

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ И СЕТЕВОЙ СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ ЭНТРОПИЙНОГО ПОДХОДА

Пальгуев Дмитрий Анатольевич

кандидат технических наук, доцент кафедры радиотехники радиофизического факультета
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный
университет им. Н.И. Лобачевского» (ННГУ).

E-mail: dmi-palguev@yandex.ru.

Адрес: 603950, Российская Федерация, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23.

Аннотация: На основе одного из наиболее обобщенных показателей – информационной энтропии, и положений теории информации получены выражения количества энтропии для сравнения эффективности информационных систем различного типа. Количество информационной энтропии, имеющееся в системе, существенным образом зависит от временных задержек в доставке и обработке информации, поэтому по обобщенному показателю информационной энтропии информационная система сетевой структуры эффективнее информационной системы иерархической структуры. На примере радиолокационных систем p , L и X – диапазонов длин волн показано, что суммарная энтропия, накапливающаяся в информационной системе иерархической структуры, может достигать величин порядка единиц Гбайт. На устранение этой энтропии и выделение из неё полезной информации необходимо постоянно привлекать вычислительные и другие ресурсы информационной системы.

Ключевые слова: информация, информационная энтропия, эффективность, информационная система.

В настоящее время для построения информационных систем преобладающим является применение сетевых структур с целью повышения эффективности обмена информации. Не являются исключением информационные системы, входящие в состав больших радиолокационных систем для обеспечения их функционирования.

Существуют определенные подходы к оценке эффективности построения и функционирования больших систем [1, 2, 6]. Основная особенность этих подходов заключается в том, что оценка эффективности проводится либо по построенным моделям информационных систем, либо по системам после их технической реализации. Построение эффективных моделей функционирования перспективных информационных систем чрезвычайно сложно вследствие большого количества исходных данных, факторов и параметров, высокой динамики информационных процессов и отсутствия достаточного математического аппарата для их представления

Представляют интерес более обобщенные количественные оценки эффективности больших систем различных структур. Отметим, что

надсистемы предъявляют требования к входящим в них системам в достаточно определенном виде. Тем не менее, если взять за основу подхода показатель, который также характеризует свойства системы, но не входит в перечень показателей надсистемы, а именно информационную энтропию, то можно получить достаточно интересные результаты. Этот показатель позволил бы проводить оценку проектируемых систем до построения моделей и технической реализации, на этапе построения структуры и определения информационных потоков в системе.

В [1] оценка эффективности системы связана с оптимальностью алгоритма обработки информации и выбором конкретной схемы обработки. Подчеркивается, что как выбор схемы, так и разработка алгоритма должны вытекать из функционала эффективности или из требований, предъявленных к показателям качества.

Более конкретно этот подход показан в [2], где для оценки наиболее общего свойства радиолокационной системы (РЛ) – свойства отображения, его адекватности введён интегральный показатель, характеризующий объём

единённые на основе совокупности нескольких обобщённых свойств системы и связанный монотонной зависимостью с качеством надсистемы.

Воспользуемся приведёнными в [2] математическими выражениями и рассуждениями для интегрального показателя информационных потерь.

В общем виде функцию эффективности от такого показателя предлагается сформировать следующим образом [3, 4, 5]:

$$f(\alpha) = f \left\{ \sum_{n=1}^N \sum_{l=1}^L w_l \frac{\text{card} \alpha}{\text{card} X} \right\}, \quad (1)$$

где w_l – значения весового коэффициента, характеризующего важность информации того или иного вида, L – общее количество видов информации, N – количество независимых показателей, входящих в интегральный показатель, α – подмножество потерь, характеризующее информацию, не удовлетворяющую требованиям потребителей, в том числе ложную, потерянную в ходе отображения, искажённую, задержанную и устаревшую, X – множество, описывающее воздушную обстановку.

Тогда эффективность функционирования РЛ системы \mathcal{E}_s , или качество отображения можно определить как

$$\mathcal{E}_s = 1 - f(\alpha). \quad (2)$$

Для сложной, многоуровневой информационной системы, значение интегрального показателя, характеризующего информационные потери, можно получить на основе агрегирования (например, аддитивной весовой свертки) значений обобщённых и частных показателей.

