

Анализ передачи данных по каналу множественного доступа в процессе промышленного ацетоксилирования

Владимир В. Денисенко¹ v.denisenko1@yandex.ru

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Реферат. В статье рассматривается моделирование процесса передачи данных с датчиков при промышленном производстве винилацетата. Пакеты данных передаются от датчиков в систему управления и управляющее воздействие идет на регуляторы температуры парогазовой смеси, давление паров хладагента, расход кислорода и расход возвратной уксусной кислоты по промышленным протоколам на основе Ethernet по каналу с множественным доступом с контролем несущей и обнаружением коллизий CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection). Основным узким местом системы является ограниченный буфер передачи датчика, что может вызвать потерю данных при его переполнении, а вследствие неправильное регулирующее воздействие. Математическое моделирование процесса передачи проводили по схеме Марковского процесса с непрерывным временем и дискретными состояниями. Модель буфера передачи датчика построили на основе графа состояний, каждое состояние отображается двумя элементами $[i, j]$: i – число пакетов в очереди, ожидающие отправки; j – число отправленных пакетов, ожидающих подтверждения. По графу была построена система уравнений Колмогорова. Решение проводили численно, с помощью математического пакета Maple (метод Рунге-Кутты-Фельберга 4-5-ого порядка). На основе данных полученных после моделирования, можно сделать вывод о среднем времени передачи пакета, количестве потерянных пакетов при различной пропускной способности и загрузке канала передачи. Адекватность модели была подтверждена с помощью экспериментальных данных, она проверена по критерию Фишера, и гипотеза на уровне значимости генеральных дисперсий принята. Модель позволяет рассчитывать статические и динамические характеристики очереди на сетевом устройстве (они важны для расчета функционирования сети в режиме реального времени) систем мониторинга и управления производства винилацетата.

Ключевые слова: передача данных, канал множественного доступа, CSMA/CD, производство винилацетата.

Analysis of the queue buffer transmitting device through the channel multiple access with guaranteed delivery of packets

Vladimir V. Denisenko¹ v.denisenko1@yandex.ru

¹ Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Summary. The article deals with the modeling of the process of data transmission from sensors in the industrial production of vinyl acetate. The data packets are transferred from the sensors to the control system and the control effect is directed to the temperature regulators of the gas-vapor mixture, the vapor pressure of the refrigerant, oxygen consumption and return acetic acid consumption by industrial Ethernet protocols over a multiple access channel with carrier control and detection of CSMA / CD collisions (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection). The main bottleneck of the system is a limited sensor transmission buffer, which can cause data loss when it overflows, and due to improper regulatory impact. Mathematical modeling of the transmission process was carried out according to the scheme of the Markov process with continuous time and discrete states. The transmitter transmission buffer model was constructed on the basis of the state graph, each state is displayed by two elements $[i, j]$: i is the number of packets in the queue waiting to be sent; j - number of sent packets pending confirmation. A column of Kolmogorov equations was constructed. The solution was carried out numerically using the Maple mathematical package (Runge-Kutta-Felberg method 4-5th order). Based on the data obtained after modeling, we can conclude that the average packet transmission time, the number of lost packets with different bandwidth and channel load transfer. The adequacy of the model was confirmed with the help of experimental data, it was tested by the Fisher criterion, and the hypothesis at the level of significance of general variances was adopted. The model allows calculating the static and dynamic characteristics of the queue on a network device (they are important for calculating the functioning of the network in real time) systems for monitoring and controlling the production of vinyl acetate.

Keywords: data transmission, multiple access channel, CSMA/CD, production of vinyl acetate

Введение

Процесс промышленного ацетоксилирования используется в производстве этиленгликоля, которое проводится в два этапа. Сначала из этилена получают моноэтерты этиленгликоля и диэтерты этиленгликоля, после чего осуществляется гидролиз. Для катализа используют хлориды Pd, Li и нитраты Fe, Ni. Этот метод синтеза имеет существенные недостатки, а именно: сильная коррозия аппаратуры, необходимость обновления катализаторов. Но классический способ получения этиленгликоля из этиленоксида считается недостаточно селективным, поэтому в конце двадцатого века американские производители выпустили установку для синтеза этиленгликоля методом ацетоксилирования этилена [1].

