

Разработка совмещенной модели инновационной системы комплексного учета, регистрации и анализа потребления энергоресурсов и воды промышленными предприятиями и объектами ЖКХ

О.Ю. Воронков, Е.С. Синютин

Южный федеральный университет, Таганрог

Аннотация: В статье рассматривается создание совмещенной модели для оценки надежности инновационной системы комплексного учета, регистрации и анализа потребления энергоресурсов и воды промышленными предприятиями и объектами ЖКХ. Показано представление анализируемой системы в виде системы массового обслуживания с двумя типами потоков – пуассоновским потоком и потоком с равномерным распределением. Модель разделяется на две части, для того чтобы исследовать ее аналитическим методом и описать последовательность действий для построения имитационной модели. В результате было определено критическое для надежности системы звено и показано, как может быть использована полученная модель при уточненном расчете надежности системы.

Ключевые слова: система массового обслуживания, моделирование, имитационная модель, комплекс, энергоресурс, энергосбережение.

Одной из основных задач при разработке автоматизированных систем контроля и учета энергоресурсов (АСКУЭ) является задача оценки надежности разрабатываемой системы. Причем, надежность подобных систем не сводится только к оценке вероятности отказа (чаще всего критерием отказа является массовый выход из строя определенных узлов системы), но также необходимо оценить вероятности единичных отказов узлов, которые не являются массовыми [1]. При этом необходимо учитывать надежность таких частей системы как: приборы учета, проводные линии связи, радиоканал, концентраторы и т.п. [2]

При решении задач оценки надежности распределенных аппаратно-программных комплексов требуется учитывать множество факторов: от сбоев по линии связи при передаче данных от устройств нижнего уровня, до проблем с пропускной способностью локальных вычислительных сетей (ЛВС) при обработке получаемых данных и запросов автоматизированных рабочих мест пользователей [3,4]. В ходе разработки инновационной

системы комплексного учета, регистрации и анализа потребления энергоресурсов и воды промышленными предприятиями и объектами ЖКХ решалось несколько задач, связанных с надежностью работы системы. В частности, рассматривалась надежность двух уровней системы: нижний уровень (приборы учета и GSM-концентраторы) и верхний уровень (GSM-канал и сервер системы). Необходимо построить модель системы состоящей из этих двух уровней, по которой можно оценить надежность передачи данных от потребителей до сервера.

Системами массового обслуживания (СМО) принято называть широкий спектр систем, которые сложно описывать аналитически, но которые при этом хорошо поддаются статистическому моделированию [5].

В общем случае в СМО присутствуют типовые пути, т.е. каналы обслуживания, по которым идут заявки. Иначе говоря, заявки обслуживаются каналами. Заявки могут стоять в очередях и ждать обслуживания, часть заявок будет обслужена каналами, а другая часть может получить отказ в этом. Заявки могут поступать неравномерно, каналы могут обслуживать различные заявки за разное время, количество заявок, как правило, весьма велико. В результате подобные системы сложны для изучения и управления, для анализа причинно-следственных связей. Поэтому считается, что обслуживание в сложных системах имеет случайный характер. Подход к рассмотрению любых СМО един. В соответствии с ним, во-первых, с применением генератора случайных чисел имитируются случайные моменты возникновения заявок и время их обслуживания в каналах. Тем не менее, в целом эти случайные числа подчиняются статистическим закономерностям.

Например, если заявки в среднем приходят в количестве 5 штук в час, то это значит, что промежутки времени между двумя соседними заявками случайны: 0,1, 0,3, 0,1, 0,4, 0,2, как изображено на рис. 1. Но их сумма в

среднем равна 1 (в примере это не ровно 1, а 1,1 – однако в другой раз эта сумма может составлять, например, 0,9), и лишь за большое время среднее значение данных чисел приблизится к одному часу.

