймлен странами, богатыми природными, трудовыми, инвестиционными ресурсами, современными технологиями, и даст импульс развитию стран форума «Азиатско-Тихоокеанское экономическое сотрудничество» (АТЭС).

Деловому клубу АТЭС предлагается наряду с проектом «Восточный Российский Ход в XXI век» рассмотреть также возможность его расширения за счет охвата и учета прилегающих регионов других стран Северо-Восточной Азии: Китая, Кореи, Монголии

и Японии. Этот «расширенный» проект естественно назвать проектом «Комплексного гармоничного развития стран и регионов Северо-Восточной Азии в XXI веке».

Комплексное рассмотрение этого проекта снимает многие проблемы, кажущиеся непреодолимыми при попытке реализовать его какой-либо одной страной или небольшой группой стран. Это проблемы, связанные с обеспеченностью природными и трудовыми ресурсами, энергией, современными технологиями и инвестициями. Проект должен разрабатываться всем миром, что позволит превратить огромное геополитическое пространство стран АТЭС в регион мира и благополучия населяющих его народов.

Важнейшей задачей развития регионов Восточной Сибири и Дальнего Востока является становление высокотехнологичных экспортно-ориентированных отраслей экономики на базе использования местных нефтегазовых ресурсов, включая развитие нефте-газо-химических производств, ориентированных на выпуск полимерных и конструкционных материалов с повышенной добавленной стоимостью.

Рассмотренные выше задачи в современных рыночных условиях могут эффективно решаться крупными интегрированными корпоративными структурами, которые имеют значительные собственные инвестиционно-финансовые ресурсы, а также возможности по их привлечению. Такие интегрированные структуры способны конкурировать как на внутреннем, так и на мировом рынке.

Инвестиционные возможности объединений, создаваемых в форме территориальных финансово-производственных комплексов (ТФПК) для решения определенного круга хозяйственных задач, определяются интеграцией финансового и промышленного капитала. По характеру интеграции для нефтегазодобывающих отраслей, играющих важную роль в экономике восточных регионов страны, наиболее подходящими представляются ТФПК, в состав которых входят предприятия, связанные с различными производственными технологиями и реализующие сквозную технологическую цепочку через увязку производителей с поставщиками и потребителями.

Для повышения эффективности ТФПК необходима разработка теоретических подходов и методов, а также адекватных математических моделей и их оптимизация, например, для учета экономических эффектов, возникающих при взаимодействии интегрирующихся предприятий – промышленных, финансовых, сбытовых и других. При этом основная цель должна заключаться в определении динамической стратегии эффективного экономического развития ТФПК на длительном временном интервале. Известно, что важнейшим элементом организационно-экономической интеграции является появление эффекта синергии как дополнительного источника прибыли, возникающего исключительно за счет «правильного» взаимодействия участников внутри комплекса.

Такая базовая математическая модель оптимального взаимодействия предприятий и организаций – участников ТФПК была построена и реализована в ВЦ РАН [28]. С помощью этой модели можно получить численную оценку оптимальных значений инновационных параметров системы, позволяющих максимизировать экономическую эффективность при внедрении инноваций.

Любой ТФПК находится на территории какого-либо конкретного административно-территориального образования, перед которым стоит задача освоения данной территории. Для этого разрабатываются программы и схемы ее обустройства, которые предполагают необходимость решения целого комплекса взаимосвязанных задач.

Для реализации программ освоения территорий государством или региональной властью могут привлекаться, например, на контрактной основе, крупные финансово-промышленные компании, обладающие определенным финансовым ресурсом и опытом разработок либо создаваться новые специализированные финансово-промышленные структуры. Основные задачи государственных (региональных) регулирующих органов заключаются в этом случае в организации и проведении тендеров на выполнение выделенных проектов, распределении начальной государственной финансовой поддержки победителей конкурсов, осуществлении постоянного контроля их деятельности.

Существует большое количество возможных вариантов реализации региональных программ с учетом генеральных планов обустройства территорий. Эти варианты зависят от объективных показателей, связанных с технологической цепочкой отрасли, с местными производственными условиями (мощность месторождения, сложность извлечения природного ресурса, его состав, необходимость переработки и т.д.), наконец, с социально-экономическим состоянием региона.

