

ИНФОРМАЦИОННАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РАДИОТЕХНОЛОГИЙ НА РАЗВИТИЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Сухов А.В., Зайцев М.А. *

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, информационная оценка, технологическая инфраструктура, сложная техническая система, транспортный комплекс, радиотехнологии, энтропия покрытия, методика, показатели, эффективность, экспертное оценивание.

Аннотация.

Цель работы: совершенствование научно-методической базы информационной оценки эффективности сложных технических систем с использованием энтропии покрытия.

Метод: концептуально-логическое моделирование информационных процессов, метод анализа иерархий, экспертное оценивание, метод ранговой корреляции Кендалла.

Результаты: на примере развития радиоэлектронных средств и радиотехнологий транспортного комплекса Российской Федерации приведён основанный на энтропии покрытия подход к информационной оценке влияния перспективных технологий на эффективность развития технологической инфраструктуры. Представленный материал показывает, как можно с единых информационных позиций с применением энтропии покрытия проводить оценивание возможных решений для сложных технических систем.

DOI: 10.21681/1994-1404-2020-3-40-52

Введение

Одной из важных задач, поставленных в целях развития технологической инфраструктуры, является расстановка приоритетов по возможным направлениям развития рассматриваемого технологического комплекса, определяющих оптимальную стратегию управления ресурсами. Эта задача связана с оптимизацией *распределения ресурсов* [6] с целью получения максимального эффекта при развитии технологического комплекса.

Для решения подобных задач существует достаточно много оптимизационных подходов, основанных на различных методах оптимизации. Наиболее приемлемыми являются методы оптимизации, в которых сформулирована *целевая функция*, явно отражающая физическую цель решаемой задачи. Общим *недостатком* существующих подходов является то, что постановка таких задач осуществляется в предметной области отношений, в которой цель и приоритеты можно сформулировать только в виде ограничений на реальные

ресурсы. Но при этом «затеняется» целевое назначение, достаточность или недостаточность имеющихся ресурсов.

Устранить эти недостатки помогает применение информационного подхода к оптимизации, основанного на *энтропии покрытия* – информационной мере, отражающей целевую достаточность или недостаточность имеющихся и динамически изменяющихся ресурсных показателей [6, 13, 14, 16].

1. Методические основы оценки влияния перспективных РЭС и радиотехнологий на эффективность развития технологической инфраструктуры транспортного комплекса Российской Федерации

В качестве примера рассмотрим методический подход к оценке влияния перспективных радиоэлектронных средств (РЭС) и радиотехнологий, рассматриваемых в рамках конференции «ВКР-19»¹ международного

¹ Последняя (проходит один раз в 3–4 года) Всемирная конференция радиосвязи (ВКР) прошла с 28 октября по 22 ноября 2019 г. в Шарм-аль-Шейхе (Египет) с целью пересмотра Регламента электросвязи – международного договора, регулирующего использование

* **Сухов Андрей Владимирович**, доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник научно-производственного объединения «Специальная техника и связь», Российская Федерация, г. Москва.

E-mail: avs57@mail.ru

Зайцев Михаил Алексеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационных систем Московского университета имени С. Ю. Витте, Российская Федерация, г. Москва.

E-mail: mihey-82@mail.ru

сообщества по электросвязи, прошедшей в 2019 г., на эффективность развития технологической инфраструктуры транспортного комплекса Российской Федерации (ТИТК РФ). Такая методика должна обеспечивать оценку влияния выполнения пунктов повестки дня (ППД) «ВКР-19» на эффективность развития ТИТК РФ по выбранным показателям эффективности.

Основными разделами методики оценки влияния перспективных РЭС и радиотехнологий на эффективность развития ТИТК РФ являются:

1) выбор и обоснование показателей эффективности (ПЭ) оценки развития ТИТК РФ;

2) ранжирование показателей эффективности по значимости для развития ТИТК РФ и задание коэффициентов приоритета;

3) для каждого ППД из определённых в Техническом задании на НИР ППД «ВКР-19» установление повышения эффекта от его выполнения (в процентах) по каждому показателю эффективности. При этом учитывается знак значения, определяемый физическим смыслом показателя: положительные значения ориентированы на рост эффективности, а отрицательные – на издержки, связанные с технической реализацией;

4) по каждому ППД «ВКР-19» с учётом рангов ПЭ рассчитываются обобщённые значения роста эффекта и издержек;

5) по результатам расчётов значений роста эффекта и издержек проводится расчёт энтропии покрытия, результаты выводятся в форме гистограмм и таблиц и по ним проводится аналитическая оценка совокупного информационного эффекта [2].

Теоретическими основами методики являются:

- применение метода анализа иерархий (Т. Саати²) [8];
- экспертное выставление оценок по показателям эффективности для рассматриваемых ППД «ВКР-19»;
- применение информационной оценки эффективности, основанной на энтропии покрытия.

Разделы методики по п. 2 и 4 ориентированы на работу экспертов. По п. 2 эксперты должны задать значения в матрицы попарных сравнений, по которым проводится расчёт приоритетов ПЭ, а по п. 4 – назначить значения роста эффекта и издержек в процентах для каждого ППД «ВКР-19» по всем показателям. Для этих целей разрабатываются специальные таблицы задания числовых значений.

Мнения экспертов, что естественно, могут различаться. Для достижения большего схождения их результатов могут использоваться различные подходы. Степень расхождения оценок экспертов можно охарактеризовать с использованием коэффициентов конкордации Кендалла [18].

радиочастотного спектра, а также геостационарной и негеостационарной спутниковых орбит.

² Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.

Обосновать достаточность информационного подхода, основанного на энтропии покрытия, поможет определение её основных свойств.

2. Основные свойства энтропии покрытия

Энтропия покрытия (ЭП) – теоретико-множественная мера неопределённости сведения о соответствии параметров объекта их нормативным значениям относительного покрытия по приведению к норме множества реальных технических параметров объекта множеством требуемых параметров – определяется следующим образом [6, 13]:

$$H_{\Pi} = k \log_2 \frac{\|(D_p \setminus D_n) \cup D_n\|}{\|D_n\|}, \text{ бит}, \quad (1)$$

где D_p – множество реальных показателей; D_n – множество нормативных показателей; \setminus – операция разности множеств; $\| \cdot \|$ – первая норма.

Определение 1: элемент покрытия P_{Π} – аргумент функции логарифма энтропии покрытия

$$P_{\Pi} = \frac{\|(D_p \setminus D_n) \cup D_n\|}{\|D_n\|}.$$

Определение 2: количество I_{Π} информации покрытия является величиной, равной разности энтропии покрытия в начальный момент времени и энтропии покрытия в текущий момент времени, т.е. информация покрытия определяет состояние сложного технического комплекса (СТК) на текущем этапе функционирования.

Выражение для информации покрытия:

$$I_{\Pi} = H_{\Pi}(D_0) - H_{\Pi}(D_t). \quad (2)$$

Определение 3: условная энтропия $H_{\Pi/i}$ покрытия – энтропия покрытия объекта, рассчитанная только по отдельному (отдельным) компоненту (компонентам) вектора показателей:

$$H_{\Pi/i}(D) = H_{\Pi}(D_i) = k \log \frac{\|(D_{pi} \setminus D_{\tau i}) \cup D_{\tau i}\|}{\|D_{\tau i}\|}, D_i \subseteq D. \quad (3)$$

Определение 4: количество информации $I_{\Pi i}$ элемента – количественная величина, отражающая характер участия элемента в ходе проведённых операций за время по его взаимодействию с другими элементами и (или) объектом, равная разности ЭП элемента до проведения операций и после.

$$I_{\Pi i}(\Delta t) = H_i(t) - H_i(t + \Delta t). \quad (4)$$

Определение 5: операция – последовательность действий элемента, включающая анализ ситуации, выработку управляющего воздействия и его реализацию, направленная на взаимодействие с другим элементом или с объектом.

