

Осередько Ю.С., Ларичев О.И., Мечитов А.И. Исследование процесса выбора трассы магистрального трубопровода // Проблемы и процедуры принятия решений при многих критериях / Под ред. С. В. Емельянова, О. И. Ларичева: Сб. тр. ВНИИСИ. М., 1982. № 6, с. 61-72.

*Ю. С. Осередько, О. И. Ларичев, А. И. Мечитов*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫБОРА ТРАССЫ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА**

### **Введение**

В настоящее время происходят заметные структурные сдвиги в мировом энергетическом балансе. Нефть, являясь источником энергии, ввиду своей уникальности как ценного химико-органического сырья все в большей степени замещается другими энергоносителями, такими, как газ, ядерная энергетика, гидроэнергия, уголь и другими. В этом списке природный газ по своему значению в ближайшей перспективе занимает первое место. Определяется это наличием богатых мировых запасов природного газа, широкими возможностями его транспортировки, высокими технико-экономическими показателями его применения и т. п. Природный газ является также ценным хими-

ческим сырьем, широко используемым для получения важных исходных материалов. Все это предопределяет быстрый рост мировой газодобычи и мировой торговли природным газом. В СССР по плану на 1981—1985 гг. предусмотрено довести добычу газа до 600—640 млрд. кубических метров, т. е. получить прирост 38—47 процентов.

Освоение новых газоносных структур, строительство комплексов по транспортировке, хранению и переработке газа требует значительных капитальных затрат и длительного периода освоения. При осуществлении подобных крупномасштабных проектов требуется принимать во внимание экономические, политические, социальные, геологические и другие факторы, учитывать вопросы безопасности населения, охраны окружающей среды, надежности газотранспортных систем и т. д. Таким образом, создание крупного газового комплекса представляет собой сложную задачу, в которой существенную роль играют факторы риска и неопределенности.

### Особенности экспортного газового комплекса

Среди европейских стран СССР является практически единственной страной, в широких масштабах экспортирующей природный газ. Особенность газодобычи в СССР заключается в том, что основные районы газодобычи находятся в северных, малоосвоенных районах страны и весьма удалены и от главных индустриальных центров и от возможных зарубежных потребителей газа. Это приводит к необходимости строительства сверхдальних газопроводов для снабжения газом отечественных потребителей и для осуществления экспортных поставок.

В СССР вопросы транспортировки газа в сжиженном состоянии посредством строительства заводов сжижения природного газа и последующей его транспортировки морским путем в настоящее время находятся в стадии предварительной проработки. Претворение в жизнь таких проектов возможно на севере Европейской части СССР и на Дальнем Востоке. В обоих вариантах месторождения газа значительно удалены от возможного места строительства комплекса по сжижению, хранению и отгрузке сжиженного природного газа (СПГ). По этой причине составной частью газотранспортного комплекса неизбежно является система магистрального транспорта газа от месторождения до комплекса сжижения. Газопровод, длина которого при этом составляет несколько тысяч километров, определяет стоимость всего газотранспортного комплекса и его эффективность. Это в большей степени выявляется при строительстве газопровода в суровых, необжитых районах. Анализ показывает, что при строительстве газопровода капитальные вложения составляют от 75 до 80% всей стоимости газотранспортного комплекса.

Таким образом, газопровод является существенным, а нередко и определяющим элементом газотранспортного комплекса, предназначенного для обеспечения крупномасштабных поставок газа. По этой причине, на наш взгляд, целесообразно остановиться на вопросах, связанных с рациональным выбором трассы газопровода. При выборе трассы магистрального газопровода на огромном пространстве необходимо учитывать многочисленные факторы: различные природные и социально-экономические условия, влияние на местное население, согласование с большим кругом землепользователей и административных организаций.

При создании магистрального газопровода требуется охранная зона шириной по 250—350 м от оси газопровода, регламентирующая минимальное расстояние от газопровода до жилых зданий, автодорог, сельскохозяйственных построек и других сооружений, что при протяженности трассы порядка 1 тыс. километров составляет 50—70 тыс. гектаров. Следовательно, можно сказать, что для строительства трас-

ы магистрального газопровода необходимо иметь площадку огромных размеров, выбор которой представляет собой достаточно серьезную проблему.

