

УДК 519.2(063)

*Леонтьев А.С., к.т.н., ст. научный сотрудник
доцент кафедры математического обеспечения и стандартизации
информационных технологий
МИРЭА – Российский технологический университет
Россия, г. Москва
Тимошкин М.С., магистрант
МИРЭА – Российский технологический университет
Россия, г. Москва*

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МОДЕЛИ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПОДГОТОВКИ АНАЛИТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация: Описаны общие схемы процессов подготовки информационно-аналитических материалов (ИАМ). Разработаны функциональные и сетевые вероятностные модели анализа типовых технологических схем выпуска ИАМ в вычислительных центрах, построенных на базе локальных вычислительных сетей. На основе теории случайных процессов разработан математический аппарат для аналитического исследования вероятностных сетевых моделей анализа временных характеристик процессов подготовки ИАМ. Получены функциональные уравнения и расчетные соотношения, позволяющие провести многовариантный анализ различных схем подготовки документов и выявить узкие места основных типовых технологий подготовки ИАМ.

Ключевые слова: информационно-аналитические материалы, вероятностные модели, типовые схемы, функция распределения, преобразование Лапласа-Стилтьеса, функциональные соотношения.

*Leontyev A.S., Ph.D. of Engineering Sciences, Senior Research Officer
Associate Professor at the Department of Mathematical Support and
Standardization of Information Technologies
MIREA – Russian Technological University
Russian Federation, Moscow
Timoshkin M.S., Master Student
MIREA – Russian Technological University
Russian Federation, Moscow*

**PROBABILISTIC MODELS OF THE PROCESSES
RESEARCHING OF ANALYTICAL MATERIALS PREPARATION**

Abstract: General schemes of processes for information and analytical materials (IAM) preparing were described. Functional and network probabilistic models were developed for the analysis of typical technological schemes for the production of IAM in computer centers built on the basis of local computer networks. Based on the theory of random processes, a mathematical apparatus was developed for the analytical research of probabilistic network models for analyzing the time characteristics of IAM preparation processes. Functional equations and calculated relationships were obtained that make it possible to conduct a multivariate analysis of various document preparation schemes and identify bottlenecks in the main standard technologies for preparing IAM.

Keywords: information and analytical materials, probabilistic models, standard schemes, distribution function, Laplace-Stieltjes transformation, functional relationships.

Введение

Основными функциональными задачами ежедневно многократно решаемыми аналитиками в интересах органов государственной власти в

информационно-аналитических центрах (ИАЦ), построенных на основе локальных вычислительных сетей (ЛВС), при подготовке информационно-аналитических материалов (ИАМ) являются поиск информации по фактографии, поиск информации по содержанию (контекстный), частотный анализ по атрибутам документов, сортировка документов, кластеризация отобранных документов, семантический анализ.

Необходимым условием сокращения сроков разработки и повышения качества функционирования, распределенных информационно-вычислительных систем является разработка методов анализа эффективности реализуемых информационных технологий, в первую очередь типовых технологий подготовки аналитиками информационно-аналитических документов [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Разработка математических моделей, описывающих основные этапы и схемы подготовки ИАМ, позволяет на основе многовариантного анализа различных технологий подготовки ИАМ автоматизировать выбор технических, программных и информационных компонент ЛВС, с помощью которых осуществляются различные режимы работы аналитиков при подготовке ИАМ. Основными методами исследования процессов подготовки ИАМ являются методы теории вероятностей [7], теории случайных процессов [8, 9], теории надежности и массового обслуживания [10, 11, 12, 13, 14, 15, 16].

