

НОВЫЕ ГРАНИ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЛУЧЕВЫХ ДИАГРАММ.

Ю.И. Рыжиков, А.В. Алексеев, В.Л. Лохвицкий (Санкт-Петербург)

Многокритериальное принятие решений

В настоящее время, как в нашей стране, так и за рубежом ведутся активные работы по созданию *ситуационных центров* государственных органов управления и силовых ведомств. Их основной задачей считается [2] поддержка процессов принятия решений полномочными должностными лицами на основе наглядных представлений (образов) возникающих ситуаций и визуализации результатов их анализа и тенденций развития в удобном для принятия решений виде. Особые сложности возникают при управлении *военными объектами*. В работе [3] описано взаимодействие операторов в центральном посту управления американской атомной ПЛ класса «Вирджиния». Здесь на информационном табло в удобном для доклада командиру корабля формате должны найти отражение навигационная безопасность, тактическое маневрирование, средства ПВО и ПРО, средства управления ракетным оружием, РЭБ и маскировка, обеспечение безопасной эксплуатации корабельных систем и технических средств, локализации аварийных ситуаций и борьбы за живучесть (борьба с затоплением и потерей остойчивости, средства пожаротушения, средства защиты экипажа от поражающих факторов и другие). Ясно, что различные варианты «разруливания» возникшей ситуации будут по-разному влиять на вышеперечисленные возможности, и выбор командирского (управленческого) решения в общем случае далеко не однозначен. Надо полагать, что подобная задача актуальна и для отечественных боевых кораблей и иных ситуационных центров различного уровня – вплоть до национального центра управления обороной Российской Федерации (НЦУО РФ).

К сожалению, во многих практических случаях задача многокритериального выбора сводится к оценке *отдельных* показателей качества – без должного методического обоснования и обеспечения системной целостности. В лучшем случае заказчику (лицу, принимающему решение – ЛПР) представляются таблицы показателей качества для сравниваемых вариантов, трудно воспринимаемые и не дающие явного указания для предпочтения. Для агрегации частных оценок применяются алгоритмы аддитивной, мультипликативной или гармонической свертки, максимизация минимальной и максимальной эффективности и другие. Выбор метода агрегации трудно аргументируется и плохо воспринимается ЛПР. Поэтому важнейшую роль играют проблемы визуализации количественных оценок системных свойств и в особенности агрегации этих оценок – для принятия окончательного решения о выборе одного из сопоставляемых вариантов. Управленческое решение должно быть, как минимум, рациональным, т. е. обоснованным, а в идеале – наилучшим из возможных альтернатив (оптимальным). Для принятия такого решения представляются весьма полезными лучевые диаграммы – они же диаграммы Кивиата.

Лучевые диаграммы

Лучевая диаграмма представляет собой совокупность (по числу свойств сравниваемых объектов) лучей, на каждом из которых откладываются метки одного из нормализованных (деленных на максимальное либо на минимальное значение – в зависимости от знака полезности данного качества) показателей. Метки разных объектов соединяются линиями различного цвета (структуры). Образованные ими многоугольники (см. ниже) позволяют с предельной наглядностью выполнить многоаспектное сопоставление объектов самого различного назначения. В [1] с помощью лучевых диаграмм сравниваются системы поддержки принятия решений при управлении живучестью объектов морской техники повышенного риска: нефтеналивным судам с водоизмещением более 70 тыс. т. газовозам, ледоколам

и стационарным буровым платформам для ледовых условий. Квалиметрическая оценка систем проводилась по 12 показателям: конкурентность, качество, эксплуатационность, функциональность, оперативность, достоверность, устойчивость, защищенность, непрерывность, интерфейс, информативность, перспективность.