Вместе с тем рассматриваемая в данной статье задача имеет большое практическое значение. За 1981—1985 гг. в нашей стране планируется построить 49,5 тыс. километров газопроводов. Ускоренное развитие трубопроводного транспорта, в частности, для транспортировки газа, характерно и для мировой экономики в целом. Таким образом, проблемы, связанные с выбором трассы для подобных сооружений, становятся с течением времени все более актуальными [1].

### Описание основных факторов, учитываемых при выборе трассы магистрального газопровода

Газопровод длиной в несколько тысяч километров является сложной и дорогостоящей технической системой. Выбор трассы зависит от природно-климатических и экономико-географических условий, в том числе топографических, геологических, гидрологических, наличия естественных и искусственных преград. Все многообразие естественных особенностей местности вдоль трассы классифицируют следующим образом: равнины, пустыни, болота, вечномерзлые грунты, естественные водные преграды и горы.

Вышеперечисленные характеристики участков полностью не учитывают все факторы, влияющие на объем строительного-монтажных работ, — наличие лесных массивов, высокий уровень грунтовых вод, скальные грунты, непроходимость некоторых типов болот, образование на вечномерзлых грунтах провалов и термокарстов, глубинные и плановые переформирования русел рек, оползневые явления в горах и др. В связи с этим участки местности дополнительно подразделяются на ряд категорий, что позволяет представить идентичные особенности рельефа местности.

Необходимо принимать во внимание такие факторы, как заселенность территории, количество и величина населенных пунктов, влияющие на удлинение трассы из-за обходов; увеличение металлоемкости при утолщении стенок газопровода с целью повышения безопасности местного населения; удорожание строительства из-за вынужденного сноса ряда жилых и других строений. При этом требуется учитывать перспективное развитие населенных пунктов и городов на ближайшие 25 лет.

Ведется учет и таких факторов, как количество и качество участков земель сельскохозяйственного пользования, пересечение которых связано с затратами на рекультивацию; возмещение потерь сельскохозяйственной продукции, восстановление ирригационных систем; наличие сети автомобильных и железных дорог, упрощающих транспортную схему доставки труб, оборудования, строительных машин, механизмов и прочее, а также наличие существующих трубопроводов с вдольтрассовыми дорогами, объектов связи с энергоснабжением. Такой учет позволит значительно сократить объем строительного-монтажных работ по вновь строящемуся объекту.

Охарактеризуем основные факторы, учитываемые при выборе трассы магистрального газопровода.

**1. Приведенные затраты.** Этот фактор является наиболее общим и универсальным критерием оценки, определяемым выражением:

$$П = КС + Э,$$

где К — капитальные вложения; С — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений (для промышленных объектов принимается равным 0,12); Э — ежегодные эксплуатационные расходы.

Этот основной критерий позволяет выбрать трассу, по которой

подача газа от начальной до конечной точки потребует минимальных суммарных капитальных затрат и эксплуатационных расходов, что, однако, не гарантирует выбор действительно оптимальной трассы, так как при этом не учитываются все факторы, связанные с состоянием окружающей среды, социальные и другие, которые не поддаются полной формализации и количественной оценке [2].

Как видно из формулы, приведенные затраты определяются капитальными вложениями и эксплуатационными расходами. Капитальные вложения слагаются в основном из стоимости оборудования и трудовых затрат.

**2. Минимальный срок строительства.** Этот фактор может быть одним из решающих, когда главной задачей является быстрейший ввод в эксплуатацию трассы. Длительность строительства определяется имеющимися нормативами, а также может быть установлена в директивном порядке. В общем случае предпочтение отдается варианту, когда в зоне трассы имеются соответствующие строительные подразделения, все сезонные транспортные коммуникации или уже проложены трубопроводы с вдольтрассовыми проездами и другим инженерным обеспечением. Наряду с этим рассматривается фактор минимального изменения существующей технологии строительства, строительных машин и механизмов, а также возможность обеспечения строительства местной рабочей силой.

**3. Удобство эксплуатации.** Для обеспечения надежной работы газопровода необходимо иметь доступ ко всем его участкам для проведения профилактических осмотров и ремонтных работ в случае аварии. Возможность доступа определяется природными условиями в районе трассы газопровода и развитостью транспортной сети.

