

УДК 621.396

Обоснование показателя эффективности при проектировании радиосистем передачи информации на этапе научно-исследовательской работы

Фомин А.И.*, Малютин О.А.

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), МАИ, Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия

**e-mail:fomigora@jandex.ru*

Статья поступила 25.09.2019

Аннотация

Целью данной статьи является разработка методики расчета показателя эффект/стоимость, в основе которой лежит анализ относительных значений основных технических характеристик РСПИ, формируемых на основе сравнения значений этих характеристик с предельными потенциальными значениями показателей эталонной РСПИ.

Ключевые слова: Радиосистема передачи информации, научно-исследовательская работа, показатель эффект/стоимость, показатели качества системы, техническое задание, технико-экономические требования.

Введение

Обязательным пунктом стандартного технического задания на выполнение научно-исследовательской работы (НИР) является пункт «Технико-экономические требования», устанавливающие, в частности, предельное значение стоимости

выполнения НИР, определяющие этап, на котором проводится технико-экономическое обоснование целесообразности продолжения исследований, устанавливающие необходимость определения предполагаемых затрат на реализацию результатов НИР.

Каждый из указанных в требованиях пунктов связан с оценкой технической сложности и эффективности проектируемых радиосистем передачи информации (РСПИ). В настоящее время наиболее распространенным в промышленности показателем эффективности НИР является обобщенный показатель эффект/стоимость. Обоснование эффективности НИР тем более необходимо на этапе определения заказчиком исполнителя НИР.

При оценке технического эффекта, как правило, используется метод сравнения некоторых наиболее важных с точки зрения исполнителя характеристик проектируемой РСПИ с аналогичными характеристиками некоего прототипа. С учетом динамики сравниваемых характеристик делается вывод, что выполнение НИР приведет к положительному эффекту и при реализации результатов в опытно-конструкторской работе (ОКР) будет разработана новая, более эффективная РСПИ. Помимо определенного волюнтаризма при выборе прототипа и набора сравниваемых характеристик к недостаткам данного метода следует отнести:

- применение абсолютных показателей, имеющих определенную размерность;

- сложность оценки технической эффективности, объясняемая необходимостью использования векторного показателя, учитывающего значения отдельных характеристик;
- необходимость использования весовых множителей, определяющих значимость каждой характеристики в формировании обобщенного показателя эффективности РСПИ;
- как правило, выбор весовых множителей не имеет строго теоретического обоснования, поэтому достаточно произволен и базируется на опыте разработчика, что снижает доверие к полученной оценке эффективности.

Аналогичные недостатки сопровождают расчет стоимости работы.

Целью данной статьи является разработка методики расчета показателя эффект/стоимость, в основе которой лежит анализ относительных значений основных технических характеристик РСПИ, формируемых на основе сравнения значений этих характеристик с предельными потенциальными значениями показателей эталонной РСПИ. Статья рассчитана на специалистов, проектирующих РСПИ, и может быть полезна экономистам, для которых включены сведения справочного характера, которые, по мнению авторов, помогут при выборе показателей технической эффективности.

Обоснование показателя технического эффекта РСПИ

Радиосистема передачи информации (РСПИ) должна обладать набором свойств, отличающих ее от радиосистем другого назначения: от радиолокационных

радиосистем, радиосистем управления и др. Можно назвать ряд основных свойств: помехоустойчивость, информативность, электромагнитная совместимость, надежность, конструктивная эффективность, экономическая эффективность и др. Чтобы судить о наличии свойства, ему ставится в соответствие один или несколько показателей качества $\{\vartheta_{ij}\}$, каждый из которых имеет числовое выражение, может быть рассчитан аналитически и измерен в результате испытаний опытного образца разработанной РСПИ на этапе ОКР. Требуемые для разрабатываемой РСПИ числовые значения показателей качества $\{\vartheta_{tr i}\}$ задаются в техническом задании (ТЗ) для разрабатываемой РСПИ. Как правило, в техническом задании оговариваются простейшие критерии, определяющие граничные значения $\{\vartheta_{ri}\}$ показателей качества проектируемой РСПИ. Например, масса, габариты, энергопотребления не могут быть больше заданного значения; объем передаваемой информации не может быть меньше заданного значения и т.д. Полученные в результате расчёта или испытаний РСПИ значения показателей $\{\vartheta_{ni}\}$ сравниваются с требуемыми значениями и, в соответствии с заданным критерием, при выполнении требуемого условия $\{\vartheta_{ni}\} \geq \{\vartheta_{tr i}\}$ делается вывод о наличии заданного свойства или его отсутствии при не выполнении этого условия.