Для цитирования

Денисенко В.В. Анализ передачи данных по каналу множественного доступа в процессе промышленного ацетоксилирования // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 3. С. 70–73. doi:10.20914/2310-1202-2018-3-70-73

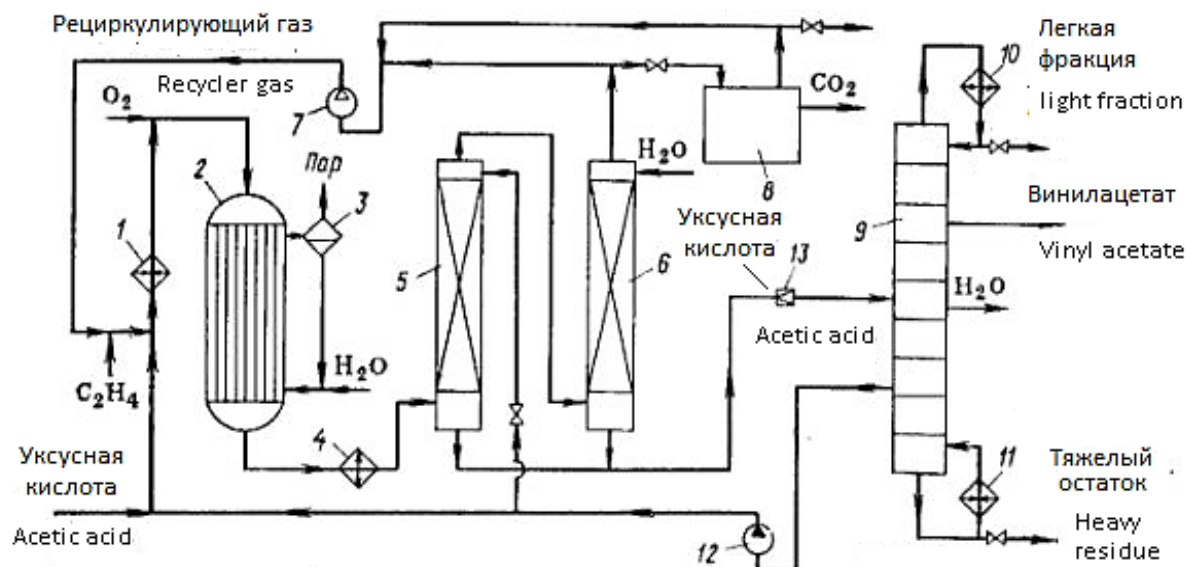
На рисунке 1 представлена схема ацетоксилирования этилена. В данной системе за процессом следят десятки датчиков температуры, давления и концентрации различных веществ, от быстроты реакции на возмущение системы, зависит процесс производства, на котором необходимо обеспечивать высокую надежность доставки информации [2, 3]. В системе мониторинга и управления реализован режим реального времени на базе технологии Ethernet. Одним из слабых мест данной системы являются датчики, из-за малого размера в них ограничен размер буферной памяти, он меньше, чем у других сетевых устройств. Проблемы с доставкой информации с датчиков могут возникнуть из-за метода доступа устройств к сети – множественного

For citation

Denisenko V.V. Analysis of the queue buffer transmitting device through the channel multiple access with guaranteed delivery of packets. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 3. pp. 70–73. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-3-70-73

доступа с контролем несущей и обнаружением коллизий. Исследование данного процесса передачи информации с датчиков при использовании промышленных протоколов с установлением соединения, так как из-за ожидания

подтверждения доставки время нахождения информации в буфере датчика существенно увеличивается и из-за его ограниченности, вероятность переполнения увеличивается.



1- паровой нагреватель; 2-реактор; 3- паросборник; 4- холодильник; 5,6- скрубберы; 7- циркулярный компрессор; 8- блок карбонной очистки; 9- система ректификационных колонн; 10- дефлегматор; 11- кипятильник; 12- насос; 13- дроссельный вентиль.

1- steam heater; 2-reactor; 3- steam collecting box; 4-refrigerator; 5,6-scrubbers; 7-circular compressor; 8- block of carbonate cleaning; 9- the system of refurbishment columns; 10- a reflux condenser; 11- a heater; 12- the pump; 13- throttle valve.