Информационные потери, или интегральный показатель можно определить как [2]:

$$a = (1 - K^y), \quad (3)$$

где для вычисления обобщенного показателя K^y (в [2] индекс y означает «универсальный») применяются такие параметры, как количество пропущенных системой реальных воздушных объектов; количество объектов, сопровождавшихся с требуемой точностью; коэффициент проводки n -го воздушного объекта; длитель-

ность непрерывного сопровождения n -ой трассы; длительность разрыва n -ой трассы; коэффициент ложных трасс по времени, и ряд других.

В [2] отмечается, что если рассматривать интегральный показатель (3) с логически обоснованной точки зрения, то коэффициент проводки, длительность сопровождения, длительность разрыва n -ой трассы косвенно отражают время задержки (и время нахождения) информации в системе, но прямого количественного выражения, отражающего этот параметр, в [2] нет. Но в [6] отмечается, что природа всех существенно влияющих на точность определения координат компонентов ошибок – временная. Это относится и к ошибкам, возникающим в результате задержек информации при сборе и обработке. При этом на результаты решения задачи будут оказывать влияние только разная величина ошибок для разных элементов множества, так как их координаты могут определяться различными измерителями и данные о них могут проходить различные тракты системы сбора и обработки данных.

Поэтому дополним обобщенный показатель качества и эффективности РЛ системы K^y обобщённым показателем информационных потерь вследствие времени нахождения (времени задержки) радиолокационной информации (РЛИ) в системе K^t

$$a = (1 - K^y)(1 - K^t). \quad (4)$$

Значение функции зависимости информационных потерь от времени нахождения информации в системе носит во многом эмпирический характер, связанный с изменением значимости параметра не только от его абсолютной величины, но и от ценности информации для определённых типов потребителей, от требований по точности РЛИ в определённых зонах пространства, от конкретно складывающейся воздушной обстановки или в определённых периодах цикла управления.

Увеличение времени прохождения РЛИ в системе означает накопление ошибок экстраполяции, особенно при маневре объектов;

ошибок при пересчётах в узлах системы; ошибок, связанных с задержками при обработке РЛИ. Задержка доставки РЛИ потребителю может достигнуть значений, при которых её использование будет неактуально.

Косвенным образом значимость и количественные показатели допустимого времени задержки информации в системе для различных потребителей и для различных периодов цикла управления можно оценить при анализе нормативных документов, тактико-технических характеристик конкретных комплексов и систем. Отметим, что в большинстве случаев удастся выйти на вполне определённые количественные требования по допустимому времени задержки доставки РЛИ от источников потребителям.

При подходе (4) оценки эффективности системы получается, что вычисление интегрального показателя информационных потерь a зависит от функционала системы, конкретной схемы обработки информации, схемы построения системы и её технической реализации. Отдельно выделяется обобщённый показатель времени задержки (нахождения) информации в системе.

Из анализа обобщённого показателя времени нахождения (времени задержки) РЛИ в системе K^1 можно сделать вывод, что время задержки информации в системе является одной из основных причин уменьшения достоверности информации, и, как следствие, накопления энтропии в системе. Воспользуемся этим выводом в дальнейшем, для выявления соотношений накопления энтропии в зависимости от времени задержки (нахождения) информации в информационных системах иерархической и сетевой структур.

Вместе с тем, представляют интерес более обобщённые количественные оценки эффективности больших систем различных структур. Отметим, что надсистемы предъявляют требования к входящим в них системам в достаточно конкретном виде. Кроме того, сложность построения моделей больших систем объясняется чрезвычайно большим количеством фак-

торов и параметров, высокой динамикой процессов, происходящих в подобных системах. Тем не менее, если взять за основу подхода обобщенный показатель, который также характеризует свойства системы, но не входит в перечень показателей надсистемы, а именно энтропию, то можно получить достаточно интересные результаты.

