

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

DOI: 10.15593/2224-9400/2019.2.04

УДК 624.131.137

Д.В. Боталов, П.Ю. СокольчикПермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АСУ ТП С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНТЕГРИРОВАННЫХ СРЕД МОДЕЛИРОВАНИЯ

Актуальной проблемой на сегодняшний день создания специального программного обеспечения АСУ ТП является высокая стоимость вероятных программных ошибок. Ошибки, неверные алгоритмы программного обеспечения микропроцессорных контроллеров могут привести к аварийным ситуациям на технологическом объекте управления, незапланированным остановам технологических процессов, неисправности, выхода из строя технологического оборудования и т.д. Ошибки программного обеспечения возникают как на начальных стадиях проектирования, так и в процессе кодирования. В статье рассмотрены проблемы разработки программного обеспечения АСУ ТП, связанных с вероятностями ошибок на каждой стадии проектирования. Проведен аналитический обзор материалов по разработке ПО. Рассмотрены стадии и пункты разработки специального ПО. Проведен анализ видов, вероятностей, а также стоимости устранения ошибок на этапах разработки ПО. Рассмотрены особенности технологий проектирования информационных систем с каноническим и индустриальным подходами. Для снижения вероятности ошибок АСУ ТП задействован подход, при котором моделирование системы управления на этапе НИР приводит к генерации кода ПО для микропроцессорных контроллеров. Исследования по разработке специального программного обеспечения промышленных контроллеров производится с применением среды динамического моделирования SimInTech фирмы ООО «ЗВ Сервис» г. Москва. В разрабатываемом методе, моделях и алгоритмах индустриального проектирования с генерацией исходного кода, загружаемого в промышленные контроллеры АСУ ТП, исключены промежуточные стадии проектирования, за счет чего снижена вероятность программных ошибок.

В качестве объекта исследования задействован процесс разработки специального программного обеспечения АСУ ТП. Предметом исследования являются методы, модели, алгоритмы проектирования специального ПО АСУ ТП. Поставленной целью исследования является разработка метода, моделей и алгоритмов разработки программного обеспечения АСУ ТП в нефтегазовой отрасли на базе разработки и применения типовых, приводящих к сокращению сроков проектирования.

Ключевые слова: программное обеспечение, автоматизированная система управления технологическим процессом, дожимная насосная станция.

D.V. Botalov, P.Yu. Sokolchik

Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russian Federation

METHODOLOGY FOR DESIGNING SPECIAL SOFTWARE FOR AUTOMATED PROCESS CONTROL SYSTEMS USING INTEGRATED MODELING ENVIRONMENTS

The actual problem today for creating special software for the automated process control system is the high cost of probable software errors. Errors, incorrect microprocessor controller software algorithms can lead to emergencies at a technological control facility, unplanned process shutdowns, malfunctioning of process equipment, etc. Software errors occur both in the initial stages of design and in the coding process. The article deals with the problems of developing software for automated process control systems associated with the likelihood of errors at each design stage. An analytical review of software development materials was conducted. The stages and points of special software development are considered. The analysis of types, probabilities, and the cost of eliminating errors at the stages of software development. The features of information systems design technologies with canonical and industrial approaches are considered. To reduce the likelihood of errors in an automated process control system, an approach has been taken in which the simulation of the control system at the R & D stage leads to the generation of software code for microprocessor controllers. Research on the development of special software for industrial controllers is carried out using the SimInTech dynamic simulation environment of the company OOO 3V Service, Moscow. In the developed method, models and algorithms of industrial design with the generation of source code, loaded into industrial controllers of industrial control systems, intermediate design stages are excluded, due to which the probability of software errors is reduced.

The object of the research involved the development of special software for automated process control systems. The subject of the research is methods, models, design algorithms for special software for automated process control systems. The goal of the research is to develop a method, models and algorithms for the development of software for automated process control systems in the oil and gas industry based on the development and application of standard, leading to a reduction in design time.

Keywords: *software, automated process control system, booster pump station.*

Применение индустриального метода проектирования является одним из способов снижения вероятности ошибки при проектировании программного обеспечения (ПО), при котором возможно исключение промежуточных стадий разработки ПО [12].

