

Методика многокритериальной оценки вариантов интеграции локальных АСУДД



Валентин ЕНОКАЕВ

Valentin K. ENOKAEV

Method of Multi-Criteria Evaluation of Integration Options for Local ATCS

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 31)

Методологической базой для управленческих решений и передачи данных между локальными автоматизированными системами управления дорожным движением (АСУДД) служит ныне концепция сценариев, основанная на объектно-реляционном подходе. Однако недостатком этого подхода является отсутствие у системы возможности адаптироваться к изменениям входной информации без полной переработки структуры исходных требований. Одним из вариантов коррекции ситуации способна стать интеграция существующих АСУДД на единой информационной платформе. Для эффективной реализации такой задачи следует разработать методику многокритериальной оценки вариантов интеграции локальных систем управления с помощью формально-логистических аналитических методов, которые апробированы в теории принятия решений.

Ключевые слова: автоматизированная система управления дорожным движением, теория принятия решений, многокритериальная задача, интеграция, аналитические методы, единая информационная платформа.

Енокаев Валентин Кемилевич – заместитель генерального директора автономной некоммерческой организации «Дирекция по развитию транспортной системы Санкт-Петербурга и Ленинградской области» – начальник управления по развитию транспортной инфраструктуры и интеллектуальных транспортных систем, Санкт-Петербург, Россия.

При разработке методики интеграции локальных АСУДД на базе многокритериальной оценки вариантов создания архитектуры важное значение имеет выбор и обоснование методов, позволяющих оперировать исходными данными и аналитически получать оптимальное решение.

В реальных условиях эффективность функционирования интегрированной АСУДД может определяться достаточно большим количеством критериев. Поэтому целесообразно сформировать общий алгоритм научно-методического подхода с возможным применением различных методов оценки эффективности систем. Если рассматривать процесс интеграции локальных АСУДД как ряд определённых организационно-распорядительных и технических мероприятий по развитию существующих систем, то для обеспечения их совместной работы необходим учёт минимум трёх групп критериев [1, 2]:

1. Полнота и эффективность выполнения основных функциональных задач АСУДД.
2. Объёмы и сложность работ по интеграции локальных АСУДД.
3. Возможность развития в процессе дальнейшего функционирования.

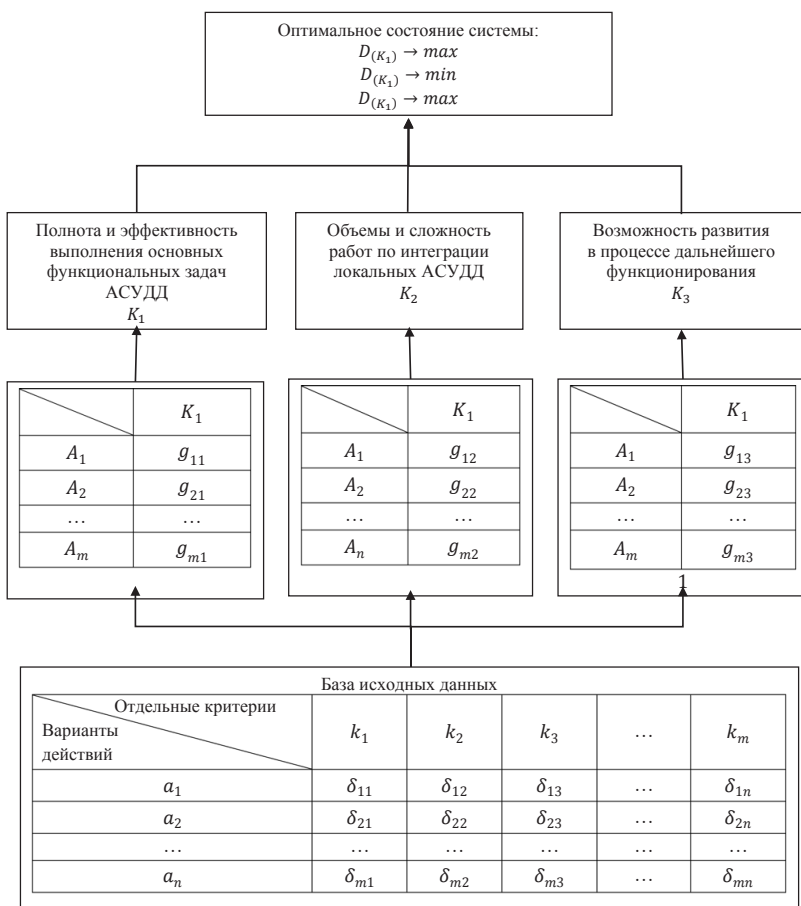


Рис. 1. Декомпозиция иерархии структуры системы для выработки решений по интеграции локальных АСУДД.