Воспользуемся некоторыми положениями теории информации К. Шеннона в части измерения количества информации и предельных соотношений для пропускной способности каналов и систем передачи данных. Здесь и далее под информацией будем понимать полную информацию, поступающую в приёмный тракт РЛС и далее в информационную систему, из области пространства, ограниченной зоной обзора и диапазоном рабочих частот РЛС. Без выделения свойства полезности или ценности такая информация называется информационной энтропией. Соотношение полезной и полной информации и его эволюции в процессе прохождения информации по информационной системе в данной статье рассматриваться не будут.

Обозначим общее количество энтропии, поступающее в информационную систему, $E_{сист}$, являющееся, в силу свойства аддитивности, суммой энтропий от источников, в нашем случае – от РЛС различного типа:

$$E_{сист} = \sum_{n=1}^N E_{ист_n} \quad (5)$$

где $E_{ист_n}$ – количество информационной энтропии, поступающее в приёмный тракт РЛС, N – число источников. Отметим, что здесь и далее мы рассматриваем максимально возможные количества информационной энтропии, не выделяя такие качества, как ценность и полезность. Теория Шеннона этого не предусматривает.

Количество информации, поступающее на вход РЛС из окружающего пространства, определяется по формуле Хартли-Таллера-Шеннона [7]:

$$C = kv_m \ln \left(1 + \frac{P}{P_n} \right), \quad (6)$$

где C – предельная пропускная способность канала связи (приемного тракта РЛС); $k_B = 1,38 \times 10^{-16}$ эрг/град – постоянная Больцмана; P – мощность сигнала на входе приёмника; P_n – мощность шума на входе приёмника; ν_m – верхняя граничная частота полосы пропускания приёмного устройства РЛС.

Входами информационной системы будем считать в нашем случае входы устройств обработки информации – узлов иерархической структуры, либо входы серверов – узлов сетевой структуры. На эти входы полная информация (информационная энтропия) поступает со следующими основными особенностями:

1) в РЛС информация, поступившая через приёмный тракт, подвергается алгоритмической обработке (называемой первичной и вторичной), что значительно уменьшает её первоначальное количество (но не соотношение полезной и полной информации!);

2) после алгоритмической обработки от источника информация поступает на вход информационной системы через канал передачи данных. Канал передачи данных может вносить дополнительную энтропию в случае искажения информации или её задержки, и «отсеивание» этой дополнительной энтропии потребует дополнительной алгоритмической обработки при дальнейшем использовании в информационной системе. Причём в иерархической структуре дополнительная информационная энтропия будет добавляться каждый раз, когда информация проходит через m -й канал передачи данных и узел структуры, а количество каналов в общем случае больше, чем узлов этой структуры, так как соседние «ветви» могут участвовать в передаче информации для обработки в узлы:

$$E_{\text{сист обр}} = \sum_{n=1}^N E_{\text{ист } n} K_{\text{перв обр } n} + \sum_{m=1}^M E_{\text{кан } m}, \quad (7)$$

где $K_{\text{перв обр } n}$ – коэффициент уменьшения информационной энтропии в результате алгоритмической обработки в первом звене источ-

ник – информационная система, N – число РЛС, M – число каналов передачи данных от РЛС к узлам информационной системы, $E_{\text{кан } m}$ – информационная энтропия m -го канала передачи данных.

Количество информационной энтропии в единицу времени в канале передачи данных $E_{\text{кан } m}^t$ может быть рассчитано по формуле Шеннона как максимально достижимая пропускная способность канала связи [8, с. 39]:

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{P_c}{P_n} \right), \quad (8)$$

где W – полоса частот, разность между максимальной $W_{\text{макс}}$ и минимальной $W_{\text{мин}}$ частотой сигнала; P_c – мощность сигнала на входе приёмника; P_n – мощность шумов (помехи) на входе приёмника.

При задержке информации в каналах передачи данных в звене источник – вход информационной системы происходит увеличение энтропии на величину

$$E_{\text{з уст } m} = \sum_{m=1}^M E_{\text{кан } m}^t T_{\text{з } m}, \quad (9)$$

где m – число каналов передачи данных от источников, $T_{\text{з } m}$ – время задержки информации в канале передачи данных в звене источник – вход информационной системы.

