DOI: 10.25728/mlsd.2022.0854

ФАКТОР СТРАТИФИКАЦИИ В ОПТИМИЗАЦИИ КРУПНОМАСШТАБНЫХ, АВИАЦИОННЫХ, ФУНКЦИОНАЛЬНО ОДНОРОДНЫХ ВИТАСИСТЕМ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

Алакоз Г.М., Пляскота С.И.
АНО «Секция «Инженерные проблемы стабильности и конверсии»
Российской инженерной академии»
Россия, г. Москва, Газетный пер., дом 9, стр.4
gen1nor2@gmail.com, plyasser@gmail.com

Аннотация: Показана роль стратификации функционально однородных крупномасштабных витасистем в задаче проектирования систем отображения информации коллективного пользования (*СОИ КП*) *авиационно-космического назначения. Рассмотрены принципиальная структура и общие задачи СОИ КП и на этой основе продемонстрированы основные принципы построения и методы решения частных задач ее структурно-параметрической оптимизации.*

Ключевые слова: крупномасштабные витасистемы, средства отображения информации коллективного пользования, стратификация функционально однородных витасистем.

Введение

Всякая крупномасштабная витасистема [1] (КВС) есть совокупность взаимо(со)действующих подсистем меньшего масштаба. Структура таких подсистем, как правило, иерархична и гетерогенна. Подсистемы, разбиение которых на более мелкие нецелесообразно или невозможно в силу тех или иных обстоятельств, обычно рассматриваются в качестве элементов (модулей) или неделимых единиц конкретного проекта синтеза или функционирования КВС, которые не обязательно идентичны. В настоящей работе рассматриваются специфические аспекты проектирования модульно-гомогенных КВС, которые базируются на иерархическом объединении функционально однотипных элементов-модулей, характеризующихся номенклатурной бедностью своих элементов. Примерами таких функционально однородных КВС могут служить городские агломерации, вычислительные сети, системы отображения информации коллективного пользования (СОИ КП), хранилища различного рода ресурсов (материальных, информационных, энергетических) общего пользования и др. Масштаб, «размер» или структурная сложность модулей таких КВС диктуются соображениями «удобства» или рациональности их использования с точки зрения различных субъектов – производителей, эксплуатантов, потребителей и т.п. Например, в градостроительстве в качестве элементов зданий и сооружений могут рассматриваться и функционально законченные комнаты-модули, и железобетонные панели, и традиционные кирпичи, и мелкофракционные смеси песка, цемента, щебня, металла и т.п. Заметим, что чем ниже функциональная завершенность (в строительстве – меньше габариты) модулей, тем большее разнообразие функционально-законченных подсистем (здесь – зданий и сооружений) достижимо в фазе их формирования на основе модулей (строительства). Поэтому разработчик КВС всегда вынужден искать компромисс между структурно-функциональным полиморфизмом и стоимостью элементов-модулей, начиная с синтеза «однородных» КВС и заканчивая их утилизацией. При этом затраты ресурсов (временны́х, материальных, энергетических, финансовых и информационных) на всех фазах разработки, производства эксплуатации и обслуживания модулей зависят от структуризации соответствующих подсистем, и они находятся в обратной зависимости от уровня их полиморфизма. Для разработчиков КВС авиационно-космического назначения данная задача усложняется еще и тем, что ее решение требует учета потенциала функционального развития за весь период нахождения изделия в эксплуатации.

Цель работы – поиск путей и методических подходов к стратификации однородных КВС в задаче проектирования СОИ КП авиационного назначения.

1 СОИ КП как КВС

СОИ КП авиационного назначения служит достаточно типичным представителем класса функционально однородных КВС и, несмотря на свою простоту и наглядность, не ограничивает общность поставленной задачи, за исключением конкретных примеров моделирования и расчетов.

1.1 Формализованное представление СОИ КП авиационного назначения

Основным отличительным признаком интересующих нас КВС является реализуемая ими *функция*

одновременного (*синхронного*) *коллективного восприятия и анализа* больших массивов данных произвольного вида, в реализации которой задействованы материальные ресурсы как живых, так и технических систем. В оборонной сфере примерами таких КВС, соответствующих областям применения СОИ КП, могут служить:

A. КП различного уровня, включая:

- КП подразделений, частей, соединений, главных штабов родов войск, видов КВС РФ, Генштаба КВС РФ, КП силовых структур;
- АСУ войсками и силовыми структурами, АСУ подготовки и пуска ракет космического назначения и управления орбитальными средствами;
- системы глобального и локального мониторинга боевых действий;
- системы управления комплексными, воздушными, наземными, морскими экспериментами в испытательных центрах и на испытательных полигонах МО РФ;
- компьютерные системы поддержки принятия решений тактического, оперативного и стратегического уровней;
- системы воздушной и космической разведки и т.п.;