**4. Надежность эксплуатации.** Она зависит главным образом от природно-климатических условий прохождения трассы.

В ряде случаев для обеспечения безотказной эксплуатации системы транспортировки газа на наиболее сложных ответственных участках (большие водные преграды и болота, труднодоступные горные участки) практикуется укладка двух ниток трубопровода вместо одной, хотя это связано с увеличением капитальных вложений, резервированием газоснабжения путем создания подземных хранилищ в естественных формациях и др.

**5. Влияние на окружающую среду.** Сооружение магистральных газопроводов, особенно протяженностью порядка 3—4 тыс. километров оказывает большое влияние на окружающую среду. При таких масштабах неизбежны убытки: частичная вырубка леса, потери сельскохозяйственного производства при отводе земель для строительства. Эти убытки нередко оцениваются в экономических расчетах без учета долговременной перспективы и всего многообразия последствий для окружающей среды.

При прокладке газопроводов в горных районах с развитой оползневой деятельностью возникает серьезная опасность не только для окружающей среды, но и для надежности газопровода, так как при подрезке склонов (устройство полоч для продвижения строительных механизмов и укладки трубопроводов) нарушается гидрологический режим и может возникнуть мощный толчок для возникновения оползней.

При сооружении подводных трубопроводов с недостаточным заглублением в грунт возникают русловые деформации и нарушается гидрологический режим рек, что отрицательно сказывается на состоянии народного хозяйства и на безаварийном состоянии трубопровода.

Особенно чувствительна окружающая среда к деятельности человека на Севере в районах вечной мерзлоты. Известно, что основная газодобывающая база СССР переместилась в северные районы. В связи с этим магистральный газопровод от месторождения до вероятного

завода СПГ на значительной протяженности должен строиться в мерзлых грунтах.

Для предотвращения нарушения режима вечной мерзлоты и обеспечения устойчивости газопровода необходимы специальные меры по охлаждению газа. Заданный температурный режим обеспечивается соответствующими станциями охлаждения газа. Однако в процессе многолетней эксплуатации возможны нарушения температурного режима. Их влияния и последствия для фауны и флоры зоны прохождения магистрального газопровода должны оцениваться при выборе вариантов трассы.

Наконец, на окружающую среду существенно влияют факторы, связанные с эксплуатацией технологических установок. Например, известно резко отрицательное влияние шумового эффекта газотурбинных установок не только на обслуживающий персонал и жителей близко расположенных населенных пунктов, но и на окружающий животный мир.

**6. Связь с региональными планами развития.** При сооружении газопровода необходимо учитывать факторы, обуславливающие влияние на население и экономику района строительства.

Создание крупных газопроводов требует привлечения нескольких тысяч специалистов и рабочих (не исключено привлечение рабочей силы из других стран). При этом концентрация рабочей силы в различные периоды строительства и в разных пунктах объекта может резко меняться. Социально-экономическое влияние данного фактора на населенные пункты, расположенные в районе строительства, может быть довольно значительным, и этим влиянием нельзя пренебрегать при выборе трассы газопровода.

При сносе жилых строений на участках, где будет проложен газопровод, возникают проблемы, связанные с переселением людей, определением новых мест жительства.

Предметом серьезного изучения является будущая инфраструктура объекта, в частности, обеспечивающая нормальные условия эксплуатации и жизни обслуживающего персонала и их семей (объекты социально-культурного назначения, питания, медобслуживания и др.). Создание таких объектов зачастую требует значительных капитальных затрат.

При сбалансированном учете всех факторов взаимного влияния строящегося объекта и существующего социально-экономического состояния района строительства некоторые отрицательные последствия строительства могут компенсироваться, например, газификацией района, теплофикацией жилых домов и сельскохозяйственных объектов утилизационным теплом газотурбинных установок компрессорных станций, строительством дополнительных объектов социально-культурного и бытового назначения, коммуникацией и прочим.

Влияние создаваемой трассы газопровода на региональные планы развития определяют общественное мнение. Отношение административных органов и населения к предстоящему строительству газопровода, положительные меры административных органов и населения при отводе земельных участков, выдаче согласований, различных разрешений — все это в процессе строительства может значительно сократить как сроки выполнения проектно-изыскательских работ, так и процесс строительства, что дает дополнительный экономический эффект.