Рассмотрим свойства энтропии покрытия.

Теорема 1. Энтропия покрытия является неотрицательной, монотонно возрастающей по элементу покрытия функцией (свойство 1).

На основании выражения (1) значения аргумента логарифмической функции не могут принимать значения меньше, чем единица, что следует из простого соотношения множеств:

$$D_{\tau} \subseteq [(D_p \setminus D_{\tau}) \cup D_{\tau}]. \quad (5)$$

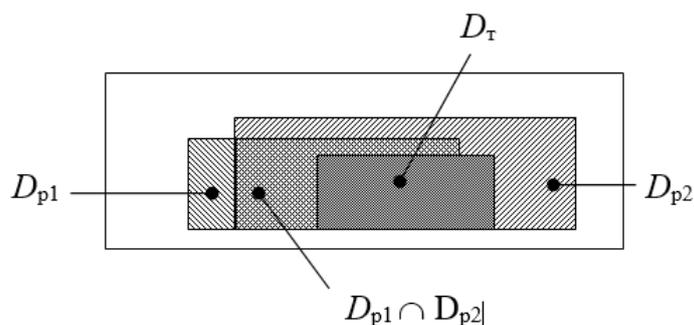


Рис. 1. Диаграмма Венна: соотношение между двумя множествами реальных показателей и множеством требуемых показателей

С учетом выражения для первой нормы:

$$\|\{r_i\}\|_1 = \sum_{i=1}^m |r_i| \quad (6)$$

и её свойств

$$\|D_T\|_1 \leq \|(D_p \setminus D_T) \cup D_T\|_1 \Rightarrow \quad (7)$$

$$\Rightarrow \frac{\|(D_p \setminus D_T) \cup D_T\|_1}{\|D_T\|_1} \geq 1.$$

Из (7) следует, что функция логарифма от левой части (7) неотрицательная величина:

$$k \log \frac{\|(D_p \setminus D_T) \cup D_T\|_1}{\|D_T\|_1} \geq 0. \quad (8)$$

Следовательно, подтверждена *неотрицательность* энтропии покрытия.

Монотонное возрастание следует из свойств логарифмической функции, которая является монотонно возрастающей.

Теорема 2. Условная энтропия покрытия не превосходит безусловную (*свойство 2*), т.е.:

$$H_{\Pi}(D) \geq H_{\Pi/i}(D_i). \quad (9)$$

Условная энтропия определяется на подмножестве множества технических показателей. Выразим множество технических показателей через заданное энтропией подмножество и через его дополнение:

$$D_i \subseteq D \Rightarrow D = (D \setminus D_i) + D_i.$$

Тогда элемент покрытия для множества D равен:

$$P_{\Pi}(D) = P_{\Pi}(D \setminus D_i) P_{\Pi}(D_i),$$

что следует из свойств первой нормы. С учётом свойства неотрицательности справедливо:

$$H_{\Pi}(P_{\Pi}(D)) = k \log [P_{\Pi}(D \setminus D_i) P_{\Pi}(D_i)] = H_{\Pi}(P_{\Pi}(D \setminus D_i)) + H_{\Pi/i}(P_{\Pi}(D_i)) \geq H_{\Pi/i}(P_{\Pi}(D_i)), \quad (10)$$

Теорема 3. Минимальное значение энтропии покрытия равно нулю (*свойство 3*):

$$H_{\Pi \min} = 0. \quad (11)$$

Минимальным множеством $[D_p \setminus D_T \cup D_T]$ является множество D_T . В этом случае множество требуемых показателей D_T полностью покрывает множество реальных показателей D_p и разность множеств реальных и требуемых показателей является пустым. Тогда аргументом логарифмической функции в (1) является отношение:

$$\|D_T\|/\|D_T\| = 1, \log 1 \equiv 0.$$

Теорема 4. Если множество показателей качества объекта можно разбить на непересекающиеся подмножества, то энтропия покрытия равна сумме условных энтропий покрытия по непересекающимся подмножествам (*свойство 4* аддитивности):

$$H_{\Pi}(D) = \sum_{i=1}^m H_{\Pi}(D_i), D = \bigcup_{i=1}^m D_i, \quad (12)$$

$$\forall i, j: D_i \cap D_j = \emptyset.$$

Для доказательства учтём, что в определении энтропии покрытия (1) используется первая норма и то, что элементом множества показателей является вектор. Определим, что подмножеством множества показателей объекта является компонент или группа компонентов общего вектора показателей объекта:

$$D = \bigcup_{k=1, \dots, l} D_k, D_k = \bigcup_{i=1, \dots, l_k} D_i,$$

$$\forall k, i \in \{1, \dots, l\}: D_k \cap D_i = \emptyset.$$

где l – количество подмножеств в разбиении.

На основании закона ассоциативности для элемента покрытия имеем:

$$P_{\Pi}(D) = \prod_{k=1}^l P_{\Pi}(D_k),$$

С учётом этого для энтропии покрытия имеем:

$$H_{\Pi}(P_{\Pi}(D)) = k \log P_{\Pi}(D) = k \log \prod_{k=1}^l P_{\Pi}(D_k) = \sum_{k=1}^l k \log P_{\Pi}(D_k) = \sum_{k=1}^l H_{\Pi}[P_{\Pi}(D_k)].$$

Таким образом, свойство 4 доказано.

Рассмотрим *выполнение требований (аксиом)* к метрическому пространству для энтропии покрытия. Для этого используем (1) в качестве определения расстояния между элементами этого пространства. Тогда расстояние между элементами информационного пространства имеет вид:

$$H_{\Pi} = k \log \frac{\|((D_{p1} \cup D_{p2}) \setminus (D_{p1} \cap D_{p2})) \cup D_T\|}{\|D_T\|} \quad (13)$$

Соотношение между элементами информационного пространства поясняет соотношение множеств, показанное на диаграмме Венна (рис. 1).

Для метрического пространства должны выполняться следующие аксиомы – неотрицательности, симметрии расстояния, неравенства треугольника.

Теорема 5. Неотрицательность расстояния, т.е.:

$$\rho(H_{n1}, H_{n2}) \geq 0. \quad (14)$$

В числителе (13) определяется первая норма множества, включающего в качестве подмножества множество D_T , а в знаменателе – множество D_T . Из свойств первой нормы следует, что норма подмножества не превосходит норму самого множества. Числитель не меньше знаменателя, следовательно, логарифм берётся от функции, не меньшей единицы. Таким образом, неотрицательность доказана.

Если вместо множества D_{p2} подставить в выражение (13) множество D_{p1} , то в числителе множество дополнения является пустым и числитель дроби станет равен знаменателю. Тогда логарифм равен нулю. Следовательно, для любых аргументов ρ : $\rho(H_{n1}, H_{n2}) \geq 0$ при $D_{p1} \neq D_{p2}$ и если $D_{p1} = D_{p2}$, то $H_{n1} = H_{n2} = H_n$, $\rho(H_{n1}, H_{n2}) = 0$.

Теорема 6. Расстояние по информационной мере (13) симметрично, т.е.:

$$\rho(H_{n1}, H_{n2}) = \rho(H_{n2}, H_{n1}). \quad (15)$$

В выражении (13) операция симметрична к порядку использования множеств – из объединения двух множеств вычитается их пересечение. Это следует из свойств множеств. В результате выполнения этой операции мы имеем множество, состоящее из элементов, не входящих ни в одно из двух исходных множеств. Отсюда следует симметричность меры.