Функциональные уравнения сетевых вероятностных моделей исследования процессов подготовки ИАМ

Основные технологические процессы подготовки ИАМ формализованы в виде 4 классов сетевых вероятностных моделей, описывающих - технологические операции, выполняемые аналитиками, функциональные задачи, решаемые в клиент-серверном режиме аппаратно-программными средствами ИАЦ, а также последовательность выполнения технологических операций и решения функциональных задач. При этом узлы сети соответствуют технологическим операциям и

функциональным задачам, а дуги соответствуют вероятности перехода от одного узла сети к другому. Время выполнения операции в узле сети является случайной величиной и описывается функцией распределения (ФР) этой случайной величины. Параметры ФР времени выполнения технологических операций аналитиками (1-ый и 2-ой моменты ФР) определяются методами математической статистики на основании измерений [8, 9].

Параметры ФР времени решения функциональных задач на серверах ИАЦ (моменты ФР) рассчитываются с помощью вложенной модели оценки временных характеристик обработки информации на аппаратно-программном уровне [10, 15].

Функциональные уравнения сетевых вероятностных моделей исследования процессов подготовки ИАМ базируются на использовании свойств аппарата преобразований Лапласа-Стильтьеса [1, 2, 14], заключающихся в том, что:

– преобразование Лапласа-Стильтьеса функции распределения некоторой случайной величины является производящей функцией для моментов ФР этой случайной величины;

– преобразование Лапласа-Стильтьеса ФР случайной величины, являющейся суммой независимых случайных величин, является произведением преобразований Лапласа-Стильтьеса ФР этих случайных величин.

В частности, эффективность применения математического аппарата, базирующегося на свойствах преобразований Лапласа-Стильтьеса ФР случайных величин, была продемонстрирована при разработке аналитических моделей исследования процессов обработки информации в локальных вычислительных сетях [16].

Рассмотрим простейший технологический процесс подготовки ИАМ. При поступлении запроса на подготовку ИАМ выполняются следующие действия:

– с вероятностью P_1 готовится предписание на фактографический поиск (ФР $\Pi_1(t)$), выполняется поиск (ФР $T_1(t)$), анализируются отобранные документы (ФР $a_1(t)$), с вероятностью P_{11} уточняется предписание Π_1 и повторяется операция поиска T_1 , а с вероятностью P_{12} ($P_{12}=1-P_{11}$) результаты передаются на конечную операцию – анализ выходной коллекции документов A_4 (ФР $A_4(t)$);

– с вероятностью P_2 готовится предписание на контекстный поиск (ФР $\Pi_2(t)$), выполняется поиск (ФР $T_2(t)$), анализируются отобранные документы (ФР $a_2(t)$), с вероятностью P_{21} уточняется предписание Π_2 и повторяется операция контекстного поиска T_2 , а с вероятностью P_{22} ($P_{22}=1-P_{21}$) результаты передаются на конечную операцию – анализ выходной коллекции документов A_4 (ФР $A_4(t)$).

Функциональное уравнение, описывающее преобразования Лапласа-Стилтьеса функции распределения времени подготовки ИАМ $X^*(s)$

$\{X^*(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} dX(t)\}$, имеет вид:

$$X^*(s) = P_1 \{ (1-P_{11}) \Pi_1^*(s) T_1^*(s) a_1^*(s) A_4^*(s) / [1 - P_{11} \Pi_1^*(s) T_1^*(s) a_1^*(s)] \} + P_2 \{ (1-P_{21}) \Pi_2^*(s) T_2^*(s) a_2^*(s) A_4^*(s) / [1 - P_{21} \Pi_2^*(s) T_2^*(s) a_2^*(s)] \} \quad (1)$$

где $\Pi_1^*(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} d\Pi_1(t)$, $T_1^*(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} dT_1(t)$, $a_1^*(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} da_1(t)$,

$$\Pi_2^*(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} d\Pi_2(t), \quad T_2^*(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} dT_2(t), \quad a_2^*(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} da_2(t).$$