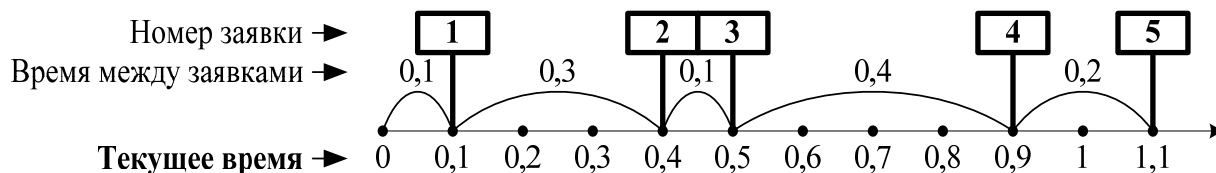


Рис. 1. – Случайный процесс прихода заявок в СМО

Во-вторых, все модели СМО конструируются стандартным способом из ограниченного набора элементов (источник заявок, канал, заявка, очередь, дисциплина обслуживания и др.), что позволяет моделировать такие задачи типовым образом вне зависимости от свойств конкретной системы.

Одним из главных понятий в теории СМО является понятие очередей, характеризующихся правилами стояния в очереди (дисциплиной обслуживания), числом мест в очереди, структурой очереди (связью между местами в очереди). Очереди бывают ограниченными и неограниченными. Существуют следующие дисциплины обслуживания: FIFO (First In, First Out – первым пришёл, первым ушёл: если заявка первой прибыла в очередь, то она первой отправится на обслуживание), LIFO (Last In, First Out – последним пришёл, первым ушёл: если заявка последней прибыла в очередь, то она первой отправится на обслуживание; пример – патроны в рожке автомата), SF (Short Forward – короткие вперёд: первыми обслуживаются заявки, имеющие меньшее время обслуживания).

Математические модели делятся на аналитические и имитационные [6, 7]. Аналитические модели имеют вид алгебраических, интегральных, дифференциальных уравнений. Эти модели описывают базовые свойства

объектов. Сложные системы редко удаётся описать аналитически с приемлемой точностью.

Имитационные модели отличаются от аналитических тем, что вместо математического описания связей между входами и выходами системы приводится алгоритм развития процессов внутри объекта для поведенческого моделирования на ЭВМ. Расчёт и анализ характеристик СМО является одной из главных целей как аналитического, так и имитационного моделирования.

На рис. 2 представлена модель аппаратно-программного комплекса в виде системы массового обслуживания, разделённой на левую (нижний уровень) и правую (верхний уровень) части для удобства анализа её работы. Показания с приборов учета в случайные моменты времени из заданного временного интервала поступают через радиоканалы на GSM-концентраторы, оборудованные запоминающими устройствами. Каждый GSM-концентратор посылает сигналы на сервер (где формируется финальная база данных учёта ресурсов) через GSM-канал не всякий раз по завершении обработки очередного запроса от прибора учета, а лишь тогда, когда в памяти GSM-концентратора накоплен определённый объём данных. По этой причине в левой части имеет место поток заявок от приборов учета с равномерным распределением, а в правой – пуассоновский поток заявок от GSM-концентраторов. Поставлены следующие задачи: во-первых, исследовать модель, используя аналитический метод; во-вторых, описать алгоритм имитационного метода.