Теорема 7. Выполняется неравенство треугольника, т.е.:

$$\rho(H_{n1}, H_{n2}) \leq \rho(H_{n1}, H_{n3}) + \rho(H_{n2}, H_{n3}). \quad (16)$$

Неравенство треугольника определено на анализе трёх множеств: D_{p1} , D_{p2} , D_{p3} . От неравенства (16) можно перейти к эквивалентному, которое получается заменой множества D_{p3} на множество требуемых показателей:

$$\rho(H_{n1}, H_{n2}) \leq \rho(H_{n1}, H_T) + \rho(H_{n2}, H_T). \quad (17)$$

Подставив в (13) в качестве элемента множество требуемых показателей, получим выражение (1) для множества D_{p1} . Поэтому вместо (17) можем записать:

$$\rho(H_{n1}, H_{n2}) \leq H_n(D_{p1}) + H_n(D_{p2}). \quad (18)$$

При этом следует обратить внимание на то, что энтропия покрытия является расстоянием по мере (13) между энтропией покрытия для множества реальных показателей и энтропией покрытия для множества требуемых показателей, причём последняя равна нулю – нулевой элемент информационного пространства:

$$\rho(H_n(D_{p1}), H_n(D_T)) = H_n(D_{p1}), \quad H_n(D_T) = 0. \quad (19)$$

Докажем неравенство (17). Разобьём объединение множеств D_{p1} и D_{p2} на три непересекающихся множества

$$D_{p1} \cup D_{p2} = [D_{p1} \setminus (D_{p1} \cap D_{p2})] \cup (D_{p1} \cap D_{p2}) \cup (D_{p2} \setminus (D_{p1} \cap D_{p2})). \quad (20)$$

В соответствии со *свойством 4* для энтропии покрытия по этим множествам имеем:

$$H_n(D_{p1} \cup D_{p2}) = H_n[D_{p1} \setminus (D_{p1} \cap D_{p2})] + H_n(D_{p1} \cap D_{p2}) + H_n[D_{p2} \setminus (D_{p1} \cap D_{p2})]. \quad (21)$$

Определим энтропию покрытия для множества $[D_{p1} \setminus (D_{p1} \cap D_{p2})] \cup [D_{p2} \setminus (D_{p1} \cap D_{p2})]$, являющегося очевидным объединением двух непересекающихся множеств. Для этого подставим это множество в выражение (1) и сравним его с выражением (13) с учётом *свойства 4* для энтропии покрытия:

$$\rho(H_{n1}, H_{n2}) = H_n \{ [D_{p1} \setminus (D_{p1} \cap D_{p2})] \cup [D_{p2} \setminus (D_{p1} \cap D_{p2})] \} = H_n [D_{p1} \setminus (D_{p1} \cap D_{p2})] + H_n [D_{p2} \setminus (D_{p1} \cap D_{p2})]. \quad (22)$$

Разобьём множества D_{p1} и D_{p2} на непересекающиеся множества каждое и определим для них энтропию покрытия

$$H_n(D_{p1}) + H_n(D_{p2}) = H_n[D_{p1} \setminus (D_{p1} \cap D_{p2})] + 2H_n(D_{p1} \cap D_{p2}) + H_n[D_{p2} \setminus (D_{p1} \cap D_{p2})]. \quad (23)$$

Теперь сравним (21), (22), (23) с учётом неотрицательности энтропии покрытия $H_n(D_{p1} \cap D_{p2})$ (*свойство 1*):

$$\rho(H_{n1}, H_{n2}) \leq H_n(D_{p1} \cup D_{p2}) \leq H_n(D_{p1}) + H_n(D_{p2}). \quad (24)$$

Таким образом, аксиома о неравенстве треугольника доказана.

Дополнительно доказано, что расстояние между двумя элементами информационного пространства не превосходит энтропию покрытия объединения множеств реальных показателей для этих элементов.

Также доказано, что энтропия покрытия объединения множеств реальных показателей не превосходит сумму энтропий покрытия этих множеств.

3. Показатели эффективности развития технологической инфраструктуры транспортного комплекса Российской Федерации

Ожидаемая эффективность развития технологической инфраструктуры транспортного комплекса Российской Федерации может быть сформулирована на основании анализа следующих руководящих документов:

- Государственная программа Российской Федерации «Развитие транспортной системы»;
- Федеральная целевая программа «Развитие транспортной системы России (2010 – 2020 годы)»;
- Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года.

На основании ожидаемой эффективности развития ТИТК РФ, а также учитывая существующую базу РЭС транспортно-технологической инфраструктуры, могут быть сформулированы *показатели эффективности*, по которым оценивается влияние выполнения пунктов повестки дня «ВКР-19» на транспортный комплекс Российской Федерации. Эти показатели эффективности, которые следует задавать для каждого ППД «ВКР-19» в процентах, следующие:

- 1) интегрирование транспортного комплекса РФ в мировую транспортно-технологическую инфраструктуру;
- 2) снижение эксплуатационных издержек;
- 3) повышение безопасности;
- 4) качество работы линий связи и управления на транспорте;

5) внедрение инновационных транспортных технологий;

6) повышение эффективности работы технологической инфраструктуры и транспортного комплекса РФ;

7) повышение конкурентоспособности на мировом рынке;

8) дополнительное привлечение инвестиций;

9) степень использования существующей транспортно-технологической инфраструктуры.

Интегрирование транспортного комплекса РФ в мировую транспортно-технологическую инфраструктуру учитывает результаты выполнения пунктов повестки дня «ВКР-19» по степени связанности технологической базы транспортно-технологического комплекса (ТТК) РФ с аналогичными средствами мирового ТТК, возможности их совместного использования, связанность и взаимодействие всех входящих в их состав элементов, что обеспечивает единое гармоничное использование и развитие ТТК.

Снижение эксплуатационных издержек учитывает развитие ТТК, направленное в том числе и на сокращение затрат от его эксплуатации, что является продуктом научно-технического прогресса в затрагиваемых областях при условии выполнения рассматриваемых ППД «ВКР-19».

Показатель повышения безопасности характеризует обеспечение (повышение) безопасности перевозок, транспортировки грузов, эксплуатации соответствующих технических средств, связанное с выполнением рассматриваемых ППД «ВКР-19».

Повышение качества работы линий связи и управления на транспорте характеризует степень развития и совершенствования телекоммуникаций от выполнения рассматриваемых ППД «ВКР-19»: увеличение информационного трафика и скорости информационного обмена, обеспечение заданного уровня качества при передаче сообщений, повышение надёжности и оперативности каналов управления как структурными подразделениями, входящими в состав ТТК РФ, так и транспортными средствами.

Внедрение инновационных транспортных технологий характеризует уровень влияния на ТТК РФ результатов применения открытий, изобретений, новых оригинальных технологий, знаний, умений и др., связанных с выполнением рассматриваемых ППД «ВКР-19».

Повышение эффективности работы технологической инфраструктуры и транспортного комплекса РФ показывает, на сколько процентов возрастёт уровень решения поставленных перед ТТК РФ задач при реализации рассматриваемых ППД «ВКР-19».

Повышение конкурентоспособности на мировом рынке предусматривает степень повышения спроса на услуги ТТК РФ не только отечественными, но и зарубежными пользователями транспортных услуг при реализации рассматриваемых ППД «ВКР-19», что может быть обеспечено расширением спектра предоставляемых услуг, повышением их оперативности, снижением стоимости, обеспечением безопасности и др.

Уровень дополнительного привлечения инвестиций обеспечивается спектром, качеством и привлекательностью предоставляемых транспортных услуг, связанных с выполнением рассматриваемых ППД «ВКР-19».

