

УДК 338.2

*В.Г. Напреенко, Е.П. Смирнов*Российский научно-исследовательский институт экономики, политики и права
в научно-технической сфере

Разработка инструментария для планирования и управления сложными поисковыми научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами

Задачей предлагаемой разработки явилось создание прикладного инструментария, способного обеспечить оптимальное планирование и управление сложными поисковыми НИР и НИОКР. Инструментарий не имеет близких аналогов в отечественной и мировой науке и строится на основе совместного использования современных информационных технологий, экономико-математического моделирования и экспертного оценивания.

Ключевые слова: оптимальное планирование и управление, экономико-математическое моделирование, недоопределённые вычисления, экспертное оценивание.

I. Введение

Поисковые научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы — важный элемент современного научно-технического развития, и без такого развития науки Россия рискует превратиться в сырьевой придаток других государств. Особенно велика общественная роль крупных НИР и НИОКР, которые, как правило, относятся к разработкам повышенной сложности. Сложность в данном случае подразумевает зависимость результатов НИР или НИОКР одновременно от многих работ, участие большого числа исполнителей, а также то, что ход работ и их результаты трудно прогнозировать. Типичный пример — создание принципиально нового сложного технического устройства, для которого требуется провести исследовательские и конструкторские работы по большому числу комплектующих изделий, включая альтернативные варианты комплектующих. В такой разработке могут быть задействованы многочисленные организации-исполнители, а результаты по крайней мере части исследовательских работ — оставаться неясными вплоть до их завершения.

К сожалению, современная технология планирования и управления сложными

поисковыми НИР и НИОКР остаётся весьма несовершенной, и это касается не только России, но и других стран. Следствием названного несовершенства являются многочисленные факты неудачного планирования и управления разработками, которое оказывается по меньшей мере неоптимальным. Неоптимальность проявляется в неоправданных финансовых потерях, ненужном затягивании сроков работ, неудачном выборе соисполнителей и т. п. Обнаруживается неоптимальность, как правило, «задним числом», когда исправить положение трудно.

Большая общественная значимость исследовательских и конструкторских работ повышенной сложности, высокая стоимость таких работ, трудности планирования и управления ими, а также большие потери, вызываемые неоптимальным планированием и управлением, сделали весьма актуальным излагаемый ниже проект, задачей которого являлось создание работоспособного и эффективного инструментария планирования и управления сложными поисковыми НИР и НИОКР.

II. Различия традиционной и предлагаемой технологии планирования и управления НИР и НИОКР

В настоящее время как в России, так и за рубежом в планировании и управлении НИР и НИОКР преобладает экспертный подход к выбору принимаемых решений. В отношении достаточно простых ситуаций такой подход выглядит вполне оправданным, но по мере усложнения разработок экспертные решения становятся все более субъективными и спорными, поскольку даже очень хорошему эксперту трудно учесть все множество аспектов сложных работ. В результате качество планирования и управления снижается, а последствия возникающих при этом ошибок становятся все более ощутимыми.

Попытки дополнить экспертные методы расчётами, основанными на объективных числовых данных, встречают трудности, связанные с присутствием в рассматриваемой задаче недоопределённых и плохо формализуемых факторов.

Вследствие трудностей формализации система расчётных соотношений нередко приобретает вид неупорядоченной совокупности уравнений и неравенств, с которым неспособен работать аппарат традиционной математики. Весьма непросто преобразовать эту совокупность к приемлемому для большинства математических методов виду, выстроить необходимый алгоритм расчётов и получить с его помощью практически приемлемый результат.

Трудности формализации приводят также к появлению в расчётах весьма приближённых формул и грубых оценок, в свою очередь усиливающих недоопределённость. Известны многочисленные попытки моделировать недоопределённость случайностью, но понятия «недоопределённость» и «случайность» не тождественны и искусственное отождествление этих понятий приводит к методическим ошибкам.

Серьёзные ошибки в планировании и управлении НИР и НИОКР возникают также в результате игнорирования косвенных эффектов проводимых работ, таких, как рост научно-технического потенциа-

ла, стимулированием научно-технического прогресса, увеличением прироста валового внутреннего продукта и др.

Но, пожалуй, самым слабым местом традиционной технологии планирования и управления НИР и НИОКР являются слишком однозначные планы работ. Почти любой такой план устаревает в момент его написания. По мере поступления информации о ходе работ однозначный план приходится без конца уточнять, перестраивать, но уточнённый план снова устаревает — и так без конца.