B. Тренажеры, в том числе:

- комплексные тренажеры, предназначенные для обучения как пилотированию (управлению) летательных аппаратов (пилотируемых и беспилотных), так и применению оружия;
- тренажеры бомбометания;
- тренажеры артиллерийской стрельбы;
- стрелковые тренажеры;
- тренажерные установки для имитации пуска управляемых ракет;
- тренажеры систем управления и средств связи, включая классные тренажеры самостоятельных и совместных боевых действий воинских подразделений в различных видах вооруженных сил и родах войск и т.п.;

C. Комплексы моделирования боевой обстановки и взаимодействия войск (группировок ЛА – для авиационной сферы).

КВС такого рода можно отнести к *ситуационным* (рис.1), понимая под ситуацией вариабельную процедуру, включающую последовательность событий, процессов или действий, которые могут быть как реальными, так и искусственно созданными, смоделированными, и которые характеризуются как минимум одним из следующих признаков:

- масштабность (территориальная, пространственная) и протяженность во времени;
- многосвязность, т.е. зависимость от большого числа факторов, часто слабонаблюдаемых и слабоконтролируемых;
- массовость (в ситуации принимают участие большое количество субъектов и/или объектов).

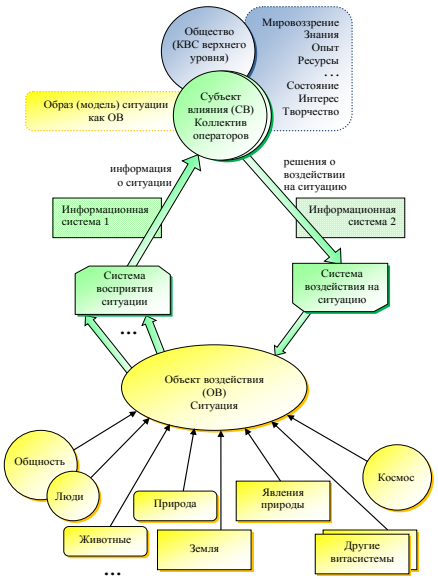


Рис. 1. Принципиальная структура ситуационной КВС общего вида

Иными словами, ситуация определяется как *объект воздействия* (ОВ) в КВС. Вследствие проявления названных признаков (хотя бы одного) любая ситуация как ОВ оказывается непредсказуемой и слабо управляемой, а основными ее атрибутами следует признать: *а*) – неопределенность (или информационную насыщенность), *б*) – формальное разнообразие происходящих внутри нее процессов и *в*) – их высокий темп.

Субъектом воздействия (СВ) в ситуационной КВС является коллектив операторов (участников) так называемой ситуационной задачи, которая независимо от назначения КВС разбивается на две подзадачи:

1. восприятие ситуации;
2. воздействие на ситуацию.

Каждая из этих подзадач, в свою очередь, может включать следующие элементарные функции, такие как:

- наблюдение за ситуацией;
- фиксация (документирование) параметров развития ситуации;
- анализ ситуации;
- оценка ситуации (сравнительное наблюдение и/или сравнительное документирование, распознавание ситуации);
- формирование управляющего воздействия (принятие решения);
- реализация управляющего воздействия;
- оценка развития ситуации в процессе воздействия (или после такового).

Важным обстоятельством является то, что указанные функции (хотя бы некоторые из них) выполняются *коллективным* СВ и не могут быть выполнены иначе в силу не только собственной сложности ОВ, но и ограничивающих условий, сформулированных надсистемой, а также правил взаимодействия с другими КВС. В данном случае надсистемой является КВС более высокого уровня.

Например, для КП авиационного полка (КП ап) иерархия надсистем (по возрастанию уровня) может выглядеть следующим образом: КП воздушной дивизии, КП воздушной армии, ГШ ВКВС, Генеральный штаб Вооруженных Сил РФ, Правительство страны, население страны (народ, нация), человеческое сообщество, ноосфера. Каждая из этих надсистем устанавливает условия, которым должно соответствовать функционирование рассматриваемой КВС. Так по отношению к КП ап:

- мировое сообщество в лице ИКАО устанавливает международно-правовой режим полетов над международными территориями (открытым морем, международными проливами, не перекрывающимися территориальными водами прибрежных государств, Арктикой, Антарктикой);
- Правительство РФ устанавливает правила выполнения полетов над собственной территорией соответствующими положениями Воздушного кодекса России, согласованного с международными нормами;
- Вооруженные Силы РФ устанавливают порядок взаимодействия с частями других видов ВС РФ и родов войск, правила выполнения поставленных боевых задач, положения боевого устава, нормы и регламенты технической эксплуатации АТ, которые утверждаются соответствующими законодательными актами Правительства РФ;
- ГШ ВКВС ограничивает выполнение поставленных задач рамками соответствующих приказов и распоряжений;
- различного рода службы (инженерная, штурманская, полигонная, боевой подготовки, метрологическая и др.) в структуре ВКВС, воздушных армий и дивизий устанавливают требования к соответствующим аспектам эксплуатации авиационной техники в специализированных наставлениях и нормативных документах.