Определим важнейшее свойство РСПИ – помехоустойчивость.

Помехоустойчивость – способность РСПИ осуществлять передачу сообщений с требуемым качеством при воздействии помех. В цифровых радиосистемах число сообщений $\{x_i\}$ образует счетное множество L и каждое из них передается радиосигналом $U_{Ci}(t)$ в виде, как правило, двоичной кодовой комбинации. Сигнал

$U_{ci}(t)$ представляет последовательность двоичных импульсов, принимающих одно из двух значений (+1) и (-1).

На вход приемника всегда воздействует сигнал помех $U_{п}(t)$, формируемый внешними естественными источниками: тепловым излучением Земли, космоса, атмосферы и др. Для описания этих помех используется случайный процесс с равномерной спектральной плотностью мощности N_0 , характеризующей мощность помехи, приходящийся на 1 Гц полосы частот Δf_c , занимаемой радиосистемой, которая предоставляется РСПИ для обмена информацией. Таким образом, на входе приемника формируется аддитивная смесь сигнала и помехи $y(t) = U_{ci}(t) + U_{п}(t)$. Воздействие помехи приводит к искажениям импульсов кодовой комбинации, которые проявляется в изменении значений импульсов на противоположные: вместо +1 фиксируется -1 и наоборот - вместо -1 принимается +1. Искажения импульсов сигнала приводят к искажению сообщения, заложенного в кодовой комбинации: вместо переданного сообщения x_i принимается сообщение x_j . Так как искажения импульсов случайны, то для их описания вводятся статистические характеристики: вероятность ошибочного приема импульсов p или связанная с ней вероятность ошибочного приема сообщений p_c .

Можно считать, что основным показателем качества, определяющим наличие или отсутствие помехоустойчивости, является вероятность ошибочного приема. Строго говоря, в качестве показателя используется характеристика – частота появления ошибок (BER), которая определяется отношением $BER = \frac{m}{N}$ числа неправильно принятых импульсов к общему числу N переданных импульсов. При

условии $N \gg 1$, которое всегда выполняется при передаче импульсов информации, величина BER практически совпадает с величиной p , которая в инженерной практике получила наибольшее распространение. В большинстве современных РСПИ гражданского и специального назначения величина p составляет значение $p = 10^{-6}$.

Одним из важнейших свойств РСПИ является информативность – способность радиосистем осуществлять передачу объема информации, производимого источником в течение заданного интервала времени (или с заданной скоростью), с требуемым качеством. Объем или количество информации, производимой источником, принято измерять в двоичных единицах – битах. Число двоичных единиц в единицу времени называется скоростью передачи информации R [бит/с].

Если длительность одного бита информации на выходе источника равна τ , то скорость передачи информации равна $R = 1/\tau$. Если каждый бит информации передавать сигналом в виде прямоугольного импульса положительной или отрицательной полярности длительностью τ , то для его передачи потребуется полоса частот Δf , которую в инженерной практике часто определяют соотношением $\Delta f = 1/\tau$. Скорость передачи информации является основным показателем информативности, требуемое числовое значение которой входит в состав ТЗ при разработке РСПИ.

Следует отметить ряд энергетических показателей, которые связаны с различными свойствами радиосистемы:

- энергетический потенциал $\mathcal{E} = P_c / N_0$ – отношение на входе приемника мощности сигнала P_c к спектральной плотности мощности помех N_0 ;
- отношение сигнал/шум на 1 бит информации на входе приемника $h^2 = \frac{P_c \tau}{N_0}$, необходимое для обеспечения требуемой вероятности ошибки p ;
- величина мощности передатчика $P_{\text{прд}}$, необходимая для обеспечения требуемого значения h^2 при заданном удалении приемной и передающей антенн радиосистемы.

Если учесть показатели, соответствующие остальным свойствам РСПИ, то объём $1 \leq i \leq N$ пространства показателей $\{ \vartheta_{\text{тp}i} \}$ становится настолько значительным, что получение оценки эффективности радиосистемы как вектора в этом многомерном пространстве

$$\varepsilon = f\{\vartheta_{\text{тp}1}, \vartheta_{\text{тp}2} \dots \vartheta_{\text{тp}N}\}$$

является задачей теоретически и практически вряд ли решаемой. Следует учитывать, что отдельным показателям выделяются весовые коэффициенты, определяющие их приоритеты в совокупности свойств. С другой стороны, проблемной является задача выбора критериев определения эффективности разрабатываемой радиосистемы, по сравнению с прототипом или с другими аналогичными РСПИ.