Разработанный нами инструментарий устраняет перечисленные выше недостатки традиционной технологии планирования и управления НИР и НИОКР. Для этого предусмотрены:

- отказ от однозначного плана работ и формирование специальным образом описанного обобщённого плана, охватывающего все возможные планы, совместимые с рассматриваемыми условиями плановой задачи, причём обобщённый план автоматически уточняется по мере поступления новой информации;

- адаптация принципов оптимального планирования и управления применительно к обобщённому плану;

- учёт влияния параметров обобщённого плана не только на прямые результаты НИР и НИОКР, но и на косвенные результаты, связанные с ростом научно-технического потенциала, стимулированием научно-технического прогресса, увеличением прироста валового внутреннего продукта;

- приложение к задаче планирования и управления сложными поисковыми НИР и НИОКР новой математической технологии N-вычислений, хорошо себя зарекомендовавшей при работе с недоопределёнными показателями и неупорядоченными системами расчётных условий;

- развитие технологии N-вычислений применительно к работе с обобщённым планом;

- учёт специфических особенностей современной России в области сложных поисковых НИР и НИОКР (эти особенности проявляются в характере взаимодействия участников разработки, структуре финансирования, значимости отдельных критериев оценки эффекта инноваций и др.).

III. Структура предлагаемого инструментария

Предлагаемый инструментарий строится на основе совместного использования современных информационных технологий, экспертных методов и экономико-математического моделирования и экспертного оценивания. Совмещение объективных вычислений с экспертным оцениванием позволяет сочетать объективный характер расчётных показателей с такими достоинствами экспертных методов, как гибкость, учёт плохо формализуемых факторов, возможность формирования «сверток» разнокачественных показателей.

В части информационных технологий инструментарий предусматривает обработку сведений о недоопределённых величинах с помощью аппарата недоопределённых вычислений [1, 2]. Этот аппарат (Н-вычисления, Н-модели) представляет собой оригинальную отечественную разновидность программирования в ограничениях (constraint programming). Отметим, что программирование в ограничениях считается в настоящее время одним из самых перспективных направлений прикладной математики и успешно теснит другие направления программирования — такие, как императивное или алгоритмическое программирование, логическое программирование, функциональное программирование и др.

В части экспертных методов инструментарий развивает технологию экспертного оценивания [3, 4] с учётом потребностей решения плановой задачи. Предусмотрены:

- многокритериальное оценивание плановых и управленческих решений,
- унификация и автоматизация процесса экспертизы,
- комплекс мер, призванных свести к минимуму негативные последствия возможной тенденциозности отдельных экспертов,
- основанная на технологии Н-вычислений численная обработка результатов экспертизы, позволяющая использовать интервальные экспертные оценки,
- дополнительные меры по упрощению работы экспертов за счёт использо-

вания современных средств связи (Интернет).

В части экономико-математического моделирования плановая задача и условия её решения описываются как совокупность переменных (недоопределённых и обычных математических) и наложенных на эти переменные математических и логических условий (в первую очередь — уравнений и неравенств). При этом точные зависимости описываются как обычные уравнения или неравенства, а приближённые — как недоопределённые, что позволяет учесть их возможную погрешность.

В результате такого представления плановой задачи формируется её Н-модель, то есть модель, построенная применительно к возможностям Н-вычислений. Важнейшими элементами модели служат:

- состав показателей, характеризующих разработку (НИР либо НИОКР) и её результаты (продолжительность, трудоёмкость, стоимость, экспертные оценки по отдельным критериям, сводные оценки и т. п.),
- связи показателей, характеризующих разработку (последовательность и взаимообусловленность возможных работ, зависимости, увязывающие друг с другом продолжительность, трудоёмкость и стоимость выполняемых работ, выражения сводных оценок как функций от других переменных, другие существенные для плановой задачи зависимости),

— требования к решению плановой задачи, включая финансовые, временные и ресурсные ограничения, касающиеся как разработки в целом, так и отдельных её элементов.

Описание строится как совокупность переменных и наложенных на эти переменные неупорядоченных математических и логических ограничений (уравнений, неравенств, условий вида «если... то...» и т. п.). Неупорядоченность упрощает описание плановой задачи, что очень важно ввиду её сложности. Неточности данных и факторы, с трудом поддающиеся формализации, учитываются с помощью интервальных оценок (от... до...), а также уравнений, неравенств и логических условий, содержащих интервальные параметры.

Такое описание определяет в общем случае бесчисленное множество возмож-

ных планов, которые все вместе образуют обобщённый план разработки.