Многомерность приведенного перечня условий, положений и требований (в большой степени сокращенного), сложность ОВ (авиационный полк) требуют многомерности мышления задействованного персонала, способного на основании поступающей на КП ап информации, уровня подготовленности, специализации и связанного с ними *собственного образа (модели) ситуации как ОВ* выполнять перечисленные выше элементарные функции в реальном масштабе времени. Следует отметить, что ряд указанных функций достаточно эффективно выполним без участия либо при незначительном участии человека (например, документирование данных), в то время как другие, такие как принятие управленческих решений, не поддаются автоматизации в полной мере и связаны с определенным уровнем ответственности лица, принимающего решения (ЛПР). Отметим, что в

коллективной работе при синхронном восприятии одной и той же информации обеспечивается наиболее простой способ не только обмена мнениями и выработки на их основе рационального управляющего решения, но и разделения персональной ответственности за выполняемые функции.

Приведенное представление СОИ КП ап можно считать формализованным исходя из того факта, что согласно отечественной физиологической школе (И.М. Сеченов, И.П. Павлов, В.М. Бехтерев, П.К. Анохин и др.) первым шагом любой формализации является вербальное описание системы, способное представлять все материальное. Благодаря этому удается распространить [2] первоосновные для живых организмов и материи преобразования «информация-энергия», «энергия-информация» на типовую схему информационно-энергетического кругооборота в витасистеме, которая может быть применена для моделирования большого числа ситуационных КВС.

1.2 Принципы построения СОИ КП

Во всех случаях создания и применения ситуационных КВС за человеком (субъектом влияния) остается творческая функция – образование и совершенствование мысленного образа объекта воздействия и функционального содержания действия витасистемы в условиях подготовки и выполнения заданных правил и принятых решений. Важную роль в этом процессе принадлежит системам отображения информации коллективного пользования, принципы построения которых могут быть сформулированы, исходя из их места в рассмотренных ситуационных витасистемах.

1. Принцип адекватности ситуации – основной принцип функционирования любой СОИ. СОИ КП должна обеспечивать отражение с максимальной достоверностью процессов, происходящих в объекте воздействия, т.е. тех процессов, которые характеризуют рассматриваемую ситуацию.
2. Принцип своевременности. Информация должна поступать в СОИ КП с минимальными задержками и обновляться в реальном масштабе времени (РМВ) в течение всего периода развития ситуации.
3. Принцип многоаспектности (разнообразия). Отображаемая информация должна характеризовать ситуацию максимально широко с тем, чтобы ее анализ был доступен большому числу специалистов.
4. Принцип гибкости. В СОИ КП должна быть предусмотрена возможность настройки на заданную предметную область.
5. Принцип реалистичности (наглядности). Видео и фоторяды, представляемые в СОИ КП, должны в максимальных подробностях отражать содержание происходящих процессов и обеспечивать возможность для каждого из операторов погружения в виртуальную реальность, воссоздающую события анализируемой ситуации.
6. Принцип экспресс-аналитичности. В СОИ КП должны быть предусмотрены средства, обеспечивающие выполнение процедур анализа, обновления и представления данных (в виде графиков, диаграмм, иконограмм и т.п.) в темпе поступления новых сведений, т.е. в РМВ.
7. Принцип интерактивности. Операторы должны иметь возможность выбора необходимых сведений в процессе всего цикла анализа ситуации.
8. Принцип подобия (ассоциативности). Отображаемые СОИ КП данные целесообразно представлять операторам в виде знакомых им по их профессиональной деятельности объектов, например, в форме приборных панелей, индикаторов, шкал, гистограмм и т.п.
9. Принцип воспроизводимости. В СОИ КП должны быть предусмотрены механизмы регистрации и многократного воспроизведения информации.
10. Принцип безопасности (эргономичности). СОИ КП должна обеспечивать комфортное и безопасное для здоровья операторов отображение визуальной информации в течение заданного периода времени (как правило, нормированной смены работы операторов).
11. Принцип совместимости. Аппаратура и программное обеспечение СОИ КП должны быть совместимы как между собой, так и с аппаратурой и программным обеспечением внешних источников и потребителей информации, т.е. совместимы по внутреннему и терминальным (входному и выходному) интерфейсам.
12. Принцип масштабируемости (модульности). СОИ КП должна состоять из отдельных типовых модулей (видеомодулей), которые должны обеспечивать масштабирование пространства представления информации.
13. Принцип мобильности (транспортабельности). Аппаратура из состава СОИ КП, включая видеомодули, должна быть приспособлена к транспортировке автомобильным, воздушным и водным транспортом.
14. Принцип взаимозаменяемости (ремонтопригодности). Видеомодули СОИ КП и их составные

части должны быть взаимозаменяемы силами эксплуатирующей организации.