Степень использования существующей транспортно-технологической инфраструктуры характеризует возможности по использованию существующей базы ТТК РФ, не требующей дополнительных расходов. Однако этот показатель следует воспринимать как уровень необходимых дополнительных издержек, обеспечивающий возможность решения перспективных задач для ТТК РФ, связанных с рассматриваемыми ППД «ВКР-19», которые в той или иной степени могут быть решены существующим отечественным ТТК.

4. Оценка сравнительной значимости показателей эффективности технологической инфраструктуры и транспортного комплекса Российской Федерации

Значимость приведённых показателей эффективности на оценку развития ТИТК РФ различная и может быть оценена экспертами в рассматриваемой области. Наилучший подход для ранжирования и оценки значимости ПЭ даёт *метод анализа иерархий* (МАИ), основанный на попарных сравнениях ПЭ. Этот метод позволяет дать количественную оценку факторам, которые обычно не поддаются эффективной количественной оценке.

Совершенной согласованности оценок значимости ПЭ на практике трудно достигнуть. Под *согласованностью* здесь подразумевается не просто традиционное требование транзитивности предпочтений (если один ПЭ предпочтительнее второго, а второй предпочтительнее третьего, то первый ПЭ должен быть предпочтительнее третьего), а фактическая степень предпочтения, которая проходит через всю последовательность сравниваемых ПЭ. *Несогласованность* означает отсутствие пропорциональности, которое может вызвать нарушение транзитивности, а может и не вызвать его. Применяемый метод анализа иерархий для исследования согласованности не только показывает несогласованность при отдельных сравнениях, но и даёт численную оценку того, как сильно нарушена согласованность для всей рассматриваемой задачи.

Попарные сравнения позволяют повысить согласованность путем использования всей возможной информации. Для того чтобы измерения воспроизводили реальность, делаются следующие *предположения*³:

1. Физическая реальность согласована, и при контролируемых условиях от опыта к опыту можно рассчитывать на получение одинаковых результатов.

2. Суждения должны стремиться к согласованности, являющейся желаемой целью. У эксперта могут быть весьма согласованные мысли, которые не соответствуют реальным ситуациям в мире. Согласованность явля-

³ Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.

ется центральной проблемой в конкретных оценках, в суждениях и в мыслительном процессе.

3. Для получения лучших оценок реальности, при проведении суждений следует систематически направлять оценки на повышение объективности и понижение слишком большой субъективности.

4. Для получения хороших результатов (соответствующих реальности) требуется:

а) применить математику для построения правильной теории, которая предоставит численные шкалы суждений и других сравнительных измерений;

б) использовать шкалу, которая будет различать суждения так, чтобы обеспечить соответствие между качественными суждениями и числами этой шкалы;

в) иметь возможность воспроизводить измерения реальности, которые уже известны из физики и экономики;

г) иметь возможность определить величину несогласованности.

Используемый подход к оценке шкал отношений основан на максимальном собственном значении матрицы попарных сравнений ПЭ и позволяет измерить отклонение от согласованности. При этом обеспечивается сравнение суждений, полученных на основе информированности, с разобобщёнными или случайными суждениями, что служит средством оценки отклонения от основной шкалы отношений [12].

При попарных сравнениях ПЭ по значимости между собой используется шкала оценок, представленная в табл. 1. Наибольший вклад в исследование вопроса стимулов и реакций внесли Э. Вебер (1795–1878), Г. Фехнер (1801–1887) и С. Стивенс (1906–1973).

Матрица попарных сравнений A размера $n \times n$, получаемая с применением правил, приведённых в табл. 1, является положительной обратнo-симметричной, т.е. все её элементы связаны обратной зависимостью:

$$a_{ij} = 1/a_{ji}, \quad (25)$$

Таблица 1
Шкала попарных сравнений значимости ПЭ

Степень важности	Определение	Объяснение
1	Одинаковая значимость	Два действия вносят одинаковый вклад в достижение цели
3	Некоторое преобладание значимости одного действия перед другим (слабая значимость)	Опыт и суждение дают лёгкое предпочтение одному действию перед другим
5	Существенная или сильная значимость	Опыт и суждение дают сильное предпочтение одному действию перед другим
7	Очень сильная или очевидная значимость	Предпочтение одного действия перед другим очень сильно. Его превосходство практически явно
9	Абсолютная значимость	Свидетельство в пользу предпочтения одного действия другому в высшей степени предпочтительны
2, 4, 6, 8	Промежуточные значения между соседними значениями шкалы	Ситуация, когда необходимо компромиссное решение
Обратные величины приведённых выше чисел	Если ПЭ i при сравнении с ПЭ j приписывается одно из приведённых выше чисел, то ПЭ j при сравнении с ПЭ i приписывается обратное значение	Обоснованное предположение
Рациональные значения	Отношения, возникающие в заданной шкале	Если постулировать согласованность, то для получения матрицы требуется n числовых значений

а все элементы главной диагонали равны единице, т.е.:

$$\forall i = 1 \dots n: a_{ii} = 1. \quad (26)$$

Максимальное собственное значения матрицы является решением уравнения:

$$|A\lambda - \lambda E| = 0, \quad (27)$$

где λ – собственное число матрицы; E – единичная матрица; $|\cdot|$ – операция взятия определителя матрицы.

Собственные числа матрицы являются корнями получаемого в ходе решения полинома n -й степени. Для уравнений 3-й степени такие корни находятся сравнительно легко. Для нахождения корней уравнений 4-й степени существуют методы Феррари, Декарта-Эйлера и др. [4]. Для решения уравнений более

высокого порядка обычно используют численные методы. На практике лучше всего в этих целях использовать специальные математические пакеты прикладных программ [9].

Для уравнений n -й степени существует n корней. Эти корни могут быть кратными и комплексно-сопряжёнными. Но для положительной обратнo-симметричной матрицы будет всегда существовать максимальное действительное положительное собственное значение. Для максимального собственного значения этой матрицы всегда справедливо неравенство $\lambda_{\max} \geq n$, которое становится равенством только для абсолютно согласованной матрицы.

Вычисление вектора приоритетов ПЭ по данной матрице в математических терминах означает вычисление главного собственного вектора, который после нормализации становится вектором приоритетов. Собственный вектор квадратной матрицы для i -го собственного значения является ненулевым решением уравнения:

$$Ax = \lambda x. \quad (28)$$

В отсутствие ЭВМ, позволяющей точно решить эту задачу, можно получить оценки этого вектора x следующими четырьмя способами, которые представлены в порядке увеличения точности оценок:

1. Суммировать элементы каждой строки и нормализовать делением каждой суммы на сумму всех элементов; сумма полученных результатов будет равна единице. Первый элемент результирующего вектора будет приоритетом первого объекта, второй – второго объекта и т. д.

2. Суммировать элементы каждого столбца и получить обратные величины этих сумм. Нормализовать их так, чтобы их сумма равнялась единице, разделить каждую обратную величину на сумму всех обратных величин.

3. Разделить элементы каждого столбца на сумму элементов этого столбца (т. е. нормализовать столбец), затем сложить элементы каждой полученной строки и разделить эту сумму на число элементов строки. Это – процесс усреднения по нормализованным столбцам.

4. Умножить n элементов каждой строки и извлечь корень n -й степени, т.е. вычислить среднее гармоническое для каждой строки матрицы. Нормализовать полученные числа:

$$x_i^* = \left[\prod_{j=1}^n a_{ij} \right]^{1/n}. \quad (29)$$

Оценки, получаемые способом 4 для матриц, согласованных в достаточной степени, для практических

ситуаций будут незначительно отличаться от оценок, полученных точными вычислениями. Тем более, что сам экспертный подход [12] к составлению матрицы попарных сравнений предусматривает определённые допуски на полученные результаты.