При обычном подходе к планированию следовало бы дополнить этот план условиями, придающими ему однозначность. Но внесение таких условий означает некоторый произвол и потому обобщённый план разработки мы предлагаем строить без дополнительных произвольных условий. В результате получается неоднозначный (недоопределённый) обобщённый план. Приложение к этому плану технологии Н-вычислений позволяет преодолеть трудности, обусловленные неупорядоченным характером используемых математических и логических ограничений, и даёт возможность работать с недоопределённым планом почти так же просто, как и с обычным «точным» планом.

Отметим, что Н-модели значительно повышают точность, достоверность и обоснованность прогнозов в условиях недоопределённости и обеспечивают успешное решение задач, неразрешимых традиционными методами [5]. При использовании таких моделей

- удаётся легко оценивать полноту, непротиворечивость и ценность рассматриваемой информации,

- допустимо оперировать со всей областью возможных решений, а не с отдельными вариантами решений исследуемой задачи, что устраняет возможность упустить из виду важный, но неочевидный вариант решения,

- устраняется необходимость задавать алгоритм расчётов,

- позволительно использовать весьма «трудные» виды математических зависимостей (смеси целочисленных и действительных переменных, логических уравнений, линейных и нелинейных алгебраических уравнений и неравенств),

- независимо от сложности модели очень просто осуществляется работа по определению границ условий, обеспечивающих достижение тех или иных целей (это обстоятельство является весьма ценным с точки зрения управления сложными разработками).

IV. Построение модели разработки

Началом работы с предлагаемым инструментарием является построение модели разработки (НИР или НИОКР), предусматривающее:

- структурирование разработки,
- анализ доступной информации о показателях и зависимостях,
- выбор показателей и расчётных зависимостей,
- оценку показателей, их взаимосвязей,
- согласование оценок,
- оптимизацию плана разработки.

Структурирование разработки предполагает её представление как совокупности отдельных работ — в том числе альтернативных работ, дублирующих друг друга. Работы подразделяются на необходимые и желательные. Невыполнение необходимых работ означает невыполнение разработки в целом. Проведение либо срыв желательных работ влияет на оценку разработки. В процессе выполнения разработки оценка работ «необходимая либо желательная» может меняться. Так, если из двух альтернативных работ одна окончилась неудачей, то вторая из желательной может стать необходимой.

Анализ доступной информации включает:

- определение сведений, необходимых для оценки отдельных показателей и зависимостей,
- выявление противоречий в данных и установление — по возможности — причин противоречий,
- ранжировку источников данных по надёжности,
- итоговую оценку достоверности информации.

Показатели и зависимости модели удобно подразделить на основные и вспомогательные. С основными должен работать пользователь модели. Вспомогательные обслуживают процесс вычислений. Перечень основных показателей и зависимостей определяется задачей моделирования.

Основные показатели модели характеризуют условия разработки (например,

прогноз инфляции), саму разработку и её результаты. Например, в качестве основных показателей разработки могут рассматриваться сроки выполнения отдельных работ, прогнозы объёмов деятельности, трудоёмкость и ресурсоёмкость работ, расчётная динамика издержек, требования к размеру инвестиций, ожидаемые прибыль и убытки и др. В состав основных показателей входят критерии оценки НИР и НИОКР в целом, а также критерии оценки отдельных реализуемых работ. Желательно включать в состав основных показателей также те, величина которых позволяет своевременно замечать угрозы благоприятному ходу работ (например, показатели финансовой устойчивости организаций-исполнителей, позволяющие предвидеть их банкротство). Состав вспомогательных показателей в основном диктуется формой зависимостей, которые используются в расчётах. Например, если применяются уравнения регрессии с параметрами, определяемыми в процессе работы модели, то эти параметры оказываются одним из видов вспомогательных показателей.

Основные зависимости отражают наиболее существенные связи показателей, которые должны быть учтены при моделировании и доступны контролю пользователя. Технология Н-моделей позволяет дополнять, исключать и менять расчётные зависимости непосредственно в процессе работы с моделью, что весьма удобно для пользователя.

Первичная оценка показателей и их взаимосвязей основывается на экспертных оценках, статистических данных, теоретических представлениях, а также содержит требования к решению плановой задачи, включая финансовые, временные и ресурсные ограничения, касающиеся как разработки в целом, так и отдельных её элементов.

