

## МОДЕЛИ И АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ СБОРА И ДОВЕДЕНИЯ ДАННЫХ В ИЕРАРХИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ

*Поветко П.В., Суховой Е.Г., Сухоруков Ю.С.*

В настоящее время наблюдается рост исследований и разработок, связанных с проектированием автоматизированных систем управления. Последние достижения в области телекоммуникации и информационных технологий позволяют создавать все более сложные интегрированные информационно-управляющие системы (ИИУС), как по своему составу, так и по выполняемым функциям. Это предъявляет высокие требования к научно-методическому обеспечению проектирования как ИИУС в целом, так и их составных сопрягаемых частей – информационных, телекоммуникационных и управляющих подсистем.

Поскольку от того, какие системотехнические решения будут приняты на первых этапах проектирования ИИУС, существенно зависит успех их разработки, на практике при проектировании как ИИУС в целом, так и их составных частей, используется, как правило, их макетирование и экспериментальное обоснование необходимых системотехнических решений [1]. Это существенно повышает трудоемкость проектирования ИИУС, но не гарантирует выбор лучших системотехнических решений.

Снизить затраты на эти работы и риск неэффективных решений могло бы позволить использование при проектировании ИИУС математических моделей протекающих в них процессов, позволяющих сравнивать, пусть приближенно, варианты системотехнических решений по сопряжению (интеграции) составных частей, подлежащих дополнительному исследованию более сложными методами.

Среди этих моделей важное место занимают модели процессов сбора, обработки и доведения данных в многоуровневых ИИУС.

Известно, что эффективность ИИУС существенно зависит от того, как оперативно их подсистема управления получит информацию о значимых изменениях состояния управляемых объектов (процессов), насколько полной и достоверной будет эта информация, как быстро будут приняты и доведены соответствующим исполнительным элементам управленческие решения. Очевидно, что эффективность ИИУС, наряду с другими факторами, зависит от того, какой пропускной способностью обладает ее телекоммуникационная подсистема, и от того, как эта объективно ограниченная пропускная способность будет использоваться при реализации процедур сбора, обработки и доведения данных. Поэтому известными нормативно-техническими документами [1,2] рекомендуется использовать при проектировании систем телекоммуникаций, обеспечивающих сбор, обработку и доведение

*Анализируются закономерности «трансформации» законов распределения вероятности длительности процессов по уровням системы и их влияния на вероятность актуальности данных, используемых управляющей подсистемой. Обосновываются аналитические выражения для оценки вероятностно-временных характеристик процессов сбора, обработки и доведения данных в многоуровневой системе и вероятности актуальности данных, не требующие использовавшихся ранее допущений и ограничений. На основе полученных выражений предлагается способ анализа эффективности регламентированного сбора данных.*

данных в ИИУС, такой интегральный показатель их качества, как вероятность актуальности данных, представляемых управляющей подсистеме (вероятность того, что собранные и представленные подсистеме управления данные на момент их использования соответствуют действительному состоянию объектов или процессов). Однако для оценки этой вероятности в известных работах рекомендуются методики, разработанные для одноуровневых систем при допущении, что вероятностно-временные характеристики (ВВХ) процессов сбора, обработки и доведения данных могут быть аппроксимированы экспоненциальными законами распределения вероятности значений времени между значимыми событиями и времени их доведения подсистеме управления.

В многоуровневых интегрированных системах, состоящих из большого числа подсистем, имеются предпосылки для того, что указанное допущение может не выполняться. В частности, при последовательном сборе (обработке) данных вследствие центральной предельной теоремы теории вероятностей время сбора, обработки и доведения данных должно иметь закон распределения вероятностей, близкий к нормальному закону. При параллельном сборе данных законы распределения вероятности его длительности определяются законами распределения вероятности значений нелинейных, в общем случае, функций случайных величин [3], и совсем не «обязаны» быть экспоненциальными законами. Возникает вопрос о том, насколько существенны эти особенности сбора, обработки и доведения данных в многоуровневых иерархических системах при оценке показателя эффективности их подсистемы телекоммуникаций.

**Целью настоящей статьи** является обоснование аналитических выражений для оценки вероятности актуальности данных, применительно к особенностям многоуровневых интегрированных информационно-управляющих систем и проведение с их помо-

щью оценок эффективности процесса сбора и доведения информации.