Определение наилучшего набора ТФПК может осуществляться при помощи математических методов и моделей, реализованных в системе СПГСО [1, 11]; вначале находится оптимальное и близкие к нему по значению функционала эффективности множества ТПК, расположенных на данной территории, а затем на базе этой информации определяется наилучший набор ТФПК.

Были предложены также модели и методы рассредоточенного рынка и рассмотрено их применение при решении задач планирования развития нефтегазодобывающих регионов для анализа внутри- и межрегиональных взаимодействий субъектов экономики региона [29]. Разработанные модели позволяют описать различные структуры как локальных, так и глобальных рынков, а также определить стратегию поведения в соответствующих системах. На основе сравнения задач централизованного и децентрализованного управления экономикой даются рекомендации по управлению большими экономическими системами.

Следует отметить, что корпоративные структуры могут формироваться достаточно стихийно - в зависимости от состояния рынков, располагаемых ресурсов, требуемых инвестиций и многих других факторов, причем в конкретных условиях они могут объединяться, поглощаться, разъединяться и т.д. В этих условиях значительно усиливается роль сочетания плановых и рыночных механизмов при принятии решений по выбору наилучшего набора ТФПК, способных эффективно решать сложные задачи регионального развития.

5. Математические модели стратегического управления регионом

Стратегическое управление как современная форма корпоративного управления является дальнейшим развитием долгосрочного планирования и сформировалось в ответ на кардинальный рост изменчивости и нестабильности внешней среды. Подходы, модели и технологии корпоративного стратегического управления могут быть применены и для региональных систем, поскольку регион в условиях рыночной экономики можно рассматривать как некоторую квазикорпорацию.

Сложность задач, решаемых в процессе стратегического управления регионом, требует использования современных информационных технологий. Однако их применение во многом сдерживается качественным характером и слабой степенью формализации этих задач, которые относятся к так называемым слабо структурированным задачам. Поэтому весьма актуально применение так называемых мягких моделей, а также подходов и методов системных наук для формализации процесса стратегического управления регионом. Конкретные результаты моделирования, прогнозирования, оптимизации позволяют обеспечить процесс стратегического управления надежной количественной базой; с другой стороны, эти результаты не могут иметь большого практического значения без того качественного и формализованного инструментария, который разработан в современном стратегическом управлении.

Были предложены оригинальные модели и методы визуализации на плоскости точек многомерных пространств в виде различных геометрических объектов – замкнутых многоугольников, ломаных либо профилей, что обеспечивает их эффективный визуальный анализ, сравнение и выбор [30]. Были исследованы некоторые свойства этих объектов и особенности их использования при визуализации матричных моделей стратегического анализа и многокритериальных альтернатив в процессе принятия решений.

В стратегическом управлении широко используются матричные модели, когда для каждой пары параметров непрерывные шкалы заменяются на интервальные, и каждой клетке получаемой таким образом матрицы сопоставляются качественно различные ситуации и стратегии. Как обобщение матричных моделей было введено многомерное дискретное пространство стратегических позиций, операторами которого являются стратегии, переводящие объекты из одной позиции в другую; рассматриваются некоторые свойства этого пространства и соответствующих операторов [31-33]. Для региональной системы можно построить целый комплекс матричных моделей, отражающих позиции и взаимное положение объектов региональной экономики различных уровней, например, отраслей региона или предприятий города. При этом планарная визуализация может быть использована для одновременного изображения сразу нескольких стандартных матричных моделей.

В стратегическом управлении применяются также карты стратегических групп конкурентов, когда для сокращения размерности конкуренты объединяются в так называемые стратегические группы (кластеры). Как развитие этого подхода, вводятся многомерные динамические стратегические группы конкурентов, причем расчет уровня конкуренции производится по формальным многофакторным методикам [31-33]. Были

также разработаны методики расчета степени конкуренции для региональных систем с учетом взаимного влияния различных видов конкуренции (за различные виды ресурсов и за сбыт продукции) для различных уровней конкретной системы и различных разрезов (территориальный, отраслевой, корпоративный).