В информационной системе, после поступления информации от источников, происходит её обработка, называемая третичной. С точки зрения теории информации исключается энтропия от источников, имеющих пересекающиеся зоны обнаружения. Коэффициент третичной обработки $K_{\text{трет}}$ зависит от размещения источников на местности, их технических характеристик, и от собственно алгоритма обработки. Предположим, что $K_{\text{трет}}$ одинаков для любого типа информационных структур и с учетом (7) и (9) получим:

$$E_{\text{сист обр}} = \left(\sum_{n=1}^N E_{\text{ист } n} K_{\text{перв обр } n} + \sum_{m=1}^M E_{\text{кан } m}^t T_{\text{з } m} \right) K_{\text{трет}}. \quad (10)$$

Информационная энтропия, находящаяся в информационной системе после третичной об-

работки, представляет собой определённый интерес с точки зрения её изменения в процессе прохождения по системе. Поэтому энтропия $E_{сист\ обр}$ после первого звена третичной обработки будет неполной, если не учесть изменение энтропии при дальнейшем прохождении информации по системе $E_{з\ общ}$.

При наличии задержек, неважно, по какой причине (объединение, принятие решения, задержка в канале и пр.) и независимо от структуры информационной системы, происходит увеличение и накопление энтропии, выражающееся как

$$\begin{aligned} E_{з\ сист} &= E_{з\ сист} + E_{з\ общ} = \\ &= \sum_{m=1}^M E_{кан\ m}^t T_{з\ m} + \sum_{p=1}^P E_p^t T_{з\ p}, \end{aligned} \quad (11)$$

где P – число звеньев информационной структуры после первого, участвующих в обработке, E_p^t – информационная энтропия в единицу времени в p -м канале передачи данных, $T_{з\ p}$ – время задержки информации в канале передачи данных и при обработке в p -м узле информационной системы. Общее количество информационной энтропии в системе с учётом (10) и (11) составит:

$$\begin{aligned} E_{сист\ обр} &= \left(\sum_{n=1}^N E_{ист\ n} K_{перв\ обр\ n} + \right. \\ &\left. + \sum_{m=1}^M E_{кан\ m}^t T_{з\ m} \right) K_{трет} + \sum_{p=1}^P E_p^t T_{з\ p}. \end{aligned} \quad (12)$$

Проведём сравнение двух информационных систем различных структур – иерархической и сетевой – с точки зрения наличия и динамического образования энтропии в каждой системе.

Общее выражение для $E_{сист\ обр}$ характеризует иерархическую структуру, тогда как для сетевой структуры слагаемое $\sum_{p=1}^P E_p^t T_{з\ p}$ отсутствует – в сетевой структуре подразумевается один уровень обработки, то есть

$$\begin{aligned} E_{сист\ обр\ сет} &= \left(\sum_{n=1}^N E_{ист\ n} K_{перв\ обр\ n} + \right. \\ &\left. + \sum_{m=1}^M E_{кан\ m}^t T_{з\ m} \right) K_{трет}. \end{aligned} \quad (13)$$

Коэффициент сравнения $K_{ср\ T}$ информационных систем различных структур в зависимости от времени задержки информации при прохождении по информационной системе выгладит следующим образом:

$$\begin{aligned} K_{ср\ T} &= \frac{\left(\sum_{n=1}^N E_{ист\ n} K_{перв\ обр\ n} + \sum_{m=1}^M E_{кан\ m}^t T_{з\ m} \right) K_{трет}}{\left(\sum_{n=1}^N E_{ист\ n} K_{перв\ обр\ n} + \sum_{m=1}^M E_{кан\ m}^t T_{з\ m} \right) K_{трет}} + \\ &+ \frac{\sum_{p=1}^P E_p^t T_{з\ p}}{\left(\sum_{n=1}^N E_{ист\ n} K_{перв\ обр\ n} + \sum_{m=1}^M E_{кан\ m}^t T_{з\ m} \right) K_{трет}}. \end{aligned} \quad (14)$$