**Для достижения указанной цели проводится:**

- выявление и исследование закономерностей формирования ВВХ процессов сбора, обработки и доведения данных в многоуровневых иерархических системах;
- оценка погрешностей описания этих ВВХ типовыми законами распределения вероятностей длительности процессов;
- оценка погрешностей, которые могут возникать при определении вероятности актуальности данных в ИИУС их сбора и обработки в условиях неопределенности реальных законов распределения вероятности длительности этих процессов;
- обоснование на этой основе удобных для инженерных расчетов аналитических выражений для вероятности актуальности данных;
- анализ эффективности регламентированной процедуры сбора данных в многоуровневой иерархической системе с помощью полученных выражений.

**Закономерности ВВХ процессов сбора, обработки и доведения данных в многоуровневых иерархических системах** рассмотрим на примере типовой трехуровневой иерархической системы. Для каждого уровня этой системы имеются свои источники информации. На нижнем уровне это первичные источники. Источниками информации для вышестоящих уровней являются нижестоящие уровни и, дополнительно, собственные первичные источники.

Процессы сбора и обработки данных на каждом уровне такой системы могут быть организованы по-разному:

- последовательный сбор данных от источников;
- параллельный сбор;
- последовательно-параллельный сбор, когда от одной части источников данные собираются и обрабатываются параллельно, а от другой – последовательно.

В любом случае процесс сбора и обработки данных на каждом уровне системы завершается тогда, когда будут получены и обработаны данные от последнего из источников информации.

При последовательном процессе сбора и обработки данных на каждом из уровней системы его суммарное время при достаточно большом числе источников в соответствии с центральной предельной теоремой теории вероятности можно считать имеющим нормальный закон распределения вероятностей значений. При этом среднее значение и дисперсия времени сбора и обработки данных пропорциональны числу источников информации.

При параллельном сборе и обработке данных на каждом из уровней системы его суммарное время определяется максимальным значением случайного времени сбора и обработки данных от  $N$  источников.

Последовательно-параллельный сбор данных можно рассматривать как частный случай параллельного сбора, при котором группа источников, данные от которых собираются последовательно, рассматривается как один источник. Поэтому в качестве типового рассмотрим случай параллельного сбора, обработки и доведения (доклада) данных на одном уровне системы.

Для случая параллельного сбора данных на одном уровне системы в соответствии с известным [3] выраже-

нием для закона распределения вероятности максимальной из  $N$ , считаемых независимыми случайных величин, вероятность окончания процесса к моменту времени  $P_{\Sigma}(t < T)$  имеет вид

$$P_{\Sigma}(t < T) = \prod_{i=1}^N P_i(t < T), \quad (1)$$

где  $P_i(t < T)$  – вероятность окончания ко времени  $T$  доклада от  $i$ -го источника.

В соответствии с (1), если вероятность времени сбора, обработки и доведения данных от одного источника имеет, например, экспоненциальный закон распределения, то закон распределения времени окончания всех докладов из  $N$  источников экспоненциальным не является [3].

На основе (1) могут быть определены статистические моменты длительности сбора и обработки данных на уровне системы. Например, среднее время окончания всех докладов  $T_{cp\Sigma}$  может быть вычислено по формуле

$$T_{cp\Sigma} = \int_0^{\infty} t \sum_{i=1}^N W_i(t) \prod_{k=1}^{i-1} P_k(t) \prod_{m=i+1}^N P_m(t) dt, \quad (2)$$

где  $W_i(t)$  – плотность вероятности времени сбора, обработки и доведения данных от одного источника. В частном случае экспоненциальных законов распределения вероятности времени сбора, обработки и доведения данных от одного источника и одинаковых для разных источников средних значений этого времени  $T_{cp1}$ , среднее время окончания всех докладов  $T_{cp\Sigma}$  может быть представлено в виде

$$T_{cp\Sigma} = T_{cp1} \times \left[ N + \sum_{k=1}^{N-1} (-1)^k \frac{N!}{(N-1-k)! \cdot k! \cdot (k+1)^2} \right], \quad (3)$$

Как следует из (3), при экспоненциальных законах распределения вероятности времени сбора, обработки и доведения данных от одного источника среднее время окончания всех докладов прямо пропорционально среднему значению этого времени  $T_{cp1}$ , но достаточно сложно зависит от числа источников  $N$ . На основе (1) могут быть получены выражения и для других статистических моментов времени окончания всех докладов при различных законах распределения вероятности времени сбора, обработки и доведения данных от одного источника. Однако, как показали предпринятые попытки получить такие выражения, они индивидуальны для каждого из указанных законов и, как правило, достаточно сложны. Поэтому для выявления общих закономерностей формирования ВВХ процессов сбора, обработки и доведения данных в многоуровневых иерархических системах и оценки погрешностей описания этих ВВХ типовыми законами распределения вероятностей длительности процессов были использованы численные методы, а выявленные при аналитическом исследовании частные закономерности изменения ВВХ процессов сбора, обработки и доведения данных использованы для отыскания эквивалентных параметров обобщенных моделей.