Действительно функциональное соотношение, описывающее фактографический поиск имеет вид:

$$F_{\phi n}^*(s) = \sum_{k=1}^{\infty} P_{11}^{k-1} (1 - P_{11}) [P_1^*(s) T_1^*(s) a_1^*(s)]^k = \frac{1 - P_{11}}{P_{11}} \sum_{k=1}^{\infty} P_{11}^k [P_1^*(s) T_1^*(s) a_1^*(s)]^k =$$

$$= \frac{(1 - P_{11}) P_{11} P_1^*(s) T_1^*(s) a_1^*(s)}{P_{11} [1 - P_{11} P_1^*(s) T_1^*(s) a_1^*(s)]} = (1 - P_{11}) \frac{P_1^*(s) T_1^*(s) a_1^*(s)}{[1 - P_{11} P_1^*(s) T_1^*(s) a_1^*(s)]}, \quad (2)$$

где $F_{\phi n}^*(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} dF_{\phi n}(t)$ - преобразование Лапласа-Стильтьеса функции распределения времени выполнения операции фактографического поиска документов ($F_{\phi n}(t)$).

Дифференцируя соотношение (2) по s и полагая $s=0$, можно легко получить следующую формулу для оценки среднего времени операций фактографического поиска:

$$F_{\phi n}^{(1)} = -(F_{\phi n}^*(s))' |_{s=0} = \frac{1}{1 - P_{11}} [P_1^{(1)} + T_1^{(1)} + a_1^{(1)}], \quad (3)$$

где $P_1^{(1)}$ - среднее время подготовки оператором предписания на фактографический поиск на рабочей станции, $T_1^{(1)}$ - среднее время выполнения фактографического поиска на сервере ЛВС по заданному предписанию, $a_1^{(1)}$ - среднее время анализа на рабочей станции аналитиком документов, отобранных при фактографическом поиске по заданному предписанию, и принятие решения о корректировке операции поиска. Оценка параметров $P_1^{(1)}$, $a_1^{(1)}$, а также вероятности P_{11} осуществляется статистическими методами на основе непосредственных измерений операций, выполняемых аналитиками на рабочих местах ЛВС.

Функциональные соотношения, описывающие операции контекстного поиска, имеют вид:

$$F_{kn}^*(s) = \sum_{i=1}^{\infty} P_{21}^{i-1} (1 - P_{21}) [P_2^*(s) T_2^*(s) a_2^*(s)]^i = (1 - P_{21}) \frac{P_2^*(s) T_2^*(s) a_2^*(s)}{[1 - P_{21} P_2^*(s) T_2^*(s) a_2^*(s)]}, \quad (4)$$

где $F_{kn}^*(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} dF_{kn}(t)$ - преобразование Лапласа-Стильтьеса функции распределения ($F_{kn}(t)$) времени выполнения операций контекстного поиска

документов в ЛВС, включая операции на рабочей станции и сервере поиска.

Из выражения (4) легко получить следующую формулу для оценки среднего времени операций контекстного поиска в ЛВС:

$$F_{kn}^{(1)} = -(F_{kn}^*(s))' |_{s=0} = \frac{1}{1-P_{21}} [\Pi_2^{(1)} + T_2^{(1)} + a_2^{(1)}], \quad (5)$$

где $\Pi_2^{(1)}$ - среднее время подготовки оператором предписания на контекстный поиск на рабочей станции, $T_2^{(1)}$ - среднее время выполнения фактографического поиска на сервере ЛВС по заданному предписанию, $a_2^{(1)}$ - среднее время анализа на рабочей станции аналитиком документов, отобранных при контекстном поиске по заданному предписанию, и принятия решения о корректировке предписания на поиск.

Определив с помощью вложенной модели аппаратно-программного уровня параметры ФР $T_1(t)$ и $T_2(t)$ [3, 10, 15] и дифференцируя функциональное уравнение (1) по s , легко получить расчетные соотношения для оценки среднего значения ($X^{(1)}$), дисперсии ($X^{(2)} - (X^{(1)})^2$) ФР времени подготовки ИАМ ($X(t)$) для заданного технологического процесса. В частности, $X^{(1)}$ определяется следующей формулой:

$$\begin{aligned} X^{(1)} &= (P_1 F_{\phi n}^{(1)} + P_2 F_{kn}^{(1)}) + A_4^{(1)} = \\ &= \left\{ P_1 \frac{1}{1-P_{11}} [\Pi_1^{(1)} + T_1^{(1)} + a_1^{(1)}] + P_2 \frac{1}{1-P_{21}} [\Pi_2^{(1)} + T_2^{(1)} + a_2^{(1)}] \right\} + A_4^{(1)}, \end{aligned} \quad (6)$$