Разработка АСУ ТП производится в соответствии с жизненным циклом, рассмотренным в ГОСТ 34.601–90, а ПО и программная документация – в соответствии с ГОСТ 19.102–77. Основными стадиями проектирования при традиционном каноническом подходе проектирования ПО согласно ГОСТ 19.102–77 являются: научно-исследовательские рабо-

ты, разработка эскизного проекта; разработка технического проекта, разработка программы, испытания программы, подготовка и передача программы [5, с. 54]. Следовательно, возможными видами ошибок ПО при каноническом подходе на стадиях разработки являются: ошибки научно-исследовательской работы; моделирования ПО на стадии разработки эскизного проекта; ошибки вычислений на стадии разработки технического проекта; ошибки управления потоком, передачи и интерпретации данных, перегрузки на стадии разработки программы; ошибки тестирования на стадии испытания программы [1, с. 25].

Затраты на устранение ошибок складываются из прямых и косвенных составляющих. Прямые затраты – средства, необходимые компании для выпуска продукта в требуемом качестве, для тестирования продукта с целью выявления и устранения допущенных. Косвенные – средства, затраченные компанией на повышение показателей качества продукта уже после его внедрения в эксплуатацию, устранение неудобств пользователя, адаптацию потребителя с новым продуктом. Стоимость и время устранения ошибки значительно увеличиваются, в соответствии с выявлением ошибок на более поздних стадиях проектирования. Поэтому требуется тестирование продукта на ранних этапах проектных работ на предмет наличия ошибок, а именно на стадии формирования требований, и далее на каждом последующем шаге разработки проекта [2, с. 67].

При индустриальном типовом методе проектирования ПО возможно исключение промежуточных стадий разработки до следующего перечня: научно-исследовательские работы, испытания программы, подготовка и передача программы. Данный метод проектирования действует в разработках ПО в системах управления в авиационной, атомной, космической промышленности и др. Индустриальная типовая методология проектирования предусматривает разработку проекта на стадии научно-исследовательской работы, переходя к созданию модели технологического процесса, при которой производится проверка программных алгоритмов и завершающей стадии генерации кода программы на языках программирования микропроцессорных контроллеров в соответствии с ГОСТ Р МЭК 611.31.

На рис. 1 представлено отношение стоимости и сроков устранения ошибки в зависимости от стадии проектирования ПО [4].

В мировой практике представлено множество вариантов математического моделирования технологических процессов и дальнейшей их реализации на микропроцессорных контроллерах. Для реали-

зации задач моделирования могут использоваться следующие пакеты: MATLAB (США), CoDeSys (Германия), VisSim (США), LabVIEW (США), SimInTech (США).

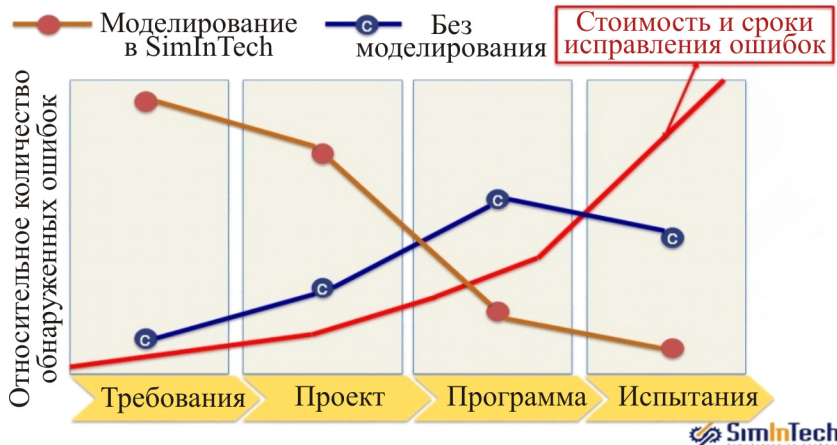


Рис. 1. Отношение стоимости и сроков к стадии проектирования АСУ ТП

В работе использован пакет программ динамического моделирования в технических системах SimInTech, разработки компании ООО «ЗВ Сервис» г. Москва. По отношению к разработке специального ПО АСУ ТП среда моделирования SimInTech обладает следующими преимуществами [4]:

- программная среда отечественного производства;
- эксплуатируется в атомной, военной, авиационной, космической отраслях;
- возможность разработки комплексной модели объектов проекта;
- наличие открытых интерфейсов для интеграции со сторонним ПО;
- разработка математических моделей объекта в графическом виде;
- контролируемый шаг интегрирования разрабатываемых моделей;
- возможность применения функции оптимизации параметров;
- исполнение сгенерированного кода на микропроцессорном контроллере из среды моделирования в системе реального времени;
- отсутствие ручной и применение автоматической генерации кода в соответствии с языками программирования ГОСТ Р МЭК 611–31.