Рисунок 1. Технологическая схема синтеза винилацетата из этилена

Figure1. Technological scheme of synthesis of ethylene vinyl acetate

Наиболее важным показателем функционирования такой системы является длина очереди. При длине очереди меньше размера буферной памяти устройства пакеты гарантированно будут передаваться без потерь, при превышении – будут потери информации. Математическая модель позволит анализировать режимы функционирования системы, и рассчитывать режимы, обеспечивающие обмен без потери информации.

Основной задачей, является – разработка математической модели передачи информации по каналу множественного доступа (КМД) с использованием промышленных протоколов с гарантированной доставкой, основным показателем при этом использовать состояние буфера передачи датчика на производстве.

Результаты и обсуждение

Моделирование проводится на основе анализа особенностей функционирования системы передачи информации по КМД при использовании протоколов с установлением соединения и построения графа состояний

сетевого устройства с ограниченным буфером. Решение уравнений Колмогорова для данного графа состояний позволяют получить основные характеристики передачи данных, включая размер очереди в буферной памяти.

Процесс передачи информации в упрощенном варианте можно описать следующим алгоритмом: датчик формирует пакет и передает его в буфер, где он обрабатывается и направляется по КМД в принимающее устройство, в котором после получения пакета генерируется квитанция о получении, и отправляется по тому же пути в передающее устройство. При ее получении пакет удаляется из буфера. Но при достаточно загруженном КМД может возникнуть ситуация переполнения буфера передачи, при достаточно долгом ожидании квитанции о получении пакетов.

Математическое моделирование процесса передачи можно провести по схеме Марковского процесса с непрерывным временем и дискретными состояниями, граф состояний представлен на рисунке 2 [4].

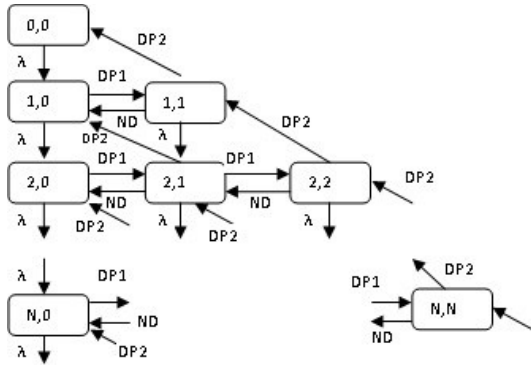


Рисунок 2. Граф состояний буфера передачи сетевого устройства

Figure 2. State graph of the transmit buffer of the network device

Каждое состояние отображается двумя элементами $[i, j]$: i – количество пакетов в очереди, ожидающие отправки; j – количество отправленных пакетов ожидающих подтверждения, т. е. состояние $[0, 0]$ – нет пакетов в буфере; состояние $[1, 0]$ – пакет поступил в буфер, но еще не отправлен; $[1, 1]$ – один пакет в буфере и он отправлен и т. д.

На основе графа получены уравнения Колмогорова для размера буфера n :

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} P_{0,0}(t) = DP2 \cdot P_{1,1}(t) - \lambda \cdot P_{0,0}(t) \\ \frac{d}{dt} P_{i,0}(t) = \lambda \cdot P_{i-1,0}(t) - a_1 \cdot \lambda \cdot P_{i,0}(t) - DP1 \cdot P_{i,0}(t) + ND \cdot P_{i,1}(t) + a_1 \cdot DP2 \cdot P_{i+1,1}(t), i = 1..n \\ \frac{d}{dt} P_{i,j}(t) = DP1 \cdot P_{i,j-1}(t) + a_2 \cdot ND \cdot P_{i,j+1}(t) + a_1 \cdot DP2 \cdot P_{i+1,j+1}(t) - (DP2 + a_2 \cdot DP1 + ND + a_3 \cdot \lambda) \cdot P_{i,j}(t) + a_4 \cdot \lambda \cdot P_{i-1,j}(t), i = 1..n; j = 1..i \end{cases} \quad (1)$$

При следующих начальных условиях:

$$\begin{aligned} P_{0,0}(t) &= 1; \\ P_{i,j}(t) &= 0, i, j = 1..n. \end{aligned} \quad (2)$$

где $P_{i,j}(t)$ – вероятности нахождения в каждом из состояний, λ – интенсивность поступления пакетов в систему, $DP1$ – интенсивность отправки пакета, $DP2$ – интенсивность доставки пакета, ND – интенсивность не доставки, a_i – коэффициенты модели, характеризующие возможность перехода из i -го состояния и принимающие значение 0 или 1.