Важнейшей проблемой стратегического управления регионом является анализ и формирование стратегий развития региональных объектов [31-33]. Для каждого положения объекта в пространстве стратегических позиций может быть одновременно определено десятки частных стратегий, полученных для различных направлений классификации стратегий и для различных матричных моделей. Эти стратегии описываются обычно различным образом, что затрудняет их формализацию и компьютерное моделирование. Поэтому был предложен нормализованный язык стратегий, обобщающий характеристики стратегий, а на его основе - многомерное дискретное пространство стратегий. Были рассмотрены вопросы обобщения частных стратегий, полученных различными способами, вопросы автоматического формирования и корректировки стратегий.

Для каждой из стратегических альтернатив, формируемых на основе качественного анализа, может быть получено значительное количество вариантов в силу неоднозначности соответствующих исходных данных. Предложен метод и алгоритм генерации вариантов при наличии варьируемых исходных данных; алгоритм генерирует варианты как кортежи декартова произведения множеств вариантных исходных данных и позволяет установить взаимно однозначное соответствие между номером варианта и соответствующей комбинацией вариантных данных [30]. При этом множества вариантных данных и состав вариантов для каждого из них могут изменяться.

Как обобщение классической задачи формирования сбалансированного портфеля компании, была поставлена и решена задача формирования сбалансированного портфеля (системы) однородных региональных объектов некоторого уровня (районов, отраслей, компаний, бизнес-единиц), обеспечивающего максимизацию накопленных денежных потоков с учетом того, что различные объекты могут выбирать одну из нескольких возможных стратегий развития [34]. Другими словами, одновременно решаются задачи оптимизации как состава системы, так и ее функционирования. Для решения этой оптимизационной задачи разработан комбинированный алгоритм, основанный на совместном использовании метода ветвей и границ и метода последовательных расчетов.

Общепризнано в настоящее время, что стоимость является важнейшим агрегированным показателем деятельности любой социально-экономической системы. При использовании для оценки стоимости метода дисконтированных денежных потоков стоимость может определяться не только для компаний, но и для произвольных социально-экономических систем; например, для регионов денежные потоки могут рассчитываться на основании доходов и расходов регионального бюджета. Была разработана технология управления стоимостью на основе совместного использования генерации вариантов, имитационного моделирования, многовариантных расчетов и многокритериальной оптимизации [4].

Одним из заключительных этапов процесса стратегического управления является выбор стратегий развития объектов региональной экономики по многим критериям оценки на основе применения многокритериальной оптимизации. При решении задач многокритериальной оптимизации использовался аппроксимационно-комбинаторный метод декомпозиции и композиции систем и понятие реального проекта (плана, стратегии) [1, 13]. Была предложена технология организации процесса многокритериальной оптимизации и выбора направлений этого процесса в зависимости от его характеристик, в том числе, с применением метода планарной визуализации многомерных объектов для наглядного отображения многокритериальных альтернатив [1, 30].

Поскольку разработка целевых комплексных программ и реализация инвестиционных проектов составляют основное содержание процесса реализации стратегий, исследовались вопросы инвестиционного планирования на региональном уровне. Впервые был предложен принцип множественности всех компонентов процесса инвестиционного планирования. Кроме того, был разработан ряд моделей и алгоритмов, обеспечивающих процесс инвестиционного планирования на уровне региона: формирования интегрированных оценок инвестиционных проектов (коэффициентов полезности), автоматизированной генерации проектов, оптимизации состава проектов с учетом ограничений на финансирование и ресурсы, многокритериальной оценки и выбора проектов и т.д. [35].

Завершающим этапом процесса стратегического управления регионом является этап стратегического контроля реализации стратегий. На основе разработанной модели динамической нестационарной системы [36] предложены методики мониторинга отклонений, мониторинга возмущений внешней среды и мониторинга кризисных ситуаций, а также обобщенный алгоритм мониторинга реализации стратегий, объединяющий перечисленные методики для нужд практического применения [37]. В качестве методологической основы процесса корректировки и адаптации стратегий регионального развития было предложено использовать концепцию динамического проектирования [1, 36].