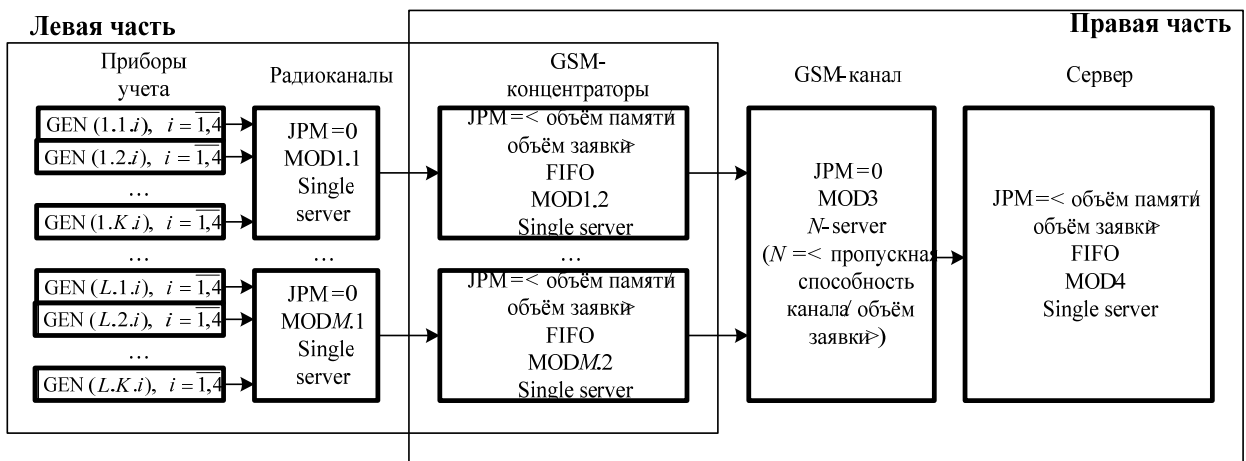


Рис. 2. - Анализируемая система массового обслуживания

Поскольку работа СМО с равномерно распределённым потоком заявок трудно поддаётся аналитическому описанию, то левую часть системы возможно исследовать лишь численно (имитационно). В свою очередь, правая часть с пуассоновским потоком заявок может быть представлена как обособленная СМО с числом каналов обслуживания n (пропускной способностью GSM-канала, делённой на объём данных в заявке от GSM-концентратора), максимальной длиной очереди m (объёмом памяти сервера, делённым на объём данных в заявке от GSM-концентратора), интенсивностью потока заявок на обслуживание λ (числом заявок от GSM-концентраторов в единицу времени) и интенсивностью потока обслуживания μ (количеством заявок, обрабатываемых сервером в единицу времени) [6]. Граф правой части рассматриваемой системы показан на рис. 3.

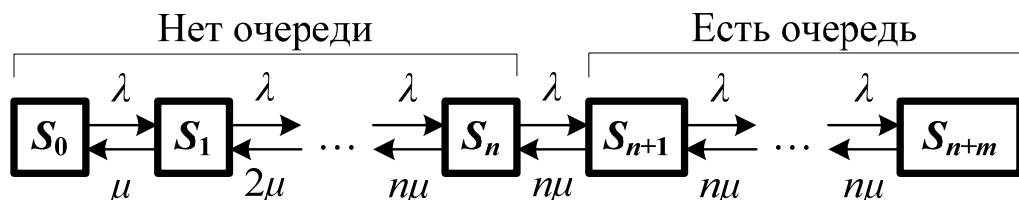


Рис. 3. Граф правой части системы

Здесь блоки $S_i, i = \overline{1, n+m}$ отражают следующие состояния системы: S_0 – все каналы свободны, очереди нет; $S_i, i = \overline{1, n}$ – заняты i каналов, очереди нет; $S_{n+i}, i = \overline{1, m}$ – заняты все n каналов, в очереди находится i заявок.

Здесь блоки $S_i, i = \overline{1, n+m}$ отражают следующие состояния системы: S_0 – все каналы свободны, очереди нет; $S_i, i = \overline{1, n}$ – заняты i каналов, очереди нет; $S_{n+i}, i = \overline{1, m}$ – заняты все n каналов, в очереди находится i заявок.