Рассмотрен пример разработки специального ПО для микропроцессорных контроллеров АСУ ТП дожимных насосных станций (ДНС). Типовая ДНС используется для придания жидкости дополнительного напора в системе сбора нефти, в случаях, когда создаваемого погружными на-

сосаами давления недостаточно для транспортировки жидкости до пункта подготовки нефти (рис. 2).

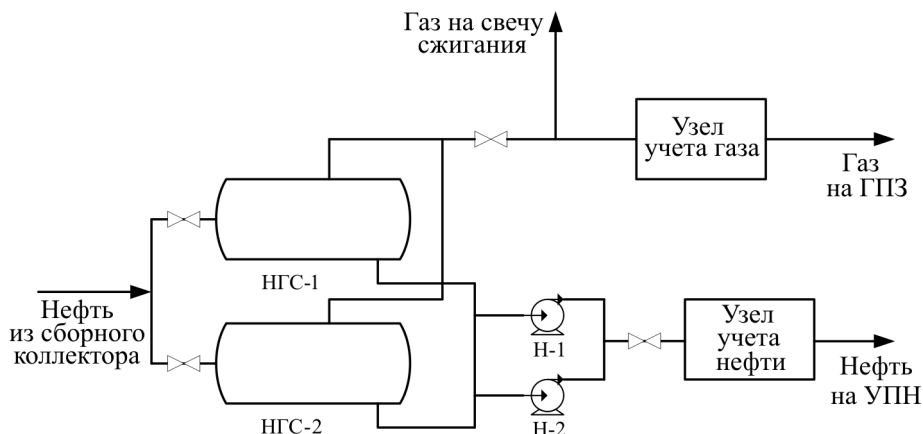


Рис. 2. Типовая схема дожимной насосной станции: НГС-1, НГС-2 – нефтегазовые сепараторы; Н-1, Н-2 – центробежные секционнные насосы; ГПЗ – газоперерабатывающий завод; УПН – установка подготовки нефти

Из сборного коллектора продукция нефтегазовых скважин поступает на прием нефтегазовых сепараторов НГС-1, НГС-2, в которых при давлении около 6 атм газ отделяется от жидкости, тем самым осуществляется первая ступень сепарации. Отделившийся газ под давлением сепарации через узел учета газа поступает в газосборный коллектор, по которому транспортируется на газоперерабатывающий завод, а в аварийных случаях на свечу сжигания. Возможно, что на ДНС существует вторая и третья ступень сепарации. Нефть после сепараторов НГС-1, НГС-2 поступает на прием центробежных насосов типа ЦНС, которые придают жидкости давление, необходимое для ее дальнейшей транспортировки до установки подготовки нефти. Для определения количества нефти, проходящей через ДНС, после насосов устанавливается оперативный узел учета нефти. Отделение газа от нефти на ДНС необходимо для устранения вредного влияния на работу центробежных насосов и образования газовых пробок и пульсации давления в напорных коллекторах.

Рассмотрен пример разработки специального ПО микропроцессорного контроллера «Овен», исполняющего алгоритмы АСУ ТП дожимной насосной станции (ДНС). Для разработки алгоритмов управления и реализующих эти алгоритмы ПО произведено моделирование следующих технологических схем.

Схема теплогидравлическая блока нефтегазовых сепараторов приведена на рис. 3.

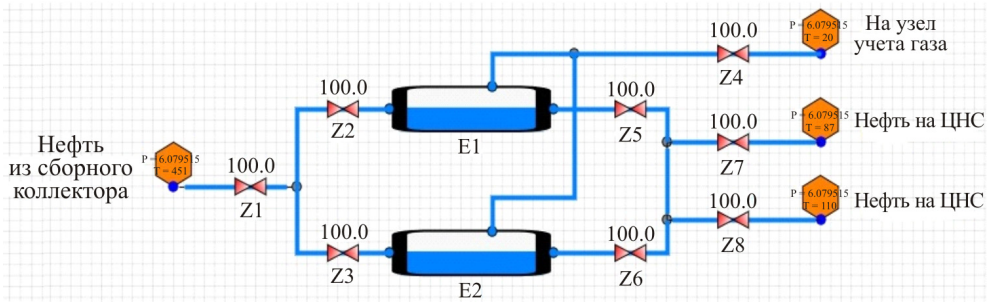


Рис. 3. Схема теплогидравлическая блока нефтегазовых сепараторов

Схема теплогидравлическая узла учета газа ДНС представлена на рис. 4. Схема блока ЦНС и оперативного учета нефти – на рис. 5.