где P_1 - вероятность того, что при выполнении операций поиска документов будет реализовываться фактографический поиск, а P_2 ($P_2 = 1 - P_1$) - вероятность того, что будет реализовываться контекстный поиск, $A_4^{(1)}$ - среднее время анализа аналитиком выходной коллекции документов.

Не представляет затруднений вывод функциональных уравнений и для других технологических процессов, описываемых сетевыми

вероятностными моделями. Зная моменты ФР времени подготовки ИАМ ($X^{(1)}$, $X^{(2)}$), можно легко вычислить, используя соответствующую аппроксимацию в классе двухпараметрических функций [10], и вероятность подготовки ИАМ к заданному сроку.

Наряду с такими базовыми задачами как фактографический и контекстный поиск, выполняемыми в ЛВС информационно-аналитических центров, аналитики часто решают в клиент-серверном режиме такие базовые задачи, как частотный анализ, кластерный анализ и семантический анализ. Приведем функциональные и расчетные соотношения, описывающие случайные процессы частотного, кластерного и семантического анализа.

Функциональные соотношения, описывающие базовые операции частотного анализа, имеют вид:

$$T_{ca}^*(s) = (1 - P_q) \frac{U_q^*(s)T_q^*(s)a_q^*(s)}{[1 - P_q U_q^*(s)T_q^*(s)a_q^*(s)]}, \quad (7)$$

где $T_{ca}^*(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} dT_{ca}(t)$ - преобразование Лапласа-Стильтьеса функции распределения ($T_{ca}(t)$) времени выполнения операций частотного анализа документов в ЛВС, включая операции на рабочей станции и сервере поиска;

$U_q^*(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} dU_q(t)$, $U_q(t)$ - ФР времени выбора на рабочей станции оператором параметров для решения задачи частотного анализа;

$T_q^*(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} dT_q(t)$, $T_q(t)$ - ФР времени выполнения операции частотного анализа на сервере ЛВС;

$a_q^*(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} da_q(t)$, $a_q(t)$ - ФР времени принятия решения аналитиком о повторе операции частотного анализа;

$P_{ч}$ - вероятность повторного выполнения операции частотного анализа.

Из соотношения (7) легко получить расчетные соотношения для среднего времени операций частотного анализа документов ($T_{ча}^{(1)}$):

$$T_{ча}^{(1)} = -(T_{ча}^*(s))' |_{s=0} = \frac{1}{1-P_{ч}} [U_{ч}^{(1)} + T_{ч}^{(1)} + a_{ч}^{(1)}]. \quad (8)$$

Не представляет затруднений вывод функциональных соотношений в терминах преобразований Лапласа-Стильтьеса, описывающих базовые операции кластерного и семантического анализа при подготовке информационно-аналитических документов:

$$T_{кла}^*(s) = (1-P_{кл}) \frac{K_{кл}^*(s)T_{к}^*(s)a_{кл}^*(s)}{[1-P_{кл}K_{кл}^*(s)T_{к}^*(s)a_{кл}^*(s)]}, \quad (9)$$

где $T_{кла}^*(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} dT_{кла}(t)$ - преобразование Лапласа-Стильтьеса функции распределения времени выполнения операций кластерного анализа документов в ЛВС, включая операции на рабочей станции и сервере поиска, $K_{кл}^*(s), T_{к}^*(s), a_{кл}^*(s)$ - преобразования Лапласа-Стильтьеса функций распределения, соответственно, времени выбора на рабочей станции оператором параметров для решения задачи кластерного анализа, времени выполнения операции кластерного анализа на сервере ЛВС, времени принятия решения аналитиком о повторе операции кластерного анализа, $P_{кл}$ - вероятность повторного выполнения операции кластерного анализа.