В данном выражении (14) выделено слагаемое $\sum_{n=1}^N E_{ист\ n} K_{перв\ обр\ n}$ для первого звена источник–вход системы, чтобы показать, что обработка информации в источниках и доставка её на вход любой информационной системы одинакова для информационной системы любой структуры. После преобразования получаем:

$$\begin{aligned} K_{ср\ T} &= 1 + \\ &+ \frac{\sum_{p=1}^P E_p^t T_{з\ p}}{\left(\sum_{n=1}^N E_{ист\ n} K_{перв\ обр\ n} + \sum_{m=1}^M E_{кан\ m}^t T_{з\ m} \right) K_{трет}}, \end{aligned} \quad (15)$$

то есть с точки зрения информационной энтропии коэффициент сравнения иерархической и сетевой структур не может быть меньше 1.

Покажем на некоторых примерах зависимость величины энтропии как максимально теоретически возможного количества информации в информационной системе от диапазона радиолокационных систем, а также влияние времени задержки на увеличение энтропии в системе.

При расчётах с использованием выражения (6) будем учитывать, что размерность пропускной способности приёмного тракта РЛС как канала радиосвязи C определяется в эрг/град·с. Для перевода C в размерность нат/с необходимо полученную величину разделить на 10^{-16} – коэффициент пересчёта Больцмановской информации в шенноновскую [7, с. 242], и умножить на 1,44 – коэффициент соотношения нат/бит [7]. В результате получается раз-

Диапазон РЛС $\frac{P_c}{P_n}$, дБ	р-диапазон	L-диапазон	X-диапазон
-13	15–20 Мбит/с	44–49 Мбит/с	87–97 Мбит/с
-10	30–38 Мбит/с	85–95 Мбит/с	170–189 Мбит/с
0	150–206 Мбит/с	620–690 Мбит/с	1240–1380 Мбит/с

мерность – Мбит/с. Её можно анализировать и сравнивать с существующими характеристиками как РЛС (диапазон рабочих частот, соотношение сигнал/шум, уровень собственных шумов приёмника), так и систем связи и передачи данных в целом (пропускная способность каналов связи, способность узлов связи информационной системы обрабатывать передаваемый объём информации).

В таблице 1 приведены результаты расчёта теоретически максимально возможного количества информационной энтропии в единицу времени о воздушных объектах для разных соотношений сигнал/шум с использованием выражения (6).

Известно [9], что реальный объём передаваемой первичной информации для РЛС р-диапазона равен 25–28 Мбит/с и близок к рассчитанному теоретически. То есть, теоретический предел в этом диапазоне практически достигнут.

Для анализа количественной оценки максимального количества информации представляет интерес значение информационной энтропии при пороговом уровне сигнал/шум, так как в современных приёмных устройствах пороговый уровень определяется в основном уровнем собственных шумов. Между тем, в [7] отмечается, что при выводе выражения для максимальной пропускной способности канала связи в физическом смысле Шеннон рассматривал кабель без омического сопротивления, но с источником шума, находящимся вне кабеля и действующим независимо, то есть не учитывал уровень собственных шумов. Учитывая, что в последние годы появляются уточнения к положениям теории Шеннона [10] в области применения выражений для пропускной способности и энтропии, не исключено, что в бо-

лее высоких диапазонах частот (L и выше) значения информационной энтропии в единицу времени с учётом соотношения сигнал/шум могут принимать другие значения.

Для расчёта количества информационной энтропии в единицу времени в каналах передачи данных информационной системы воспользуемся выражением (8), и при значении сигнал/шум 20 дБ в канале передачи данных получим:

$$C \cong 60 \text{ кбит/с.}$$

Возможно, это не очень большая величина, но информационная энтропия суммируется и накапливается на 60 кбит каждую секунду задержки. То есть за 10 с задержки накопление информационной энтропии только по одному каналу одного уровня иерархической структуры составит 600 кбит. Число входных каналов устройств обработки информации иерархической структуры и самих уровней управления этой структуры может быть несколько, а количество каналов передачи данных в больших информационных системах может достигать несколько тысяч. Таким образом, суммарная энтропия, накапливающаяся в информационной системе иерархической структуры, может достигать величин порядка единиц Гбайт. Возникающую информационную энтропию необходимо обработать и хотя бы частично устранить алгоритмической обработкой, на которую уходит время. Эта процедура повторяется в каждом узле информационной системы иерархической структуры.