Приведенные выше примеры опирались на *штатные* возможности Microsoft Graph – подсистемы Microsoft Office, позволяющей автоматически формировать лучевые диаграммы на основе предварительно заданных таблиц. К сожалению, средства редактирования диаграмм крайне ограничены: нельзя управлять углами между осями, менять структуру линий. Отметим принципиальный недостаток в *использовании* этого инструмента: лучевая диаграмма сама по себе *дает основания для выбора, но не указывает его*. Однако отметим, что это обстоятельство характерно для всего класса решаемых многокритериальных задач – ответственность за адекватность принимаемого решения, даже оптимального, возлагается на ЛПР.

Новые идеи

Опишем идеи, примененные в разработанном [1] и развиваемом авторами программном комплексе «Лучеграмма».

Прежде всего, отметим, что в общем случае, когда среди сравниваемых вариантов нет превосходящих прочие по всем показателям, *подсознательно* выбирается вариант, ограничивающий большую площадь. Попытаемся в помощь ЛПР этот выбор *формализовать*.

Площади каждой фигуры вычисляются как сумма площадей составляющих ее треугольников:

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^M g_i g_{i+1} \sin \gamma_i. \quad (1)$$

Здесь M – число показателей, $\{g_i\}$ – «радиальные» стороны треугольников, т. е. частные показатели соответствующего варианта ($g_{M+1} \equiv g_1$), а $\{\gamma_i\}$ – центральные углы. При симметричном расположении лучей все углы равны, что позволяет сравнивать варианты по значениям легче вычисляемой

$$S^* = \sum_{i=1}^M g_i g_{i+1}. \quad (2)$$

Теперь обсудим дополнительные возможности работы с лучевой диаграммой, основанные на применении формулы (1).

Прежде всего отметим специфику учета «отрицательных» свойств, полезность которых убывает с ростом показателя. Отрицательными всегда являются затратные компоненты – стоимость, эксплуатационные расходы, вес, энергопотребление, а также время реакции, погрешности, уход гироскопа, задержки выполнения работ, нарушения правил эксплуатации систем и т. п. Для «отрицательных» свойств следует изменить *принцип нормировки*: по каждому из них минимальное значение делится на достигаемое в соответствующем варианте.

Дополнительную возможность *учета важности показателей* можно реализовать введением корректирующего множителя (индекса значимости показателя качества).

Далее, значения сумм (1) и (2) зависят от *порядка перечисления* показателей (точнее, от подбора пар). Это дает возможность применительно к каждой задаче дополнительно учесть полезность парных комбинаций показателей.

Наконец, эффект учета парных комбинаций можно усилить *изменением центральных углов* – распределением их суммы 2π пропорционально полезности пар. Разумеется, в таком

случае решение должно приниматься на основе полной версии формулы (1). Следует иметь в виду, что небольшие изменения углов заметно скажутся только на площадях секторов с острыми центральными углами.

Как построение диаграмм, так и вычисление упомянутых площадей легко автоматизировать, что, например, хорошо иллюстрируется возможностями программного комплекса «Лучеграмма» [1].

В заключение отметим, что для особенно «серьезных» задач процесс принятия решения неизбежно приобретает итерационный характер. Поэтому каждую задачу следует рассматривать как *многоэтапный проект* с именованнием версий, спецификацией каждой из них и принимаемым заключением ЛПР по ним.

Прикладная задача

В развитие ранее представленных материалов исследований по оценке качества современных сложных эргатических систем вооружения и военной техники военно-морского флота [1] авторами выполнен анализ и представляется ниже с использованием аппарата лучевых диаграмм одного из самых востребованных сегодня классов автоматизированных систем – систем информационной поддержки принятия решений и управления (СПРУ).

Особая актуальность совершенствования СПРУ сегодня обусловлена существенно возросшими в результате интенсивного внедрения качественно новых информационных технологий функционала и архитектуры автоматизированных систем управления ВМФ. Это привело к качественному усложнению процессов и ответственности за принимаемые решения командирами кораблей, командирами боевых частей и других лиц, принимающих управленческие решения (ЛПР). Как следствие, возрастает возможность принятия неэффективных и даже ошибочных решений, особенно в критических ситуациях – например, при борьбе за живучесть корабля.