$$T_{сем}^*(s) = (1-P_{с}) \frac{C_{сa}^*(s)T_{с}^*(s)a_{с}^*(s)}{[1-P_{с}C_{сa}^*(s)T_{с}^*(s)a_{с}^*(s)]}, \quad (10)$$

где $T_{сем}^*(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} dT_{сем}(t)$ - преобразование Лапласа-Стильтьеса функции распределения времени выполнения операций семантического анализа документов в ЛВС, включая операции на рабочей станции и сервере

поиска, $C_{ca}^*(s), T_c^*(s), a_c^*(s)$ - преобразования Лапласа-Стилтьеса функций распределения, соответственно, времени выбора на рабочей станции оператором параметров для решения задачи семантического анализа, времени выполнения операции семантического анализа на сервере ЛВС, времени принятия решения аналитиком о повторе операции семантического анализа, P_c - вероятность повторного выполнения операции семантического анализа.

Из функциональных выражений (9) и (10) можно легко получить моменты ФР $T_{kla}(t)$ и $T_{sem}(t)$. В частности, математические ожидания $T_{kla}^{(1)}$ и $T_{sem}^{(1)}$ определяются формулами:

$$T_{kla}^{(1)} = -(T_{kla}^*(s))' |_{s=0} = \frac{1}{1 - P_{kl}} [K_{kl}^{(1)} + T_{\kappa}^{(1)} + a_{kl}^{(1)}], \quad (11)$$

$$T_{sem}^{(1)} = -(T_{sem}^*(s))' |_{s=0} = \frac{1}{1 - P_c} [C_{ca}^{(1)} + T_c^{(1)} + a_c^{(1)}]. \quad (12)$$

При этом средние времена выполнения операций кластерного $T_{\kappa}^{(1)}$ и семантического $T_c^{(1)}$ анализа на сервере ЛВС определяются с помощью вложенной аналитической модели аппаратно-программного уровня, а параметры $P_{kl}, P_c, K_{kl}^{(1)}, C_{ca}^{(1)}, a_{kl}^{(1)}, a_c^{(1)}$ оцениваются статистическими методами на основании серии непосредственных измерений количества повторений и времени выполнения операций в ЛВС на рабочих местах аналитиков при решении ими базисных задач.

Типовой технологический тракт подготовки ИАМ

Рассмотрим типовой технологический тракт подготовки ИАМ на основе рассмотренных выше базовых операций. Пусть технологический тракт включает базовые операции фактографического и контекстного поиска документов, частотного, кластерного и семантического анализа

коллекции документов, а также заключительную операцию анализа выходной коллекции документов.

Операции фактографического и контекстного поиска, выполняемые аналитиками при подготовке информационно-аналитических материалов, рассмотрены при выводе функционального соотношения (1). Из этого соотношения легко получить преобразование Лапласа-Стильтьеса для функции распределения времени выполнения обобщенной операции «Поиск» - $ПОИСК(t)$:

$$ПОИСК^*(s) = P_1 \{ (1-P_{11}) \Pi_1^*(s) T_1^*(s) a_1^*(s) / [1-P_{11} \Pi_1^*(s) T_1^*(s) a_1^*(s)] \} + P_2 \{ (1-P_{21}) \Pi_2^*(s) T_2^*(s) a_2^*(s) / [1-P_{21} \Pi_2^*(s) T_2^*(s) a_2^*(s)] \}, \quad (13)$$

где $ПОИСК^*(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} d(ПОИСК(t))$.