В результате, можно сделать вывод, что информационная система иерархической структуры «генерирует» информационную энтропию внутри себя и тратит ресурсы на её же устранение. Как было отмечено выше, этот сравнительный подход не учитывает ценность

(полезность) информации, накопление погрешностей при пересчётах в узлах иерархической структуры, из него сознательно исключен ряд несущественных для расчётов величин и приняты значения пропускной способности одного канала передачи данных при условии отсутствия информационной перегрузки и равномерном распределении воздушных объектов в зоне обзора радиолокационной системы.

Выводы

1. Существующие подходы к оценке эффективности больших систем основаны на конкретном функционале, выбранных схемах алгоритмов обработки информации, конкретных схемах построения систем и их технической реализации.
2. Количество информационной энтропии, имеющееся в системе, существенно зависит от временных задержек в доставке и обработке информации.
3. Применение более обобщённого показателя эффективности (информационной энтропии) требует априорного знания распределения информационных потоков в системе и некоторых технических параметров функционирования.
4. На примере радиолокационных систем r , L и X -диапазонов длин волн показано, что суммарная энтропия, накапливающаяся в информационной системе иерархической структуры, может достигать величин порядка единиц Гбайт.
5. По обобщённому показателю количества информационной энтропии, возникающего в системе, сетевая структура эффективнее иерархической.
6. На основе энтропийного подхода можно оценивать свойства информационных систем различного типа и в дальнейшем разрабаты-

вать более подробные модели информационных систем различных структур (в том числе комбинированных) для расчёта оценки их эффективности.

Литература

1. *Конторов Д.С., Голубев-Новожилов Ю.С.* Введение в радиолокационную системотехнику. М.: Сов. радио, 1971. 368 с.
2. *Бреслер И.Б., Корниенков В.В., Семенов С.А., Тихомиров В.А., Фомин М.Д.* Агрегирование информации о воздушной обстановке. Монография. Тверь: Военная академия ВКО им. маршала Г.К. Жукова, 2008. 136 с.
3. *Бреслер И.Б., Кореньков В.М., Семенов С.А., Пильщиков Д.Е.* Подход к агрегированию данных о высокодинамичных групповых объектах в информационной системе с ограниченными возможностями // Вестник ТГУ. Серия «Прикладная математика». 2006. Вып. 3. № 4 (21). С. 121–127.
4. *Бреслер И.Б., Новоселов П.В., Семенов С.А.* Методический подход к оценке эффективности автоматизированной системы, создаваемой на основе разнородных компонентов // Радиотехника. 2005. № 5. С. 132–136.
5. *Бреслер И.Б., Новоселов П.В., Семенов С.А.* О подходе к оценке эффективности автоматизированной системы, создаваемой на основе разнородных компонентов. Сборник трудов Всероссийской научной конференции «Нечеткие системы и мягкие вычисления». НСМВ 2006. Тверь, 2006.
6. *Аксенов О.Ю., Кобан А.Я., Мельник Д.И., Семенов С.А., Семенов В.С.* Агрегирование радиолокационных систем и информации о воздушно-космической обстановке. Монография. М.: Знание, 2018. 273 с.
7. *Бриллюэн Л.* Наука и теория информации: перевод с англ. А.А. Харкевича. М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1960. 392 с.
8. *Коган И.М.* Теория информации и проблемы ближней радиолокации. М.: Сов. Радио. 1968. 144 с.
9. Технические условия на радиомодем УВ-89-03 МКПЕ.464657.002 ТУ, ЗАО «ОС ИНФОКОМ». 2010.
10. *Литвин М.В.* Передача информации и избыточность // Известия высших учебных заведений. Радиофизика. 2011. Т. 54. № 11. С. 859–868.