Поэтому особое значение приобретает задача оптимизации выбора варианта проектных решений построения и использования СПРУ, в первую очередь, командира корабля, командиров боевых частей и других ЛПР.

В [2] приведен комплекс исходных данных для ранжирования качества вариантов интеллектуальной поддержки принятия решений и управления борьбой за живучесть корабля, судна для 2 моделей индексов значимости критериев и по 7 альтернативным вариантам СПРУ с соответствующими характеристиками:

Вариант 1 «1.МДО.о7» – ранее обоснованный в ходе ОКР «Поддержка-У» перспективный вариант системы информационной поддержки (СИП) решений капитана танкера «Михаил Ульянов» [2];

вариант 2 «2.Аналог «Алмаз»» – аналогичный вариант СИП командира БЧ-5, реализованный по ранее созданной технологии в соответствии со «Способом обеспечения безопасности корабля» по заявке на изобретение № 2006105423/09 (21.02.2006);

вариант 3 «3.Без СПРУ» – без использования технологий и алгоритмов СИП и их развития в СПРУ;

варианты 4 - 7 – исследовательские с последовательно наращиваемыми характеристиками варианты СИП: «4.В-ЛСЛ», «5.В-ГИГ», «6.В-УНП», «7.В-СГН» при решении, в первую очередь, командиром БЧ-5 задач по обеспечению безопасной эксплуатации технических средств корабля (ОБЭ), локализации аварийных ситуаций и аварий (ЛА), борьбе за живучесть корабля (БЖК).

В результате комплексного анализа с использованием представленной технологии на рис. 1 и 2 приведены лучевые диаграммы, построенные с использованием программного

средства «Лучеграмма» для более четырех десятков значимых показателей семи альтернативных вариантов архитектурного и функционального построения СПРУ командира корабля при решении задач ОБЭ, ЛА и БЖК.

В верхней части рис. 1 представлены ярлыки вызова обработанных вариантов. В левой части окна для текущей версии содержится скорректированный список показателей (из первоначального были исключены показатели, имеющие равные значения для всех вариантов). Предусмотрены окна для именования версии и комментариев к ней, указаны шаги его обработки, показаны нормированные значения оставшихся показателей и результирующие суммы парных произведений. В правой части окна показана текущая версия диаграммы с расположенными внизу возможностями ее редактирования (толщина, стиль и цвет линий).