6. Интегрированная система регионального программирования

Интегрированная система регионального планирования и проектирования призвана обеспечить решение различных задач развития нефтегазодобывающего региона на его различных уровнях за счет интеграции и обеспечения взаимодействия различных автономных и независимо разработанных систем-элементов.

Сюда, в частности, относятся следующие системы, созданные в отделе методов проектирования развивающихся систем [38].

- Система перспективного планирования добычи газа по укрупненным показателям (СПДГ);
- Система моделирования и оптимизации добычи газа (СМОД);
- Система формирования планов добычи нефти (СФПДН);
- Система проектирования генеральных схем обустройства нефтяных месторождений (СПГСО);

- Система размещения объектов и коммуникаций (СРОК);
- Система оценки вариантов освоения шельфовых месторождений нефти и газа;
- Система проектирования и анализа сетей (СПАС);
- Система синтеза и анализа гидравлических систем (ССАГС);
- Система планирования производства, хранения, транспортировки и распределения нефтепродуктов;
- Система обеспечения надежности, промышленной и экологической безопасности нефтегазопромысловых объектов и транспортных сетей (СОНПЭБ);
- Система инвестиционного планирования на уровне региона «Электронный Мастер-план» (ЭМП).

Были предложены основные принципы построения интегрированных систем регионального планирования и проектирования (ИР-систем) [39], рассмотрены желаемые свойства этих систем. ИР-системы должны формироваться под конкретную задачу как модульные, адаптивные, открытые человеко-машинные системы из отдельных составляющих систем-элементов и функционировать для объектов различных уровней региональной системы в распределенной вычислительной среде. При этом готовые ИР-системы существуют как единое целое лишь в виде компьютерной модели, а функционирование такой системы сводится к вызову отдельных систем в соответствии с этой моделью для работы в распределенной среде.

Интеграция систем-элементов в рамках ИР-системы может производиться по самым различным направлениям: в отраслевом разрезе (нефть, газ), в территориальном разрезе (месторождение, группа) и в функциональном разрезе (стратегическое управление, планирование, проектирование, оптимизация). Подчеркивается, что для интегрированной системы должны решаться три основные задачи: автоматизации построения, автоматизации сопровождения и повторного использования, автоматизации управления функционированием. Эти задачи решаются при помощи инструментария разработки интегрированных систем ИРИС, который является неотъемлемой частью интегрированной системы и выступает в качестве ее адаптирующего элемента; была разработана концептуальная схема комплекса «ИР-система-ИРИС», определены функции и связи компонентов данного комплекса.

Были предложены информационные модели интегрированных систем, которые составляют содержимое базы знаний ИРИС и обеспечивают процессы автоматизированного формирования и сопровождения ИР-систем. Важнейшим компонентом базы знаний являются графовые модели ИР-систем – ориентированные нагруженные графы, вершинам которых соответствуют отдельные составляющие системы, а ребрам - интерфейсные программы, обеспечивающие их взаимодействие.

Подчеркивается, что решение задач в ИРИС следует производить на основе комплексной сквозной технологии обработки графовых моделей с использованием процессного подхода [39, 40]. Многочисленные процессы комплекса ИР-система-ИРИС объединяются в следующие основные блоки: интерфейсный, развития, управления, обработки схем, настройки схем (на конкретную задачу), исполнения и общего назначения. Специальные блоки обеспечивают также планирование вычислений (формирование «цепочки» составляющих систем и интерфейсов) для решения

конкретной региональной задачи и функционирование интегрированной системы в распределенной вычислительной среде.

Функционирование инструментальной системы ИРИС основано на обработке информационных моделей интегрированных систем и использовании автоматического синтеза программ расчета технико-экономических показателей.

На основе анализа нормализованного естественного языка наименований показателей и его свойств было показано, что для каждой методики расчета показателей можно построить последовательность элементарных семантических преобразований фасетов (позиций) языка показателей, изменяющих их наименования [41]. На этой основе были разработаны методы и алгоритмы синтеза расчетных программ, основанные на подходах искусственного интеллекта. Для заданного набора входных и выходных показателей вначале строится оптимальная последовательность таких семантических преобразований – семантическая модель программы, а потом по этой модели генерируется текст расчетной программы на заданном языке программирования.