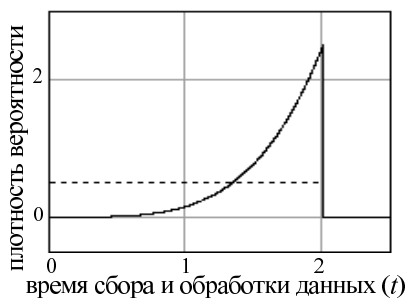
В результате проведенных расчетов и анализа их результатов установлено следующее:

1. Уже на первом уровне трехуровневой иерархической системы происходит определенная «нормализация» законов распределения времени окончания всех докладов. Для этих законов могут быть определены математические ожидания и дисперсии, зависящие от числа источников информации, математических ожиданий и дисперсий времени сбора, обработки и доведения данных от одного источника.

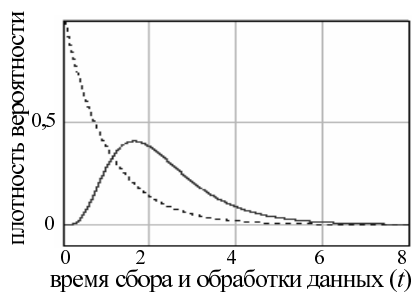
Так, на рис.1 а), б) и в) представлены типовые зависимости  $W_i(t)$  и  $W_{\Sigma}(t)$  для случаев равномерного, экспоненциального и нормального законов распределения вероятностей значений времени сбора и обработки данных от одного источника, соответственно.

При экспоненциальном законе распределения вероятностей значений времени сбора и обработки данных от одного источника происходит "нормализация" длительности цикла. При нормальном – плотность вероятностей значений длительности цикла остается близкой к плотности нормального закона (хотя и не совпадает с ним). Определенная "нормализация" присутствует даже при равномерном законе распределения вероятностей значений времени сбора и обработки данных.

На рис.2 и 3 представлены результаты расчетов зависимости  $T_{\text{ср}\Sigma}$  от числа источников и от средней длительности одного доклада. Как следует из рис.3, во всех случаях среднее значение длительности цикла практически линейно зависит от среднего значения времени сбора и обработки данных от одного источника. Однако, как следует из рис.2, средние длительности циклов по-разному зависят от числа источников. Эта зависимость нелинейная. Причем, можно заметить, что средние длительности циклов зависят не только от числа источников, но и от коэффициента вариации закона распределения времени сбора и обработки данных от одного источника.



а)



б)

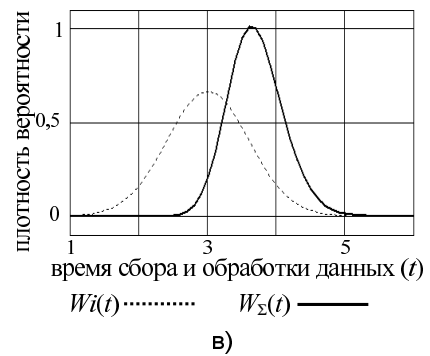


Рис.1. Зависимости плотности вероятностей значений времени сбора и обработки информации от одного источника и длительности цикла сбора и обработки информации на уровне системы для: а) равномерного; б) экспоненциального; в) нормального законов распределения вероятности значений времени сбора и обработки данных от одного источника.

Число источников информации – 5. Среднее время сбора и обработки данных от одного источника – 1 минута в случаях экспоненциального и равномерного законов распределения и 3 минуты – в случае нормального закона распределения вероятностей значений времени сбора и обработки данных от одного источника.

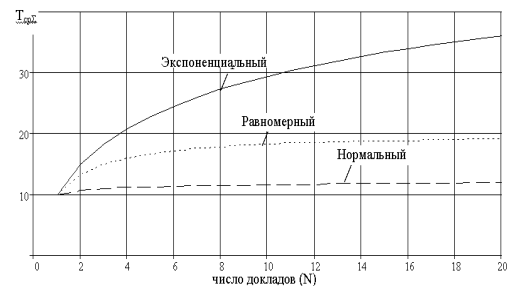


Рис.2. Зависимость среднего времени окончания всех докладов ( $T_{\text{ср}\Sigma}$ ) от числа источников  $N$ , при заданном среднем значении длительности одного доклада ( $T_{\text{ср}1}=10$ ).



Рис.3. Зависимость среднего времени окончания всех докладов ( $T_{\text{ср}\Sigma}$ ) от среднего значения длительности одного доклада ( $T_{\text{ср}1}$ ), при заданном числе докладов ( $N = 10$ ), для различных законов распределения.