Дифференцируя функциональное соотношение (13) по s можно легко получить расчетные формулы для моментов ФР $ПОИСК(t)$. В частности, среднее значение операции «Поиск» ($ПОИСК^{(1)}$) рассчитывается по следующей формуле:

$$ПОИСК^{(1)} = \{ P_1 \frac{1}{1-P_{11}} [\Pi_1^{(1)} + T_1^{(1)} + a_1^{(1)}] + P_2 \frac{1}{1-P_{21}} [\Pi_2^{(1)} + T_2^{(1)} + a_2^{(1)}] \}. \quad (14)$$

После завершения обобщенной операции «Поиск» аналитиком принимается решение о дальнейшей обработке коллекции документов, найденной в соответствии с заданными им предписаниями на фактографический и контекстный поиск информации, (операция анализ $A1$, ФР длительности этой операции $A_1(t)$). После завершения операции $A1$ с вероятностью $P_{1ч}$ коллекция документов передается на операцию частотного анализа $ЧА$ (ФР $T_{ча}(t)$), с вероятностью $P_{1кл}$ - на операцию кластерного анализа $КЛА$ (ФР $T_{кла}(t)$), с вероятностью $P_{1с}$ - на операцию семантического анализа $СА$ (ФР $T_{сем}(t)$) и с вероятностью $P_{1к}$ - на операцию экспертного анализа выходной коллекции документов $АКД$ (ФР $AK(t)$). При этом выполняется условие нормировки $P_{1ч} + P_{1кл} + P_{1с} + P_{1к} = 1$.

После выполнения операции частотного анализа аналитиком принимается решение о дальнейшей обработке документов (операция анализ A_2 , ФР длительности этой операции $A_2(t)$). После завершения операции A_2 с вероятностью $P_{2кл}$ коллекция документов передается на операцию $КЛА$, с вероятностью $P_{2с}$ - на операцию семантического анализа $СА$ и с вероятностью $P_{2к}$ - на операцию АКД ($P_{2кл}+P_{2с}+P_{2к}=I$).

После выполнения операции кластерного анализа аналитиком снова принимается решение о дальнейшей обработке документов (операция анализ A_3 , ФР длительности этой операции - $A_3(t)$). После завершения операции A_3 с вероятностью $P_{3с}$ коллекция документов передается на операцию семантического анализа $СА$ и с вероятностью $P_{3к}$ - на операцию АКД ($P_{3с}+P_{3к}=I$). И, наконец, после завершения операции $СА$ всегда выполняется операция АКД – экспертный анализ выходной коллекции документов.

Функциональное уравнение, определяющее преобразование Лапласа-Стилтьеса ФР времени подготовки информационно-аналитических материалов $ИАМ_1(t)$ в соответствии с рассмотренной выше вероятностной сетевой моделью типового технологического тракта, можно получить, воспользовавшись функциональными соотношениями (7), (9), (10), (13), определяющими $T_{ча}^*(s)$, $T_{кла}^*(s)$, $T_{сем}^*(s)$, $ПОИСК^*(s)$:

$$\begin{aligned}
 ИАМ_1^*(s) = & ПОИСК^*(s) A_1^*(s) \{ P_{1к} AK^*(s) + P_{1с} T_{сем}^*(s) AK^*(s) + \\
 & + P_{1кл} T_{кла}^*(s) A_3^*(s) (P_{3с} T_{сем}^*(s) AK^*(s) + P_{3к} AK^*(s)) + \\
 & + P_{1ч} T_{ча}^*(s) A_2^*(s) [P_{2к} AK^*(s) + P_{2с} T_{сем}^*(s) AK^*(s) + \\
 & + P_{2кл} T_{кла}^*(s) A_3^*(s) (P_{3с} T_{сем}^*(s) AK^*(s) + P_{3к} AK^*(s))] \} = \\
 = & ПОИСК^*(s) A_1^*(s) \{ P_{1к} + P_{1с} T_{сем}^*(s) + P_{1ч} T_{ча}^*(s) A_2^*(s) (P_{2к} + P_{2с} T_{сем}^*(s)) + \\
 & + (P_{1кл} + P_{1ч} P_{2кл} T_{ча}^*(s) A_2^*(s)) [T_{кла}^*(s) A_3^*(s) (P_{3с} T_{сем}^*(s) + P_{3к})] + \\
 & + P_{1ч} T_{ча}^*(s) A_2^*(s) (P_{2к} + P_{2с} T_{сем}^*(s)) \} AK^*(s).
 \end{aligned} \tag{15}$$