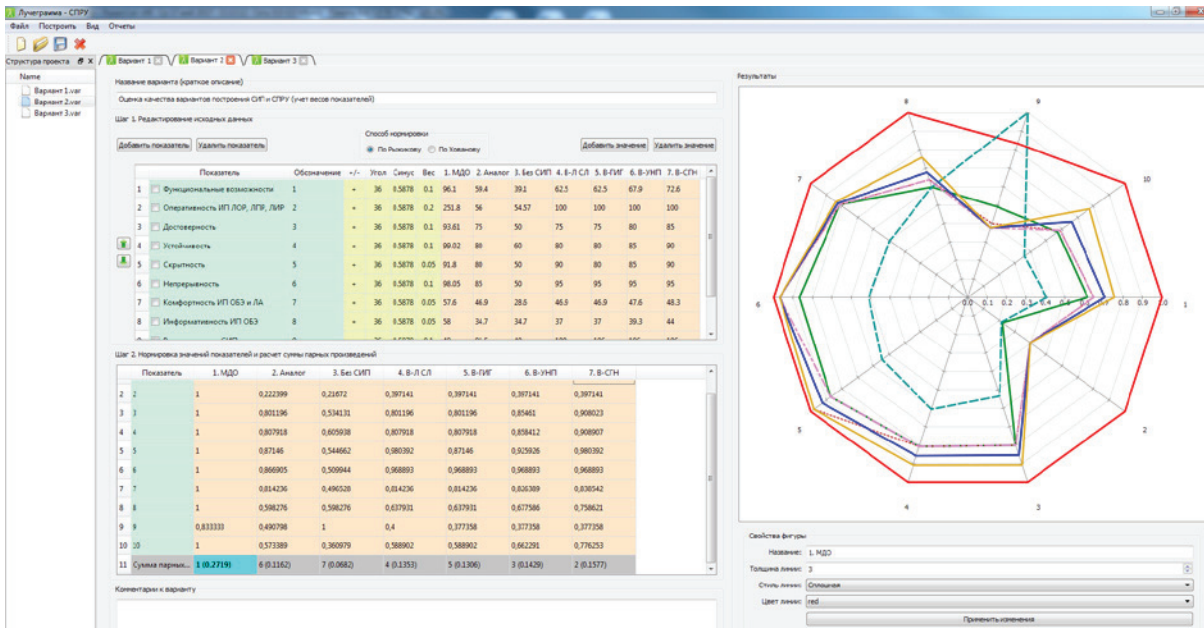


Рис. 1. Результаты многокритериального анализа качества альтернативных вариантов построения СПРУ с использованием программного комплекса «Лучеграмма»

В результате выполненного комплексного анализа выявлены качественно новые грани возможностей технологии лучевых диаграмм и реализующего её программного комплекса «Лучеграмма», среди которых:

1. Системная целостность визуализации свойств анализируемых объектов с отражением их значимости (чувствительности) влияния на качество объекта в целом. Это обстоятельство приобретает особо важное значение при решении проблемы учета сложности современных эргатических систем, в том числе классов СИП и СПРУ.

2. Практическая доступность и широкие возможности в процессе исследовательского проектирования итерационного поиска предпочтительных и оптимального вариантов выбора параметров объектов анализа и их соотношений (комбинаций), в том числе в варианте концепции полимодельного анализа и синтеза.

3. Возможность квалитетического решения проектной задачи многокритериального анализа и синтеза (выбора, рис. 1, 2) среди всего множества возможных параметров, наиболее чувствительных к наращиванию интегрального показателя качества (площади лучевых диаграмм качества) и соответствующего качества объекта анализа.

4. Визуальная доступность и широкие возможности решения проектных задач оптимизации параметров синтезируемых проектных решений для одновременной работы групп проектировщиков по технологии «мозгового штурма» и аналогичным.

5. Удобство использования и широкие возможности интерпретируемости получаемых результатов анализа и синтеза в процессе исследовательского проектирования, а также их использования при полимодельной оптимизации проектных решений.