Дополнительные расчеты показали, (см. рис.4), что для приближенной оценки средней длительности цикла  $T_{\text{ср}\Sigma}$  на нижнем уровне иерархической системы для всех рассмотренных законов распределения вероятности времени сбора и обработки данных от одного источника можно использовать приближенную формулу вида

$$T_{\text{ср}\Sigma} = T_{\text{ср}1} \left( N \frac{\sigma_1}{T_{\text{ср}1}} + 1 \right)^{0,4}, \quad (4)$$

где  $\sigma_1$  – среднее квадратическое отклонение значений времени сбора и обработки данных от одного источника.

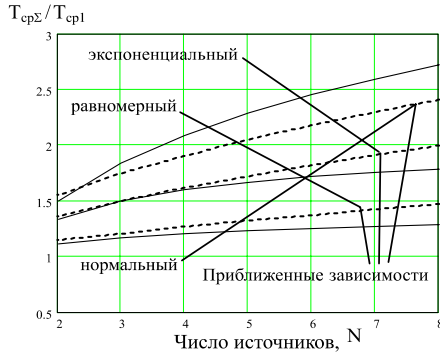


Рис.4. Изменения средних значений длительностей циклов, отнесенных к средним значениям времени сбора и обработки данных от одного источника информации в зависимости от количества этих источников для различных законов распределения вероятностей значений времени сбора и обработки данных от одного источника.

Погрешность оценки  $T_{cp\Sigma}$  в соответствии с (4) составляет: для равномерного закона распределения времени сбора и обработки данных от одного источника – до 20%, для экспоненциального – до -15%, для нормального – до 15%, при числе первичных источников до 10 (знак « $\approx$ » свидетельствует о том, что точное значение средней длительности цикла  $T_{cp\Sigma}$  больше приближенного).

Как показали расчеты, дисперсия длительности цикла сбора и обработки данных на одном уровне зависит от дисперсии времени сбора и обработки данных от одного источника и числа источников по-разному для различных законов распределения вероятностей значений времени сбора и обработки данных (рис.5).

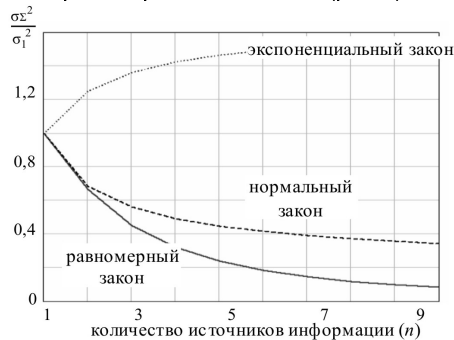


Рис.5. Зависимость отношения дисперсии длительности цикла сбора и обработки данных на одном уровне системы к дисперсии времени сбора и обработки данных от одного источника от числа источников

Так, для экспоненциального закона распределения дисперсия длительности цикла с увеличением числа источников увеличивается примерно пропорционально корню четвертой степени из числа источников, а для нормального и равномерного – уменьшается. В случае равномерного закона это уменьшение примерно обратно пропорционально числу источников, а в случае нормального – обратно пропорционально корню квадратному из числа источников. Однако, учитывая абсолютные значения изменения дисперсии длительности процесса сбора и обработки данных на уровне иерархической системы при изменении числа источников инфор-

мации, ее можно считать примерно равной дисперсии длительности сбора и обработки данных от одного источника. Как будет показано ниже, при оценке вероятности актуальности данных в практически важных случаях достаточно знать коэффициент вариации времени сбора и обработки данных от одного источника при числе источников до 6 может привести к погрешностям оценки коэффициента вариации до 30%.

**2. С повышением уровня иерархической системы степень «нормализации» законов распределения времени окончания всех докладов растет, а математическое ожидание этого времени с повышением уровня системы и увеличением числа источников на каждом уровне увеличивается в большей степени, чем его дисперсия.**

Типовые результаты расчетов плотности вероятности времени окончания приема докладов по уровням системы представлены на рис.6. На нем же для сравнения приведены аппроксимации этих законов нормальным (с теми же математическими ожиданиями и дисперсиями).