При проведении практических расчётов рекомендуется использовать электронные таблицы *Excel* и проводить расчёты по 4-му способу. Решение этой задачи с требуемой точностью можно осуществить в программной среде *MathCad*.

В выражении (28) просуммируем строки векторов слева и справа и воспользуемся условием нормировки вектора x , тогда получим оценку для вычисления главного собственного значения матрицы A :

$$\lambda_{max}^* = \sum_{i=1}^n x_i^* \sum_{j=1}^n a_{ji}. \quad (30)$$

Главное (максимальное) собственное значение λ_{max} используется для оценки согласованности матрицы сравнений и отражает пропорциональность предпочтений. Чем ближе λ_{max} к n (числу показателей эффективности), тем более согласован результат.

Отклонение от согласованности матрицы попарных сравнений определяется индексом согласованности (ИС):

$$ИС = (\lambda_{max} - n) / (n - 1). \quad (31)$$

Окончательная согласованность матрицы сравнений осуществляется сравнением её индекса согласованности со средними случайными индексами (ССИ), являющимися индексами согласованности обратно-симметричной матрицы того же размера, сгенерированной случайным образом по шкале от 1 до 9 с соответствующими обратными величинами элементов. Значения ССИ для различных значений n представлены в табл. 2.

Таблица 2
Значения средних случайных индексов

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ССИ	0,0	0,0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Отношение индекса согласованности к среднему ССИ для матрицы того же порядка называется отношением согласованности (ОС).

$$ОС = \frac{ИС}{СИ}. \quad (32)$$

Приведённый подход отличается сбалансированностью суждений по показателям и удобен для применения в ситуациях, когда показатели обладают разнородностью и напрямую не могут быть метрически сопоставлены между собой.

Мера согласованности определяет необходимость пересмотра суждений, модифицируя их для улучшения общей согласованности. Степень согласованности матрицы сравнений может быть повышена математическими способами. Полная согласованность достигается для матрицы, которая в качестве своих значений имеет соответствующие отношения вектора приоритетов:

$$a_{ij} = x_i / x_j. \quad (33)$$

Но стремиться к идеальной согласованности не следует, поскольку стремление к максимальному согласованию элементов матрицы может привести к искажению физического смысла решаемой задачи. Значение ОС, меньшее или равное 0,1, является приемлемым. Улучшать суждения следует естественным образом, исходя из опыта эксперта.

Участие нескольких человек позволяет приходить к компромиссам между различными элементами, а также может вызвать диалог о том, каким следует быть действительному отношению – компромиссу между различными суждениями, представляющими разный опыт.

5. Оценка влияния результатов реализации пунктов повестки дня «ВКР-19» на показатели эффективности

Влияние результатов реализации ППД «ВКР-19» на эффективность ТИТК РФ точно оценить чрезвычайно сложно. Для этого необходимо строить прогнозы развития: технического прогресса, экономических

и политических отношений в мире, стоимости различного рода продукции и услуг, курсов мировых валют и многого другого. Однако специалисты в рассматриваемых областях с той или иной степенью достоверности могут дать прогноз развития ситуации от реализации ППД «ВКР-19», утверждая при этом, что следует ожидать положительного и отрицательного результата для ТИТК РФ.

Поэтому для оценки влияния результатов реализации ППД «ВКР-19» на общий эффект целесообразно использовать опыт экспертов и выставлять оценки в процентах, учитывая при этом возможность обеспеченности конкретного показателя для ТИТК РФ результатами, связанными с реализацией пункта повестки дня.

Значение показателя 100% будет означать то, что потребности ТИТК будут удовлетворены полностью в смысле этого показателя. Если речь идёт о конкурентоспособности, то 100% означают подавляющую конкурентоспособность РЭС или предоставляемых при их использовании услуг. Значение 0% означает то, что данный показатель не будет затронут при реализации рассматриваемого ППД «ВКР-19».

Следует также заметить, что показатели могут принимать и отрицательные значения. Например, показатель снижения эксплуатационных издержек при положительных значениях количественно будет характеризовать это снижение и, наоборот, при отрицательных значениях покажет, насколько возрастут эксплуатационные издержки.

Отдельно следует охарактеризовать показатель степени использования существующей ТТИ. По существу, при значении 100% он показывает полную достаточность использования парка существующих средств, а меньшие значения будут характеризовать уровень необходимых затрат по дооснащению имеющегося парка средств ТТИ, вызванных реализацией рассматриваемого пункта повестки дня. Поэтому этот показатель при обработке результатов рассматривается как указанное значение минус 100%.

Для удобства экспертов им предлагается выставлять не однозначную оценку, что достаточно сложно, исходя из сложности рассматриваемой задачи, а указывать диапазон возможных значений.

При обработке результатов экспертизы учитывается как математическое ожидание выставленной оценки, так и степень её неопределённости. Для оценки разброса значений используется дисперсия или среднеквадратическое отклонение выставленной оценки, что учитывается в окончательном результате.

6. Обработка результатов экспертных оценок и оценка совокупного эффекта по пунктам повестки дня «ВКР-19» с использованием энтропии покрытия

Для получения обобщённой оценки совокупного эффекта по конкретному пункту повестки дня «ВКР-19» используется линейный подход, который гармонично связан с аппаратом линейной алгебры,

используемой в МАИ при вычислении вектора приоритетов ПЭ.

При этом по заданному экспертом диапазону значений эффекта для каждого i -го ПЭ вычисляются математическое ожидание и дисперсия $M(ПЭ_i)$ (разброс значений) [5]:

$$\left. \begin{aligned} M(ПЭ_i) &= \frac{ПЭ_{i\max} + ПЭ_{i\min}}{2}, \\ D(ПЭ_i) &= \frac{(ПЭ_{i\max} - ПЭ_{i\min})^2}{12} \end{aligned} \right\} \quad (34)$$

Математические ожидания всех ПЭ_{*i*} суммируются с весовыми коэффициентами приоритетов ПЭ и при этом вычисляется обобщённый эффект по рассматриваемому ППД:

$$Q_{ППД} = \sum_{i=1}^n M(ПЭ_i)x_i, \quad (35)$$

где $n=9$ – количество показателей, определённых для оценки эффективности реализации ППД «ВКР-19» для ТИТК РФ.

Оценку допускаемой при расчётах погрешности можно оценить как среднеквадратическое отклонение с учётом линейной формы (35) [13]:

$$\sigma_{ППД} = [\sum_{i=1}^n D(ПЭ_i)x_i^2]^{\frac{1}{2}}. \quad (36)$$

В выражении (36) все показатели эффективности полагаем независимыми, т.е. их корреляция равна нулю. Выражения (35) и (36) применяются отдельно для расчётов положительного эффекта и издержек.

В соответствии с приведённой методикой специальной группой экспертов была проведена оценка эффекта от реализации рассматриваемых ППД «ВКР-19». Обобщённые результаты обработки экспертных оценок представлены в табл. 3 и на рис. 2. В табл. 3 для каждого ППД «ВКР-19» представлены математические ожидания эффекта реализации и издержек в процентах, а также даны среднеквадратические отклонения в процентах по этим характеристикам. На рис. 2 эти результаты представлены гистограммами. В табл. 3 и на рис. 2 представлены результаты, полученные для пунктов 1.5, 1.9.2, 1.11, 1.12, 1.13, 1.14, 1.16 и 9.1.6.