Аппарат синтеза расчетных программ можно использовать для автоматического построения интерфейсных программ, преобразующих выходы одних систем-элементов интегрированной системы во входы других и тем самым обеспечивающих формирование и функционирование интегрированной системы.

Наконец, в [40] были рассмотрены различные процессы развития (разработки и сопровождения) интегрированных систем, поддерживаемые средствами ИРИС: автоматический синтез моделей интегрированных систем, автоматическая модификация моделей при изменениях во внешней среде, ручное задание моделей на некотором языке или в графическом редакторе, конкретизация метамodelей до конкретных моделей и т.д.

Заключение

В заключение отметим основные результаты настоящей работы. Во-первых, проанализировано большое количество различных математических моделей, методов, алгоритмов, позволяющих эффективно решать самый широкий спектр задач развития нефтегазодобывающих регионов – задач долгосрочного планирования, проектирования, анализа экологических рисков, стратегического управления и т.д.

Во-вторых, рассмотрены действующие программные комплексы, которые широко использовались при решении задач планирования и проектирования нефтегазодобывающих регионов и месторождений на суше и шельфе.

Наконец, предложен подход, позволяющий интегрировать эти разнородные системы в единое целое – в интегрированные системы регионального программирования. Поскольку физически такая интеграция независимых систем для решения различных задач для различных отраслей и уровней управления нереальна (прежде всего, с организационной точки зрения), то такие системы предлагается автоматически строить как виртуальные – в виде специальных моделей с использованием средств искусственного интеллекта (включая использование баз знаний и автоматического синтеза программ).

Комплексное применение разработанного математического и программного обеспечения при реализации предложенного подхода к созданию интегрированных систем регионального программирования позволит существенно продвинуться на пути решения серьезных проблем, стоящих в настоящее время перед отечественным ТЭК в целом и отдельными нефтегазодобывающими регионами в частности.

Перечислим некоторые из этих проблем с указанием соответствующих положений настоящей работы, где предлагаются подходы к их решению:

- проблема невозобновляемых ресурсов – оптимизация накопленной добычи газа, управление надежностью и безопасностью нефтегазовых комплексов;
- неустойчивость развития энергетики, негативное воздействие кризисов – стратегический контроль и динамическое проектирование при реализации стратегий, оптимальное оперативное управление добычей углеводородов;
- технологическое отставание топливно-энергетического комплекса РФ – использование математических методов, информационных и суперкомпьютерных технологий;
- проблема затратной экономики и затратной энергетики, неэффективность российской экономики и ТЭК – широкое применение различных методов оптимизации, в том числе, по многим критериям оценки решений;
- отказ от энергозатратного образа жизни – оптимизация добычи углеводородов;
- обеспечение системного подхода в развитии энергетики – разработка и использование интегрированных систем регионального программирования;
- долгосрочное прогнозирование развития энергетики – стратегическое планирование, долгосрочное планирование добычи газа и нефти;
- системный анализ системы «энергетика-природа-технология-человек» – стратегическое управление добывающим регионом, формирование и выбор решений с учетом многих критериев оценки;
- преодоление ведомственного подхода – стратегическое управление регионом, использование интегрированных систем регионального программирования;
- негативное воздействие энергетики на экологию – решение проблем ликвидации месторождений, управление надежностью и безопасностью нефтегазовых комплексов;
- учет различных региональных аспектов российской энергетики – стратегическое управление добывающим регионом;
- реализация проекта «Восточный Российский Ход в XXI век» – стратегическое управление добывающими регионами;
- привлечение инвестиций при реализации проекта «Восточный Российский Ход в XXI век» – инвестиционное планирование на региональном уровне.

В совокупности предлагаемые решения позволят внести свой вклад в обеспечение устойчивого развития добывающих регионов – развития, при котором удовлетворяются потребности настоящего времени, но не ставится под угрозу способность будущих поколений удовлетворять свои потребности.