Рис.6. Плотность распределения времени окончания докладов по уровням системы (1, 2, 3 – плотности распределения времени доклада по уровням системы, 4 – плотность распределения времени доклада первичного источника – экспоненциальный со средним значением 3 минуты)

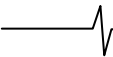
Расчеты показали, что для количественной оценки математических ожиданий длительностей циклов сбора и обработки данных на втором и третьем уровне системы могут быть использованы формулы, аналогичные (4), но отличающиеся физическим смыслом значений входящих величин. Так, на втором уровне системы среднюю длительность цикла сбора и обработки данных можно оценивать по формуле вида

$$T_{cp2} = (T_{cp\Sigma} + T_{12}) \cdot \left( N_1 \cdot \frac{\sigma_2}{(T_{cp\Sigma} + T_{12})} + 1 \right)^{0,4}, \quad (5)$$

на третьем – по формуле вида

$$T_{cp3} = (T_{cp2} + T_{23}) \cdot \left( N_2 \cdot \frac{\sigma_2}{(T_{cp2} + T_{23})} + 1 \right)^{0,4}, \quad (6)$$

где  $\sigma_2 \approx \sqrt{2} \cdot \sigma_1$  – среднее квадратическое отклонение времени сбора и обработки данных на первом уровне и их передачи на вышестоящий уровень,  $T_{cp\Sigma}$  определяется выражением (4),  $T_{12}$  и  $T_{23}$  – среднее время передачи данных с первого на второй и со второго на третий соответственно,  $N_1$  и  $N_2$  – количество элементов, осуществляющих сбор и обработку данных на первом и втором уровне системы.



Погрешность оценки  $T_{cp2}$  в соответствии с (5) составляет: для экспоненциального закона распределения времени сбора и обработки данных от одного источника до – 8%, а для нормального – до 10%. Оценка среднего времени, в соответствии с (6), имеет большие по сравнению с (4) и (5) погрешности. Для экспоненциального закона распределения времени сбора и обработки данных от одного источника погрешность  $T_{cp3}$ , в соответствии с (6), составляет до 30%, а для нормального – до 45%.

Таким образом, в результате исследования закономерностей процессов сбора, обработки и доведения данных в многоуровневых интегрированных системах установлено, что ВВХ этих процессов не описываются экспоненциальными законами, но близки к нормальным законам. Погрешности оценки параметров этих законов могут достигать величин порядка 50%. Возникает вопрос о том, насколько значимы такие погрешности при оценке вероятности актуальности данных.

**Исследование влияния видов законов распределения входных параметров при расчете вероятности актуальности данных выполнено для различных регламентов процедуры сбора, обработки и доведения данных:**

– обновление информации сразу по происшествии события;

– обновление информации в строго регламентированные моменты времени с периодичностью  $T_{обн}$ .

Эти регламенты процедуры сбора, обработки и доведения данных являются типовыми, а используемые на практике регламенты могут быть представлены их комбинацией.

В обоих случаях известные положения теории вероятностей [3] позволяют получить необходимые выражения для вероятности актуальности данных.

В случае обновления информации сразу по происшествии события

$$P_{акт} = \int_0^{\infty} \frac{dP_{изм}(t)}{dt} \cdot P_{дов}(t) dt = \int_0^{\infty} W_{изм}(t) \cdot P_{дов}(t) dt. \quad (7)$$

В случае обновления информации в строго регламентированные моменты времени с периодичностью  $T_{обн}$

$$P_{акт} = \frac{\int_0^{T_{обн}} P_{акт}(\Delta) d\Delta}{T_{обн}}, \quad P_{акт}(\Delta) = \sum_{i=1}^{\infty} P_i P_{ни} P_{дови}, \quad (8)$$

где  $P_i$  – вероятность того, что на  $i$ -м интервале произошло хотя бы одно изменение,  $P_{ни}$  – вероятность того, что на всех остальных  $j < i$  интервалах не произойдет ни одного изменения состояния объекта,  $P_{дови}$  – вероятность того, что сообщение о последнем изменении к моменту использования доведено.

Эти выражения для вероятностей актуальности данных в конечном аналитическом виде (после задания вида и параметров законов распределения вероятности времени наступления значимых событий и времени доведения данных о них и интегрирования) достаточно сложны даже в случае, когда поток событий по изменению состояний объектов учета является пуассоновским. Они еще более сложны, если законы распределения вероятностей времени доведения данных отличаются от

экспоненциального закона.

Поэтому для выявления и описания закономерностей влияния вида и параметров законов распределения вероятностей времени доведения данных на вероятность их актуальности представляет интерес отыскание приближенных выражений для этой вероятности.

С этой целью проведены расчеты  $P_{акт}$  по формулам (7) и (8) при различных видах законов распределения времени доведения. Результаты этих расчетов представлены на рис.7 и 8 соответственно. Как следует из результатов расчетов, аппроксимация времени обработки, ввода и доведения экспоненциальным законом, дает завышенный результат, то есть значения вероятности актуальности обрабатываемой информации оказывается больше, чем при других рассмотренных законах распределения этого времени. С другой стороны, при наблюдении определенных соотношений ( $T_{изм} \gg T_{дов}$ ), различия между законами распределения  $P_{дов}(t)$  незначительны (приведенное условие соответствует наиболее часто рассматриваемому на практике случаю, когда  $P_{дов}$  находится в пределах  $0,7 \div 1$ ).