Применение принципа адекватности (принципа 1) для целей разработки СОИ КП в различных их областях применения (А, В, С) в силу глобального характера принципа может быть сведено к оценке следующих основных компонент адекватности [3]:

1.1 адекватность целей и условий;
1.2 адекватность обстановки (внешней среды);
1.3 адекватность интерьера (рабочих мест операторов);
1.4 адекватность информационных потоков;
1.5 адекватность математического моделирования;
1.6 эргономическая адекватность;
1.7 психологическая адекватность.

Очевидно, приведенные принципы имеют разный «вес» в различных отраслях применения СОИ КП. В частности, вопросы своевременности представления информации (принцип 2) не имеют существенного значения в СОИ моделирующих комплексов (область С) в силу того, что отображаемая ситуация сама по себе носит виртуальный характер. Но все СОИ КП военного назначения объединяет *принцип адекватности*, главным источником нарушения которого служит неадекватность процессов хранения и преобразования информации в живых и технических системах [4].

Поэтому в СОИ КП, как и в других информационных системах при любых способах воспроизведения «чего угодно», возможны ошибки двух типов: ошибки, не влияющие на успешность воспроизведения, и ошибки, препятствующие ему. Первые можно назвать «наследуемыми», а вторые «летальными», ибо они прерывают цикл воспроизведения ситуационной информации и тем самым обрекают эту информацию на гибель [5]. Если считать, что вероятность возникновения одной ошибки постоянна на одну букву сообщения, то, следовательно, вероятность ошибки на сообщение в целом будет возрастать с его длиной, т.е. с величиной емкости информационного ресурса, это сообщение содержащего. Если частота таких ошибок приближается к критическому значению, требуются меры по снижению частоты ошибок или помогающие компенсировать их в случае возникновения. Для визуальной информации в системах управления СОИ КП должны предусматриваться защищенные каналы передачи информации и резервные средства получения исходных данных в системах сбора ситуационной информации. Это требование наиболее критично для СОИ КП из области применения А (КП различного уровня).

2 Выбор рациональных схем построения СОИ КП как итерационная задача

Задача обоснования и выбора рациональных схем построения СОИ КП как задача разработки любого наукоемкого изделия имеет многоэтапный и принципиально итерационный характер, сужающий пространство выбора.

На первом этапе формируются системные требования к основным характеристикам СОИ КП. С позиции надсистемы, взаимодействующих систем и внешней среды формулируются взаимоотношения СОИ КП с указанными компонентами. Отметим, что корректировка системных требований происходит всякий раз, когда изменяются потребности субъектов влияния витасистем, важным элементом которых оказываются СОИ КП.

На втором этапе, исходя из системных требований, обосновывается и выбирается технологическая основа СОИ КП. Будем считать, что путем экспресс-анализа, мы остановились на российской видеопроекционной технологии в силу того, что в настоящее время рациональные способы создания составного экрана с приемлемой шириной межмодульного зазора (не превышающей размера элемента отображения – пикселя) реализованы только в рир-проекционных системах (в системах прямой проекции сложно выделить видеомодуль). Вместе с тем, не исключено, что с появлением конструктивно простого и дешевого способа создания «бесшовных» видеостен из видеопанелей – плазменных, жидкокристаллических, *OLED* или, например, *FED, SED* и др. – возникнет потребность в возврате к этому этапу и выполнении очередной итерации по выбору приемлемой технологии отображения информации.

Третий этап состоит в формировании требований к видеомодулям как компонентам СОИ КП. Возможность итерации по выполнению этого этапа не исключена, например, по причине появления прорывных результатов в микродисплейных технологиях или, например, вследствие освоения промышленного производства новых надежных, эффективных и дешевых источников света. Также повторное выполнение этой фазы непременно потребуется в случае, например, смены технологии визуализации на предыдущем этапе.

Четвертый этап заключается в постановке и решении задачи оптимизации или «рационализации» СОИ КП с точки зрения некого составного критерия. Этап основывается на построении моделей взаимодействия СОИ

КП, субъекта влияния (коллективного оператора) и витаситемы, как системы верхнего уровня. Этот этап итерационен по своей сути, т.е. по мере уяснения (уточнения) субъективных потребностей, – а СОИ КП создается для людей, – и/или возникновения новых исходных данных (например, в ходе эксперимента) требуется уточнение моделей, а, следовательно, повторные постановки и решения оптимизационных задач. Не исключая возможности применения в качестве критериев рациональности (оптимальности) СОИ КП функционалов (инвариантов) воспользуемся критерием «цена-качество».

Таким образом, процесс исследования, обоснования и выбора рациональных схем построения СОИ КП может быть представлен в виде так называемого полновозвратного графа состояний [6], переходы между которыми носят вероятностный характер, а затраты на каждом из этапов (состояний) характеризуются начальными функциями распределения. Для четырех этапов рассмотренной задачи соответствующий граф приведен на рис. 2.