Учитывая проблематичность решения задачи технической эффективности в общем виде, в инженерной практике используется набор более простых оценок эффективности [1, 2, 3, 4]:

- α – эффективность;
- β – эффективность.

Показатель $\alpha = \frac{\Delta f_c}{R}$, где Δf_c – полоса частот, занимаемая радиосистемой в радиоканале, $R = 1/\tau$ – скорость передачи информации, характеризует затраты полосы частот на передачу одной единицы информации, передаваемой со скоростью R . Удельные энергетические затраты на передачу одного бита информации характеризует отношение $\beta = \frac{P_c \tau}{N_0} = \frac{E}{N_0 R}$, где $E = P_c \tau$ – энергия сигнала на 1 бит информации на входе приемника, N_0 – спектральная плотность мощности сигнала помехи на входе приемника.

Между показателями α и β существует определенная зависимость, справедливая при некоторых ограничениях, основными из которых являются:

- в радиосистеме применимы оптимальные (наилучшие) способы кодирования и декодирования, обеспечивающие отсутствие ошибок при передаче сообщений;
- при передаче обеспечивается согласование производительности источника информации с пропускной способностью канала, т.е. вся информация, создаваемая источником полностью (без потерь) поступает к получателю.

При сделанных ограничениях справедлива зависимость [2]

$$\beta = \alpha(2^{\frac{1}{\alpha}} - 1), \quad (1)$$

приведенная на рис.1 (1).

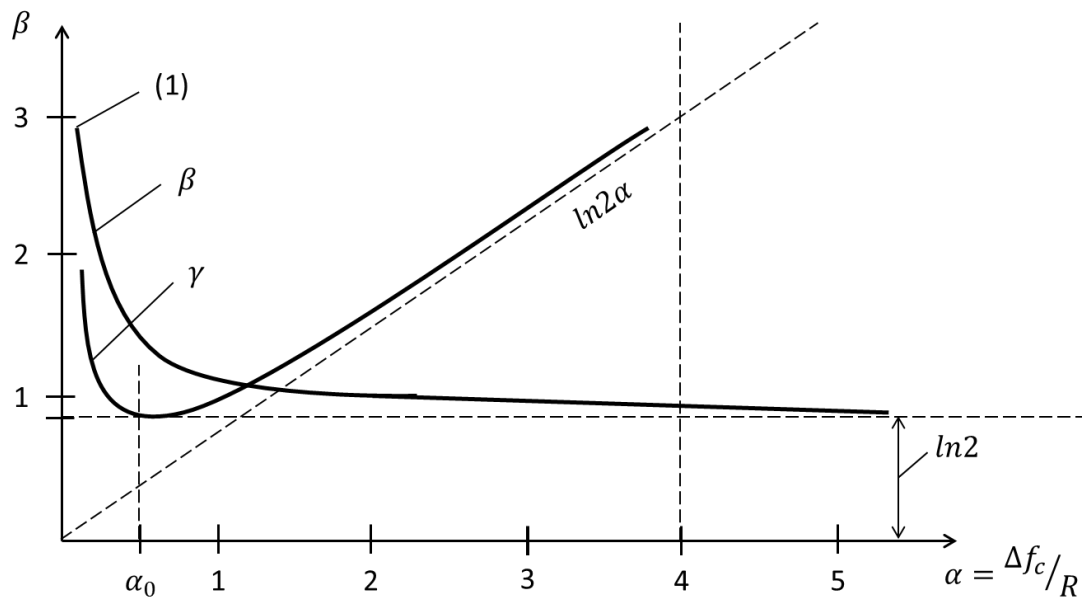


Рис.1 Зависимость показателей β и γ от величины α .

Зависимость (1) называется границей Шеннона для идеального гауссовского канала. Показатели реальных радиосистем лежат выше области границы Шеннона.