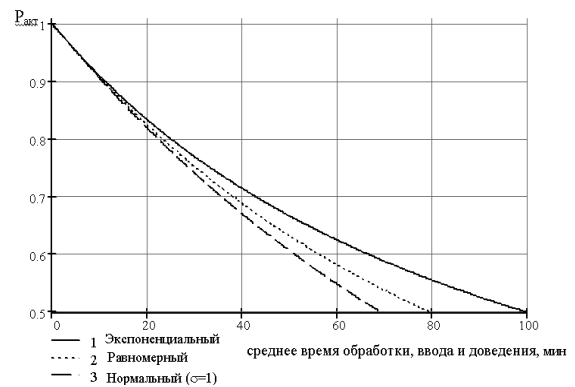


Рис.7. Зависимость вероятности актуальности от среднего времени обработки, ввода и доведения информации для различных законов распределения  $P_{дов}(t)$ . Случай непосредственного обновления информации, среднее время между событиями – 100 мин, закон распределения времени между событиями – экспоненциальный.

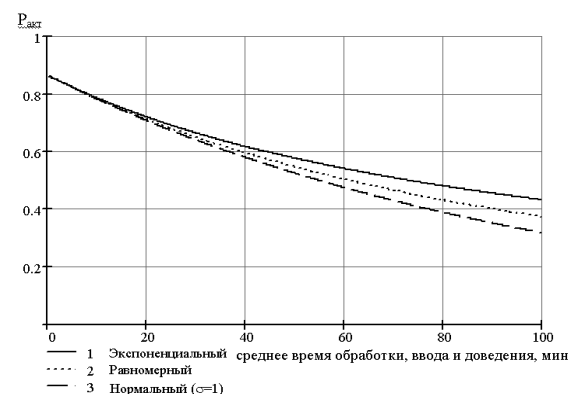


Рис.8. Зависимость вероятности актуальности от среднего времени обработки, ввода и доведения информации для различных законов распределения  $P_{дов}(t)$ . Случай периодического обновления информации, период обновления  $T_{обн}=30$  мин, среднее время между событиями  $T_{изм}=100$  мин, закон распределения времени между событиями – экспоненциальный.

Для решения задачи обоснования приближенных формул для вероятностей актуальности данных при различных законах распределения вероятностей времени их доведения обратим внимание на то, как ведут себя зависимости вероятности актуальности данных от среднего времени их сбора, обработки и доведения при различных законах распределения вероятностей значений этого времени. Эти зависимости монотонно убывающие. Причем, можно заметить, что вероятность актуальности данных при фиксированном среднем времени их сбора, обработки и доведения уменьшается при уменьшении коэффициента вариации этого времени ( $\sigma_{\text{дов}}/T_{\text{дов}}$ ), равного единице при экспоненциальном и нулю при вырожденном законе. При других законах распределения вероятностей времени сбора, обработки и доведения данных, имеющих значения коэффициента вариации  $0 < \sigma_{\text{дов}}/T_{\text{дов}} < 1$ , значения вероятности актуальности данных находятся внутри области, ограниченной зависимостями вероятности актуальности данных при вышеуказанных экспоненциальном и вырожденном законах. Поэтому можно предположить, что искомая приближенная формула может иметь вид

$$P_{\text{акт}} \approx P_{\text{акт эксп}} \frac{\sigma_{\text{дов}}}{T_{\text{дов}}} + P_{\text{акт вып}} \left(1 - \frac{\sigma_{\text{дов}}}{T_{\text{дов}}}\right), \quad (9)$$

где  $P_{\text{акт эксп}}$  и  $P_{\text{акт вып}}$  – зависимости для вероятности актуальности при экспоненциальном и вырожденном законах распределения вероятностей времени сбора, обработки и доведения данных соответственно. В случае  $\sigma_{\text{дов}}/T_{\text{дов}}=1$  и  $\sigma_{\text{дов}}/T_{\text{дов}}=0$  получаем указанные выше частные случаи для вероятности актуальности данных.

Численные расчеты для случая других законов распределения вероятностей времени сбора, обработки и доведения данных показали (см. рис.9 и 10), что приближение (9) имеет погрешность, не превосходящую 5...7%, по крайней мере, при условии  $\sigma_{\text{дов}}/T_{\text{дов}} \leq T_{\text{дов}}/T_{\text{изм}} < 1$  (условие в представляющем интерес для практики случае). Выражение (9) имеет указанную выше погрешность как для регламента «доставление данных по мере изменений состояний объектов учета», так и для регламента «в установленные сроки».