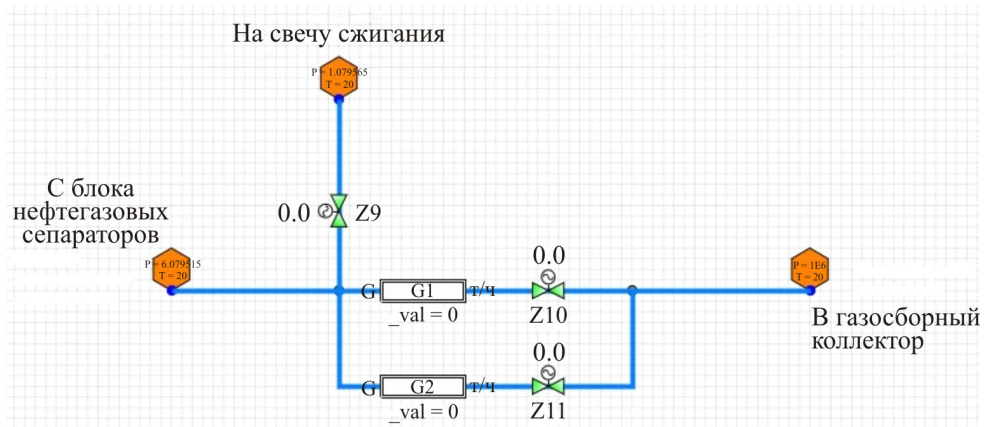


Рис. 4. Схема теплогидравлическая узла учета газа ДНС

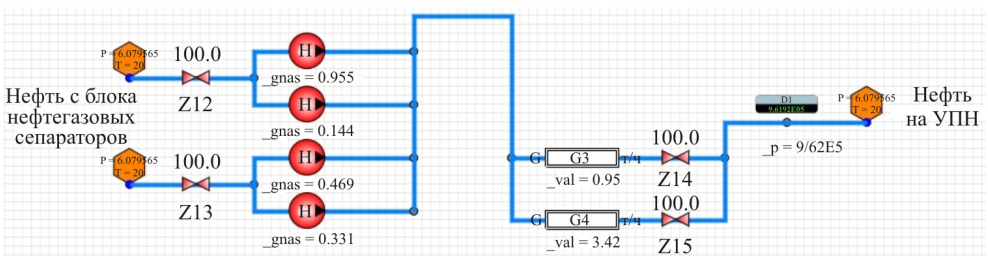


Рис. 5. Схема блока ЦНС и оперативного учета нефти

Разработана математическая модель управления узлом учета газа ДНС (рис. 6).

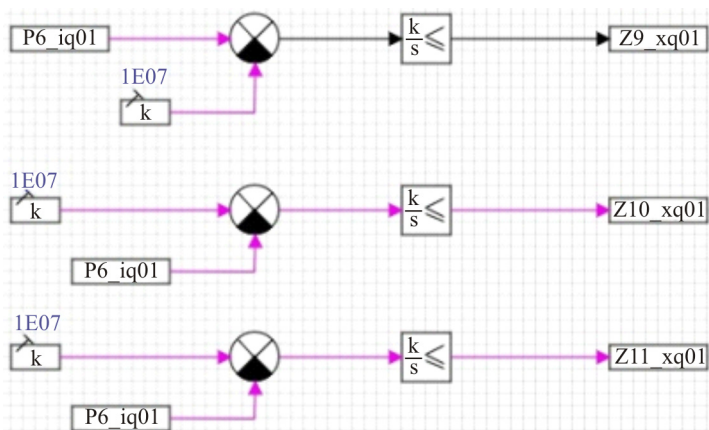


Рис. 6. Математическая модель схемы узла учета газа ДНС
(свойства блока «интегратор»: коэффициент усиления $k = 0.001$;
максимальное значение $Y_{\max} = 100$; минимальное значение $Y_{\min} = 0$)

Математическая модель описывает управление задвижками Z9, Z10, Z11 по следующему алгоритму. Если давление в линии газосборного коллектора больше уставки в первой линии, то интегратор с ограничением рассчитает положение задвижки Z9 на открытие с учетом его текущего положения. Если давление в линии газосборного коллектора больше уставки, то во второй и третьей линиях будет произведен расчет положения задвижек Z10 и Z11 на закрытие. При достижении максимального давления в линии газосборного коллектора, подача газа от нефтегазовых сепараторов прекращается, и весь отделившийся газ направляется на свечу сжигания.