**7. Условия строительства.** Этот фактор определяется геологически, гидрологическими, топографическими и другими условиями трассы газопровода, а также наличием в районе развитой инфраструктуры, строительных баз и т. п. Необходимость выделения этого критерия в качестве самостоятельного фактора определяется тем, что он важен для строительной организации, которая также участвует в выборе трассы газопровода.

**8. Безопасность населения** в основном учитывается соблюдением нормативных минимальных расстояний от оси магистральных газопроводов до населенных пунктов, промышленных предприятий, отдельных сельскохозяйственных построек (животноводческих ферм), автодорог и других сооружений (охранная зона).

Тем не менее указанная мера полностью не гарантирует безопасность населения в аварийных ситуациях.

Имеется два пути уменьшения безопасности населения:

- а) повышение надежности технологических систем и установок;
- б) увеличение охранной зоны газопровода расстояний от объектов комплекса до ближайших населенных пунктов.

Следует заметить, что охранная зона и противопожарные разрывы по нормам, установленным в нашей стране, являются самыми большими по сравнению с нормами других стран, что отражается на ряде экономических показателей.

**9. Специальные разрешения.** Специальные разрешения и ограничения, обусловленные законодательствами по охране природы, рыбных запасов, полезных ископаемых, лесного хозяйства и др., а также установленные органами санитарной, противопожарной инспекций и пр., являются определяющими при выборе трассы газопровода.

Таким образом, при выборе трассы газопровода приходится учитывать множество факторов. Часть из них может быть выражена в количественном виде, другие могут быть оценены только в качественной, словесной форме. Исходные данные о различных вариантах трассы по рассмотренным критериям могут быть получены только с определенной степенью точности. Строительство газопровода связано с большими затратами, рассчитано на несколько лет и, очевидно, принятие решения по этому вопросу содержит в себе элемент риска. Необходимо учитывать неопределенность относительно надежности эксплуатации газопровода, безопасности условия его функционирования, влияния его на окружающую среду и т. п. Следовательно, выбор трассы магистрального газопровода представляет собой хороший пример многокритериальной задачи принятия решения в условиях риска и неопределенности.

### Контрольный пример выбора варианта трассы

В качестве конкретного примера рассмотрим выбор варианта трассы газопровода Кутаиси—Сухуми с отводами к городам Поти и Батуми, предназначенного для подачи газа коммунально-бытовым и промышленным потребителям. На этом примере изучим основные факторы, которые следует учитывать при выборе и опишем процедуру выбора.

На предварительной стадии изучения (камеральная проработка, полевое обследование, предварительные согласования) были отобраны три варианта генерального направления трассы: приморский, срединный и предгорный.

При этом, помимо трассы основного газопровода, учитывались трассы перспективных газопроводов—отводов к населенным пунктам и другим потребителям.

**Предгорный вариант**—кратчайший до основного газопотребителя—проходит по отрогам Эгрисского хребта. Рельеф сильно изрезан ущельями, по которым протекают горные речки. Разность отметок колеблется в пределах 700 м. В долинах располагаются мелкие селения, которые пересекает трасса. Снос строений в этих селениях неизбежен, в противном случае потребуется их обход в весьма сложных условиях.

Район селеопасный, имеются зоны распространения карстов и оползней, что при проведении строительных работ усугубляется необ-

ходимостью устройства специальных «полок» на косогорах для перемещения строительных механизмов и укладки трубопровода.

Трасса удалена от попутных потребителей. Дорожная сеть развита слабо. Обслуживание газопровода во время эксплуатации возможно в основном с вертолетов.

**Срединный вариант** проходит в зоне непосредственных потребителей газа. Рельеф равнинный, благоприятные геологические условия. Хорошо развита сеть автомобильных и железных дорог. Однако этот вариант требует сноса наибольшего количества строений и потрав ценных сельскохозяйственных культур. При строительстве газопровода необходимо также осуществить многочисленные переходы через искусственные преграды.

**Приморский вариант** проходит по Колхидской низменности. Рельеф спокойный со значительными участками ольхового леса. Имеется разветвленная ирригационная сеть. В ряде случаев не исключена прокладка трассы по болотам. Проезд по трассе затруднен, особенно в дождливый период.