На основании полученных оценок можно сделать следующие *выводы*:

- Наиболее важна реализация обладающих наибольшей эффективностью следующих ППД «ВКР-19»:

- п. 1.5 «Рассмотреть использование полос радиочастот 17,7 – 19,7 ГГц (космос – Земля) и 27,5 – 29,5 ГГц (Земля – космос) земными станциями, находящимися в движении, которые взаимодействуют с геостационарными космическими станциями ФСС (фиксированной спутниковой службы), и принять надлежащие меры, в соответствии с Резолюцией 158 («ВКР-15»)» – ожидаемый эффект реализации – 25%;

- п. 1.11 «Принять необходимые меры, в зависимости от случая, способствующие согласованию полос радиочастот на глобальном или региональном уровнях, с целью обеспечения работы систем железнодорожной радиосвязи между поездом и путевыми устройствами в пределах существующих распределений подвижной

Таблица 3

Ожидаемый эффект и издержки реализации ППД «ВКР-19»

ППД «ВКР-19»	Эффект реализации, %		Издержки реализации, %	
	МО	СКО	МО	СКО
1.5	25	2.9	6	2.2
1.9.2	18	1.7	11	1.2
1.11	37	2.1	5	0.9
1.12	41	2.1	21	0.8
1.13	18	1.7	8	1.7
1.14	17	1.9	7	0.9
1.16	8	1.3	18	1.4
9.1.6	18	1.5	10	1.3

службе в соответствии с Резолюцией 236 («ВКР-15») – ожидаемый эффект реализации 37%;

– п. 1.12 «Рассмотреть в максимальной степени согласованные на глобальном или региональном уровне возможные полосы частот для реализации развивающихся интеллектуальных транспортных систем (ИТС) в рамках существующих распределений подвижной службе в соответствии с Резолюцией 237 («ВКР-15»)» – ожидаемый эффект реализации 41%;

- Нецелесообразна реализация ППД «ВКР-19»: 1.16 «Рассмотреть вопросы, связанные с системами беспроводного доступа, включая локальные радиосети (WAS/RLAN), в полосах радиочастот между 5 150 МГц и 5 925 МГц, и принять надлежащие ре-

гламентарные меры, включая дополнительные распределения спектра подвижной службе, в соответствии с Резолюцией 239 («ВКР-15»)), так как по прогнозу экспертов издержки, связанные с его реализацией, превзойдут положительный эффект.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что внедрение предлагаемых в настоящее время решений может привести к значительному росту эффективности транспортного комплекса РФ. Особенностью указанных пунктов повестки дня является то, что вышеозначенный эффект может быть достигнут при сравнительно небольших дополнительных издержках. Это объясняется тем, что для реализации предложенных решений в большой степени может

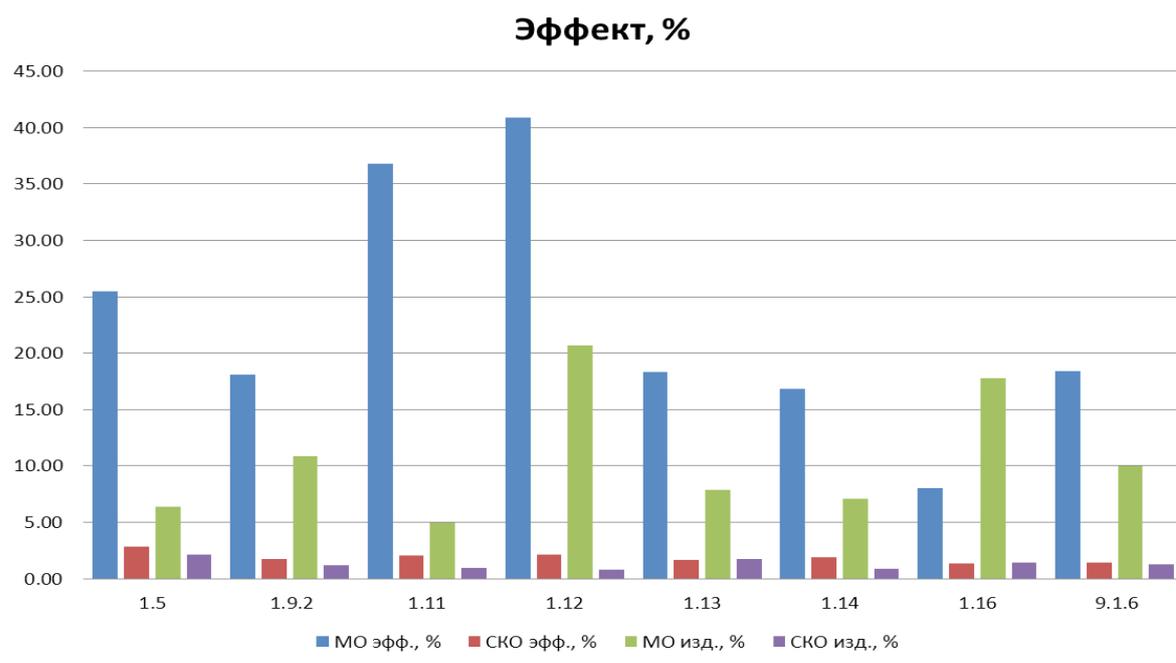


Рис. 2. Ожидаемый эффект и издержки реализации ППД «ВКР-19»

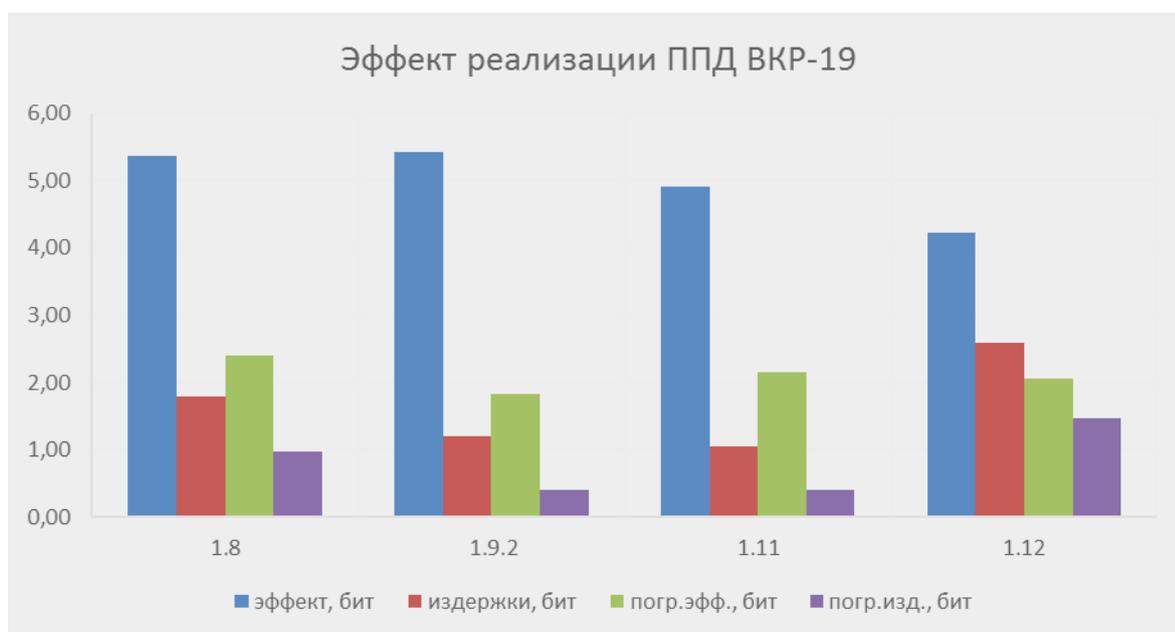


Рис. 3. Ожидаемый эффект и издержки реализации ППД 1.8, 1.9.2, 1.11 и 1.10 «ВКР-19» в битах энтропии покрытия

быть использована существующая инфраструктура транспортного комплекса РФ.