Введем обобщенный показатель качества [2]

$$\gamma = \alpha\beta,$$

который с учетом (1) для идеальной системы определяется выражением

$$\gamma = \alpha^2 \left(2^{\frac{1}{\alpha}} - 1 \right). \quad (2)$$

График зависимости $\gamma = f(\alpha)$ приведен на рис.1. Все точки расположенные выше кривой $\gamma = f(\alpha)$ относятся к принципиально реализуемым радиосистемам. Минимальные затраты $\min \gamma_{min} \approx 0,735$ обеспечиваются при $\alpha_0 \approx 0,435$. Сравним показатели действующих типовых цифровых радиосистем с потенциальными. Например, простейшая цифровая радиосистема с фазовой манипуляцией ФМ-2 несущего колебания двоичными символами простейшего кода обеспечивает вероятность ошибочного приема $p = 10^{-6}$ при отношении сигнал/шум $h^2 =$

11,3 соответственно $\beta = h^2$. Полоса, занимаемая радиосигналом с учетом защитных интервалов $\Delta f_c \approx 2/\tau$, при скорости передачи $R = 1/\tau$ и $\alpha = \frac{\Delta f_c}{R} = 2$. Как следует из графика функции $\gamma = f(\alpha)$, приведенного на рис.1, в идеальной системе при $\alpha = 2$ величина $\gamma_{и} = 1,7$, в реальной радиосистеме $\gamma_p = 22,6$, т.е. реальная система проигрывает идеальной по эффективности в $k = \frac{\gamma_p}{\gamma_{и}} = 11,3$. Применение сверточного кода со скоростью кодирования $r = 1/2$ позволяет снизить отношение сигнал/шум при неизменной величине $p = 10^{-6}$ до значения $h^2 \approx 3$. Полоса, занимаемая сигналом, возрастает в 2 раза и величина $\alpha = 4$ и, соответственно $\gamma_p = 3$. В реальной радиосистеме $\gamma_p = 12$ и соответственно $k=4$. В случае применения сверточного кода и квадратурной модуляции $\alpha = 2$, $\gamma_{и} = 1,7$, а $\gamma_p = 6$ и $k=3,5$.

Как следует из приведенных примеров, значения показателей реальных систем значительно превосходят аналогичные показатели идеальной потенциальной РСПИ, что свидетельствует о том, что затраты энергии и полосы на передачу единицы информации в реальных системах значительно выше затрат в идеальной системе. Чем больше величина γ_p , тем меньше эффективность радиосистемы. Снижение затрат и уменьшение показателя γ_p достигается в результате применения помехоустойчивого кодирования, обеспечивающего энергетический выигрыш [5, 6] за счёт специальных методов модуляции, обеспечивающих уменьшение полосы, занимаемой сигналом в радиосистеме [7, 8, 9, 10, 11] и специальных сигнально-кодовых конструкций, обеспечивающих увеличение скорости передачи информации [12, 13, 14, 15, 16].

При выборе показателя технического эффекта K_0 следует учитывать ряд требований, которые облегчают его использование в инженерной практике:

- показатель должен увеличиваться с увеличением эффективности;
- показатель должен быть меньше единицы;
- показатель должен быть безразмерным.

В качестве показателя, удовлетворяющего данным требованиям, можно предложить отношение

$$K_0 = \gamma_n / \gamma_p. \quad (3)$$

В формуле (3) при расчете K_0 в качестве γ_n используется выражение (2), описывающее изменение эффективности в зависимость от величины α . При описании реальной эффективности $\gamma_p = \alpha \beta_p$ величина $\beta_p = h^2$ по сути совпадает со значением отношения сигнал/шум, требуемым для обеспечения задаваемого в ТЗ значения вероятности p ошибочного приема импульса сигнала информации. Обеспечение заданного p зависит от многих факторов, определяющих требуемое значение h^2 : от способа приема, условий распространения сигнала в радиоканале, типа приема-передающих антенн и др. Разработан математический аппарат, определяющий алгоритмы оптимального (наилучшего) приема сигналов с различными типами модуляции. Однако, аппарат, определяющий алгоритмы построения оптимальной радиосистемы в целом, учитывающий все особенности условий передачи, синхронизации, видов помех и искажений и др., отсутствует и вряд ли когда-нибудь будет разработан, учитывая множество особенностей

передачи, число которых со временем не уменьшается, а возрастает при более подробном изучении человеком окружающего мира.

В случае оптимального приема двоичных импульсов, передаваемых путем ФМ-2 несущего колебания с углом манипуляции $\theta = 180^\circ$, на основании точно известной зависимости [5] $p = f(h^2)$ может быть получена приближенная формула [5]

$$h^2 = -\ln(10p). \quad (4)$$

Величина $\alpha = \Delta f_c / R$ для заданного в ТЗ значения R определяется величиной Δf_c , которая характеризуется выбранным методом кодирования и модуляции.