Сноса строений и потрав ценных сельскохозяйственных культур по основной трассе практически нет, однако на перспективных газопроводах—отводах их довольно много. После предварительного изучения была определена область поиска конкретных вариантов трассы на топокартах, изданных по материалам аэрофотосъемки. Окончательное уточнение трассы для каждого варианта проводилось на ЭВМ по критерию приведенных затрат и при использовании цифровой модели местности.

### Сравнение вариантов

После того как основные варианты трассы газопровода были намечены, появилась возможность их сопоставления на основе приведенных выше критериев.

**1. Приведенные затраты (П).** Затраты на строительство зависели от трудности прокладки газопровода (переход через болота, реки, устройство «полок» на склонах гор и т. д.) и его эксплуатации. Наряду с этим учитывались стоимость сносимых домов (если их не удавалось обойти), выплата компенсаций за проход через сельскохозяйственные угодья. Эта стоимость определялась местными органами управления.

По критерию приведенных затрат (см. ранее приведенную формулу) три варианта трассы имели следующие оценки: приморский—8,9 млн., срединный—8,5 млн. и предгорный—10,8 млн. рублей.

Процесс строительства газопровода предусматривался в два этапа. Первый этап—строительство основной трассы газопровода и второй—прокладка газопроводов—отводов от основной трассы к потребителям. Эти этапы были разнесены как во времени, так и по источнику финансирования, сооружение газопроводов—отводов оплачивается из бюджета региональных организаций. Ввиду этого целесообразно рассмотреть отдельно два стоимостных критерия: капитальные затраты на основную трассу газопровода ( $C_1$ ) и на строительство отводов от него ( $C_2$ ). Капитальные вложения в основную трассу и на строительство газопроводов—отводов составляли соответственно: приморский вариант—31 и 9,5 млн. рублей; срединный вариант—34 и 5 млн. рублей; предгорный вариант—46 и 5 млн. рублей.

**2. Минимальный срок строительства (Т).** В соответствии с существующими нормами на строительство газопроводов сроки строительства для различных вариантов существенно не отличались. Однако с учетом опыта можно было ожидать увеличения сроков строительства для предгорного варианта из-за трудности прокладки трассы. Для приморского варианта возможны задержки в строительстве трассы на заболоченных участках и при пересечении трех крупных рек.

**3. Удобство эксплуатации (Э).** В соответствии с этим критерием наиболее трудным для обслуживания был признан предгорный вариант (доступ к основной трассе возможен в основном на вертолетах). Наилучшую оценку по этому критерию имел срединный вариант (хороший доступ ко всем участкам газопровода). Оценка приморского варианта несколько уступала оценке срединного, что определялось наличием болот.

**4. Надежность эксплуатации (Н).** При любом качестве строительства газопровода не исключается абсолютно возможность аварий. Имеющийся опыт эксплуатации газопроводов в условиях различной местности позволяет рассматривать как наименее надежный приморский вариант, где значительная часть трассы проходит в активной коррозионной среде (болота). Здесь при длительной эксплуатации газопровода имеется существенная вероятность аварий.

Примерно такую же оценку можно дать предгорному варианту, но причина здесь иная. Практика эксплуатации газопроводов в гористых местностях показывает, что вероятность аварий появляется из-за оползней, ликвидировать которые очень трудно. Наиболее надежным является срединный вариант, где условия прокладки наиболее благоприятны. К тому же при этом варианте достигаются наилучшие условия эксплуатации, что также повышает его надежность.

**5. Влияние на окружающую среду (В).** По этому критерию наиболее предпочтительным был приморский вариант, трасса которого проходила через участки Колхидской низменности, где имеется много болот. При срединном варианте трасса огибала уникальные реликтовые леса. Однако эта трасса в большей степени, чем в двух других вариантах, проходила через сельскохозяйственные угодья и наносила ущерб чайным и цитрусовым плантациям. Хотя этот ущерб был временным (только во время строительства газопровода), все же он нежелателен.

Худшим вариантом по данному критерию был предгорный. Устройство «полок» на склонах гор наносит существенный урон окружающей среде. Опыт прокладки газопроводов в горах свидетельствует о появлении таких нежелательных последствий, как оползни. Кроме того, для устройства «полок» на склонах гор необходимо отводить большие участки земли, чем при прокладке газопровода на равнине.