Поступила 6 июня 2017 г.

English

EFFICIENCY COMPARATIVE EVALUATION OF INFORMATION SYSTEMS OF HIERARCHICAL AND NETWORK STRUCTURE BASED ON ENTROPY APPROACH

Dmitry Anatolyevich Palguev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Radio Engineering, N.I. Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod.

E-mail: dmi-palguev@yandex.ru.

Address: 603950, Russian Federation, Nizhny Novgorod, Gagarin Av., 23.

Abstract: There are certain approaches to evaluate efficiency of constructing and functioning large systems, including information systems. The main feature of these approaches is that efficiency assessment is performed either via made models of information systems or via systems after their technical implementation. Making efficient models for advanced information systems functioning is extremely difficult due to a large array of initial data, factors and parameters, fast evolution pattern of information processes and lack of sufficient mathematical tools for their representation. Therefore, more generalized quantitative estimates for large systems efficiency of various structures are of interest. One of these indicators is information entropy, which enables to evaluate systems being designed before making models and before technical implementation in the phase of building structure and defining information flows in the system. To obtain comparative expressions of information entropy amount in information systems of various structures there is used assumption of information entropy amount per unit time in data transfer channel equal to maximum possible communication channel capacity. The comparison was made based on information systems that ensure processing and exchange of radar data. Using more generalized efficiency indicator (information entropy) requires a priori knowledge of information flows structure in the system. It is made clear that information entropy amount available in the system depends significantly on time delays in data delivery and processing, and as for generalized indicator of information entropy amount arising in the system, network structure is more efficient than the hierarchical one. It is possible to evaluate information system properties of various types based on entropy approach and to apply it in mathematical models of information systems of various structures to estimate their efficiency.

Keywords: information, information entropy, efficiency, information system.

References

1. *Kontorov D.S., Golubev-Novozhilov Y.S.* Introduction to radar system engineering. Moscow: Sov. radio, 1971. 368 p.
2. *Bresler I.B., Kornienkov V.V., Semenov S.A., Tikhomirov V.A., Fomin M.D.* Aggregation of information about the air situation. Monograph. Tver: Marshal's G.K. Zhukov Military Academy of the aerospace defense, 2008. 136 p.
3. *Bresler I.B., Korenkov V.M., Semenov S.A., Pilschikov D.E.* Approach to aggregation of data on highly dynamic group objects in an information system with limited capabilities. Vestnik TSU. Series "Applied mathematics". 2006. Vol. 3. No. 4 (21). Pp. 121–127.
4. *Bresler I.B., Novoselov P.V., Semenov S.A.* Methodological approach to evaluating the effectiveness of an automated system created on the basis of heterogeneous components. Radio Engineering, 2005. No. 5. Pp. 132–136.
5. *Bresler B.I., Novoselov V.P., Semenov S.A.* On the approach to evaluating the effectiveness of an automated system created on the basis of heterogeneous components. Proceedings of the all-Russian scientific conference "Fuzzy systems and soft computing". FS & SC 2006. Tver, 2006.
6. *Aksenov O.Yu., Koban A.Ya., Melnik D.I., Semenov S.A., Semenov V.S.* Aggregation of radio navigation systems and information about the aerospace environment. Monograph. Moscow: Znanie, 2018. 273 p.
7. *Brillouin L.* Science and theory of information: transl. from English by A.A. Kharkevich. Moscow: State publishing house of physical and mathematical literature, 1960. 392 p.
8. *Kogan I.M.* Theory of information and problems of short-range radar. Moscow: Sov. Radio. 1968. 144 p.
9. Technical conditions for a radio modem UV-89-03 МКРЕ.464657.002 ТУ, JSC "OS INFO-COM". 2010.
10. *Litvin V.M.* Transfer of information and the hut-precision. Proceedings of higher educational institutions. Radiophysics. 2011. Vol. 54. No. 11. Pp. 859–868.