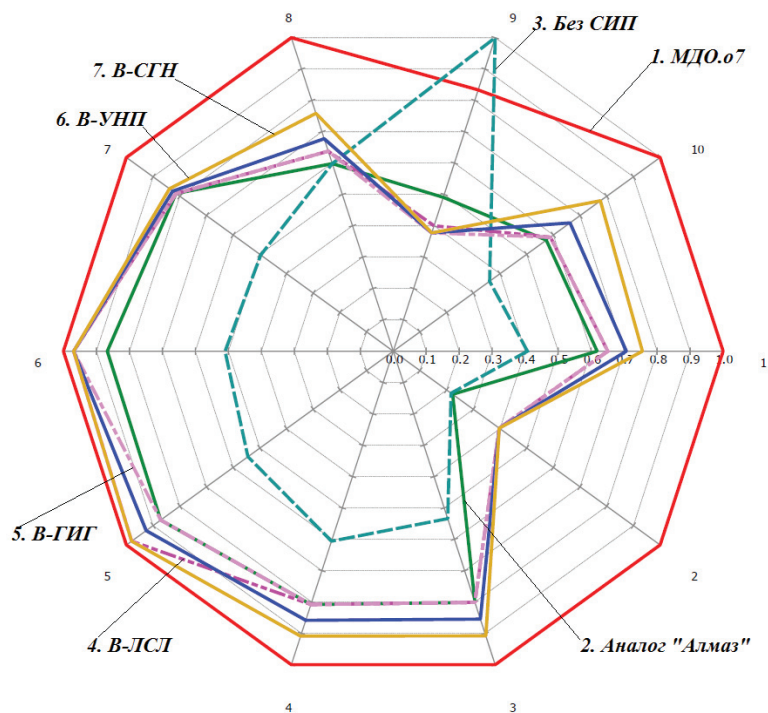


Рис.2. Лучеграмма с подписями графиков сравниваемых вариантов

Следует отметить, что приведенные результаты далеко не тривиальны, а полученное преимущество (1. МДО.о7) – является, например, даже неожиданным в сравнении по данным рис. 1 вариантов 4–7 с вариантом 1, который наряду с существенным наращиванием функциональных возможностей (более 40% по показателю 1.1) обладает меньшими затратными показателями (более 37% по показателю 9.3) и напряженностью несения вахтенной службы (более 25% по показателю 7.2).

С другой стороны, нетривиальное изменение модели оценивания и значений индексов значимости критериев в Модели 2 по отношению к Модели 1 с соответствующим отношением предпочтения группового показателя качества «ГПК: 1.Функциональность» (увеличен на 10%) в сравнении с «ГПК: 2.Оперативность ИП, %» (уменьшен на 10%), как показывает анализ лучевых диаграмм на рис. 2 в сравнении с рис. 1, также приводит к повышению оценки качества СПРУ более чем на 4%, что при многокритериальном анализе сложных эргатических систем весьма перспективно.

Это обстоятельство только подтверждает сложность и неоднозначность решения задачи вариантного проектирования, комплексной оценки качества, а тем более оптимизации сложных человеко-машинных (эргатических) систем и принципиальную необходимость квалиметрического подхода к сравнению свойств, характеристик и возможностей современных, в первую очередь, боевых комплексов и систем.

Подчеркнем, что обоснованная корректировка исходных данных для каждой версии (списка показателей, порядка их следования, углов между осями, масштабов по осям), а также окончательное решение по выбору оптимального варианта являются прерогативой исключительно ЛПР. Разумеется, это лицо при окончательном решении может учитывать дополнительные факторы (вплоть до политических соображений), не включенные в диаграмму. При этом подразумевается не только возможность, но и соответствующая ответственность ЛПР за качество принимаемого решения.

В этом контексте использование технологии лучевых диаграмм и современных программных комплексов типа «Лучеграмма» позволяет одновременно реализовать такую сравнительно новую грань возможностей лучевых диаграмм, как повышение качества

и ответственности ЛПР за принимаемые решения, их обоснованность и тем самым, как представляется авторам, оказать определенное влияние на снижение негативного влияния субъективных свойств ЛПР («человеческого фактора») при развитии современных сложных морских человеко-машинных комплексов и систем ВМФ.

Заключение

Предложенный аппарат и инструментарий лучевых диаграмм является достаточно универсальным, гибким и наглядным инструментом принятия многокритериальных решений, может и уже находит применение при комплексном обосновании выбора альтернативных вариантов проектных решений. Еще большую значимость это имеет при выборе проектов типов кораблей, систем связи и вооружения, средств кораблевождения, инженерных систем различного назначения, а также организационных и тактических решений, вплоть до их использования при анализе эволюции (динамики) и прогнозирования развития отдельных классов и систем вооружения ВМФ (построения серии диаграмм на последовательные моменты времени), реализации возможностей наращивания компетенций (на своих уровнях) ЛПР и его аппарата (штаба).

Литература

1. **Рыжиков Ю.И., Алексеев А.В., Лохвицкий В.А.** Флотские проблемы и лучевые диаграммы / Третья международная научно-практическая конференция «Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем» – «ИКМ МТМТС 2015». Труды конференции. СПб, 2015, С. 121–125.
2. **Алексеев А.В., Сус Г.Н., Ушакова Н.П.** Системный анализ и ранжирование качества вариантов интеллектуальной поддержки принятия решений и управления борьбой за живучесть корабля, судна. Спб.: ГНЦ РФ АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2016. С. 786–790.
3. Информационные технологии в системе управления силами ВМФ (теория и практика, состояние и перспективы развития). Спб.: Элмор, 2005. 832 с.