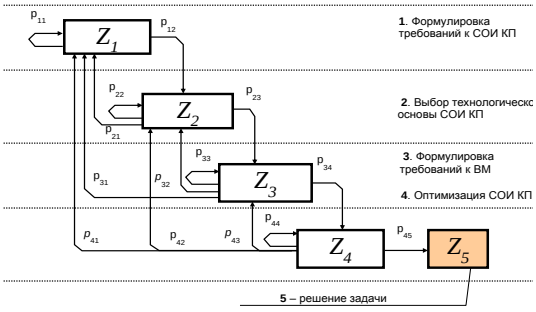


Рис. 2. Структура задачи обоснования и выбора рациональных схем построения СОИ КП: Z_i , $i = 1..4$ – этапы решения задачи, Z_5 – поглощающее состояние, p_{ij} – стационарные вероятности переходов

Имея матрицу переходов процесса решения задачи

$$\boldsymbol{H}(t) = ||H_{ij}(t) = p_{ij}F_i(t); i,j = \overline{1,n}||, \quad (1)$$

где $F_i(t)$ - функции распределения ресурсов на выполнение i-го этапа,

возможно минимизировать кумулятивные затраты на оптимизацию СОИ КП путем решения уравнений вида

$$\boldsymbol{S_i(t) = k_i F_i(t) + (1 - k_i) \int_0^t S_i(t-\tau) dF_i(\tau), i = \overline{1,4},} \quad (2)$$

где $k_i = 1/(\boldsymbol{I} - \boldsymbol{P})_{ii}^{-1}$;

$S_i\,(t)$ – функция распределения кумулятивных затрат на i-м этапе (в состоянии Z_i);

$F_i\,(t)$ – исходная функция распределения затрат на i-м этапе (в состоянии Z_i);

$\boldsymbol{P}$ – матрица переходных вероятностей вложенной марковской цепи;

$\boldsymbol{I}$ – единичная матрица.

Подчеркнем, что функции плотности распределения кумулятивных затрат на этапах подобных задач носят сложный, *полимодальный* характер (рис. 3).

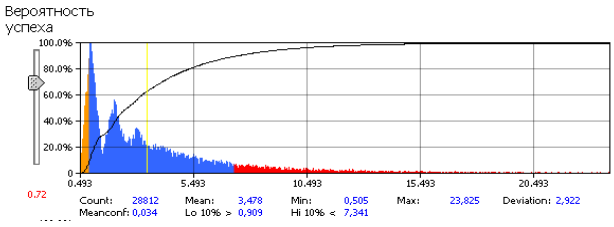


Рис. 3. Вариант моделирования кумулятивных затрат на этапе решения задачи для Бета-распределенных исходных ресурсов

В настоящей работе мы не ставим себе цель заниматься решением уравнений вида (2), а приводим их только лишь для иллюстрации, подчеркивающей сложность и принципиально итерационный характер задачи

выбора рациональной СОИ КП как сложной, поэтапно развивающейся и поэтому технологически реализуемой и практически полезной каждой эволюционной версии витасистемы[1].

3 Постановка задачи оптимизации структуры СОИ КП

3.1 Общая постановка

Рассмотрим четвертый этап задачи обоснования и выбора рациональных схем построения СОИ КП.

Ранее упоминалось об обратной зависимости затрат ресурсов (временных, материальных, энергетических) на фазах разработки и производства модулей и соответствующих подсистем. Это дает основание для построения инвариантных функционалов вида

$$\boldsymbol{C_i = F_i\big(F_{i-1}(t, m, e)\big) = F_i(C_{i-1})}, \tag{3}$$

где t, m, e – массивы времени, материального субстрата (условно – массы или ее пространственной плотности), энергии, характеризующие соответствующие ресурсы на создание, производство и эксплуатацию структурных компонент КВС;

$i=1,\ldots,k$ – индексы рассматриваемых уровней разбиения КВС.

Учитывая фрактальную природу структуры КВС (что для однородных КВС является атрибутивным свойством), можно выразить инварианты C через единую фрактальную размерность КВС. С одной стороны, такая процедура позволит упростить формальное описание КВС, с другой – может оказаться одним из факторов неадекватности, поскольку для сложных, пусть даже и однородных, систем структурное описание с помощью абстрактных фракталов крайне затруднительно и требует дополнительных предметных исследований. С практической точки зрения для постановки указанной задачи удобно использовать экономический эквивалент затрат ресурсов – стоимостные показатели, а именно стоимость СОИ КП выразить в виде функции от числа видеомодулей n и вектора показателей их качества $\boldsymbol{\omega}$

$$C_{\text{СОИ}} = C_{\text{СОИ}}(n, \boldsymbol{\omega}). \tag{4}$$

где $\boldsymbol{\omega} = (\omega_j, j = \overline{1,m})$– вектор показателей качества СОИ КП;

n – число ВМ в структуре СОИ КП.

В качестве показателей качества (факторов влияния) могут рассматриваться все характеристики (параметры) ВМ, которые оказывают влияние на потребительское качество СОИ КП и подлежат нормированию (ограничиваются требованиями ТЗ).