Литература

1. Хачатуров В.Р. Математические методы регионального программирования. М.: Наука, 1989. 304 с.
2. Методика пользования системой долгосрочного планирования добычи газа для газодобывающего региона с применением математических методов и ЭВМ. М.: ВНИИЭгазпром, 1987. 148 с.
3. Маргулов Р.Д., Хачатуров В.Р., Федосеев А.В. Системный анализ в перспективном планировании добычи газа. М.: Недра, 1992. 287 с.
4. Соломатин А.Н., Скиба А.К. Имитационная система для прогнозирования развития газодобывающих компаний. М.: ВЦ РАН, 2003. 28 с.
5. Соломатин А.Н. Некоторые оптимизационные задачи стратегического управления компаниями. М.: ВЦ РАН, 2006. 38 с.
6. Крюков В.А., Скиба А.К., Федосеев А.В. Задачи оптимального управления разработкой газоконденсатного месторождения. М. ВЦ АН СССР, 1990. 44 с.
7. Федосеев А.В., Хачатуров В.Р. Постановка и исследование задач оптимального управления для анализа перспективных планов в нефтедобывающей промышленности // В сб.: Имитационное моделирование и математические методы анализа перспективных планов развития нефтедобывающей промышленности. М.: ВЦ АН СССР, 1984. С. 66-112.
8. Хачатуров В.Р., Бобылев В.Н., Григорьева М.И., Крылов И.А., Соломатин А.Н., Федосеев А.В. Компьютерная система для прогнозирования показателей финансово-экономической деятельности нефтедобывающего предприятия в новых условиях // Нефтяное хозяйство, 1995, №11. С.29-31.
9. Скиба А.К., Соломатин А.Н., Хачатуров В.Р. Ликвидация газовых месторождений: методология и моделирование. М.: ВЦ РАН, 2004. 38 с.
10. Соломатин А.Н. Некоторые оптимизационные задачи для группы газовых месторождений. М.: ВЦ РАН, 2009. 44с.
11. Хачатуров В.Р., Веселовский В.Е., Злотов А.В. и др. Комбинаторные методы и алгоритмы решения задач дискретной оптимизации большой размерности. М.: Наука, 2000. 354 с.
12. Хачатуров В.Р. Аппроксимационно-комбинаторный метод и некоторые его приложения // ЖВМ и МФ, 1974, Т.14, №6. С. 1464-1487.
13. Хачатуров В.Р. Аппроксимационно-комбинаторный метод декомпозиции и композиции систем и конечные топологические пространства, решетки, оптимизация // ЖВМ и МФ, 1985, Т. 25, №2. С. 1777-1794.
14. Хачатуров В.Р., Аржанов Ф.Г., Астахов Н.Д., Борисенко В.К., Веселовский В.Е., Донгарян Ш.С., Дунаев Н.П., Злотов А.В., Крылов И.А., Кузоваткин Р.И. Николаев Б.А., Сигал И.Х., Филановский В.Ю. Система проектирования генеральных схем обустройства нефтяных месторождений на ЭВМ и опыт ее использования. Обзорная информация, сер. «Нефтепромысловое строительство». М., ВНИИОЭНГ, 1980. 69 с.