Условие решения многокритериальной задачи – приведение критериев к единой формальной шкале или нормализация критериев. Как правило, при наличии прикладных целей критерии не являются абстрактными числовыми функциями, а имеют конкретное неформализованное содержание. Поэтому на начальном этапе переводят необходимое содержание, соответствующее параметрам управляющих воздействий, в значения функций с определёнными величинами, то есть прибегают к той или иной количественной шкале: абсолютной шкале, шкале отношений, шкале разностей, шкале интервалов (таблица 1).

Далее формируются показатели оптимизации по установленным (в нашем случае) трём группам критериев (рис. 1):

$$g_{ij} = \sum_{i=1}^m \delta_{ij}, j = \overline{1, n}. \quad (1)$$

Снять объективные трудности, которые возникают в процессе решения многокритериальной задачи оценки интеграции локальных АСУДД и при наличии достаточно большого количества рассматриваемых показателей, позволяет применение правила Байеса. Принципиально, что разрабатываемая методика должна вырабатывать решения на всём поле вероятностей изменения ситуаций среды исследования, а методы исследования быть применимы к факторам любой степени неопределённости. Тогда в соответствии с основной теоремой элементарной теории вероятностей (теорема Байеса) можно определить вероятность события при условии, что известно другое статистически связанное с ним событие [3]. Иными словами, если существует ранее известная информация о каком-либо процессе, то можно более достоверно назвать вероятность нового события в данном процессе.



Критерии оценки архитектуры интеграции локальных АСУДД

№ п/п	Параметр управляющих воздействий	Вариант/расчётное значение/обоснование							Обозначение
		1Б1Б	1вПБ	2Б1Б	2вПБ	3вПБ	3вПВ	4ГПБ	
1	Полнота и эффективность выполнения основных функциональных задач АСУДД	21	12	16	11	12	12	15–13*	g_{11}
		* при условии наделения созданного центра полномочиями управлять региональными и частными локальными АСУДД							
2	Объёмы и сложность работ по интеграции локальных АСУДД	21	22	21	22	26	37	38	g_{12}
		–							
3	Возможность развития в процессе дальнейшего функционирования	4	4	4	4	5	5	5	g_{13}
		* при условии наделения созданного центра полномочиями управлять региональными и частными локальными АСУДД							

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)}, \quad (2)$$

где $P(A)$ – вероятность (априорная) события A ;

$P(A|B)$ – вероятность события A в случае наступления события B или апостериорная вероятность;

$P(B|A)$ – вероятность события B в случае реальности (наступления) события A ;

$P(B)$ – вероятность (полная) наступления события B .

На правиле Байеса основан ряд формально-логистических методов, позволяющих аналитически определять вероятности возникновения возможных событий при наличии информации о предшествующих событиях или состоянии системы в целом. В ряде научно-исследовательских работ [4, 5] было доказано, что при переходе от теории вероятностей к методам решения многокритериальных задач вероятности состояний рассматриваемой системы p_j по смыслу адекватны коэффициентам относительной важности (КОВ) критериев c_j , то есть:

$$p_j \equiv c_j. \quad (3)$$

Проанализируем ряд апробированных формально-логистических методов решения многокритериальных задач, позволяющих на основе сформированной матрицы эффективностей возможных вариантов действий определить КОВ и соответственно наилучший вариант решения из всех возможных (полная вероятность наступления события).

$$A_{ij} = \begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} & \dots & g_{1n} \\ g_{21} & g_{22} & \dots & g_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ g_{m1} & g_{m2} & \dots & g_{mn} \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где n – число рассматриваемых вариантов действий;

m – число рассматриваемых критериев;

g_{ij} – количественная оценка i -го действия для j -го критерия, $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, n}$.

1. Критерий Лапласа. В соответствии с «принципом недостаточного основания», разработанного Лапласом, оптимальным в условиях недостаточности информации рекомендуется считать решение, которому соответствует распределение вероятностей:

$$P_j = \frac{1}{n}, \text{ или } c_j = \frac{1}{n}, j = 1, 2, \dots, n. \quad (5)$$

Вариант решения принимается в соответствии с условием:

$$D_i = \max_i \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n g_{ij}. \quad (6)$$

Данный критерий достаточно субъективен, поскольку вероятности распределения КОВ выводятся исходя из условия неясности возможного развития ситуации в исследуемом процессе. Тем не менее равномерное распределение вероятностей КОВ можно определить из знания того, что некоторые варианты действий не имеют значимой объективной возможности проявления, нежели чем другие, но не из незнания того, что одни варианты имеют более высокую степень объективной возможности проявления по сравнению с другими.