Отметим, что отдельные компоненты цены СОИ КП практически не зависят от его показателей качества и наоборот, не все показатели качества оказывают влияние на стоимость тех или иных составляющих общей цены. Во всяком случае, эта оговорка не противоречит общей постановке задачи структурной оптимизации СОИ КП, которую можно представить как задачу оптимального раскроя прямоугольного экрана заданных габаритов на равновеликие компоненты, обладающие заданными характеристиками (светотехническими, эксплуатационными и др.), которые зависят от параметра раскроя – числа ВМ n.

Таким образом, постановку задачи структурной оптимизации СОИ КП можно представить в следующем виде.

Найти

$$n_0 = \underset{n}{argmin}\ C_{\text{СОИ}}(n, \boldsymbol{\omega}) \tag{5}$$

при условии выполнения ограничений $\boldsymbol{\omega}_i \in \boldsymbol{\omega}_{mp}\ \forall i = \overline{1,n}$,

где $\boldsymbol{\omega}_{mp}$ – вектор ограничений.

Для решения этой задачи необходимо последовательно, во-первых, избавиться в (4) от компонентов, не зависящих (или практически не зависящих) от числа ВМ n и показателей качества $\boldsymbol{\omega}$, во-вторых, установить функциональные зависимости оставшихся стоимостных показателей от n и $\boldsymbol{\omega}$ и, в-третьих, воспользоваться одним из известных методов решения оптимизационных задач.

Поиск функциональной зависимости (4) от указанных аргументов представляет собой нетривиальную задачу, один из подходов к решению которой продемонстрирован ниже.

---

[1] Общий методический подход к решению такого рода задач показан в [6].

3.2 Факторное моделирование характеристик функциональных узлов проекционных ВМ СОИ КП

Ввиду того, что оптико-электронные узлы в структуре цены аппаратной части ВМ имеют наибольший вес, рассмотрим в качестве иллюстрации особенности факторного моделирования на имеющейся статистике проекторов, присутствовавших на рынке (в период 2008 - 2010 г.г.) и рассматриваемых в качестве прототипов оптико-электронных узлов ВМ.

Для построения моделей использован метод наименьших квадратов и пакет *SPSS*. На основе имеющихся сведений из открытых источников были получены регрессионные зависимости вида $C_П = b_0 + b_1 S + \ldots + b_i S^i$ стоимости ВМ от ряда факторов, а именно:

- разрешающей способности входящих в их состав проекторов (площади матрицы S, т.е. произведения ее ширины x на высоту y);
- числа ВМ;
- светового потока.

Результаты вычислений для двух классов модуляторов света (матриц *DLP* и *LCD*[1]) приведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1 и соответствующих графиков (рис. 4), зависимости обладают поразительным сходством (коэффициенты b_0 отличаются лишь в третьем знаке, а b_1 совпадают с точностью до четвертого знака). Следует отметить, что при их построении различие в пропорциях экранов не учитывалось.

Таблица 1. Коэффициенты регрессионных зависимостей стоимости проекторов от площади матриц

Независимая переменная: S							
Тип матрицы: DLP							
Зависимая переменная	***Вид модели***	***Rsq***	***d.f.***	***F***	***Sigf***	***b_0***	***b_1***
$C_П$	линейная	0,229	186	55,33	,000	-6028,3	0,0113
Тип матрицы: LCD							
$C_П$	линейная	0,209	157	41,44	,000	-6066,8	0,0113

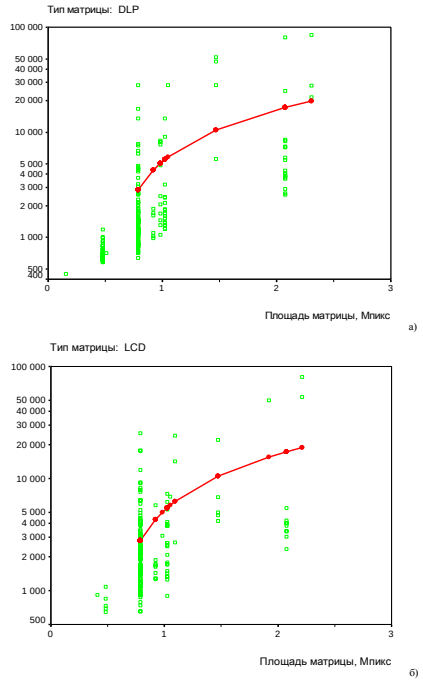


Рис. 4. Графики регрессионных зависимостей стоимости проекторов от площади матрицы для разных их типов: а) DLP, б) LCD

[1] Доля остальных типов представлена в количестве, не позволяющем построить достоверные модели

В случае исключения из начальной выборки моделей проекторов с соотношением сторон, отличным от 4:3, картина существенно изменилась (см. табл. 2, рис. 5). По дисперсионному соотношению *F* наиболее предпочтительными оказались модели второго порядка.