Для проверки работоспособности ПО АСУТП ДНС использован сенсорный панельный контроллер СПК-207, производства ООО «ОВЕН» г. Москва. Для этого в разделе кодогенерации SimInTech сгенерирована программа, реализующая алгоритм управления узлом учета газа ДНС на языке Си и затем с помощью терминала произведена ее загрузка в программируемый логический контроллер СПК-207.

Применение данного метода проектирования ПО АСУ ТП позволяет исключить стадии разработки и кодирования ПО, а следовательно, сокращает вероятность ошибок ПО.

В соответствии со стадиями разработки программ и программной документации для вычислительных машин, комплексов и систем по ГОСТ 19.102–77 основными видами ошибок стадий при каноническом проектировании представлены в таблице.

Стадии канонического проектирования

№ п/п	Стадии проектирования ПО с применением канонического метода	Стадии проектирования ПО с применением индустриального метода
1	НИР	НИР
2	Разработка эскизного проекта (ЭП)	-
3	Разработка технического проекта (ТП)	-
4	Разработка программ (РП)	-
5	Испытания программ (ИП)	Испытания программ
6	Подготовка и передача программ (ПП)	Подготовка и передача программ

Вероятность безошибочной разработки программ и программной документации при каноническом подходе проектирования автоматизированных систем можно представить в виде

$$P_{AC} = P_{НИР} \cdot P_{ЭП} \cdot P_{ТП} \cdot P_{РП} \cdot P_{ИП} \cdot P_{ПП}, \quad (1)$$

где $P_{НИР}$, $P_{ЭП}$, $P_{ТП}$, $P_{РП}$, $P_{ИП}$, $P_{ПП}$ – вероятность безошибочного проектирования АС соответственно на стадии научно-исследовательской работы; эскизного проекта; технического проекта; разработки программы; испытаний программы; подготовки и передачи программы.

В случае применения индустриального метода проектирования ПО и исключения трех стадий, формула (1) будет иметь вид

$$P_{AC} = P_{НИР} \cdot P_{ИП} \cdot P_{ПП}, \quad (2)$$

Таким образом, исключены промежуточные стадии разработки и, как следствие, снижается вероятность программных ошибок.

Список литературы

1. Малышева Е.Н. Проектирование информационных систем: учеб. пособие. – Кемерово: Изд-во КемГУКИ, 2009. – 70 с.
2. Липаев В.В. Надежность программных средств. – М.: СИНТЕГ, 1998. – 425 с.
3. Среда динамического моделирования технических систем SimInTech: практикум по моделированию систем автоматического регулирования / Б.А. Карташов, Е.А. Шабаев, О.С. Козлов, А.М. Щекатуров. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 424 с.
4. SimInTech: офиц. сайт. – URL: <http://www.3v-services.com/#simintech> (дата обращения: 25.04.2019).
5. Федоров Ю.Н. Справочник инженера по АСУТП: проектирование и разработка: учеб.-практ. пособие. – М.: Инфра-Инженерия, 2008. – 926 с.
6. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования: учеб. для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. – 430 с.

7. Батоврин В.К. Стандарты системной инженерии. – СПб., 2012. – Вып. 4. – 64 с. – (Серия докладов (зеленых книг) в рамках проекта «Промышленный и технологический форсайт Российской Федерации»).
8. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: справ. пособие / А.С. Ключев, Б.В. Глазов, А.Х. Дубровский, А.А. Ключев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.
9. Голубятников В.А., Шувалов В.В. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности: учеб. для техникумов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1985. – 352 с.
10. Оборудование для автоматизации «Овен»: сайт. – URL: <http://www.owen.ru/catalog> (дата обращения: 28.04.2019).
11. Гартман Т.Н., Клушин Д.В. Основы компьютерного моделирования химико-технологических процессов: учеб. пособие для вузов. – М.: Академкнига, 2006. – 416 с.
12. Боталов Д.В., Сокольчик П.Ю. Методология проектирования специального программного обеспечения АСУ ТП с применением интегрированных сред моделирования // Химия. Экология. Урбанистика: материалы всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2019. – Т. I. – С. 250–254.
13. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. Практикум: учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2003. – 295 с.
14. Лазарева Т.Я., Мартемьянов Ю.Ф., Схиртладзе А.Г. Интегрированные системы проектирования и управления. Структура и состав: учеб. пособие. – М.: Машиностроение-1, 2006. – 172 с.
15. Солнышкина И.В. Теория массового обслуживания: учеб. пособие. – Комсомольск-на-Амуре: Изд-во КнАГЕУ, 2015. – 76 с.