Величина h^2 может быть уменьшена в результате использования методов помехоустойчивого кодирования, для каждого из которых определен коэффициент энергетического выигрыша.

$$\eta = \frac{h^2}{h_k^2}, \quad (5)$$

показывающий во сколько раз может быть уменьшено отношение сигнал/шум $h^2 = -\ln(10p)$ для простейшего безызбытного кода. В специальной литературе [5, б] приведены значения η для большинства применяемых на практике кодов. Ниже в таблице приведены значения η для 3-х методов кодирования

Тип кода	Значение η
Сверточный: скорость кодирования $r = 1/2$, кодовое ограничение $K = 7$;	5 – 6 дБ (3.2 – 4)
Каскадный: внутренний сверточный код ($r = 1/2, K = 7$); внешний код Рида-Соломона (256, 224, 33)	6 – 7 дБ (4 – 5)

Турбо-код, $r = 1/2$	9 дБ (8)
----------------------	-------------

Таким образом, при использовании кодирования следует использовать величину $h_k^2 = h^2/\eta$. При определении $\alpha = \Delta f_c/R$ необходимо вычислить величину $\Delta f_{cp} \approx \frac{2}{\tau_k}$ с учетом уменьшения длительности импульса τ_k на выходе кодирующего устройства по сравнению с длительностью τ на его входе, вследствие добавления избыточных импульсов в процессе кодирования. С другой стороны, следует учитывать увеличение τ_k на выходе модулятора до значения $\tau_{км}$ при использовании специальных методов модуляции. Таким образом, длительность импульса $\tau_{км}$ и соответственно полоса Δf_{cp} , являясь функцией характеристик двух процедур – кодирования и модуляции, требует специального расчета.

С учетом выражений (2)-(6) показатель K_0 может быть записан в виде

$$K_0 = \frac{\eta \alpha (2^{1/\alpha} - 1)}{[-\ln(10p)]}. \quad (7)$$

Следует отметить, что применение помехоустойчивого кодирования и специальных методов модуляции сопровождаются усложнением аппаратуры или программного обеспечения при цифровой обработке сигналов.

На основе K_0 (7) может быть реализован показатель потерь,

$$K_{п} = 1 - K_0 = \frac{\gamma_p - \gamma_{и}}{\gamma_p}, \quad (8)$$

определяющий проигрыш эффективности проектируемой РСПИ по сравнению с потенциальной.

Рассмотренные показатели β и γ – эффективности, которые характеризуют затраты ресурсов РСПИ: энергии, полосы радиочастот – на достижение требуемых значений показателей качества: отношения сигнал/шум, скорости передачи информации, т.е. фактически определяют основные свойства радиосистемы – помехоустойчивость и информативность. Остановимся на остальных указанных выше свойствах.

Показатели конструктивной эффективности включают характеристики надежности аппаратуры, задаваемые в ТЗ в виде численных значений, которые определяются заказчиком с учетом опыта условий эксплуатации аппаратуры, уровня развития элементной базы, назначения и размещения радиосистемы. Необходимость выполнения этих требований приводит к усложнению конструкции аппаратуры; например, появляется принудительная вентиляция, применяются массивные терморadiаторы, отводящие тепло, выделяемое работающей аппаратурой. В некоторых случаях особенности конструкции и требования надежности могут привести к ограничению энергетике радиосистемы и к снижению показателей качества, которые необходимо учитывать при оценке эффективности. В итоге, конструктивные требования ограничивают значения энергетике и, соответственно, скорости передачи информации, задаваемые в ТЗ.

Обоснование стоимостных показателей НИР

По аналогии с выбором значений основных технических характеристик РСПИ предлагается методика расчета стоимости работы, необходимая для оценки эффективности экономических показателей по критерию эффект/стоимость [17].

Стоимость выполнения НИР фиксируется в договоре, заключаемом между заказчиком и исполнителем на проведение НИР, с обязательными приложениями, включающими:

- техническое задание;
- структуру цены;
- ведомость исполнения;
- календарный план выполнения работ.

В приложении «Структура цены» определяются статьи основных затрат на выполнение работы и сами затраты. Фактически фиксируется стоимость выполнения НИР. Соотношения между затратами по отдельным статьям определяются отдельным документом, разработанным исполнителем и согласованным с заказчиком [20].