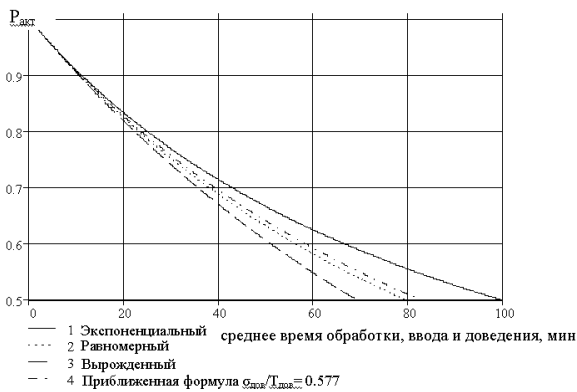


Рис.9. Зависимость вероятности актуальности от среднего времени обработки, ввода и доведения информации для различных законов распределения  $P_{\text{сов}}(t)$ . Случай непосредственного обновления информации, среднее время между событиями – 100 мин, закон распределения времени между событиями – экспоненциальный.

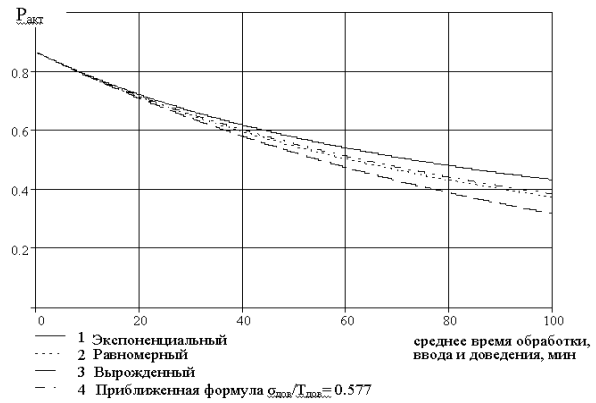


Рис.10. Зависимость вероятности актуальности от среднего времени обработки, ввода и доведения информации (b) для различных законов распределения  $P_{\text{сов}}(t)$ . Случай периодического обновления информации, период обновления  $t_{\text{п}}=30$  мин, среднее время между событиями  $\xi=100$  мин, закон распределения времени между событиями – экспоненциальный.

В случае экспоненциального распределения времени между событиями изменения состояния объектов учета для регламента «по мере изменений состояний объектов учета» (9) приобретают вид

$$P_{\text{актн}} = \frac{c}{(1+b) \cdot b} + \left(1 - \frac{c}{b}\right) \cdot \exp(-b), \quad (10)$$

где  $c = \sigma_{\text{дов}}/T_{\text{дов}}$ ,  $b = T_{\text{дов}}/T_{\text{изм}}$ , а для регламента «в установленные сроки»

$$P_{\text{актп}} = \left[ \frac{c}{(1+b) \cdot b} + \left(1 - \frac{c}{b}\right) \cdot \exp(-b) \right] \cdot \frac{1 - \exp(-a)}{a}, \quad (11)$$

где  $a = T_{\text{обн}}/T_{\text{изм}}$ .

Из выражений (10) и (11) следует, что при  $T_{\text{дов}}/T_{\text{изм}} \ll 1$  для оценок вероятности актуальности данных вид закона распределения вероятностей времени их сбора, обработки и доведения можно не учитывать.

Действительно, если разложить функции  $\exp(-T_{\text{дов}}/T_{\text{изм}})$  и  $(1 + T_{\text{дов}}/T_{\text{изм}})$  в ряды по значениям  $T_{\text{дов}}/T_{\text{изм}}$  и ограничиться первыми членами этих рядов, то из (10) и (11) получаем при любом законе распределения времени сбора, обработки и доведения данных известные для случая экспоненциальных распределений [1] выражения:

– в случае регламента «по мере изменений состояний объектов учета»

$$P_{\text{акт}} \approx \frac{T_{\text{изм}}}{T_{\text{изм}} + T_{\text{дов}}}, \quad (12)$$

– в случае регламента «в установленные сроки»

$$P_{\text{акт}} \approx \frac{T_{\text{изм}}^2}{T_{\text{обн}} (T_{\text{изм}} + T_{\text{дов}})} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{T_{\text{обн}}}{T_{\text{изм}}}\right) \right]. \quad (13)$$

Таким образом, при оценке вероятности актуальности данных для практически важных случаев, когда среднее время доведения данных меньше среднего времени изменения состояния объектов учета, вид закона распределения вероятности времени

сбора, обработки и доведения данных можно не учитывать.