Решение проводилось численно. Проверка адекватности модели проводилась на основе эксперимента, в котором специально созданным программным обеспечением проводился замер размера буфера передачи. Полученные данные по эксперименту при отправке пакетов размером 64 килобайта и интенсивностью 200

пакетов в секунду со средней загрузкой сети 95% от пропускной способности были обработаны и просуммированы по состоянию буфера передачи (рисунок 3). Временные задержки на коммутаторах определялись экспериментально. Адекватность была проверена по критерию Фишера, и гипотеза на уровне значимости генеральных дисперсий принята.

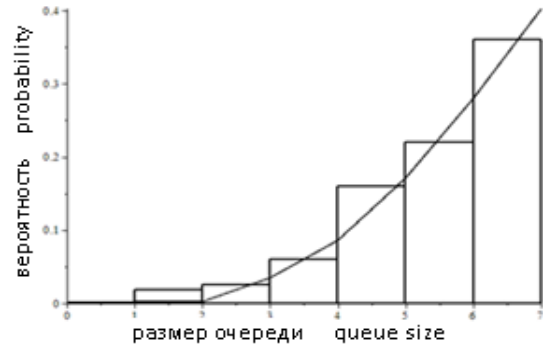


Рисунок 3. Сравнение эксперимента и модели по длине очереди в буфере передачи

Figure 3. Comparison of experiment and model by queue length in the transmission buffer

Данная математическая модель позволяет провести анализ загруженности буферной памяти полевого устройства. Так вероятность очереди равной i можно рассчитать по формуле:

$$P_i(t) = \sum_{l=0}^i P_{i,l}(t) \quad (3)$$

Представленные на рисунке 4 зависимости вероятностей иллюстрируют динамику изменения вероятности нахождения в буферной памяти различного количества пакетов (при максимальной длине очереди 7).

Одной из важных характеристик систем мониторинга и управления – это время переходных процессов при изменении трафика в сети (рисунок 5).

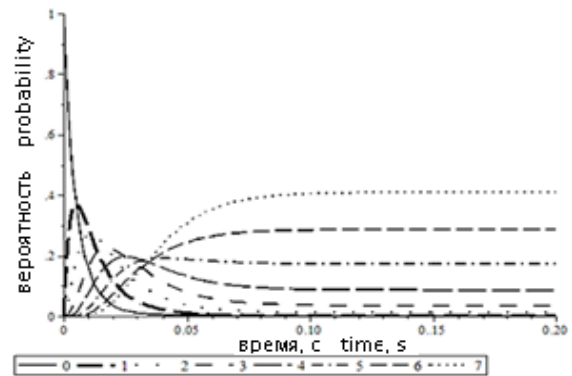


Рисунок 4. Распределение вероятностей состояний от времени

Figure 4. Distribution of probabilities of States from time

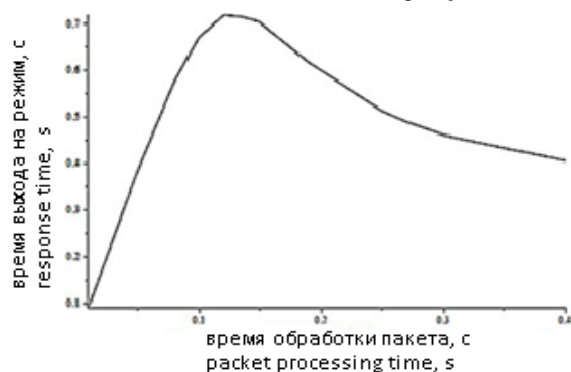


Рисунок 5. Зависимость времени выхода на стационарный режим от временных задержек при передаче пакета по сети

Figure 5. The dependence of the time to the stationary mode of the time delays in the transmission of the packet over the network

ЛИТЕРАТУРА

1 Бояджян В.К., Ерицян В.К., Татевосян А.В., Алавердян Г.Ш. и др. Производство винилацетата на основе этилена. М.: НИИТЭХИМ, 1987. 75 с.