Для типового договора в «Структуре цены» основной статьей является

статья 1 «Собственные прямые затраты» $Q_{пр}$, включающая следующие пункты:

1.1 затраты на оплату труда (фонд оплаты труда) (ФОТ), определяемые в соответствии с формулой

$$A_1 = ВП_{\text{ср}},$$

где $В$ [чел/час] – трудоемкость, $П_{\text{ср}}$ – среднемесячная заработная плата исполнителей;

1.2 единый социальный налог (страховые взносы), определяемый в соответствии с законодательством в размере 30,2% от ФОТ, что составляет $A_2 = A_1 \cdot 0,302$;

1.3 затраты на материалы;

1.4 затраты на покупные комплектующие изделия (ПКИ);

1.5 затраты на специальную технологическую оснастку и спецоборудование;

1.6 прочие прямые затраты (командировки, прочие услуги).

Статья 2. Косвенные расходы (накладные расходы), включающие расходы, связанные с содержанием, эксплуатацией и ремонтом опытного производства, расходы на освещение, отопление, общехозяйственные и др.

Объем косвенных затрат определяется как процент от ФОТ, величина которого определяется приказом по учреждению. В организациях высшей школы этот процент лежит в диапазоне $20\% \leq k \leq 60\%$ и накладные расходы составляют $H = A_1 k$. В промышленных НИИ со значительным опытным производством этот процент многократно больше.

Статья 3. Себестоимость собственных работ определяется суммой $Q = Q_{\text{пр}} + H$.

Рассмотрим возможное снижение затрат с целью уменьшения стоимости работы.

Стоимость S выполнения НИР и длительность её исполнения T определяются, как правило, заказчиком. Фонд оплаты труда (ФОТ) согласуется с заказчиком. При фиксированном значении T заданный объем работы может быть выполнен либо малым числом работников с высокой квалификацией, например кандидатами и докторами технических наук, либо большим числом исполнителей с более низким уровнем заработной платы. В обоих случаях при фиксированном значении T трудоемкость B меняется в зависимости от квалификации исполнителей, но при зависящей от квалификации разработчиков величине средней заработной платы величина ФОТ остается фиксированной, согласованной между исполнителем и заказчиком.

При определении ФОТ исполнители, как правило, опираются на свой опыт оплаты труда по ранее производимым аналогичным работам. Заказчик при назначении стоимости НИР и, в частности, ФОТ также руководствуется опытом проведения аналогичных НИР и данными о научном потенциале исполнителя. Исполнитель привлекается заказчиком к выполнению НИР на основании его успешного опыта выполнения аналогичных работ ранее. Естественно, предполагается, что исполнитель оснащен компьютерным парком и лицензионным программным обеспечением.

Современные цифровые РСПИ строятся на основе алгоритмов цифрового формирования и обработки сигналов во всех сечениях РСПИ, начиная от антенн и

заканчивая аппаратурой сбора, регистрации и вывода информации получателю. По сути в РСПИ объединяется набор специализированных ЭВМ, создаваемых на основе элементной базы: программируемых логических интегральных схем (ПЛИС), больших интегральных схем (БИС) и др., номенклатура которых, характеристики и функциональность непрерывно совершенствуются и, в принципе, удовлетворяют запросы проектировщиков РСПИ на данном этапе.

Основную роль в проектируемой РСПИ играет функциональное программное обеспечение (ФПО), включающее программы алгоритмов обработки сигналов, отдельные значения которых представляются в виде кодовых комбинаций. Алгоритмы обработки в большинстве случаев известны и не требуют проведения НИР. Научный интерес представляет определение возможности создания сетей обмена информацией и оценка сложности программного обеспечения, необходимого для их реализации [19].

Стремление уменьшить затраты с учётом приведённой направленности исследований позволяет отказаться от затрат пунктов 1.3, 1.5, 1.6. Затраты пункта 1.4 на покупные комплектующие изделия (ПКИ) объясняются необходимостью создания стендов, включающих отладочные средства, используемые для проверки и отладки разрабатываемого в процессе НИР программного обеспечения с оценкой обеспечения основных характеристик, заданных в ТЗ. Входящий в статью 1 пункт 1.6 включает затраты на командировки, которые при проведении НИР можно сократить, заменив их общением через электронные средства.