Отметим, что, модели строились сразу для суммарной стоимости ВМ, исходя из того, что для удовлетворения требований по разрешающей способности (не менее 1 мм^2 на экране СОИ КП диагональю 6 м) необходимо иметь:

- 9 (3×3) проекторов с разрешением 1400×1050 пикс.;
- 16(4×4) проекторов с разрешением 1720×768пикс.;
- 36 (6×6) проекторов с разрешением 800×600пикс.

Исходя их этого площадь матриц пересчитывалась в число потребных видеомодулей (проекторов) *n*, которое и выполняло роль аргумента.

Таблица 2. Коэффициенты регрессионных зависимостей суммарной стоимости проекторов от числа ВМ

Независимая переменная: n								
Тип матрицы: DLP								
Зависимая переменная	***Вид модели***	***Rsq***	***d.f.***	***F***	***Sigf***	b_0	b_1	b_2
$C_{П\,Сум}$	линейная	0,044	130	5,95	,016	79776,1	-1782,2	
$C_{П\,Сум}$	квадратичная	0,391	129	41,45	,000	825890	-70828	1350,94
Тип матрицы: LCD								
$C_{П\,Сум}$	линейная	0,032	110	3,60	,060	100674	-2736,1	
$C_{П\,Сум}$	квадратичная	0,088	109	5,26	,007	312283	-23001	420,130

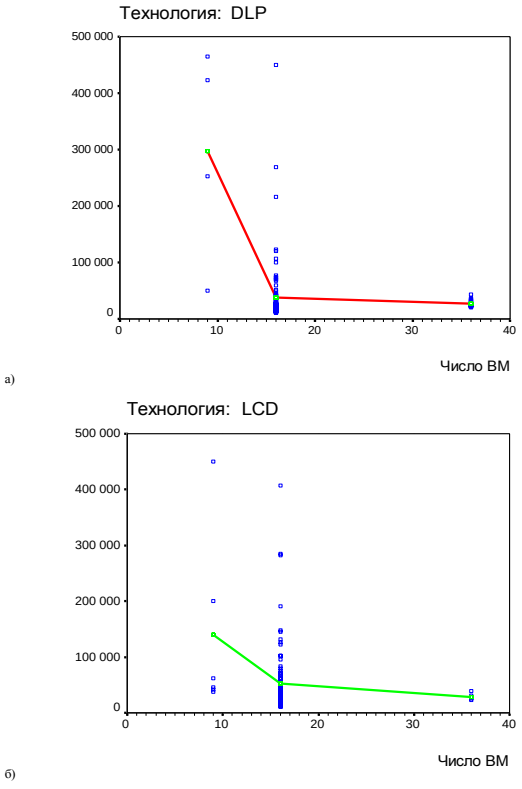
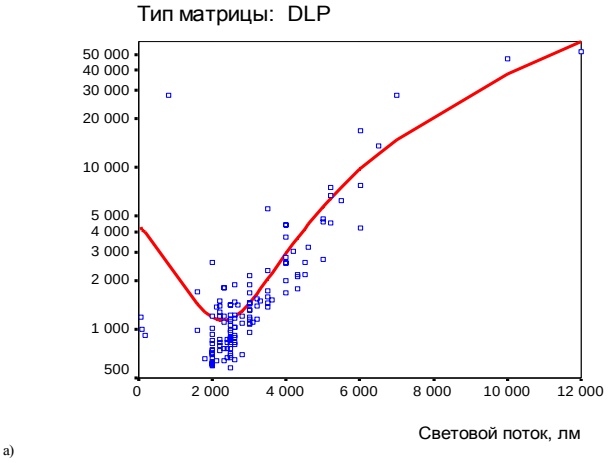


Рис. 5. Графики регрессионных зависимостей суммарной стоимости проекторов от их числа для разных типов матриц: а) DLP, б) LCD

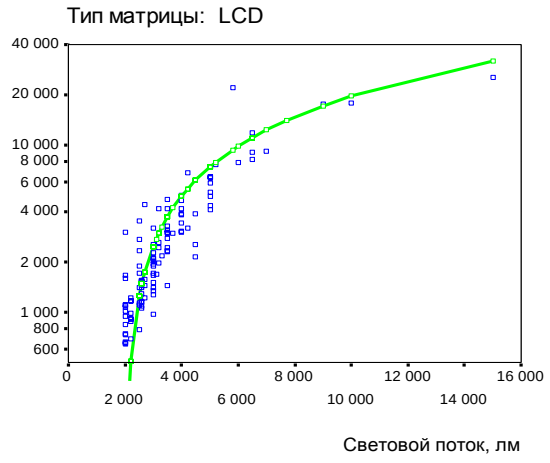
Результаты построения регрессионных зависимостей между стоимостью проекторов и их световым потоком представлены в табл. 3. и на рис. 6.