**Анализа эффективности регламентированного процесса сбора данных** в многоуровневых системах производится с помощью предложенных приближенных выражений для среднего времени сбора, обработки и доведения данных и для показателя качества функционирования – вероятности актуальности информации.

Для этого, исходя из заданного значения вероятности актуальности и среднего времени значимого изменения состояний объектов учета ( $T_{изм}$ ), строится зависимость среднего времени доведения ( $T_{дов}$ ) от значения периода обновления информации ( $T_{обн}$ ). Вычисления производятся с помощью выражения (11). На рисунке 11 представлен пример такой зависимости.

Под средним временем доведения данных понимается время сбора информации от объектов, находящихся внизу иерархии (первичных источников информации), до самого верхнего уровня системы. В случае последовательно-параллельной процедуры при наличии трехуровневой системы оно вычисляется по формулам (5) и (6). Среднее время значимого изменения состояний объектов учета задается исходными данными на основании анализа назначения и условий функционирования системы. Порог значения вероятности актуальности определяется степенью важности передаваемой информации: в [1] определено, что для систем, функционирующих в масштабе времени близком к реальному, значение вероятности не должно быть (в зависимости от допустимой степени риска) менее 0,8 - 0,9, для других систем – 0,7 - 0,8.

Кривая, представленная на рисунке 11, является границей при принятии решения об эффективности той или иной процедуры сбора, обработки и доведения информации. Если точка (или в общем случае область), характеризующая вероятностно-временные характеристики процесса регламентного сбора данных и описываемая парой значений – время доведения и период обновления, лежит ниже этой кривой, то такая процедура может считаться приемлемой по показателю вероятность актуальности данных. В противном случае эта процедура считается недостаточно эффективной и, либо этот вариант сбора данных исключается из рассмотрения, либо проводится его доработка с целью уменьшения времени доведения информации и/или периода обновления.

Следует также отметить, что существуют максимально допустимые пределы для времени сбора и периода обновления, превысив которые, в принципе невозможно выполнить заданные требования. Эти пределы зависят от времени значимого изменения

состояния объектов учета ( $T_{изм}$ ) и меняются при различных значениях вероятности актуальности ( $P_{акт}$ ).

Так, для  $T_{дов}$  максимально допустимое значение будет меняться от  $0,1 \cdot T_{изм}$  при  $P_{акт} = 0,9$  до  $0,45 \cdot T_{изм}$  при  $P_{акт} = 0,7$ ; для  $T_{обн}$  – от  $0,2 \cdot T_{изм}$  до  $0,75 \cdot T_{изм}$  соответственно.

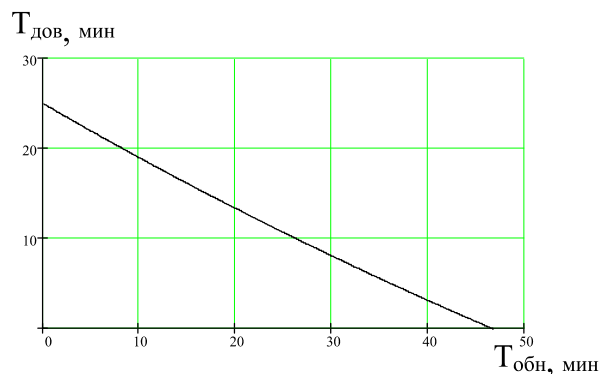


Рис. 11. Зависимость среднего времени обработки, ввода и доведения ( $T_{дов}$ ) от длительности интервала обновления ( $T_{обн}$ ) при заданном  $T_{изм} = 100$  минут и  $P_{акт} = 0,8$ .

## Выводы

1. ВВХ процессов сбора, обработки и доведения данных в многоуровневой интегрированной системе могут быть с достаточно высокой точностью описаны нормальными законами со специальным образом определенными математическими ожиданиями и дисперсиями.

2. Вклады частных подсистем в состав многоуровневых ИИУС целесообразно оценивать по их влиянию на интегральный показатель – вероятность актуальности данных на верхнем уровне управления, по формулам, полученным в настоящей статье. В частном случае, при времени доведения информации существенно меньшем времени изменения обстановки, можно использовать известные формулы.

3. Предложен способ определения эффективности регламентированных процедур сбора данных, дана оценка её предельно допустимых параметров.

## Литература

1. ГОСТ РВ 51987-2002. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Требования и показатели качества функционирования информационных систем. Общие положения. – М., 2002.
2. Методическое руководство по оценке качества функционирования информационных систем (в контексте стандарта ГОСТ РВ 51987-2002) – М. : Изд-во 3 ЦНИИ МО РФ, 2003.
3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М. : Наука, 1969.