15. Хачатуров В.Р., Веселовский В.Е. Решение задач размещения большой размерности // Тезисы II Всес. семинара «Численные методы нелинейного программирования», Харьков, 1976.
16. Злотов А.В. Об одном комбинаторном алгоритме построения сети с разрывной функцией стоимости на ребрах // Экономика и математические методы, 1978, №4. С.783-787.
17. Злотов А.В., Хачатуров В.Р. Применение аппроксимационно-комбинаторного метода для решения задач построения оптимальных сетей с нелинейными функциями стоимости ребер. М.: ВЦ АН СССР, 1984. 24 с.
18. Злотов А.В. Система размещения объектов и коммуникаций (СРОК). М.: ВЦ АН СССР, 1985. 36 с.
19. Крылов И.А., Черноусько Ф.Л.// Решение проблем определения оптимальной траектории методом локальных вариаций // ЖВМ и МФ, 1966, Т.6, №2.
20. Коваленко А. Г. Хачатуров В. Р. Алгоритмы решения некоторых задач оптимизации многошаговых процессов аппроксимационно-комбинаторным методом I, II // Известия АН СССР. Техническая кибернетика, 1982, № 1. С. 3–17; № 2. С. 46–55.
21. Коваленко А. Г. Туева Н. С. Система синтеза и анализа гидравлических сетей. М.: ВЦ АН СССР, 1989. 69 с.
22. Коваленко А. Г. Взаимосвязь задач потокораспределения и идентификации в гидравлических сетях // Известия АН СССР. Энергетика, 1998, № 6. С. 98–104.
23. Ливанов Ю.В. Построение дерева исходов для анализа аварий и катастроф с использованием ПЭВМ // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика, 1990, № 6.
24. Ливанов Ю.В., Самородкин Д.В., Самородкин В.Д, Злотов А.В. Разработка методики анализа промышленной безопасности для объектов строительства и эксплуатации скважин нефтегазовой отрасли // Управление качеством в нефтегазовом комплексе, 2006, №4. С. 48-53.
25. Хачатуров В.Р., Туев С.В. Математические модели и системы для формирования и оценки стратегий освоения морских месторождений углеводородов. М.: ВЦ РАН, 2002. 72 с.
26. Хачатуров В.Р. Геополитический и геоэкономический анализ мира на основе энергетических факторов. М.: ВЦ РАН, 2001. 97 с.
27. Лобов О.И., Хачатуров В.Р. Восточный Российский Ход в XXI век. М.: Независимая газета, 10 сентября 1999 г.
28. Косачев Ю.В., Скиба А.К., Хачатуров В.Р. Исследование и оптимизация параметров инновационного развития интегрированной структуры. М.: ВЦ РАН, 2009. 43 с.
29. Коваленко А. Г. О математическом моделировании рассредоточенного рынка // Экономика и математические методы, 1999, Т. 35, № 3. С. 108 – 115.
30. Соломатин А.Н. Генерация, визуализация и выбор многокритериальных альтернатив. М.: ВЦ РАН, 2005. 44 с.
31. Соломатин А.Н. Модели и средства автоматизации стратегического управления газодобывающими предприятиями. М.: ВЦ РАН, 2005. 40 с.
32. Соломатин А.Н., Хачатуров В.Р. Математическое моделирование в стратегическом управлении регионом. М.: ВЦ РАН, 2007. 60 с.

33. Соломатин А.Н. Разработка многомерных многоуровневых моделей стратегического управления регионом // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2009): Труды Третьей межд. конф. (5-7 окт. 2009 г., Москва). М.: ИПУ РАН, 2009. С.104-116.
34. Соломатин А.Н. Формирование оптимального состава бизнес-единиц компании с учетом стратегий их развития // Информационные технологии, 2008, №2. С.68-73.
35. Ашимов Н.С., Веселовский В.Е., Злотов А.В., Крылов И.А., Соломатин А.Н., Хачатуров В.Р. Инвестиционное планирование в регионе. М.: ВЦ РАН, 2011. 55 с.
36. Хачатуров В.Р., Хачатуров Р.В. Математическое моделирование и динамическое проектирование в нефтегазодобывающей промышленности. // Наука и техника в газовой промышленности, 2008, №2. С. 3-22.
37. Соломатин А.Н., Хачатуров В.Р. Мониторинг реализации и адаптация стратегий регионального развития. М.: ВЦ РАН, 2008. 40 с.
38. Хачатуров В.Р., Злотов А.В., Бобылев В.Н., Веселовский В.Е., Крылов И.А., Крылова Т.О., Ливанов Ю.В., Сигал И.Х., Скиба А.К., Соломатин А.Н., Туев С.В. Комплекс программ на ЭВМ для освоения нефтегазовых районов. М.: ВЦ РАН, 2000. 36 с.
39. Соломатин А.Н. Автоматизация разработки интегрированных региональных систем. ВЦ РАН, 1993. 32 с.
40. Соломатин А.Н. Автоматизированный синтез и адаптация систем регионального программирования. М.: ВЦ РАН, 1994. 32 с.
41. Соломатин А.Н. Автоматический синтез расчетных программ на основе анализа семантики показателей // Кибернетика и системный анализ, 1994, №5. С.133-142.