Таблица 3. Коэффициенты регрессионных зависимостей стоимости проекторов от светового потока

Независимая переменная: Ф								
Тип матрицы: DLP								
Зависимая переменная	***Вид модели***	***Rsq***	***d.f.***	***F***	***Sigf***	b_0	b_1	b_2
$C_П$	линейная	,540	130	152,67	,000	-7191,1	3,3171	
$C_П$	квадратичная	,818	129	289,13	,000	4400,62	-2,8498	,0006
Тип матрицы: LCD								
$C_П$	линейная	,570	110	145,86	,000	-4909,1	2,4616	
$C_П$	квадратичная	,574	109	73,32	,000	-6152,4	3,0039	-4,E-05



а)



б)

Рис. 6. Графики регрессионных зависимостей суммарной стоимости проекторов от светового потока для разных типов матриц: а) DLP, б) LCD

Отметим, что по *F*-критерию в случае *DLP*-матриц предпочтительной оказалась модель второго порядка, а для *LCD*-матриц – линейная модель. Следует также особо отметить, что в классе *DLP*-матриц имеется значительная доля проекторов в ценовом диапазоне до $ 2000 со световым потоком до 4000 лм, что и повлияло на вид регрессионной модели «цена-световой поток».

Из сопоставления полученных результатов следует, что рациональными по стоимости оптико-электронных модулей (проекторов) следовало бы признать составные экраны СОИ КП из модулей с диагональю в 33 дюйма, с разрешением 800×600 каждый, причем, необходимо учесть, что световой поток в таких модулях для получения заданной яркости в несколько раз ниже, чем в альтернативных, 50-ти и 67-дюймовых модулях.

Вместе с тем, при примерно одинаковой энергоемкости стоимость эксплуатации таких ВМ (монтажа, обслуживания, замены источников света) превосходит стоимость эксплуатации 50-дюймовых ВМ примерно в 2 раза (36/16) и 67-дюймовых – в 4 раза (36/9). Также требуются значительные расходы ресурсов на создание системы управления матрицей из 6×6 видеомодулей.

Заключение

1. На примере СОИ КП авиационного назначения продемонстрированы основные особенности процесса создания функционально однородных крупномасштабных витасистем широкого класса и показаны его принципиальная многоэтапность и итерационность.

2. С использованием полумарковских моделей этапов жизненного цикла предложен и апробирован методический подход к решению задачи стратификации, которая завершается построением рациональной структуры функционально однородных КВС.

3. Показано, что *стоимость* КВС, как интегральный ресурсный показатель, может выступать в роли инвариантного функционала при проектировании структур функционально однородных КВС и, в частности, при выборе минимально необходимых конструктивных модулей, обеспечивающих удовлетворение потребностей субъектов в ВС различных иерархических уровней.

4. Рассмотренные модели только частично учитывают возможные механизмы структуризации живых систем, где еще требуется *эволюционная преемственность* поколений КВС, которая обуславливает минимум внесения дополнений и изменений в систему-предшественницу.

Литература

1. *Алакоз Г.М., Аюпов А.И., Рубан А.С.* Витасистемы. Принципы организации процессов авиастроения. – М.: «Щербинская типография», 2016. – 272 с.
2. *Алакоз Г.М., Нестеров В.А., Обносов Б.В., Староватов О.П., Трусов В.Н.* Витасистемы: Модели инженерного творчества: Монография / Под ред. докт. техн. наук, проф. Г. М. Алакоза. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2015. – 448 с.
3. *Загретдинов И.Ш., Магид С.И., Мещеряков С.В., Сысоева Л.В., Архипова Е.Н.* Тренажерная подготовка кадров как системообразующий фактор в сфере обеспечения безопасной эксплуатации оборудования электроэнергетики России. – М.: Энергосбережение и водоподготовка. 2004. – С. 5-10.
4. *Алакоз Г. М., Аюпов А. И., Пляскота С. И., Кутахов В. П.* Витасистемный подход к созданию бесконфликтных интеллектуальных платформ перспективных аэрокосмических комплексов // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD’2019) [Электронный ресурс] : материалы Двенадцатой междунар. конфер., 1–3 окт. 2019 г., Москва / под общ. ред. С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна ; Ин-т проблем упр. им. В.А. Трапезникова Рос. акад. наук . – Электрон. текстовые дан. (26,1 Мб). – М.: ИПУ РАН, 2019. – 1 электрон. опт. диск (CD-R). – С. 65-77.
5. *Корогодин В. И., Корогодина В. Л.* Информация как основа жизни. – Дубна: Издательский центр «Феникс», 2000. – 208 с.
6. *Аюпов А.И., Пляскота С.И., Рубан А.С., Степановская И.А., Сериков А.П.* Аналитический мониторинг жизненного цикла наукоемких технических систем (на примере авиационных комплексов). Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD’2008) Труды Второй международной конференции (1–3 октября 2008 г., Москва, Россия). – М: Учреждение Российской академии наук Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН, 2008. – С. 278–289.