References

1. Malysheva E.N. Proektirovanie informatsionnykh sistem [Information Systems Design]. Kemerovo, KemGuKI, 2009, 70 p.
2. Lipaev V.V. Nadezhnost' programmnykh sredstv [Software Reliability]. Moscow, SINTEG, 1998, 425 p.
3. Kartashov B.A., Shabaev E.A., Kozlov O.S., Shchekaturov A.M. Sreda dinamicheskogo modelirovaniia tekhnicheskikh sistem SimInTech [Environment dynamic modeling technical systems SimInTech]. Moscow, DMK Press, 2017, 424 p.
4. OpenMP, available: <http://www.3v-services.com/#simintech> (accessed 25 April 2019).
5. Fedorov Yu.N. Spravochnik inzhenera po ASUTP [The reference book of the engineer in the automated process control system]. Moscow, Infra-Engineering, 2008, 926 p.
6. Norenkov I. P. Osnovy avtomatizirovannogo proektirovaniia [The foundations of computer-aided design]. Moscow, MGTU im. N. E. Bauman, 2009, 430 p.
7. Batovrin V.K. Standarty sistemnoi inzhenerii [Standards of system engineering]. *Promyshlennyy i tekhnologicheskii forсайт Rossiiskoi Federatsii*, St. Petersburg, 2012, 64 p.

8. Kliuev A.S., Glazov B.V., Dubrovskii A.Kh., Kliuev A.A. Proektirovanie sistem avtomatizatsii tekhnologicheskikh protsessov [Designing automation systems for technological processes]. 2nd ed. Ed. A.S. Kliuev. Moscow, Energoatomizdat, 1990, 464 p.
9. Golubiatnikov V.A., Shuvalov V.V. Avtomatizatsiia proizvodstvennykh protsessov v khimicheskoi promyshlennosti [Automation of production processes in the chemical industry: Training]. 2nd ed. Moscow, Khimiia, 1985, 352 p.
10. OpenMP, available: <http://www.owen.ru/catalog> (accessed 28 April 2019).
11. Gartman T.N., Klushin D.V. Osnovy komp'iuternogo modelirovaniia khimiko-tekhnologicheskikh protsessov [Fundamentals of computer simulation of chemical-technological processes]. Moscow, IKTS «Akademkniga», 2006, 416 p.
12. Botalov D.V., Sokol'chik P.Iu. Metodologiya proektirovaniia spetsial'nogo programmnogo obespecheniia ASU TP s primeneniem integrirovannykh sred modelirovaniia [Methodology of designing special software for automated process control systems using integrated modeling environments]. *Khimiia. Ekologiya. Urbanistika. Materialy vserossiiskoi konferentsii*, 18–19 apreliia, Perm', 2019, pp. 250-254.
13. Sovetov B.Ia., Iakovlev S.A. Modelirovanie sistem. Praktikum [Modeling systems]. 2nd ed. Moscow, Vyssh. Shk., 2003, 295 p.
14. Lazareva T.Ia., Martem'ianov Iu.F., Skhirtladze A.G. Integrirovannye sistemy proektirovaniia i upravleniia. Struktura i sostav [Integrated design and management systems]. Moscow, Izdatel'stvo Mashinostroyeniye-1, 2006, 172 p.
15. Solnyshkina I.V. Teoriia massovogo obsluzhivaniia [Theory of queuing: studies]. Komsomol'sk-na-Amure, FGISHCHU VPO «KnAGEU», 2015, 76 p.

Получено 08.05.2019

Об авторах

Боталов Дмитрий Владимирович (Пермь, Россия) – магистрант кафедры оборудования и автоматизации химических производств, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: DVBotalov@gmail.com).

Сокольчик Павел Юрьевич (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры оборудования и автоматизации химических производств, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: PSokol@rambler.ru).

About the authors

Dmitriy V. Botalov (Perm, Russian Federation) – Magistrant, Department of Equipment and Automation of Chemical Production, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, e-mail: DVBotalov@gmail.com).

Pavel Yu. Sokolchik (Perm, Russian Federation) – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Equipment and Automation of Chemical Production, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, e-mail: PSokol@rambler.ru).