Сначала для рассматриваемого показателя либо зависимости формируется ориентировочная оценка, которая может быть точной по форме, но сугубо приближённой по сути. Затем такие оценки корректируются с учётом наличной информации, принимая интервальную форму. Например, сначала можно получить грубо ориентировочную оценку моделируемых зависимостей и их параметров, исходя из про-

стейшей гипотезы линейной связи показателей. Затем — перейти к интервалам, отражающим поправку на нелинейность. В сложных случаях можно строить ряд взаимодополняющих оценок, уточняющих одна другую. Первичная оценка показателей и их взаимосвязей не обязательно предусматривает поиск решений, учитывающих всю совокупность условий плановой задачи. Сначала определяется решение, отражающее только наиболее важные и легко поддающиеся учету условия. Второстепенные условия можно учесть на этапе согласования оценок и даже в процессе работы с моделью — при оптимизации проекта и его сопровождении.

Согласование оценок показателей и зависимостей, осуществляемое на уровне моделей отдельных работ и разработки в целом, использует фундаментальное свойство недоопределённых моделей — автоматическое уточнение пересекающихся оценок, включённых в модель. При наличии нескольких вариантов первичных оценок согласование устраняет неудачные варианты.

После того как модель вчерне создана, осуществляется оптимизация плана разработки.

Решение плановой задачи в рамках технологии Н-моделей имеет вид плана, показатели которого имеют недоопределённые (интервальные) значения. Целесообразный в этом случае подход к оптимизации плана ориентирован на поиск областей решений, а не одного точного планового решения. Такой подход не требует обязательного отказа от «классического» понимания оптимальности как экстремума целевой функции при соблюдении заданных ограничений. Особенность лишь в том, что достижение экстремума и выполнение ограничений рассматривается не с позиции точных по форме (и неизбежно приближённых по сути) решений, а с позиции интервальных оценок показателей.

Н-модель позволяет использовать схему оптимизации плана, которую можно назвать схемой уточнения произвольных условий. Эта схема допускает не только косвенное управление критериями путём изменения исходных показателей, но и прямое задание желаемой величины включённых в модель формализованных критериев и вообще любых показателей модели.

Такая возможность означает отказ от строгого разделения показателей на исходные и результирующие. Во избежание недоразумений напомним, что обычное разделение показателей на исходные и результирующие объясняется тем обстоятельством, что результирующие показатели однозначно зависят от исходных, а исходные в общем случае неоднозначно зависят от результирующих. В рамках Н-моделей неоднозначность перестает быть почти непреодолимым препятствием к решению, и именно это позволяет отказаться от строгого разделения показателей на входные и результирующие.

Оптимизация осуществляется как пошаговый интерактивный процесс, в котором производится уточнение интервалов показателей в направлении, улучшающем значения используемых критериев оценки проекта. Пример такого уточнения — корректировка временных лагов с целью минимизации сроков при сохранении необходимых резервов.

Отметим, что при желании оптимизацию можно доводить до точных цифр, но при этом нужно иметь в виду, что получаемый в этом случае «точный» план является лишь некоторым ориентиром, а для реальной работы удобнее использовать интервальный (недоопределённый) план, построенный вокруг «точного». «Точные» планы быстро устаревают, в то время как правильно составленный недоопределённый план только уточняется по мере его выполнения. Поэтому если на очередном шаге оптимизации плана получены точные значения какого-либо показателя, означающее отсутствие резервов, то лучше вернуться на предыдущий шаг.

Окончательный вариант формирования плана — оптимальный вариант. При соблюдении требований к другим критериям оптимальный по времени вариант плана образуется в результате последовательного сжатия общей длительности проекта (или последовательного уменьшения даты окончания проекта) с последующей проверкой совместности модели.

В случае необходимости Н-модель может корректироваться в процессе оптимизации.

V. Управление ходом НИР или НИОКР

В рамках предлагаемого инструментария задача управления легко решается как задача сужения интервальных показателей недоопределённого плана. При этом необходимо различать

— сужения, обусловленные фактическим выполнением плана (например, сроки уже выполненных работ в модели плана должны заменяться фактическими их значениями, что ведёт к уточнению сроков разработки в целом);

— сужения, отражающие желаемые изменения показателей плана — чтобы такое сужение найти, достаточно сузить в желаемом направлении интересующие нас ключевые показатели модели, причём выбор ключевых показателей из числа показателей модели ничем не ограничен, то есть любые показатели модели можно использовать как ключевые.

Аппарат Н-вычислений при любом уточнении показателей обеспечивает автоматическую корректировку всех других интервалов показателей, связанных с произведённым уточнением.