2 Arapov D.V., Karmanova O.V., Tikhomirov S.G., Denisenko V.V. Software-algorithmic complex for the synthesis of catalyst of ethylene acetoxylation process // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 17, Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing. 2017. P. 587–594

3 Арапов Д.В. Математическая модель синтеза винилацетата на основе этилена для целей управления // Сборник материалов IV и V Международных научно-практических интернет – конференций «Моделирование энергоинформационных процессов». Воронеж: ВГУИТ, 2017. С. 226–229.

4 Arapov D.V., Tikhomirov S.G., Denisenko V.V. Mathematical software for the synthesis of domestic catalyst of ethyleneacetoxylation process / D.V. Arapov // Сборник трудов III международной конференции и молодежной школы «Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2017)». Самара: Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, 2017. С. 1169–1172.

5 Pat. USA № US 2011/0071312, 24.03.2011 Integrated process for the production of vinyl acetate from acetic acid via ethylene / Johnston V.J., Chen L., Zink J.H. et al.

6 Tung S.T., Ellis M., Christofides P.D. Model Predictive Control of a Nonlinear Large-Scale Process Network Used in the Production of Vinyl Acetate // Ind. Eng. Chem. Res. 2013. № 52 (35). P. 12463–12481

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Владимир В. Денисенко ст. преподаватель, кафедра высшей математики и информационных технологий, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, v.denisenko1@yandex.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Владимир В. Денисенко Полностью подготовил рукопись и несет ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 01.06.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 02.07.2018

Анализ полученных данных показывает, что при выбранных условиях время переходных процессов не превышает 0,8 секунды. Однако при этом следует учесть вероятность потери информации, так длина очереди достигает размера буфера.

Заключение

Представленная модель может быть полезна при проектировании различных химических производств с использованием датчиков на основе промышленных протоколов передачи данных. С ее помощью можно рассчитывать динамические и статические характеристики буфера передачи устройства, вычислить максимальное время обработки пакета, допустимую нагрузку на сеть, при которой не будет потерь пакетов.

REFERENCES

1 Boyadzhyan V.K., Yeritsyan V.K., Tatevosyan A.V., Alaverdyan G.Sh. et al. proizvodstvo vinilatsetata [Production of vinyl acetate based on ethylene] Moscow, NIITEKHIM, 1987. 75 p. (in Russian)

2 Arapov D.V., Karmanova O.V., Tikhomirov S.G., Denisenko V.V. Software-algorithmic complex for the synthesis of catalyst of ethylene acetoxylation process. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 17, Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing. 2017. pp. 587–594

3 Arapov D.V. Mathematical model for the synthesis of vinyl acetate based on ethylene for management purposes. Arapov. Modelirovanie energoinformatsionnykh protsessov [Collection of materials of IV and V International scientific and practical Internet conferences "Modeling of energy information processes"] Voronezh, VGUIIT, 2017. pp. 226–229.

4 Arapov D.V., Tikhomirov S.G., Denisenko V.V. Mathematical software for the synthesis of domestic catalyst of ethyleneacetoxylation process. Collection of works of the III International Conference and Youth School "Information Technologies and Nanotechnologies (ITNT 2017)". Samara, 2017. pp. 1169–1172.

5 Johnston V.J., Chen L., Zink J.H. et al. 2011 Integrated process for the production of vinyl acetate from acetic acid via ethylene. Patent USA, no. US 2011/0071312, 2011.

6 Tung S.T., Ellis M., Christofides P.D. Model Predictive Control of a Nonlinear Large-Scale Process Network Used in the Production of Vinyl Acetate. Ind. Eng. Chem. Res. 2013. no. 52 (35). pp. 12463–12481

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Vladimir V. Denisenko senior lecturer, higher mathematics and information technology department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, v.denisenko1@yandex.ru

CONTRIBUTION

Vladimir V. Denisenko Completely prepared the manuscript and is responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The author declares no conflict of interest.

RECEIVED 6.1.2018

ACCEPTED 7.2.2018