Вычисление финальных вероятностей приведено в (1).

$$\begin{aligned} p_0 &= \left(1 + \frac{\rho}{1!} + \frac{\rho^2}{2!} + \dots + \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^{n+1}}{n \cdot n!} + \frac{\rho^{n+2}}{n^2 \cdot n!} + \dots + \frac{\rho^{n+m}}{n^m \cdot n!} \right)^{-1} = \\ &= \left(1 + \frac{\rho}{1!} + \frac{\rho^2}{2!} + \dots + \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^{n+1}}{n \cdot n!} \cdot \frac{1 - (\rho/n)^m}{1 - \rho/n} \right)^{-1}; \\ p_k &= \frac{\rho^k}{k!} p_0, \quad k = \overline{1, n}; \quad p_{n+i} = \frac{\rho^{n+i}}{n^i \cdot n!} p_0, \quad i = \overline{1, m}; \end{aligned} \quad (1)$$

Некоторые из показателей эффективности работы системы вычисляются следующими формулами.

Вероятность отказа:

$$p_{\text{отк}} = p_{n+m} = \frac{\rho^{n+m}}{n^m \cdot n!} p_0. \quad (2)$$

Относительная пропускная способность:

$$Q = p_{\text{обс}} = 1 - p_{\text{отк}} = 1 - \frac{\rho^{n+m}}{n^m \cdot n!} p_0. \quad (3)$$

Абсолютная пропускная способность:

$$A = \lambda \cdot Q = \lambda \cdot \left(1 - \frac{\rho^{n+m}}{n^m \cdot n!} p_0 \right). \quad (4)$$

Среднее число обслуживаемых заявок:

$$L_{\text{обс}} = \frac{A}{\mu} = \rho \cdot \left(1 - \frac{\rho^{n+m}}{n^m \cdot n!} p_0 \right). \quad (5)$$

Для имитации СМО предлагается использовать имитационное моделирование, которое является одним из видов статистического моделирования [8,9]. В данном случае применён пошаговый подход, суть

которого в том, что состояния системы рассматриваются в моменты времени, шаг между которыми достаточно мал, чтобы за его время произошло не более одного события.

Имитационному моделированию левая и правая части системы подвергаются по отдельности в целях экономии машинных ресурсов, а в дальнейшем для оценки функционирования всей структуры результаты объединяются. Этапы создания имитационной модели – следующие.

1. Этап описания реальной системы в терминах характеристик основных событий, связанных с переходами системы из одного возможного состояния в другое.

2. Этап выбора единицы времени, зависящего от природы системы.

3. Этап достижения системой стационарного режима функционирования, в котором резко падает выборочная дисперсия.

Для минимизации ошибок моделирования можно осуществить следующие действия [10,7]:

1. Увеличить время моделирования. В этом случае не только растёт вероятность достижения системой стационарного режима функционирования, но и увеличивается число n используемых псевдослучайных чисел.

2. При фиксированном времени T моделирования провести N экспериментов (прогонов модели) с разными наборами псевдослучайных чисел, каждый из которых относится к одному наблюдению.

Все прогоны стартуют при одинаковом начальном состоянии системы, но с различными наборами псевдослучайных чисел. Если значение N достаточно велико, то границы симметричного доверительного интервала для параметра x вычисляются согласно (6).

$$\underline{x} = \bar{x} - t_\gamma \frac{S}{\sqrt{N}}, \quad \bar{x} = \bar{x} + t_\gamma \frac{S}{\sqrt{N}}. \quad (6)$$

\bar{x} - математическое ожидание (среднее значение), которое находится по формуле (7).

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_k. \quad (7)$$

S - исправленная дисперсия, вычисляется согласно (8).

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N (x_k - \bar{x})^2. \quad (8)$$

В (6-8) N – число прогонов программы, γ – надёжность, $t_\gamma = t(\gamma, N)$.