**6. Связь с региональными планами развития (Р).** Срединный и приморский варианты примерно эквивалентны по количеству сносимых домов (69 и 61 соответственно), а предгорный вариант существенно хуже — 136. Если рассматривать варианты с точки зрения ущерба для сельскохозяйственных культур, то худшим является предгорный вариант (129 га), далее следует срединный — 102 га и приморский — 57 га.

Однако с точки зрения региональных планов обеспечения газом потенциальных потребителей срединный вариант был намного лучше. Это определило общую положительную оценку данного варианта со стороны местной власти.

**7. Условия строительства (У).** По этому критерию, существенно зависящему от рельефа и особенностей местности, лучшие оценки имел срединный вариант. Худшими оценками характеризовался приморский вариант, а намного более худшими — предгорный.

**8. Безопасность населения (Б).** Существующие нормы прокладки газопроводов определяют необходимые минимальные расстояния от газопровода до жилых строений. Конечно, в случае аварии газопровода (утечка газа) имеется вероятность возникновения пожара. Однако при принятых рабочих давлениях и используемых марках стали эта вероятность является крайне малой.

Тем не менее по данному критерию более предпочтительным является приморский вариант, вдоль трассы которого встречается наи-

№№ пп	Критерии	Обозначения	Предпочитаемый порядок вариантов по критериям		
			приморский	срединный	предгорный
1.	Приведенные затраты (млн. руб.)	П	8,9	8,5	10,8
1 А.	Стоимость прокладки основной трассы (млн. руб.)	С <sub>1</sub>	31	34	46
1 В.	Стоимость прокладки перспективных газопроводов к потребителям (млн. руб.)	С <sub>2</sub>	9,5	5	5
2.	Минимальный срок строительства	Т	лучший	лучший	худший
3.	Удобство эксплуатации	Э	худший	лучший	намного более худший
4.	Надежность эксплуатации	Н	худший	лучший	худший
5.	Влияние на окружающую среду	В	лучший	худший	намного более худший
6.	Связь с региональными планами развития	Р	худший	лучший	худший
7.	Условия строительства	У	худший	лучший	намного более худший
8.	Безопасность населения	Б	лучший	худший	худший

меньшее количество населенных пунктов, земель сельскохозяйственного пользования и автострад. Остальные два варианта примерно эквивалентны (см. таблицу).

### Процедура выбора

Рассматривая фактические процедуры выбора, можно выделить четырех основных участников процесса выбора трассы газопровода. Прежде всего это заказчик-организация, определяющая задание на проектирование и осуществляющая эксплуатацию газопровода. Далее — организация, проектирующая газопровод. Любой проект согласовывается с региональными властями, которые представляют интересы населения, проживающего в данной местности. И, наконец, на выбор трассы оказывает влияние и подрядчик по строительству, осуществляющий сооружение газопровода.

При сравнении вариантов трассы каждый участник процесса выбора руководствуется в первую очередь определенным подмножеством из приведенного выше множества критериев. Так, проектная организация в первую очередь обращает внимание на критерии П, С<sub>1</sub>, С<sub>2</sub>, В, Б, Н. Региональные власти в первую очередь руководствуются критериями Р, В, Б, Н, С<sub>2</sub>. Естественно, что заказчик ориентируется на критерии П, Э, Н, Б. Наконец, подрядчик в первую очередь учитывает оценки по критериям Т, У.

Принятые процедуры выбора состоят в следующем. Проектная организация осуществляет анализ, связанный с прокладкой возможных трасс газопровода. После первоначальной наметки основных вариантов направление трассы по каждому из них уточняется на основе минимизации критерия приведенных затрат. Далее проектная организация определяет выбор варианта и передает предложение с информацией о всех вариантах заказчику и затем на согласование региональным властям. В обсуждении принимают участие также представители подрядчика. В приведенном выше примере по выбору трассы

проектная организация высказала свои предпочтения в пользу приморского варианта, заказчик и подрядчик — в пользу срединного варианта. При рассмотрении вариантов со стороны региональных властей возникла необходимость сопоставления намного лучших оценок срединного варианта по критериям С<sub>2</sub>, Р и Н с лучшими оценками приморского варианта по критериям В и Б. При проведении анализа региональные власти обратились к заказчику и проектной организации с просьбой попытаться найти новые технические решения, которые могли бы улучшить оценки срединного варианта по критериям В и Б, приблизив их к оценкам приморского варианта. В поисках такого решения проектная организация обосновала возможность сокращения охранной зоны при соответствующем повышении надежности путем увеличения толщины стенки газопровода. Оказалось, что при таком техническом решении существенно уменьшается количество сносимых усадеб, и стоимость срединного и приморского вариантов по критерию приведенных затрат становится близкой, несмотря на некоторое увеличение металлоемкости и стоимости трубопровода.