Дифференцируя (15) по s , получим следующее соотношение для расчета среднего времени подготовки $ИАМ_I$ ($ИАМ_I^{(1)}$):

$$ИАМ_I^{(1)} = ПОИСК^{(1)} + A_1^{(1)} + P_{1ч} (T_{ча}^{(1)} + A_2^{(1)}) + (P_{1кл} + P_{1ч} P_{2кл}) [T_{кла}^{(1)} + A_3^{(1)}] + (P_{1с} + P_{1ч} P_{2с} + P_{1ч} P_{2к} P_{3с}) T_{сем}^{(1)} + AK^{(1)}. \quad (16)$$

Средние значения $ПОИСК^{(1)}$, $T_{ча}^{(1)}$, $T_{кла}^{(1)}$, $T_{сем}^{(1)}$ оцениваются на основании параметров ФР типовых базовых операций с помощью соотношений (14), (8), (11), (12).

Не представляет затруднений оценка на основе функциональных соотношений (7), (9), (10), (13), (15) не только среднего значения ФР $ИАМ_I(t)$, но и второго момента и дисперсии этой ФР.

Обычно для подготовки итогового информационно-аналитического документа $ИАМ_{I\Sigma}$ требуется подготовить несколько $ИАМ_I$ в соответствии с рассмотренным (или похожим) типовым технологическим трактом. При этом обычно известно (определяется на основе статистических данных) распределение дискретной целочисленной функции количества $ИАМ_I$, подготавливаемых при разработке $ИАМ_{I\Sigma}$. Тогда распределение Лапласа-Стильтьеса ФР времени разработки $ИАМ_{I\Sigma}$ определяется следующим соотношением:

$$ИАМ_{I\Sigma}^*(s) = P_{1\Sigma} (ИАМ_I^*(s))^{K_1} + P_{2\Sigma} (ИАМ_I^*(s))^{K_2} + \dots + P_{n\Sigma} (ИАМ_I^*(s))^{K_n}, \quad (17)$$

где $P_{i\Sigma}$ - вероятность того, что при разработке итогового $ИАМ_{I\Sigma}$ необходимо подготовить K_i $ИАМ_I$ по рассмотренной выше первой технологической схеме ($i=1, n$). $\sum_{i=1}^n P_{i\Sigma} = 1$.

Моменты ФР времени разработки итогового документа $ИАМ_{I\Sigma}$ можно определить, дифференцируя выражение (17) по s . В частности, среднее время разработки итогового документа $ИАМ_{I\Sigma}^{(1)}$ равно:

$$ИАМ_{I\Sigma}^{(1)} = P_{1\Sigma} * K_1 * ИАМ_I^{(1)} + P_{2\Sigma} * K_2 * ИАМ_I^{(1)} + \dots + P_{n\Sigma} * K_n * ИАМ_I^{(1)}. \quad (18)$$

При этом оценка $ИАМ_i^{(1)}$ производится с помощью соотношения (16), а вероятности $P_{i\Sigma}$ ($i=1,n$) оцениваются на основании статистических данных по разработке итоговых информационно-аналитических материалов за длительный промежуток времени (порядка нескольких лет).

Не представляет затруднений вывод функциональных уравнений и для других технологических трактов подготовки информационно-аналитических материалов, описываемых сетевыми вероятностными моделями. Рассчитав первый и второй моменты ФР времени подготовки ИАМ в соответствии с определенной сетевой вероятностной моделью технологического тракта (например $ИАМ_i^{(1)}$, $ИАМ_i^{(2)}$) и определив первый и второй моменты ФР длительности разработки итогового документа (например $ИАМ_{i\Sigma}^{(1)}$, $ИАМ_{i\Sigma}^{(2)}$), можно легко вычислить и вероятность подготовки ИАМ или разработки итогового документа к заданному сроку, используя соответствующую аппроксимацию в классе двухпараметрических функций.