Оценка результатов анализа эффективности принятых решений основывалась на концептуально-логическом моделировании информационных процессов с использованием энтропии покрытия [1, 3, 7, 15, 17]. На рис. 3 представлены результаты расчётов энтропии покрытия по наиболее актуальным ППД 1.8, 1.9.2, 1.11, 1.12. Из этих графиков видно, что ожидаемый положительный эффект по ППД 1.8, 1.9.2 и 1.11 значительно превосходит издержки реализации, а по ППД 1.12 эффект превосходит издержки реализации. Поэтому полагается целесообразной реализация решений по указанным ППД.

7. Оценка согласованности результатов экспертных оценок по пунктам повестки «ВКР-19»

По результатам работы экспертов целесообразно оценивать их согласованность. Согласованность оценок характеризуется степенью разброса оценок, данных экспертами, по показателям оцениваемых объектов. Степень разброса оценок может быть охарактеризована дисперсией численных значений, но такой подход хорошо работает только для показателей, имеющих метрические единицы измерения значений. Поэтому в применяемой методике такой подход не даст результата согласованности экспертов с хорошей прозрачностью результата.

Для проверки согласованности экспертов значительно лучше использовать коэффициент W согласованности Кендалла⁴ [10, 18]:

$$W = \frac{12 \sum_i D_i^2}{m^2 (n^3 - n)}, \quad (37)$$

⁴Фёрстер Э., Рёнц Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 304 с.

где n – объём выборки (число показателей, пунктов повестки дня); m – число экспертов; R_{ij} – ранг, данный j -м экспертом i -му элементу выборки; D_i – сумма рангов, данных всеми экспертами i -му элементу выборки, без среднего значения сумм этих рангов:

$$D_i = \sum_{j=1}^m R_{ij} - \frac{\sum_j \sum_i R_{ij}}{n}, \quad (38)$$

По величине коэффициента W делается вывод о том, хорошо или плохо согласуются мнения экспертов. Значения коэффициента 0,2...0,4 показывают слабую согласованность мнений экспертов, а значения 0,6...0,8 характеризуют сильную согласованность.

Коэффициент согласованности Кендалла иначе называется коэффициентом ранговой корреляции, и каждому элементу выборки должен быть назначен именно ранговый коэффициент R_{ij} . Это означает, что элементам выборки в соответствии с уровнем их значимости назначается свой ранг от 1 до n .

Была проведена оценка согласованности работы экспертов по приведённой методике (в работе приняли участие 5 экспертов). Значение коэффициента конкордации при ранжировании показателей эффективности составило 0,68, а при оценке результатов реализации ППД «ВКР-19» составило 0,67 – по эффекту и 0,68 – по издержкам. Эти значения характеризуют вполне достаточную согласованность мнений экспертов и в то же время характеризуют самостоятельность и независимость выставления ими оценок.

Заключение

Таким образом, на примере развития радиотехнологий транспортного комплекса Российской Федерации рассмотрен основанный на энтропии покрытия подход к информационной оценке влияния перспективных технологий на эффективность развития тех-

нологической инфраструктуры. Приведена методика оценки влияния перспективных РЭС и радиотехнологий, рассматриваемых в рамках подготовки к «ВКР-19», на эффективность развития ТИТК РФ, на основе которой группой экспертов была проведена оценка эффекта от реализации рассматриваемых ППД «ВКР-19». Обобщённые результаты обработки экспертных оценок показали следующее:

- Представляется наиболее перспективной реализация решений, обладающих наибольшей актуальностью и достаточной эффективностью по следующим ППД «ВКР-19»:

– п. 1.8 «Регламентарные меры в целях обеспечения модернизации глобальной морской системы связи при бедствии и для обеспечения безопасности мореплавания (ГМСББ) и поддержки внедрения дополнительных спутниковых систем» [11] – ожидаемый эффект реализации 5,36 бит;

– п. 1.11 «Согласование полос радиочастот с целью обеспечения работы систем железнодорожной радиосвязи между поездом и путевыми устройствами в пределах существующих распределений полосы частот» – ожидаемый эффект реализации 4,90 бит;

– п. 1.9.2 «Регламентарные меры в полосе частот 156 – 162,05 МГц для автономных морских радиоприёмников в целях защиты ГМСББ и AIS⁵» – 5,43 бит;

⁵ AIS (Automatic Identification System) – система в судоходстве, служащая для идентификации судов.

– п. 1.12 «Возможные полосы частот для реализации развивающихся ИТС в рамках существующих распределений полосы частот» – ожидаемый эффект реализации 4,22 бит.

- Наименее целесообразна реализация решений по ППД «ВКР-19» 1.16 «Рассмотреть вопросы, связанные с системами беспроводного доступа, включая локальные радиосети (WAS/RLAN), в полосах радиочастот между 5 150 МГц и 5 925 МГц, и принять надлежащие регламентарные меры, включая дополнительные распределения спектра подвижной службе, в соответствии с Резолюцией 239 («ВКР-15»), так как по прогнозу экспертов издержки, связанные с его реализацией, превзойдут положительный эффект.

Была проведена оценка согласованности работы экспертов по приведённой методике и получены численные значения коэффициента конкордации при ранжировании показателей эффективности и при оценке результатов реализации ППД ВКР-19 по эффекту и по издержкам. Эти значения коэффициентов конкордации характеризуют вполне достаточную согласованность мнений экспертов и в то же время свидетельствуют о самостоятельности и независимости выставления ими оценок.

В целом в работе показано, как можно с единых информационных позиций с применением энтропии покрытия проводить оценивание возможных решений для сложных технических систем.

Рецензент: **Емелин Николай Михайлович**, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РСФСР, главный научный сотрудник Государственного научно-методического центра Минобрнауки РФ, г. Москва.

E-mail: nme47@mail.ru

Литература

1. Бурый А. С., Сухов А. В. Оптимальное управление сложным техническим комплексом в информационном пространстве // Автоматика и телемеханика. – 2003. – № 7. – С. 145 – 162.
2. Государство и право в новой цифровой реальности: Монография / Под общ. ред. И.А. Конюховой-Умноной, Д.А. Ловцова. – М.: ИНИОН РАН, 2020. – 259 с. ISBN 978-5-248-00959-6.
3. Зайцев М. А., Сухов А. В. Модельно-алгоритмическое обеспечение информационных систем управления: Монография. – М.: Моск. ун-т им. С. Ю. Витте», 2016. – 128 с.
4. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 2003. – 832 с.
5. Королюк В. С., Портенко Н. И., Скороход А. В., Турбин А. Ф. Справочник по теории вероятностей и математической статистике. – М.: Наука, 1985. – 640 с.
6. Ловцов Д. А. Информационная теория эргасистем: Тезаурус. – М.: Наука, 2005. – 248 с. ISBN 5-02-033779-X.
7. Ловцов Д. А. Информационная теория эргасистем: основные положения // Правовая информатика. – 2019. – № 3. – С. 4 – 20. DOI: DOI: 10.21681/1994-1404-2019-3-4-20.
8. Ловцов Д. А. Системный анализ. Часть 1. Теоретические основы. – М.: Росс. гос. ун-т правосудия, 2018. – 224 с. ISBN 978-5-93916-701-7
9. Ловцов Д. А., Богданова М. В., Паршинцева Л. С. Пакеты прикладных программ для многоаспектного анализа судебной статистической информации // Правовая информатика. – 2017. – № 1. – С. 28 – 36. DOI: 10.21681/1994-1404-2017-1-28-36.
10. Ловцов Д. А., Богданова М. В., Паршинцева Л. С. Основы статистики / Под ред. Д. А. Ловцова. – М.: Росс. гос. ун-т правосудия, 2017. – 160 с. ISBN 978-5-93916-576-1.