С учетом нового технического решения все участники процесса выбора оценили срединный вариант как наиболее приемлемый. Этот вариант и был выбран.

Приведенный выше пример является типичным примером процедуры выбора трассы газопровода. В этой процедуре имеются несколько активных участников, каждый из которых руководствуется в первую очередь своим подмножеством критериев. При оценке вариантов трассы каждый участник применяет свои критерии последовательно от более важных к менее важным, что характерно, согласно Г. Саймону, для поиска удовлетворительных решений. Отметим, что ни один из рассматриваемых вариантов не является обычно доминирующим по всем критериям. Следовательно, всегда необходим поиск компромисса. Характерной чертой реального процесса сравнения вариантов являются попытки пересмотра вариантов, попытки улучшить оценки ряда вариантов по некоторым критериям путем поиска новых решений.

### **Выбор трассы газопровода и методы принятия решений**

С точки зрения теории принятия решений рассмотренная выше задача представляет собой проблему принятия решений при нескольких лицах (организациях), принимающих решения (ЛПР), оценивающих варианты решений по ряду критериев. (Некоторые критерии могут быть общими). Большинство критериев оценки вариантов имеют качественный характер, то есть оценки вариантов по этим критериям имеют словесный, а не числовой характер. Причем надо подчеркнуть, что каждый газопровод представляет собой уникальный объект. Следовательно, точные оценки вариантов по критериям не могут быть определены, хотя опытные эксперты могут оценить варианты по этим критериям и тем более сопоставить их.

Выбор трассы газопровода представляет собой пример проблемы принятия решений при определенной (пусть даже очень малой) вероятности больших потерь.

Возникает вопрос, можно ли количественно оценить вероятность аварий (малых и больших), возможное число жертв и разрешений, связанных с этими авариями и т. д. Отметим характерные особенности данной проблемы.

1. Сравнительно небольшое количество вариантов решений при довольно большом числе критериев.

2. Уникальный характер проблемы, так как каждый газопровод представляет собой уникальный объект. Следовательно, оценки по

большинству критериев не могут быть даны на строго объективной основе прошлого опыта.

3. Оценки вариантов по большинству критериев определяются только экспертным путем. При этом важно отметить следующее:

— анализ реальных процедур принятия решений показывает, что такие оценки обычно даются экспертами в словесном виде. Естественно, эти оценки основаны на прошлом опыте, на знаниях предыдущих случаев нарушений нормальной работы газопроводов и условий, в которых такие нарушения имели место;

— отсутствие полноты в учете прошлого опыта не позволяет экспертам давать абсолютные оценки вариантов даже в словесном виде. Как было показано выше при описании критериев, для экспертов гораздо привычнее выражать свои оценки в сопоставительном виде. Для ряда критериев (например, риск повреждений, безопасность населения) такой путь получения информации является единственно возможным (если, конечно, речь идет о надежной информации).

Большие затраты средств на сооружение газопроводов делают актуальной проблему совершенствования процедур выбора. Возникает вопрос о том, что может дать применение для решения данной задачи методов принятия решений и какие методы могут быть использованы при учете описанных выше особенностей задачи.

Естественно, что этот вопрос может быть рассмотрен на двух уровнях: на уровне каждого ЛПР (проблема построения индивидуального решающего правила) и на уровне группы ЛПР (процедура согласования решений).

При рассмотрении особенностей проблемы принятия решений каждым из отдельных ЛПР отметим, что, на наш взгляд, в данном случае не пригодны методы определения общей полезности вариантов решений, такие, как ожидаемая полезность [3], многокритериальная теория полезности [4]. Есть три причины, препятствующие применению этих методов:

1) невозможность получения в количественном виде надежной информации;

2) сопоставительный характер оценок альтернатив;

3) небольшое число вариантов решений делает гораздо менее трудоемкой процедуру сопоставления вариантов, чем измерение полезности каждого из них.