2. Оценки Фишберна. В случае если объективно присутствует информация относительно значимости критериев, принимаемых в качестве параметров оптимизации в исследуемой системе, определить значения КОВ можно с помощью метода оценок Фишберна [6]. Согласно ему критерии

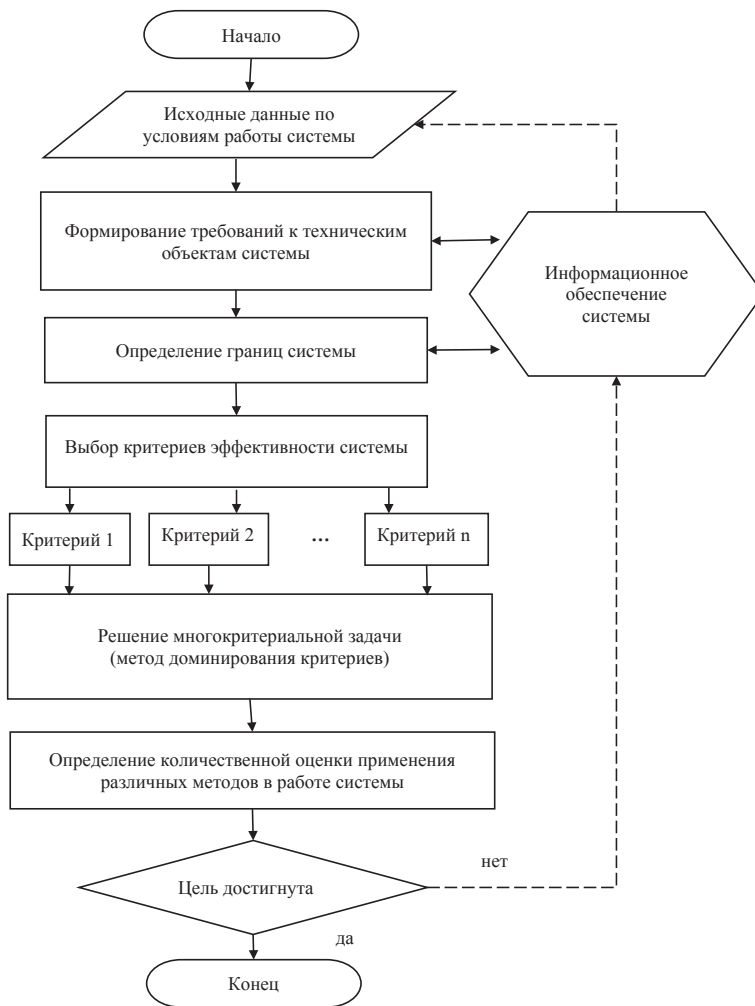


Рис. 2. Алгоритм методики количественной оценки вариантов интеграции локальных АСУДД.

располагаются по мере убывания или же возрастания их значимости:

$$K_1 \geq K_2 \geq \dots \geq K_m, \quad (7)$$

тогда 1-я формула оценок Фишберна будет иметь вид:

$$c_j = \frac{2(n-j+1)}{n(n+1)}. \quad (8)$$

В случае усиления линейного упорядочивания приоритета критериев:

$$\begin{cases} c_1 \geq c_2 + c_3 + \dots + c_n \\ c_2 \geq c_3 + c_4 + \dots + c_n \\ \dots \\ c_{n-1} \geq c_n. \end{cases} \quad (9)$$

Определено, что значения КОВ представляют собой убывающую геометрическую прогрессию и рассчитываются по 2-й формуле оценок Фишберна:

$$c_j = \frac{2^{n-i}}{2^n - 1}, j = 1, 2, \dots, n. \quad (10)$$

Если известны некоторые интервалы возможных значений КОВ, применяется третья формула оценок Фишберна:

$$c_j = a_j + \frac{1 - \sum_{j=1}^n a_j}{\sum_{j=1}^n (a_j - b_j)} (a_j - b_j), \quad (11)$$

$$j = 1, 2, \dots, n,$$

где

$$a_j > b_j, i = 1, 2, \dots, j, \sum_{j=1}^n a_j \leq 1, \sum_{j=1}^n b_j \geq 1. \quad (12)$$

Приведённые формулы показывают, что расчёт КОВ по методу оценок Фишберна довольно прост и легко формализуется, при этом нет необходимости в дополнительных уточнениях в процессе исследования.