Полученные модели позволяют решить задачу оценки надежности системы при сборе и обработке данных от конечных потребителей (приборов учета) до сервера системы. При рассмотрении комплекса как системы массового обслуживания было выявлено, что GSM-концентратор является наиболее критичным по надежности элементом, массовый выход из строя этих элементов приведет к отказу в работе системы. Разработанные модели не позволяют оценить надежность работы ЛВС системы [1] и ее программных модулей. Для этого потребуются разработка дополнительных моделей. В частности, для оценки надежности аналитического программного обеспечения (АПО) системы потребуются разработка его имитационной модели и решение задачи моделирования потока данных на входе АПО. Разработанные модели могут быть использованы в этих целях, как генераторы потока данных для АПО.

Результаты исследований, изложенные в данной статье, получены при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках реализации проекта «Разработка и создание высокотехнологичного производства инновационной системы комплексного учета, регистрации и анализа потребления энергоресурсов и воды промышленными предприятиями и объектами ЖКХ»

по постановлению правительства №218 от 09.04.2010г. Исследования проводились в ФГАОУ ВО ЮФУ.

Литература

1. Карелин А.Н. Совершенствование автоматизированных систем учета энергоресурсов – требование времени. // Современные наукоемкие технологии. 2004. Выпуск №1. С. 58.

2. Демич О.В. Проблемы проектирования автоматизированных систем энергоучета. // Вестник астраханского государственного технического университета. 2005. Выпуск №1. С. 105-107.

3. Скоба А.Н., Состина Е.В. Применение аппарата сетей массового обслуживания для аналитико-численного моделирования работы информационной системы без учета влияния блокировок // Инженерный вестник Дона, 2015, №3 URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_59_scoba.pdf_29d2d1a198.pdf

4. Скоба А. Н., Состина Е. В. Математическая модель оптимального размещения распределённой базы данных по узлам ЛВС на базе двухуровневой клиент – серверной архитектуры // Инженерный вестник Дона, 2015, №2 URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2015/2882.

5. Бочаров П.П., Печинкин А.В. Теория массового обслуживания. М: РУДН, 1995. 529 с.

6. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. Москва: Высшая школа, 2000. 383 с.

7. Абрамов П.Б. Модели систем массового обслуживания на основе марковских форм с внешними потоками событий // Вестник Воронежского государственного университета. 2012. Выпуск № 6 Том 8. С. 110-112.

8. Недужко А.М. Применение моделей систем массового обслуживания для расчета характеристик линий передачи данных // Известия Южного федерального университета. 2008. Выпуск №7 Том 84. С.48-54.



9. Dattatreya, G. Performance analysis of queuing and computer networks. CRC Press, Boca Raton, 2008. 449 p.

10. Gebali, F. Analysis of computer and communication networks. Springer, New York, 2008. 189p.

References

1. Karelin A.N. Sovershenstvovanie avtomatizirovannyh sistem ucheta energoresursov – trebovanie vremeni. Sovremennye naukoemkie tehnologii. 2004. №1. p.58.

2. Demich O.V. Vestnik astrahanskogo gosudarstvennogo tehniceskogo universiteta, 2005. №1. pp. 105-107.

3. Skoba A.N., Sostina E.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №3 URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_59_scoba.pdf_29d2d1a198.pdf

4. Skoba A.N., Sostina E.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2015/2882.

5. Bocharov P.P., Pechinkin A.V. Teoriya massovogo obsluzhivaniya [Queueing Theory]. M: RUDN, 1995. 529 p.

6. Ventcel E.S., Ovcharov L.A. Teoriya skuchainyh processov I ee inženernye prilozheniya [Theory of random processes and its engineering techniques]. Moskva: Vysshaya shkola, 2000. 383 p.

7. Abramov P.B. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. 2012. №6, Tom 8. pp. 110-112.

8. Neduzhko A.M. Izvestiya Uzhnogo federalnogo universiteta. 2008. № 7 Tom 84 pp.48-54.

9. Dattatreya, G. Performance analysis of queuing and computer networks. CRC Press, Boca Raton, 2008. 449 p.

10. Gebali, F. Analysis of computer and communication networks. Springer, New York, 2008. 189 p.