По мере выполнения плана определяются фактические значения полученных финансовых доходов, осуществленных расходов, поступлений и потребления материальных ресурсов, сроков начала и завершения работ и т. п. В результате ввода в Н-модель этих фактических значений показателей

— уточняются параметры ещё невыполненной части плана (в частности, корректируются начальные и конечные даты неначатых и незаконченных работ в соответствии с календарной датой и текущими данными);

— меняется ширина интервалов прогнозных показателей, причём эти изменения ширины дают наглядную картину как оставшихся резервов, так и неточности знания факторов плановой задачи;

— выявляются угрозы возникновения критических ситуаций — например, обнаруживаются работы, даты начала или окончания которых находятся под угрозой срыва.

Управление ходом работ, осуществляемое на основе «точных» планов, очень часто требует пересмотра плановых показателей. При работе с недоопределённым планом его пересмотр значительно менее вероятен, поскольку план автоматически адаптируется к уточнениям показателей, возникающим в ходе работ. Тем не менее нельзя полностью исключить возможность пересмотра недоопределённого плана в ходе работ. Укажем некоторые случаи, когда пересмотр плана может понадобиться:

- изменения в структуре работ, вызванные выявившейся невозможностью либо нецелесообразностью проведения части ранее намеченных работ, а также обнаруженной необходимостью либо целесообразностью выполнения не предусмотренных до этого работ,

- изменения в последовательности работ, включая перестановки работ, обусловленные невозможностью проведения каких-либо работ в ранее намеченные сроки,

- учёт условий, в прошлом не принятых во внимание, но оказавшихся существенными в результате проведённых работ,

- изменения в составе показателей и расчётных зависимостей, вызванные изменениями в структуре работ либо составе учитываемых условий.

В процессе управления разработкой может возникать необходимость повторной оптимизации плана работ.

В процессе управления учитываются критерии оценки НИР или НИОКР и контролируется наличие резервов. В части календарного плана резервы задаются недоопределёнными интервалами начала и окончания заданий (и проекта в целом), а также недоопределёнными лагами (задержками) между последовательно выполняемыми заданиями. Отсутствие резервов делает план излишне жёстким или вообще нереализуемым.

Отметим, что существующие средства «точного» планирования не отвечают таким практически важным требованиям как

- возможность непрерывного уточнения взаимосвязанных финансовых, ресурсных, календарных и др. показателей плана в процессе его реализации,

- автоматическое определение границ значений показателей, выход за которые исключает достижение заданного результата,

- одновременное рассмотрение множества вариантов плана как единого плана с неточно заданными показателями,

- попеременное использование одного и того же показателя то в качестве задаваемого (исходного), то в качестве выходного.

Подход, предлагаемый нами, отвечает всем этим требованиям.

VI. Заключение

Основным результатом изложенного проекта явилось создание такого инструментария планирования и управления сложными поисковыми НИР и НИОКР, который путём достоверного выявления оптимальных плановых и управленческих решений

- даёт возможность рационально использовать бюджетные средства,

- обеспечивает достаточную доходность коммерческих инвестиций в работы,

- снижает риск разработок,

- позволяет сократить их сроки,

- обеспечивает выполнение других требований к разработкам.

Инструментарий сохраняет работоспособность в условиях зависимости результатов НИР и НИОКР одновременно от многих работ, при участии большого числа исполнителей, а также при наличии трудностей прогнозирования хода работ и их результатов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РГНФ, проект № 09-02-00487а.

Литература

1. *Нариньяни А.С.* Метатехнология Н-приложений // Труды научной сессии МИФИ. — 2005.

2. Система Н-вычислений Уникальк-5 / Руководство пользователя. Российский НИИ искусственного интеллекта. М.-Новосибирск. — 2007.

3. *Напреенко В.Г.* Методика экономического анализа научно-технических проектов с использованием финансовых показателей и экспертных оценок // Проблемы организационно-экономического меха-

низма научно-технической деятельности в 1996 году. — М.: ВНИИ ЭПРАНТ, 1997.

4. *Горский П.В.* Некоторые особенности экспертных опросов в социально-политической области // Труды международной научно-практической конферен-

ции «Теория активных систем». — М.: ИПУ РАН, 2003.

5. *Напреенко В.Г.* Применение технологии Н-моделей к задачам экономики и финансов // Приложение к журн. «Информационные технологии». — 2008. — № 6.

Поступила в редакцию 10.06.2009.