Косвенные затраты – накладные расходы определяются степенью оптимизации структуры управления организации-исполнителя и уровнем опытного производства. В идеальном случае для проведения НИР опытное производство не требуется и накладные расходы можно свести к минимуму. Такой идеальной моделью исполнителя НИР являются ВУЗы, имеющие, как правило, малое опытное производство, требующее малых затрат.

Статья 4. Затраты на соисполнителей при выполнении НИР.

Отказ от услуг сторонних организаций свидетельствует о высоком уровне профессиональности исполнителя, способного решать многопрофильные научные задачи.

Статья 5. Полная себестоимость работ при отказе от статьи 4 совпадает со статьей 3 и равна $Q = Q_{\text{пр}} + Н$.

Статья 6. Прибыль. Устанавливается приказом по предприятию, согласуется с заказчиком и формируется в соответствии с правилом

$$\text{Пр} = (Q_{\text{пр}} + Н - \text{ПКИ}) 0,05.$$

Статья 7. Стоимость работ. Определяется в соответствии с правилом

$$S = Q + \text{Пр} = Q_{\text{пр}} + Н + \text{Пр}.$$

Статья 8. Налог на добавленную стоимость. Может назначаться при проведении НИР определенной категории, составляет 18% от стоимости работ и равна $L = S 0,18$.

Статья 9. Цена договора определяется в соответствии с правилом

$$C = S + L = (Q + \text{Пр}) 1,18 = 1,18[(Q + \text{Пр}) 1,05 - \text{ПКИ} 0,05]. \quad (9)$$

Учитывая малость второго слагаемого в (9), при оценке стоимости можно использовать приближенное выражение

$$C = 1.24(Q_{\text{пр}} + H),$$

где $Q_{\text{пр}} = A_1 + A_2 + \text{ПКИ}$ – собственные прямые затраты, учитывающие ФОТ, страховые взносы и затраты на покупные комплектующие.

Рассмотренная модель формирования стоимости и цены НИР учитывает сокращение отдельных пунктов и статей затрат и может быть использована для исполнителей с различным уровнем накладных расходов. При этом не следует ожидать значительного снижения величины H , которая, в основном, определяется уровнем опытного производства. Современные НИИ (ОАО и др.) являются, как правило, многопрофильными, разрабатывающими РСПИ различной степени сложности и должны иметь высокий уровень опытного производства, рассчитанного на создание опытных образцов сложных радиосистем. При более узкой специализации НИИ в будущем уровень опытного производства может дифференцироваться по сложности, что, соответственно, приведет к отличиям в накладных расходах и стоимости НИР. Следует учитывать, что при выборе исполнителя заказчик ориентируется на внедрение результатов НИР в будущий ОКР и в опытный образец, реализация которого возможна при наличии опытного производства, создававшего ранее образцы аналогичных РСПИ. В этом случае заказчик допускает увеличение накладных расходов на этапе НИР с учётом снижения затрат на этапе ОКР при внедрении результатов НИР в разработку опытного образца [18].

Показатель технической эффективности разработки РСПИ

$$V = K_0 / C,$$

где K_0 и C определяются выражениями (7) и (9) соответственно, определяет рост технической эффективности на один рубль вложений на выполнение НИР.

Обратная величина

$$\Sigma = \frac{1}{V} = \frac{C}{K_0}$$

может рассматриваться как стоимость одной условной единицы увеличения технической эффективности, полученной в результате НИР.

Можно предложить показатель экономической эффективности проведения НИР, позволяющий оценить уровень управления организациями – возможными исполнителями НИР. Стоимость выполнения работы C_i организаций может быть ранжирована по величине, с дальнейшим выбором минимального значения $C_{j\min}$.

Показатель

$$C_0 = C_{\min} / C_i, C_i \geq C_{\min}, 0 < C_0 \leq 1$$

позволяет оценить экономическую эффективность выполнения работы организацией. При стремлении $C_i \rightarrow C_{\min}$ эффективность $C_0 \rightarrow 1$, т.е. эффективность максимальна.

Заключение

1. Для оценки показателя эффект/стоимость, широко применяемого для оценки эффективности выполнения НИР предложен относительный показатель K_0 технической эффективности НИР, характеризующий эффект разрабатываемой в

НИР научно-технической продукции и относительный показатель экономической эффективности $V = K_0 / C$, характеризующий увеличение технической эффективности на единицу вложений в разработку НИР.