Заключение

В работе получены следующие результаты:

– Проведен анализ сетевых вероятностных моделей исследования типовых технологических схем выпуска информационно-аналитических материалов (ИАМ) в вычислительных центрах, построенных на базе локальных вычислительных сетей.

– Разработан математический аппарат для аналитического исследования вероятностных сетевых моделей анализа временных характеристик процессов подготовки ИАМ. Получены функциональные уравнения и расчетные соотношения, позволяющие провести многовариантный анализ различных схем подготовки документов и выявить узкие места основных типовых технологий подготовки ИАМ.

– На базе теории случайных процессов получены достаточно универсальные расчетные соотношения для анализа вероятностно-временных характеристик типовых процессов подготовки ИАМ, которые могут представлять интерес для широкого круга специалистов.

Использованные источники:

1. Бирюкова А.А., Гусев К.В., Леонтьев А.С. Метод поддержки принятия управленческих решений в кризисных ситуациях на базе автоматизированных систем управления//Информатизация и связь. 2022, № 6. С. 65-74. DOI: 10.34219/2078-8320-2022-13-6-65-74.
2. Leontiev A.S., Golovin S.A., Gusev K.V. Вероятностные сетевые модели исследования типовых технологических схем обработки информации в аналитических центрах//Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2022. Т. 18, № 3. С. 516-527. ISSN 2411-1473. DOI: <https://doi.org/10.25559/SITITO.18.202203.516-527>.
3. Леонтьев А.С., Тимошкин М.С. Многоуровневые аналитические модели исследования процессов решения задач при искажении входной информации// Экономика и социум. 2022. № 9(100). С. 435-442.
4. Демидов А.А., Захаров Ю.Н. Информационно-аналитическая система поддержки принятия решений в органах государственной власти и местного самоуправления. Основы проектирования и внедрения [электронный ресурс]. – СПб.: НИУ ИТМО, 2012. – 100 с.
5. Дудихин В.В., Дудихина О.В. Конкурентная разведка в Internet. Советы аналитика [электронный ресурс]. – М.: ДМК Пресс, 2009. – 192 с.
6. Карминский А.М. Информационно-аналитическая составляющая бизнеса: методология и практика [электронный ресурс]. – М.: Финансы и статистика, 2007. – 271 с.
7. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения в 2-х Т. – Т. 1. – М.: «ЛИБРОКОМ», 2010. – 528 с.

8. Вентцель Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. – М.: Наука, 1991. – 368 с.
9. Булинский А.В., Ширяев А.Н. Теория случайных процессов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004.– 403 с.
10. Леонтьев А.С. Многоуровневые аналитические и аналитико-имитационные модели оценки вероятностно-временных характеристик многомашинных вычислительных комплексов с учетом надежности// Международный научно-исследовательский журнал, 2023, № 5(131). DOI:10.23670/IRJ.2023.131.8.
11. Андреев А.В., Яковлев В.В., Короткая Т.Ю. Теоретические основы надежности технических систем// Учебное пособие. – Спб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2018. – 164 с.
12. Саати Т.Л. Элементы теории массового обслуживания и ее приложения. – 3-е Изд. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ». 2010. – 520 с.
13. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.
14. Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н. Введение в теорию массового обслуживания. – 2-е Изд. перераб. и доп. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. -1987. – 336 с.
15. Леонтьев А.С. Аналитические методы расчета вероятностно-временных характеристик информационных процессов в вычислительных системах на базе многоуровневых вложенных сетевых моделей с ненадежными элементами// Теоретические вопросы вычислительной техники и программного обеспечения: Межвузовский сборник научных трудов. – М.: МИРЭА, 2006. – С. 50-56.
16. Леонтьев А.С. Разработка аналитических методов, моделей и методик анализа локальных вычислительных сетей// Теоретические вопросы программного обеспечения: Межвузовский сборник научных трудов. – М.: МИРЭА, 2001.- с. 70-94.