3. Метод районирования по принципу доминирования возможных вариантов или состояний среды исследования с последующим выбором оптимального [7]. Суть метода заключается в разбиении множества вероятностей эффективных решений на подмножества доминирования, а операция районирования решается как обратная параметрическая задача линейного программирования. В частности, для системы из трёх критериев КОВ могут быть упорядочены в следующем виде:

$$c_1 + c_2 + c_3 = 1, c_1 \geq 0, c_2 \geq 0, c_3 \geq 0. \quad (13)$$

При расположении КОВ по отдельным критериям в упорядоченную последовательность применим метод районирования по принципу соблюдения иерархического соотношения вероятностей возможных состояний внешней среды или метод доминирования критериев (МДК) [8]. Тогда полное распределение КОВ для любого количества критериев подчиняется ограничениям:

$$0 \leq c_j \leq 1, j = \overline{1, n}, \sum_{j=1}^n c_j = 1, \quad (14)$$

и в зависимости от приоритета критериев КОВ должны располагаться в виде следующей последовательности:

$$c_1 \geq c_2 \geq \dots \geq c_i \geq \dots \geq c_{n-1} \geq c_n. \quad (15)$$

При применении данного метода задача поиска оптимального действия сводится к решению задачи линейного программирования для каждого из сравниваемых вариантов D_i :

$$\begin{cases} D_i = \sum_{j=1}^n g_{ij} c_j \rightarrow \max, \\ \sum_{j=1}^n c_j = 1, 0 \leq c_j \leq 1, c_j \geq c_{j+1}, j = \overline{1, n-1}, \end{cases} \quad (16)$$

а КОВ определяются как

$$c_j = \begin{cases} \frac{1}{k}, & \text{если } j \leq k, \\ 0, & \text{если } j > k, \end{cases} \quad (17)$$

где индекс k находится из условия $g_{kj} = \max_j g_{ij}$.

К основным преимуществам применения МДК в методике многокритериальной

оценки интеграции локальных АСУДД относится то, что при постановке задачи поиска оптимального решения в случае нескольких критериев эффективности достаточно только сформулировать упорядоченный приоритет между ними, а аналитический аппарат получения КОВ по каждому критерию полностью формализован, то есть объектноориентирован в части получения коэффициентов относительной важности для каждого отдельного критерия по всем рассматриваемым возможным решениям.

Учитывая преимущества и недостатки проанализированных решений, можно сформировать алгоритм методики количественной оценки вариантов интеграции локальных АСУДД (рис. 2).

ЛИТЕРАТУРА

1. Солодкий А. И., Енокаев В. К. Формирование рациональных вариантов интеграционной платформы локальных АСУДД // Вестник гражданских инженеров. – 2015. – № 6. – С. 190–194.
2. Солодкий А. И., Енокаев В. К. Методика выбора рационального варианта интеграции локальных АСУДД // Инновации на транспорте и в машиностроении: Сб. трудов IV международной научно-практ. конференции. – Том I / Под ред. В. В. Максарова. – СПб.: НМСУ «Горный», 2016. – С. 57–60.
3. Корников В. В., Серегин И. А., Хованов Н. В. Байесовская модель обработки нечисловой, неточной и неполной информации о весовых коэффициентах. [Электронный ресурс]: <http://inftech.webservis.ru/it/conference/scm/2000/session3/kornikov.htm>. Доступ 06.05.2018.
4. Прудовский Б. Д., Терентьев А. В. Методы определения множества Парето в некоторых задачах линейного программирования // Записки Горного института. – 2015. – Том 211. – С. 89–90.
5. Терентьев А. В., Прудовский Б. Д. Методы принятия решений в условиях неопределённого состояния «внешней среды» // Транспортное планирование и моделирование: Сб. трудов Международной научно-практ. конференции. – СПб., 2016. – С. 145–149.
6. Хованов Н. В., Федотов Ю. В. Модели учёта неопределённости при построении сводных показателей эффективности деятельности сложных производственных систем. [Электронный ресурс]: https://dspace.spbu.ru/bitstream/11701/834/1/28%28R%29_2006.pdf. Доступ 06.05.2018.
7. Терентьев А. В. Развитие метода районирования // Инновации на транспорте и в машиностроении: Материалы IV международной научно-практ. конференции. – СПб.: НМСУ «Горный», 2016. – С. 127–130.
8. Карелина М. Ю., Арифудин И. В., Терентьев А. В. Аналитическое определение весовых коэффициентов при многокритериальной оценке эффективности автотранспортных средств // Вестник МАДИ. – 2018. – № 1. – С. 3–9. ●

Координаты автора: **Енокаев В. К.** – Valentin.Enokaev@spbtrd.ru.

Статья поступила в редакцию 06.05.2018, принята к публикации 27.06.2018.