11. Ловцов Д. А., Черных А. М. Геоинформационные системы. – М.: Росс. акад. правосудия, 2012. – 188 с. ISBN 978-5-93916-340-8.
12. Орлов А. И. Экспертные оценки. – М.: ИВСТЭ, 2002. – 31 с.
13. Сухов А. В. Оценка информационного ресурса радионавигационных станций в условиях помех от средств мобильной связи // Правовая информатика. – 2019. – № 1. – С. 36 – 45. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-1-36-45.
14. Сухов А. В. Динамика информационных потоков в системе управления сложным техническим комплексом // Теория и системы управления. – 2000. – № 4. – С. 111 – 120.
15. Сухов А. В. Синтез оптимального управления сложным техническим комплексом в информационном пространстве // Информатизация управления / Под ред. Д. А. Ловцова. – М.: ВА им. Петра Великого, 2003. – С. 74 – 84.
16. Сухов А. В., Ловцов Д. А., Зайцев М. А., Глинский И. В. Информационно-математический подход к киберзащите информационных систем с использованием энтропии покрытия // Вестник Российского нового университета. Сер. Сложные системы: модели, анализ и управление. – 2016. – № 1-2. – С. 150 – 157.
17. Сухов А. В., Прокопенко В. С. Измерение информации в эргосистемах // Транспортное дело России. – 2011. – № 1. – С. 39 – 41.
18. Паршева К. Е. Применение алгоритма расчета коэффициента конкордации Кендалла для оценки персонала на предприятии // Тр. XIV Междунар. науч.-техн. конф. «Advances in science and technology» (30 апреля 2018 г.) / НИЦ «Актуальность. РФ». – М.: Актуальность. РФ, 2018. – С. 194 – 195.

INFORMATIONAL ASSESSMENT OF THE IMPACT OF ADVANCED RADIO TECHNOLOGIES ON THE DEVELOPMENT OF INFRASTRUCTURE OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS

Andrei Sukhov, Dr.Sc. (Technology), Professor, Senior Researcher at the Research, Development and Production Association "Special equipment and communications", Russian Federation, Moscow.

E-mail: avs57@mail.ru

Mikhail Zaitsev, Ph.D. (Technology), Associate Professor at the Department of Information Systems of the S. Yu. Witte Moscow University, Russian Federation, Moscow.

E-mail: mihey-82@mail.ru

Keywords: *electromagnetic compatibility, informational assessment, technological infrastructure, complex technical system, transport complex, radio technologies, covering entropy, methodology, indicators, efficiency, expert assessment.*

Abstract.

Purpose of the work: *improving the scientific and methodological basis for informational assessment of the efficiency of complex technical systems using covering entropy.*

Methods used: *logical conceptual modeling of information processes, hierarchy analysis method, expert assessment, Kendall rank correlation method.*

Results obtained: *using the case of development of radio-electronic equipment and radio technologies in the transport complex of the Russian Federation, an approach to the informational assessment of the impact of advanced technologies on the efficiency of technological infrastructure development, based on the covering entropy, is described. The material presented shows how it is possible to assess possible solutions for complex technical systems from a single informational viewpoint using covering entropy.*

References

1. Buryi A. S., Sukhov A. V. Optimal'noe upravlenie slozhnym tekhnicheskim kompleksom v informatsionnom prostranstve. *Avtomatika i telemekhanika*, 2003, No. 7, pp. 145-162.
2. Gosudarstvo i pravo v novoi tsifrovoy real'nosti : monografiya. Pod obshch. red. I.A. Koniukhovoii-Umnovoi, D.A. Lovtsova. M. : INION RAN, 2020, 259 pp. ISBN 978-5-248-00959-6.
3. Zaitsev M. A., Sukhov A. V. Model'no-algoritmicheskoe obespechenie informatsionnykh sistem upravleniia : monografiya. M. : Mosk. un-t im. S. lu. Vitte, 2016, 128 pp.
4. Korn G., Korn T. Spravochnik po matematike dlia nauchnykh rabotnikov i inzhenerov. M. : Nauka, 2003, 832 pp.
5. Koroliuk V. S., Portenko N. I., Skorokhod A. V., Turbin A. F. Spravochnik po teorii veroiatnostei i matematicheskoi statistike. M. : Nauka, 1985, 640 pp.

6. Lovtsov D. A. Informatsionnaia teoriia ergasistem: Tezaurus. M. : Nauka, 2005, 248 pp. ISBN 5-02-033779-Kh.
7. Lovtsov D. A. Informatsionnaia teoriia ergasistem: osnovnye polozheniia. Pravovaia informatika, 2019, No. 3, pp. 4-20. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-3-4-20 .
8. Lovtsov D. A. Sistemnyi analiz. Chast' 1. Teoreticheskie osnovy. M. : Ross. gos. un-t pravosudiia, 2018, 224 pp. ISBN 978-5-93916-701-7.
9. Lovtsov D. A., Bogdanova M. V., Parshintseva L. S. Pakety prikladnykh programm dlia mnogoaspektnogo analiza sudebnoi statisticheskoi informatsii. Pravovaia informatika, 2017, No. 1, pp. 28-36. DOI: 10.21681/1994-1404-2017-1-28-36 .
10. Lovtsov D. A., Bogdanova M. V., Parshintseva L. S. Osnovy statistiki. Pod red. D. A. Lovtsova. M. : Ross. gos. un-t pravosudiia, 2017, 160 pp. ISBN 978-5-93916-576-1.
11. Lovtsov D. A., Chernykh A. M. Geoinformatsionnye sistemy. M. : Ross. akad. pravosudiia, 2012, 188 pp. ISBN 978-5-93916-340-8.
12. Orlov A. I. Ekspertnye otsenki. M. : IVSTE, 2002, 31 pp.
13. Sukhov A. V. Otsenka informatsionnogo resursa radionavigatsionnykh stantsii v usloviakh pomekh ot sredstv mobil'noi svyazi. Pravovaia informatika, 2019, No. 1, pp. 36-45. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-1-36-45 .
14. Sukhov A. V. Dinamika informatsionnykh potokov v sisteme upravleniia slozhnym tekhnicheskim kompleksom. Teoriia i sistemy upravleniia, 2000, No. 4, pp. 111-120.
15. Sukhov A. V. Sintez optimal'nogo upravleniia slozhnym tekhnicheskim kompleksom v informatsionnom prostranstve. Informatizatsiia upravleniia. Pod red. D. A. Lovtsova. M. : VA im. Petra Velikogo, 2003, pp. 74-84.
16. Sukhov A. V., Lovtsov D. A., Zaitsev M. A., Glinskii I. V. Informatsionno-matematicheskii podkhod k kiberzashchite informatsionnykh sistem s ispol'zovaniem entropii pokrytiia. Vestnik Rossiiskogo novogo universiteta. Ser. Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie, 2016, No. 1-2, pp. 150-157.
17. Sukhov A. V., Prokopenko V. S. Izmerenie informatsii v ergasistemakh. Transportnoe delo Rossii, 2011, No. 1, pp. 39-41.
18. Parsheva K. E. Primenenie algoritma rascheta koeffitsienta konkordatsii Kendalla dlia otsenki personala na predpriatii. Tr. XIV Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. "Advances in Science and Technology" (30 apreliia 2018 g.). NITs "Aktual'nost'. RF". M. : Aktual'nost'.RF, 2018, pp. 194-195.