2. Для оценки технического эффекта предложен показатель K_0 , использующий в качестве базового образца основные характеристики потенциальной РСПИ, определяющие затраты энергетики и полосы на передачу единицы информации, объединенные в обобщенный показатель γ .

3. К существенным достоинствам предлагаемого показателя K_0 следует отнести отказ от субъективных показателей, предшествующих образцов реальных РСПИ, выбираемых в настоящее время в качестве прототипов.

4. Предложены пути минимизации затрат на проведение НИР, позволяющие снизить стоимость выполнения НИР.

Библиографический список

1. Мазепа Р.Б. Радиосистемы и сети передачи информации. - М.: Изд-во МАИ, 2002. -568 с.
2. Пенин П.И. Системы передачи цифровой информации. - М.: Советское радио, 1976. – 366 с.
3. Васин В.А., Колмыков В.Р. и др. Радиосистемы передачи информации. - М.: Горячая линия – Телеком, 2015. – 472 с.

4. Тепляков И.М. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей. - М.: Радио и связь, 2004. - 328 с.
5. Тепляков И.М., Рошин Б.В., Фомин А.И., Вейцель В.А. Радиосистемы передачи информации. – М.: Радио и связь, 1982. – 264 с.
6. Волков Л.М., Немировский М.С., Шинаков Ю.С. Системы цифровой радиосвязи: базовые методы и характеристики. - М.: Эко-Трендз, 2005. – 392 с.
7. Мартиросов В.Е., Алексеев Г.А. Квазикогерентный модулятор сигнала QPSK // Труды МАИ. 2015. № 80. [URL:http://trudymai.ru/published.php?ID=57051](http://trudymai.ru/published.php?ID=57051)
8. Кузнецов В.С., Волков А.С., Солодков А.В., Слепов А.В. Исследование OFDM с первичной амплитудно-фазовой амплитудно-импульсной модуляцией с частотной эффективностью 10 бит/отсчет // Труды МАИ. 2019. № 104. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=102149>
9. Hanzo L., Munster M., Choi B.J., Keller T. OFDM and MC-CDMA for Broadband Multi-User Communications, WLANS and Broadcasting, New York, John Wiley, Apr. 2004, 980 p.
10. Addabbo P. et al. A Review of Spectrally Efficient Modulations for Earth Observation Data Downlink // Proceedings of the Metrology for Aerospace Conference, 2014 IEEE, MetroAeroSpace, 2014, pp. 428 – 432. DOI: [10.1109/MetroAeroSpace.2014.6865963](https://doi.org/10.1109/MetroAeroSpace.2014.6865963)
11. Kuznetsov V., Solodkov A., Malyshev A. A Method Of Quadrature Digital Modulation APSK – PAM // 2016 International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies, ICCICCT-2016, 16-17 December 2016, Kumaracoil, India, pp. 172 – 175.

12. Climini L.J. Analysis and simulation of digital Mobile channel using Orthogonal Frequency division Multiplexing // IEEE Transactions Communications, 1985, vol. 33, no. 7, pp. 665 – 675.
13. Bingham J.A.C. Multicarrier modulation for data transmission: an idea whose time has come // Communications Magazine, 1990, vol. 28, no. 5, pp. 5 – 14.
14. Михайлов В.Ю., Витомский Е.В. Модели для оценки эффективности варианта устройства быстрого поиска по задержке ансамблей кодовых последовательностей. // Труды МАИ. 2018. № 98. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=90426>
15. Shin Oh-Soon, Bok Kwang. Differentially Coherent Combining for Double-Dwell Code Acquisition in DS-CDMA Systems // IEEE Transactions On Communications, 2003, vol. 51, no. 7, pp. 1046 – 1050.
16. Bychenkov S., Mikhailov V., Sakaniwa K. Fast acquisition of PN sequences in DS/CDMA systems // IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, 2002, vol. E85-A, no. 11, pp. 2498 – 2520.
17. Дронов Ф.А. Эффективность научных исследований (наука, техника, производство). – Минск: Наука и техника, 1975. – 240 с.
18. Яковлева Е.Н. Управление затратами. - М.: КНОРУС, 2018. – 214 с.
19. Мельникова Р.М. Экономическая оценка инвестиций. – М.: Проспект, 2019. - 264 с.
20. Веленский П.Л., Лившиц В.Н., Смоляк С.А. Оценка эффективности инвестиционных проектов. - М.: Поли принт Сервис, 2015. – 130 с.