При небольшом числе альтернатив более целесообразны методы компенсации [5]. Прежде всего эти методы позволяют использовать качественные оценки альтернатив, тем более — оценки сопоставительного характера. Выбор лучшего варианта осуществляется путем попарного сопоставления вариантов решений, по которым сравниваются оценки по отдельным критериям.

Дескриптивные исследования таких процедур показали возможность появления нетранзитивности [6]. Исследования показали, что при попарном сопоставлении вариантов с оценками по многим критериям люди используют упрощающие эвристики, из которых в первую очередь следует назвать: а) поочередное рассмотрение критериев; б) пренебрежение частью критериев; в) простой подсчет числа критериев, по которым один вариант превосходит другой. Несмотря на полезность для человека подобных эвристик, они могут в ряде случаев приводить к нетранзитивности.

Правда, при малом числе вариантов эта возможность не столь велика, а случаи появления нетранзитивности сравнительно легко обнаружить и устранить. Исследования дескриптивного характера показывают, каким требованиям должны отвечать нормативные методы компенсации для того, чтобы избежать искажений, вызванных ограничениями понятийной системы человека, проявляющимися при переработке многомерной информации.

Чтобы избежать применения нежелательных эвристик, необходимо, во-первых, предъявлять информацию ЛПР по частям, например, по сравнению противоречивых оценок только по двум критериям [7]. Во-вторых, если ситуация сравнения способствует применению одной из эвристик, желательно просить ЛПР об использовании другой, так как совместное применение эвристик уменьшает число ошибок.

В-третьих, желательно направлять процесс сравнения ЛПР вариантов решений, четко определять необходимость компромисса между разнородными качествами. В-четвертых, процедуры сравнения должны предусматривать способы проверки информации ЛПР на непротиворечивость.

Переходя к процедурам согласования предпочтений различных ЛПР, следует указать на возможные пути их улучшения. Основные усилия по разработке вариантов трассы делаются проектировщиками, которые первыми осуществляют сравнение вариантов. С точки зрения рациональности всего процесса решений желательно, чтобы организация-проектировщик учитывала всю совокупность критериев оценки вариантов трасс, возможные позиции других участников согласования. Конечно, ЛПР-проектировщик вносит свои предпочтения при сравнении вариантов решений даже в том случае, если он учитывает все критерии. Однако предварительная оценка позиций других ЛПР поможет ему лучше обосновать предлагаемый вариант. Предвидя возражения, ЛПР может показать заранее все отрицательные последствия выбора других вариантов, что улучшает сам процесс выбора.

### Заключение

В окружающем нас мире встречается множество проблем принятия решений при риске и неопределенности, где имеется небольшая вероятность весьма существенных потерь. Безусловно, к таким проблемам относятся проблемы добычи, транспортировки, сжижения и хранения природного газа. Любая возможность улучшения реальных процессов принятия решений при риске и неопределенности является крайне полезной. В связи с этим необходимо приложить усилия к разработке методов принятия решений, ориентированных на данный круг задач. Рациональной основой таких методов должно быть сочетание дескриптивного и нормативного подходов: знание информационных возможностей и ограничений человека должно быть основой построения нормативных методов принятия решений.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Белоусов В. Д., Блейхер Э. М., Немудров Э. М., Юфин В. А., Яковлев Е. И. Трубопроводный транспорт нефти и газа. М., «Недра», 1978.
2. Гончаров В. И., Осередько Ю. С. Вопросы системного подхода к проектированию газопроводных систем с помощью ЭВМ. Киев, общество «Знание», Украинской ССР, 1977.
3. Fishburn P. C. Utility Theory For Decision Making, Wiley, N. Y., 1970.
4. Keeney R., Raiffa H. Decisions With Multiple Objectives: preference and value trade-offs, Wiley, New York, 1976. Sciences, No. 5, 1974.
6. Tversky A. Intransitivity of Preferences, Psychological Review, No. 76, 1969, pp. 31—48.
7. Lrichev O. I., Kozhukharov A. N. Multiple criteria assignment problem: combining the collective criterion with individual preferences. Mathematiques et Sciences Humaines, No. 68, 1979, pp. 63—77.